Presented by

PERHAPI
PERHIMPUNAN AHLI PERTAMBANGAN INDONESIA
ASSOCIATION OF INDONESIAN MINING PROFESSIONALS

Organized by

UNIVERSITAS TRISAKTI

TEMU PROFESI TAHUNAN XXX DAN KONGRES XI PERHAPI 2021

PROSIDING

Peran Pertambangan Mineral dan Batubara untuk Menunjang Industri Strategis dan Ketahanan Nasional







KATA PENGANTAR

Salam PERHAPI,

Sebagai wadah berhimpunnya para ahli pertambangan di Indonesia, PERHAPI yang lahir pada 21 September 1990 di Bandung mulai saat ini harus ikut memikirkan sektor industri pertambangan memegang peran sangat penting bagi perekonomian nasional, terutama dalam mendorong pertumbuhan ekonomi. Sektor ini mampu memberikan kontribusi yang sangat besar dalam menyediakan lapangan kerja bagi masyarakat dan dalam perolehan devisa negara.

Dalam menghadapi persaingan yang makin mendekat di kancah ekonomi dunia dewasa ini, bangsa Indonesia perlu mendapatkan kelompok industri yang termasuk kedalam industri strategis secara ekonomi. Industri Strategis adalah Industri yang penting bagi negara dan yang menguasai hajad hidup orang banyak, meningkatkan atau menghasilkan nilai tambah sumberdaya alam strategis, atau mempunyai kaitan dengan kepentingan pertahanan serta keamanan negara. Dari sekian banyak cabang industri, industri pertambangan memiliki karateristik khas yang mendukung definisi industri strategis tersebut.
Kekayaan sumberdaya mineral dan batubara Indonesia menjadikan komoditas ini memiliki peran srtategis, baik dalam mendukung industri strategis masa depan dan juga ketahanan energi nasional, hingga menopang perekonomian negara. Besarnya pasar ekspor mineral dan batubara Indonesia, tentu menjadi magnet tersendiri bagi banyak investor asing yang menyumbangkan devisa sangat besar bagi negara meski demikian, tambang mineral dan batubara Indonesia masih menemui beberapa tantangan termasuk dari sisi regulasi hingga pengelolaan operasional. Disamping itu peran pertambangan mineral dan batubara juga perlu dirumuskan dengan benar.

Berdasarkan uraian diatas TPT XXX dan KONGRES XI PERHAPI kali ini mengambil tema **"Peran pertambangan mineral dan batubara untuk menunjang industri strategis dan ketahanan nasional"** dengan harapan diperolehnya suatu tindak lanjut dalam mengembangkan pola pikir dan menentukan langkah lanjutan untuk menghadapi dan berperan lebih dalam menunjang industri strategis dan ketahanan nasional. Telah dilaksanakan secara hybrid (daring dan luring) pada tanggal 26-28 Oktober 2021.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini pula, segenap Pengurus PERHAPI ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah mendukung terselenggaranya acara Temu Profesi Tahunan (TPT) XXX dan KONGRES XI PERHAPI 2021.

Jakarta, November 2021



Ir. Rizal Kasli, S.T., IPM., ASEAN Eng

Ketua Umum PERHAPI

TIM REVIEWER

NO	NAMA REVIEWER	INSTANSI
1	Aryo Prawoto Wibowo	ITB
2	Barlian Dwinagara	UPNVY
3	Budi Sulistianto	ITB
4	Budi Sulistijo	ITB
5	Edi Ibrahim	UNSRI
6	Edy Sanwani	ITB
7	Fadhila A. Rasyid	ITB
8	Ginting Jalu Kusuma	ITB
9	Ganda M Simangunsong	ITB
10	Masagus Ahmad Azizi	USAKTI
11	Maryanto	UNISBA
12	Nuhindro P. Widodo	ITB
13	Purwanto	UNHAS
14	Romlah Noorhakim	UNLAM
15	Simon H Prassetyo	ITB
16	Syafrizal	ITB
17	Singgih Saptono	UPNVY
18	Sri Widayati	UNISBA
19	Sri Widodo	UNHAS
20	Tri Karian	ITB
21	Tommy Trides	UNMUL
22	Wawong Dwi R	UPNVY
23	Wahyu Triantono	PERHAPI
24	Zulfiiadi Z	ITB

DAFTAR ISI

TIM REVIEWER 1

DAFTAR ISI 2

DARI GALIAN KE MEJA MAKAN: KETAHANAN PANGAN DARI PASCATAMBANG 4

PREDIKSI NILAI *UNIT-COST* PENAMBANGAN BIJIH NIKEL DI INDONESIA MENGGUNAKAN *COMPARATIVE* DAN *STATISTICAL APPROACH* 16

BACK ANALYSIS OF VECTOR LOSS EFFECT TO DETERMINE THRESHOLD USING SLOPE STABILITY RADAR DATA CASE STUDY OF FAILURE IN OPEN PIT COAL MINE 25

THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR REAL TIME PIT MONITORING AT BATU HIJAU SITE, INDONESIA 35

ANALISIS AWAL PENDUGAAN NILAI *UCS* DARI NILAI *PLI* UNTUK BATU LEMPUNG DAN BATU PASIR , PT ARUTMIN INDONESIA TAMBANG ASAM ASAM, KALIMANTAN SELATAN 44

PEMODELAN PENGUJIAN PEMAMPATAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DENGAN PENDEKATAN METODE ELEMEN HINGGA MODEL KONSTITUTIF PLASTISITAS CAM-CLAY MODIFIKASI PADA MATERIAL BERPORI 52

INOVASI PENGGUNAAN *AADVARK PERMEAMETER* SEBAGAI *QUALITY CONTROL* PENUDUNGAN BATUAN POTENSI ASAM (*PAF*) 74

BIOAKUMULASI LOGAM PADA TANAMAN HASIL HUTAN BUKAN KAYU DI DAERAH REKLAMASI TIMBUNAN BATUAN PENUTUP TAMBANG BATU HIJAU, SUMBAWA BARAT 84

PEMANFAATAN LAHAN REKLAMASI SEBAGAI LAHAN PENGGEMBALAAN SAPI DI PT. KALTIM PRIMA COAL 95

KEANEKARAGAMAN HAYATI KAWASAN NIKEL LATERIT STUDI: PERTAMBANGAN NIKEL PULAU OBI, MALUKU UTARA 106

STUDI PENEMPATAN MINERAL KADAR RENDAH DI *STOCKPILE* SEJORONG DALAM RANGKA PENINGKATAN *RECOVERY REHANDLE* BIJIH DAN PEMENUHAN ASPEK KONSERVASI MINERAL 116

PEMASANGAN *GRIZZLY SCREEN* UNTUK MENGURANGI KONTAMINASI BATU BARA PADA *OVER LAND CONVEYOR* 136

PERANCANGAN DAN EKSPERIMENTASI ALAT MEJA ANGIN *(AIR TABLE)* UNTUK PEMISAHAN MINERAL BIJIH TIMAH SECARA *GRAVITY CONCENTRATION* 142

PENERAPAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK PREDIKSI *PEAK PARTICLE VELOCITY* GETARAN TANAH BERDASARKAN MODEL *SEED WAVE* MONTE CARLO SIMULATION AS A TOOL TO PREDICT PEAK PARTICLE VELOCITY OF GROUND VIBRATION BASED ON SITE SPECIFIC SEEDWAVE MODEL 154

PENGGUNAAN DRONE DENGAN TEKNOLOGI LIDAR DI TAMBANG BAWAH TANAH PT FREEPORT INDONESIA 165

PENGGUNAAN METODE PEMBOBOTAN TERHADAP KONDISI *LOADING POINT* MENGGUNAKAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) DI *MINING OPERATION DIVISION*, PT KALTIM PRIMA COAL 182

OPTIMALISASI COAL BARGE LOADING PADA KONDISI AIR SURUT 193

OPTIMALISASI SHORT TERM MINE SCHEDULING MENGGUNAKAN AUTOS 2.0 SCHEDULER UNTUK INTEGRASI LONG TERM MINE PLAN DENGAN MINE OPERATION

.....201
PERANAN DRILL & BLAST ENGINEER DI TAMBANG TERBUKA MINERAL 211
PENGUATAN SUMBER DAYA MANUSIA YANG UNGGUL DAN BERBUDAYA K3 PADA DRILL BLAST OPERATION DENGAN KONSEP K-S-A 227
PENERAPAN METODE SCRUM UNTUK PROYEK PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PADA PERUSAHAAN MEDIA DIGITAL PERTAMBANGAN 237

DARI GALIAN KE MEJA MAKAN: KETAHANAN PANGAN DARI PASCATAMBANG

Denny Riezki Pratama

PT Kaltim Prima Coal

E-mail: Denny.Pratama@kpc.co.id

ABSTRAK

Program pascatambang dapat berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan daerah, khususnya pada isu pertanian dan pangan. Integrasi pascatambang dan pemberdayaan masyarakat menjadi bagian penting dari pencapaian tujuan tersebut. Melalui pengelolaan lingkungan yang optimal, akses terhadap sumber daya, serta program pemberdayaan yang bertumpu pada organisasi dan potensi lokal, program pascatambang dapat mendukung keberlanjutan pertanian lokal dan pemenuhan pangan daerah sekitar tambang. Artikel ini membahas tiga program pertanian-pangan dan pascatambang KPC. Kesimpulan dari pembahasan ini adalah pencapaian kedaulatan pangan akan dapat diraih apabila ada keberpihakan perusahaan tambang dalam kebijakan, aksesibilitas, dan penguatan kelembagaan produsen pangan. Mencapai kedaulatan pangan tidak cukup dengan pembangunan infrastruktur dan besarnya alokasi anggaran. Dukungan terhadap ketahanan/kedaulatan pangan perlu diikuti dengan penguatan kelembagaan produsen pangan, termasuk menjamin keterjangkauan terhadap sarana produksi, dan pengorganisasian petani-produsen pangan.

Kata Kunci: pascatambang, pangan, pemberdayaan masyarakat

ABSTRACT

Post-mining programs can contribute to regional sustainable development, especially on issues of agriculture and food. Post-mining integration and community empowerment are an important part of achieving these goals. Through optimal environmental management, access to resources, as well as empowerment programs that rely on local organizations and potential, post-mining programs can support the sustainability of local agriculture and food fulfillment in the area around the mine. This article discusses KPC's three agri-food and post-mining programs. The conclusion of this discussion is that the achievement of food sovereignty will be achieved if there is an alignment of mining companies in policy, accessibility, and institutional strengthening of food producers. Achieving food sovereignty is not enough with infrastructure development and large budget allocations. Support for food security/sovereignty needs to be followed by strengthening food producer institutions, including ensuring affordability of production facilities, and organizing food producers and farmers.

Keywords*: post-mining, food, community development*

A. PENDAHULUAN

Di hadapan puluhan petani, Bupati Kutai Timur mengatakan "...tolong bantu hitung kebutuhan saluran irigasi. Gampang *aja* itu buat insinyur KPC." Ucapan ini ia lemparkan pada acara panen padi sawah seluas 50 hektar di Kecamatan Bengalon tahun 2018. Sebelumnya, seorang petani menanyakan mengenai masa depan sawah mereka. Ia mengeluhkan kondisi Sungai Bengalon yang menyusut saat kemarau, namun banjir saat penghujan. Petani tua itu mengatakan musim tidak lagi bisa diperkirakan, namun perhatian dari pemerintah dirasa kurang.

Pada tahun 2020, Bupati yang sama menghadiri acara panen semangka di desa yang berbeda. Di depan warga desa, ia menyampaikan "Saya berharap hasil panen semangka bisa dibeli oleh perusahan sekitarnya, meski ada juga yang dipasarkan di masyarakat. Dengan demikian sangat membantu masyarakat dalam pemasaran produk hasil pertanian warga."[1] Lokasi desa itu berjarak kurang lebih empat kilometer dari tambang, namun dua belas kilometer dari pasar terdekat.

Pada awal tahun ini, dalam satu forum musyawarah kabupaten tahun 2021, salah seorang kepala desa bahkan meminta Bupati untuk mengeluarkan kebijakan resmi yang mewajibkan perusahaan (pertambangan dan perkebunan) untuk membeli semua hasil panen mereka. Beras mereka tidak laku dan menumpuk di gudang karena kalah saingan dengan beras impor dari Sulawesi yang membanjiri di pasaran.

Penggalan kisah di atas, saya duga, jamak ditemui di dunia pertambangan. Di satu sisi, ada hubungan ketergantungan antara perusahaan dengan pemerintah dan atau masyarakat. Namun, di sisi lain pertambangan berdampak signifikan bagi pertanian dan urusan pangan daerah. Lingkup hubungannya mulai dari isu pengelolaan lingkungan, akses sumber daya alam, isu pembangunan nasional dan etika bisnis global (*good mining practices,* CSR, SDGs, dsb).[2] Berangkat dari konteks itu, makalah ini akan membahas program pertanian, pangan dan pascatambang di PT Kaltim Prima Coal (KPC). Tujuan makalah ini untuk memperlihatkan proses dan dinamika yang terjadi antara perusahaan dengan pelaku pembangunan lainnya dalam program pangan pascatambang. Merujuk pada UU No 3/2020 pascatambang didefinisikan sebagai "kegiatan terencana, sistematis, dan berlanjut setelah sebagian atau seluruh kegiatan usaha pertambangan untuk memulihkan fungsi lingkungan alam dan fungsi sosial menurut kondisi lokal di seluruh wilayah penambangan." Anbiyak *et al* (2020), Tuheteru *et al* (2018), dan Sihotang & Sudradjat (2018) membahas paskatambang dalam aspek kebijakan dan kewenangan, kegiatan teknis (*pit lake*, bendungan) dan penanaman modal – yang merujuk pada lokasi dan periode waktu yang spesifik. Dalam makalah ini, istilah pascatambang saya gunakan sebagai definisi di atas namun lebih menekankan pada 'fungsi sosial'. Istilah pascatambang juga saya gunakan untuk merujuk pada lokasi yang di situ kegiatan pascatambang KPC sudah atau sedang berjalan.

Melalui penelusuran kualitatif, saya bermaksud menunjukkan peluang-peluang sekaligus tantangan dari integrasi program tersebut. Ide pokok makalah ini adalah kontribusi perusahaan tambang mendukung ketahanan pangan tidak bisa dicapai hanya dengan pemberian bantuan dan pengadaan proyek infrastruktur saja. Pendekatan itu beresiko menimbulkan ketergantungan baru, bahkan menguatkan patronase.

Keberlanjutan pangan dan pascatambang ditentukan faktor kualitas pengelolaan lingkungan, aksesibilitas terhadap sumberdaya alam, pengorganisasi petani/produsen pangan, dan keberpihakan pada

[1] https://pro.kutaitimurkab.go.id/2020/03/16/tiga-bulan-hasilkan-rp-200-juta-bupati-ismunandar-panen-perdana-semangka-di-bengalon/

[2] *Columbia Center on Sustainable Investment* dan *Responsible Mining Foundation*, menekankan pemanfaatan berbagai sumber daya untuk mendukung mata pencaharian non-tambang untuk pencapaian SDGs 1 'Tanpa Kemiskinan'; dan, memperkuat manajemen DAS dan kolaborasi dengan pertanian untuk pencapaian SDGs2 'Tanpa Kelaparan' (2020).

sumber daya lokal. Faktor-faktor tersebut akan mendukung aspek keberlanjutan - pertanian sebagai mata pencaharian dan produksi pangan lokal - apabila ada konsistensi antara kebijakan yang inklusif dan praktik realisasinya di lapangan.

Pembahasan makalah ini akan fokus pada tiga proyek pertanian pangan di pascatambang KPC. Dua program, peternakan ayam petelur *Jupiter Farm* dan pertanian di Segadur, sudah berjalan lebih dari tiga tahun. Peternakan ayam petelur secara fisik berada di atas lahan pascatambang Pit Jupiter. Sedangkan pertanian di Segadur, walaupun tidak berada di atas lahan pascatambang, sumber air yang digunakan oleh petani Segadur, berasal langsung dari keluaran rangkaian kolam Kecubung Alpha - Bravo - Charlie. Selain dua proyek di atas, makalah ini akan mengulas proyek pembangunan pusat pembibitan unggas lokal di lahan pascatambang KPC (Peternakan Sapi Terpadu - Pesat). Saat makalah ini ditulis, proyek itu statusnya masih dalam tahap pembangunan.

Pembahasan akan ditutup dengan wacana pascatambang untuk pertanian tanaman pangan yang berkelanjutan. Wacana ini relevan karena menunjukkan: 1) dinamika pemahaman (internal) perusahaan terhadap isu pangan, 2) pengelolaan pascatambang sebagai sumber daya yang terkait dengan konteks sosial-ekonomi yang lebih luas, dan 3) kondisi-kondisi internal dan eksternal yang memungkinan atau yang menyulitkan mewujudkan pangan dari pascatambang. Keseluruhan diskusi mengenai proyek pangan dan pascatambang, adalah untuk menunjukkan bahwa perusahaan tambang dapat berkontribusi secara riil menjawab permasalahan pangan. Aturan mengenai pascatambang, walaupun gamblang dan ketat, sebetulnya dapat memberikan ruang bagi perusahaan untuk berperan memulai inisiatif baru sesuai dengan konteks lokal.

B. METODE

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif. Data primer dikumpulkan melalui wawancara mendalam dan partisipasi-observasi. Data sekunder dikumpulkan dari laporan internal perusahaan dan materi-materi presentasi perusahaan yang tidak dipublikasikan. Data utama studi ini berupa kisah program pertanian pangan pascatambang, yang dicatat melalui serangkaian wawancara, dan observasi, yang dikumpulkan dalam catatan lapangan. Kisah diambil dari program peternakan ayam petelur Jupiter Farm, pendampingan pertanian di Segadur, dan pembangunan pusat pembibitan unggas lokal di Pesat. Pascatambang KPC sebagai sebuah wacana, juga akan dibahas sebagai penutup diskusi.

Metode analisis data penelitian menggunakan metode narasi deskriptif. Data kualitatif dalam catatan lapangan dikodifikasi dan disusun ke dalam kisah. Kisah yang dibahas dalam makalah ini akan diperlakukan sebagai narasi (*confessional tales*). Tujuannya tidak hanya untuk menggambarkan proses, namun juga untuk menganalisis jalinan tema yang spesifik hadir dalam keseluruhan konteks (kisah) berlatar sosial tertentu (Emerson 2011: 688; Van Maanen 2011:73-74).

Perusahaan, seperti halnya pemerintah, petani dan warga, adalah aktor sosial yang selalu berada dalam konteks sosial tertentu. Ia memiliki subjektivitas dan keagenan yang saling pengaruh mempengaruhi (Li 2012; Welker 2014).[3] Analisis kualitatif juga ditujukan untuk menjelaskan kondisi struktural, sehingga dapat diidentifikasi aspek sosial apa saja yang mempengaruhi dan menentukan keberhasilan - atau mungkin kegagalan - program pangan pascatambang.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

[3] Dalam kata-kata Clifford Geertz "*If you want to understand what a science is you should look in the first instance not at its theories or its findings, and certainly not what its apologists say about it; you should look at what the practitioners of it do."* (Van Maanen 2011: 73).

C.1.Peternakan Ayam Petelur Jupiter Farm

Tahun 2014. Komandan Kodim 0909 Kutai Timur kala itu mendapat ide bahwa usaha peternakan ayam petelur akan tepat untuk dikelola oleh Koperasi Kodim 0909. Ia menyampaikan proposalnya langsung kepada CEO KPC, yang menanggapinya dengan positif. Sang CEO meminta kepada General Manager *External Affairs and Sustainable Development* (ESD) Division agar berkoordinasi dengan General Manager *Health Safety and Environment* (HSE) Division. Lokasi proyek ditentukan di area Pit Jupiter - yang sudah masuk masa pascatambang. Pemanfaatan Pit Jupiter untuk peternakan sesuai dengan Rencana Penutupan Tambang (RPT) KPC. Area itu masuk dalam kategori zona 'pemanfaatan', salah satunya untuk pengembangan usaha ekonomi non-tambang. Lahan proyek seluas dua hektar, sebelumnya adalah area *dumping*.

ESD dan HSE pun kemudian melakukan studi kelayakan melibatkan *Mining Operation Division* (MOD) dan Departemen *Mining Service* (MS). Studi melingkupi analisa lingkungan, daya dukung sumber daya, rancang bangun, dan analisa pemenuhan teknis sarana dan prasarana peternakan yang diperlukan. Isu sosial juga masuk dalam cakupan studi kelayakan, seperti aspek aksesibilitas dan keberlanjutan usaha peternakan di Pit Jupiter. Untuk memastikan keberlanjutan, KPC mengeluarkan pengecualian (*exemption*) lokasi proyek dari areal operasional tambang.

Di awal 2015 perwakilan tim KPC, bersama calon pengelola dan perwakilan dari Yayasan Sangatta Baru (YSB - pengelola lahan pascatambang KPC) melakukan studi ke Blitar. Selama dua minggu mereka belajar aspek peternakan ayam petelur, mulai dari desain kandang, teknik budidaya, penggunaan teknologi, tata kelola kandang, pakan, dan penanganan kotoran. Pada tahun yang sama, KPC membangun infrastruktur awal berupa tiga unit kandang. Kapasitas per kandang mampu menampung lima ratus ekor ayam petelur. Pembangunan berlangsung selama enam bulan. Di tahun 2016, KPC kembali membangun tiga unit kandang tambahan. Total kapasitas menjadi tiga ribu ekor ayam petelur. Selain aset kandang dan perlengkapan, KPC juga membantu stimulan usaha berupa bibit ayam petelur dan pakan konsentrat.

Kandang dan semua aset adalah milik YSB. Namun, pelaksana usaha Jupiter Farm adalah Kodim 0909, dengan Koperasi Kodim 0909 sebagai pelaksana operasionalnya. Dengan model pembagian peran ini, kewajiban perawatan aset merupakan tanggung jawab pihak Kodim 0909.
Setelah ayam berumur enam bulan, biaya operasional sepenuhnya dibebankan kepada Koperasi Kodim. Pada tahap itu Jupiter Farm sudah mampu memproduksi telur dengan hasil penjualan yang mulai stabil. Berdasarkan data harian, tingkat produktivitas Jupiter Farm mencapai rata-rata 70% - 75%. Artinya, Jupiter Farm dapat memproduksi 2.100 - 2.250 butir telur per hari.

Keberadaan Jupiter Farm mulai diketahui oleh warga Sangatta. Jupiter Farm rutin didatangi pengunjung yang ingin belajar beternak ayam petelur. Pak Edi dan Pak Rexy adalah salah satu warga yang belajar di Jupiter Farm. Awalnya, mereka belajar untuk mengembangkan usaha ternak ayam petelur di koperasi yang mereka kelola. Di Jupiter Farm, mereka mempelajari desain kandang, teknik budidaya, serta cara-cara pemasaran dan penjualan. Usaha peternakan yang dikembangkan di koperasinya dilakukan secara swadaya didukung oleh program aspirasi salah satu anggota DPRD Kutim. Telur produksinya hanya dipasarkan di dalam lingkungan koperasi saja.

Namun, karena besarnya kebutuhan telur Kota Sangatta, anggota koperasi yang lain pun ikut mereplikasi usaha di lokasinya masing-masing. Pak Edi dan Pak Rexy membuka peternakan ayam petelur pribadi, masing-masing berkapasitas 4.500 dan 5.000 ekor. Keberhasilan replikasi ini semakin menarik minat dari warga lain. Maka, sejak 2018, KPC dan Jupiter Farm memfasilitasi peternak lokal melalui kegiatan pelatihan, peningkatan kapasitas, dan forum pertemuan antarpelaku usaha.

Produksi telur peternak lokal dipasarkan ke toko-toko, pasar, koperasi karyawan dan instansi pemerintah. Pada tahun 2019, KPC mendorong pembentukan asosiasi peternak ayam petelur Sangatta. Pendirian asosiasi didorong karena beberapa hal: 1) kompetisi harga antara peternak; 2) kebutuhan

informasi dan jaringan pasar; dan 3) kebutuhan bibit dan pakan yang lebih murah. Melalui asosiasi, para anggota dapat melakukan pengadaan bibit ayam dan pakan secara kolektif sehingga biayanya menjadi lebih murah.

Melalui asosiasi, Pak Edi menjelaskan, para anggota secara bersama-sama mengatur dan menyepakati harga jual telur produksi lokal. Walaupun lebih banyak telur dari luar Kutai Timur yang dijual di pasaran, tapi hampir semua anggota asosiasi punya langganan. Pak Edy, menjual 3.000 butir per hari hanya kepada tiga pelanggannya saja. Menurut Sugeng Wiyatno, Superintendent *Conservation and Agribusiness Development* KPC, keunggulan telur Jupiter Farm adalah: lebih segar, jumlah yang busuk lebih sedikit, dan daya simpan lebih lama. Walaupun harga jual relatif lebih mahal, namun pelanggan sudah bisa memilih dengan pertimbangan utama konsistensi kualitas telur Jupiter Farm.

Sekarang, total anggota asosiasi mencapai 30 peternak, dengan total populasi ayam petelur sebanyak 60.000 ekor. Berdasarkan data dari asosiasi, rata-rata produktivitas harian berada di antara 75% - 80%. Berarti, dari semua anggota asosiasi, produksi telur di Kutai Timur minimal 45.000 - 56.000 butir telur per hari. Jumlah itu baru memenuhi 20% dari total kebutuhan telur se-Kutai Timur!

Konsumsi telur di Indonesia mencapai 18,44 kg per kapita tahun 2017 dan meningkat menjadi 28,16 kg per kapita tahun 2020. [4] Namun peningkatan konsumsi nasional tidak diiringi dengan peningkatan produksi lokal.[5] Produksi telur di Kaltim hanya naik sekitar 2.000 butir pada kurun 2019 - 2020.[6] Kecenderungan ini menunjukkan bahwa pengadaan telur di tingkat provinsi dan daerah, lebih banyak berasal dari luar. Di satu sisi, ini menunjukkan kerentanan kebijakan pangan daerah yang bergantung pada impor barang. Seperti yang diceritakan Pak Edi:

> " Dia (Piter Palinggi - anggota DPRD Kutai Timur) bilang, hampir 100% telur di Sangatta ini dikirim dari luar. Dia cerita kepada saya: pada suatu hari saat dalam perjalanan Samarinda - Sangatta, dia terjebak macet berjam-jam. Ternyata, ada satu truk tronton yang terguling di tengah jalan, menutupi dua jalur jalan. Truk penuh berisi telur; berantakan semua. Bayangkan telur sebanyak itu untuk kebutuhan orang Sangatta, dikirim dari Jawa."

Rencana terdekat adalah para anggota asosiasi akan mendirikan koperasi peternak ayam petelur Kutai Timur. Tujuannya untuk memenuhi kebutuhan usaha anggota peternak secara kolektif. Koperasi juga akan menjadi mitra YSB untuk pengadaan pakan yang diproduksi oleh pabrik pakan mini milik YSB. KPC membantu koperasi dengan pengadaan dua unit kandang pembesaran DOC ayam petelur. Dengan sarana ini, biaya pengadaan bibit ayam petelur bisa ditekan oleh koperasi untuk didistribusikan ke para anggotanya.

C.2.Air Kecubung Untuk Pertanian

Penambangan di Pit C *Bengalon Coal Project* (BCP) mewajibkan adanya titik penaatan keluaran air tambang. Kolam Kecubung Alpha, dan kolam Kecubung Bravo-Charlie (BC), adalah fasilitas kolam pengendap yang bertujuan untuk memastikan pengeluaran air tambang sesuai dengan baku mutu.[7]
Melalui kolam Kecubung Alpha - BC, air keluaran tambang diolah dan mendapat perlakuan agar kualitasnya memenuhi baku mutu. Air dikelola terlebih dahulu dengan diberikan perlakuan dan

[4] https://data.tempo.co/read/1091/konsumsi-telur-per-kapita-per-tahun diakses 20 Agustus 2021.
[5]http://troboslivestock.com/detail-berita/2020/11/18/55/13634/terbuka-peluang-menambah-populasi-unggas-di-kaltim diakses 20 Agustus 2021.
[6] https://www.bps.go.id/indicator/24/491/1/produksi-telur-ayam-petelur-menurut-provinsi.html diakses 20 Agustus 2021.
[7] Perda Kaltim No. 02 Tahun 2011 - Lampiran 1.27. Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan Pertambangan Batubara

pengecekkan rutin. Struktur labirin bertujuan untuk menahan laju air dan meningkatkan proses pengendapan. Kolam Kecubung juga menggunakan indikator alami seperti ikan, udang dan biota air lainnya. Kecubung Apha - BC menjadi sarana utama pengelolaan air keluaran tambang Pit C, sebelum dikeluarkan ke badan air Sungai Segadur. Bagi Dusun Segadur, berpopulasi kurang lebih 152 jiwa, Sungai Segadur adalah salah satu sumber air mereka. Terlebih bagi petani sawah, peladang palawija dan petambak ikan yang memanfaatkannya di sepanjang hilir DAS Segadur.

Kolam Kecubung Alpha-BC memiliki fungsi kritikal dalam ekosistem Sungai Segadur. Kualitas dan kuantitas air dari Kecubung menentukan keberlanjutan pertanian pangan lokal. Untuk memastikannya, sedari awal aspek sosial dan ekonomi pertanian DAS Segadur dimasukkan sebagai bagian utama dari analisis risiko proyek pembangunan kolam Kecubung Alpha-BC. Aspek sosial-ekonomi tidak hanya yang terkait dengan dampak langsung proyek. Tetapi juga menitikberatkan dari sudut pandang pemangku kepentingan pengguna air keluaran kolam Kecubung, seperti: isu keberlanjutan pertanian sekitar DAS Segadur, pola budidaya, sumber-sumber penghidupan petani-peladang dan diversifikasi sumber ekonomi lainnya yang tergantung pada sumber daya air. Hal-hal seperti nilai dan kebiasaan lokal dalam pengelolaan DAS, siapa saja aktor pertanian, bagaimana pengelolaan air di komunitas, bagaimana keterlibatan pemerintahan desa dalam pengaturan air, dan seterusnya masuk dalam penilaian. Proses menemukenali struktur masyarakat merupakan langkah penting untuk memastikan keberlanjutan pertanian pangan lokal, sebagai bagian pengelolaan proyek Kolam Kecubung Alpha-BC.

Langkah penting selanjutnya adalah pelibatan masyarakat. Pelibatan masyarakat dilakukan pada saat perencanaan, pelaksanaan proyek maupun pada tahap pendampingan. Pelibatan dilakukan melalui: 1) penyelenggaraan sesi komunikasi dan sosialisasi proyek. Melalui sesi ini KPC dapat membangun kepercayaan sekaligus mendapatkan umpan balik dari masyarakat; 2) Melakukan survey lokasi pekerjaan bersama masyarakat, terutama mereka yang lahannya dibebaskan dan atau terdampak karena pertaniannya tergantung dengan air Sungai Segadur; dan 3) melibatkan petani, pemerintah dan kontraktor KPC dalam menyusun rencana dan pelaksanaan kegiatan pemberdayaan masyarakat di bidang pertanian.

Proses komunikasi yang intens dengan pemangku kepentingan akan memberikan data dan informasi mengenai usaha pertanian di DAS Segadur. Dari para petani, diketahui bahwa masalah utama adalah tidak stabilnya debit air. Sehingga dalam setahun petani sawah maksimal menanam dua kali siklus tanam saja, dengan hasil panen per hektar 2-3 ton gabah kering. Selain itu, karena DAS Segadur adalah *flood plain* dan rawa, kondisi ini dapat menyebabkan fenomena air *bangar* disebabkan pembusukan organik yang dapat menurunkan tingkat kelarutan oksigen dalam air. Akibatnya, air berbau dan tidak ideal untuk pertanian dan perikanan.

Tim pemberdayaan masyarakat juga melakukan kajian potensi dan masalah di DAS Segadur. Masalah utama adalah tata kelola air antarkelompok tani. Sebelum pembangunan kolam Kecubung, belum ada mekanisme pengelolaan air pertanian secara kolektif. Kedua, terbatasnya lahan produktif akibat pasokan air yang labil. Petani pemilik sawah memilih untuk mendiamkan lahannya, agar terhindar dari risiko kegagalan. Bagi penggarap dan buruh tani, semakin berkurang lahan garapan mengakibatkan mereka harus mencari penghidupan di usaha non-pertanian. Ketiga, karena tingginya risiko kegagalan, maka sedikit untuk investasi sarana produksi. Akan tetapi, sebaliknya, tim juga menemukan potensi pertanian pangan di DAS Segadur. DAS Segadur mengaliri 90 hektar hamparan sawah potensial. Ada dua kelompok tani yang bertahan berbudidaya padi sawah dan ladang palawija. Selain itu, lokasi Segadur - Desa Sepaso Barat relatif terjangkau yang potensial secara ekonomis untuk pemasaran hasil panen.

Dari hasil analisis di atas, tim pelaksana program memutuskan untuk memusatkan pada tiga kegiatan utama. Pertama, peningkatan kapasitas Sungai Segadur melalui normalisasi pada tahun 2017. Tujuannya, agar daya tampung dan daya dukung Sungai Segadur konsisten untuk memenuhi keperluan pertanian dan sehari-hari warga. Kedua adalah peningkatan kapasitas petani. Bantuan yang diberikan berupa benih tanaman pangan, benih tanaman hortikultura, bantuan input (kapur pertanian, pupuk),

mesin pompa, alat olah tanah, sarana produksi, pelatihan dan studi banding. Total bantuan mencapai Rp.114.715.500. Ketiga dan terpenting adalah: penguatan kelembagaan pengelola air Sungai Segadur, agar sumber daya air dapat diakses secara merata oleh kelompok tani yang ada di hilir. Pengelolaan air keluaran kolam Kecubung BC merupakan hasil kesepakatan antara warga masyarakat pengguna air, pemerintah Desa Sepaso Barat dan KPC. Kesepakatan utama adalah menentukan jalur aliran air serta lahan siapa yang dialiri. Dengan adanya aliran air yang relatif stabil, Desa Sepaso Barat mengeluarkan kebijakan pembangunan infrastruktur air pintu dan saluran air tambahan di beberapa titik dalam lahan sawah dan ladang.

Dengan demikian, manfaat pengelolaan air tambang yang baik tidak hanya berhenti sampai titik penaatan, namun juga mengalir jauh sampai ke lahan pertanian desa. Adanya Kolam Kecubung juga mengubah wajah pembangunan di desa: tahun 2021 area pertanian sawah DAS Segadur mendapat bantuan pembangunan saluran irigasi dari Kementerian Pekerjaan Umum RI. Dinas Pertanian Kutai Timur juga memberikan bantuan teknis berupa alat olah tanah dan mesin panen. Bahkan, Koramil Bengalon ikut terlibat dalam percetakan dan budidaya padi sawah.

Sekarang, air keluaran dari kolam Kecubung BC dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian seluas lebih dari 80 hektar; terdiri dari lahan padi sawah seluas 70 hektar, ladang hortikultura seluas 5 hektar dan kolam ikan seluas 5 hektar. Kolam Kecubung bermanfaat untuk menjaga debit air menekan resiko banjir di daerah hilir DAS Segadur, sehingga siklus pertanian sawah dapat mencapai 2.5 putaran per tahun. Pertanian hortikultura pun berkembang secara progresif dengan diversifikasi komoditas: semangka, daun bawang, cabai, tomat, kangkung, bayam, melon dsb. Berikut adalah tabel capaian produksi pertanian Segadur dari dua kelompok tani: Bina Warga dan Harapan Jaya:

Tabel 1. Hasil Pertanian Segadur 2018 - 2020

Tahun	**Hasil Panen Tanaman Pangan (kg)**	**Omzet Komoditas Hortikultura (Rp.)**
2018		199.207.000
2019	124.564	941.078.500
2020	136.600	935.149.500

Data ini menunjukkan semakin terbukanya akses terhadap air dan dibarengi dengan pengelolaan sumber daya secara kolektif, dapat mendukung usaha pertanian dan produksi pangan yang berkelanjutan di sekitar tambang.

C.2.PENGEMBANGAN PUSAT PEMBIBITAN UNGGAS LOKAL

> "Ini sejarah! Belum pernah ada *lho* peternak dari dari Kalimantan, jadi juara di tingkat nasional. Apalagi ini ayam kampung! Biasanya yang menang dari Jawa atau Sulawesi. Kalau begini, bakal banyak yang datang ke Bengalon; mereka penasaran, kok bisa menang?"

Ade Zulkarnain, salah satu juri kelompok peternak unggas lokal berprestasi tingkat nasional, sekaligus ketua Himpunan Peternak Unggas Lokal Indonesia (Himpuli) berseloroh kepada saya saat expo peternakan internasional di Jakarta tahun 2015. Ia membocorkan:

> "Sewaktu ke Bengalon, kita dewan juri semua lewat jalan darat. Begitu tiba, kita langsung ke lokasi. Berapa lama Balikpapan- Bengalon? Delapan, sepuluh jam? Jauh sekali. Kita semua

> sempat ragu, apa ada yang beternak ayam kampung di sana? Sampai kita di sana, kita kaget. Ternyata di ujung dunia begini, ada yang *piara* ayam kampung! Saya membayangkan jauhnya bolak-balik, delapan-sepuluh jam hanya untuk ambil DOC (*day one chick* - bibit ayam berumur sehari). Ini yang bikin nilainya lebih dari (peternak) yang di Jawa."

Kelompok peternak yang mendapat penghargaan nasional, adalah salah satu dampingan KPC mulai dari tahun 2013. KPC memfasilitasi pelatihan, mengadakan studi banding dan membantu stimulan usaha. Bibit yang dibantu adalah jenis ayam lokal asli, dengan pertimbangan keaslian genetika unggas lokal Indonesia. Ada dua jenis ayam lokal yang diternakkan, yaitu ayam sentul dan ayam KUB (Kampung Unggul Balitnak). Dua-duanya adalah ayam lokal asli pedaging hasil penelitian Balitnak (Badan Penelitian Ternak) di Bogor.

Menurut Ade, Indonesia adalah salah satu dari tiga lokus peradaban dunia, selain Cina dan India, yang memiliki ayam 'asli'. Mengembangkan peternakan ayam lokal berarti mendukung perlindungan sumber daya genetika nasional sesuai dengan amanat undang-undang.[8] Perlindungan dan pengembangan sumber daya genetika ternak adalah prasyarat kedaulatan pangan. Akan tetapi, ada tantangan besar mengembangkan peternakan unggas lokal di Kalimantan Timur. Peternak unggas lokal di sini bergantung 100% pengadaan DOC dari pembibit di Jawa.

Risiko ini terbukti ketika pada tahun 2016 merebak wabah flu burung di Jawa Barat. Gubernur Kaltim memerintahkan untuk menutup semua pemasukan unggas, termasuk DOC unggas lokal, dari luar pulau. Akibatnya, lebih dari setengah kelompok peternak dampingan KPC di Bengalon yang pada tahun itu membudidayakan hampir 20.000 ayam lokal, terpaksa berhenti beternak. Usaha peternakan mereka tidak dapat berlanjut karena terputusnya pasokan bibit. Dampak signifikan lain adalah menciutnya pasar ayam lokal di Kutai Timur. Padahal, sebelum penutupan, salah satu peternak Kutai Timur bahkan sudah mengembangkan sistem jaringan pemasaran melalui agensi antarkota besar: Bontang, Samarinda, dan Balikpapan. Pada masa puncak, per bulannya ia bisa memasok 2.000 - 2.250 ayam ke para agen penjualannya. Di tingkat propinsi, kebutuhan DOC ayam lokal untuk peternakan rakyat per bulannya rata-rata mencapai 40.000 - 50.000 ekor di tahun 2015, dan diprediksi mencapai 60.000 ekor di tahun 2020. Perkiraan ini sejalan dengan tingginya konsumsi ayam lokal per kapita Kalimantan Timur yaitu 1.72 kg (2014), tiga kali lipat lebih tinggi dari konsumsi per kapita nasional sebesar 0,6 kg (2015-2016).[9]

Menanggapi situasi ini, pada tahun 2016, KPC bersama Himpuli menggelar seminar sehari mengundang akademisi dan perwakilan pemerintah daerah membahas isu keberlanjutan peternakan unggas lokal (ayam kampung) di Kutai Timur. Hasil seminar itu memberikan saran dan rekomendasi kepada semua pihak berkepentingan, mengenai perlunya *breeding farm* (peternakan pembibitan) unggas lokal (jenis ayam lokal asli) di Kutai Timur. Hasil seminar ditindaklanjuti dengan penandatanganan MoU pada tahun 2017 antara KPC, Pemkab Kutai Timur dan Himpuli Nasional. MoU tersebut diketahui oleh Dirjen Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian RI. MoU berisi komitmen semua pihak dalam mendukung pengembangan unggas lokal di Kutai Timur. KPC akan membangun pusat pembibitan ayam/unggas lokal di lahan pasctambang, sedangkan Himpuli berperan sebagai fasilitator pusat pembibitan, dan pemerintah daerah akan mendukung dari segi regulasi dan perijinan.

KPC bekerja erat bersama Himpuli nasional dan peternak lokal Kutai Timur, terutama dalam melakukan analisa dan kajian teknis rencana pembangunan pusat pembibitan unggas lokal selama dua tahun. Sampai pada tahun 2019 ditetapkanlah kawasan Peternakan Sapi Terpadu (Pesat) sebagai lokasi pengembangan pusat pembibitan unggas lokal. Penetapan Pesat sebagai lokasi proyek ini didasari beberapa pertimbangan. Pertama, dalam RPT KPC, Pesat ditetapkan sebagai kawasan pemanfaatan pascatambang. Kedua, luas dan kontur lahan sesuai. Pesat, memiliki luas 21 hektar, masih memiliki lahan datar yang dapat mengakomodir infrastruktur pembibitan unggas lokal. Ketiga, aksesibilitas dan

[8] Undang-undang nomor 18 tahun 2009 tentang Peternakan dan Kesehatan Hewan

[9] Outlook Daging Ayam: Komoditas Pertanian Subsektor Peternakan, 2016.

lokasi: areal Pesat sudah dikeluarkan (*exemption*) dari wilayah tambang, sehingga bisa memberikan ruang bagi berkembangnya aktivitas sosial-ekonomi yang lebih luas. Lokasi Pesat juga dilewati jalan utama yang strategis dan mendukung konektivitas prasarana pendukung lainnya seperti listrik dan air bersih.

Pusat pembibitan unggas lokal akan terdiri dari dua unit kandang pembibitan masing-masing berukuran 8 x 60 meter berjenis kandang terbuka yang dapat menampung enam ribu ayam indukan - *parent stock* (PS). Kapasitas produksi per kandang secara optimal akan mencapai 20.000 DOC per bulan. Selain kandang, project ini akan membangun unit pengeraman dan penetasan. Unit ini berisi tiga mesin pengeraman dan satu mesin penetasan berkapasitas 10.000 telur. Kawasan juga akan dilengkapi dengan kantor, mess, gudang pakan, dan fasilitas *biosecurity* lainnya.

Saat artikel ini ditulis, pekerjaan fisik infrastruktur sudah mencapai 65%. Semua infrastruktur akan menjadi aset YSB sebagai pengelola area pascatambang KPC. Berdasarkan target proyek, *chick in* DOC indukan bisa dilakukan bulan September 2021, dan produksi perdana DOC bibit bisa dicapai pada bulan Maret 2022. Selain DOC, produk turunan dari pusat pembibitan ini adalah telur ayam kampung, pupuk kandang, dan karkas ayam lokal afkir.

Pusat pembibitan unggas lokal di lahan pascatambang ini bertujuan untuk menghasilkan DOC ayam lokal jenis ayam sentul yang lebih murah dan bersertifikat layak bibit dari pembibit bersertifikat. DOC yang dihasilkan dari pusat pembibitan akan dijual pada peternak ayam, baik itu berupa kelompok peternak, Badan Usaha Milik Desa, maupun perorangan. Manfaat dari keberadaan pusat pembibitan unggas lokal di Kutai Timur adalah, penurunan harga DOC *final stock* mencapai 40% - 45%. Sekarang, harga bibit DOC mencapai Rp 15.500, dan itu pun belum termasuk ongkos kirim dari Balikpapan. Selain itu, produksi 20.000 bibit DOC per bulan akan berkontribusi memenuhi 25%-30% dari kebutuhan DOC se-provinsi Kaltim.

D. KESIMPULAN

> Ia mengambil spidol, dan berdiri ke bingkai foto di sisi pintu ruangannya. Tergantung dokumen kebijakan Keselamatan Pertambangan Lingkungan Hidup dan Keamanan KPC. Ia menggarisbawahi sebaris kalimat di bawah anak judul 'Kebijakan Lingkungan': "*mengembalikan semua areal bekas tambang ke dalam kondisi yang aman, stabil dan produktif sejalan dengan Rencana Penutupan Tambang*."

Manager Departemen Environment KPC mengingatkan saya hakikat pascatambang KPC. Menurutnya, apa yang dihasilkan dari pascatambang pada intinya adalah ketersediaan lahan (produktif) dan air. Ia mencoba merefleksikan perjalanan sepuluh tahun RPT KPC. Ia menekankan tiga aspek penting: perencanaan sedini mungkin, pengorganisasian di internal, dan hubungan dengan semua pemangku kepentingan.

Di dalam lingkup internal, dokumen rencana pascatambang (RPT) bernilai kritikal karena menjadi rujukan semua unit kerja menerjemahkan teknis pengembangan kawasan, mengidentifikasi dampak, dan menetapkan prioritas. Rencana pascatambang juga politis dalam waktu yang bersamaan. Volatilitas komoditas tambang, menyebabkan dinamisnya rencana penambangan. Dengan rencana dini mengintegrasikan isu pangan dalam pascatambang, ini menjadi komitmen perusahaan menghadapi bisnis pertambangan global yang dinamis. Komitmen ini diturunkan secara teknis salah satunya melalui konsistensi pengelolaan lingkungan dan keluasan cakupan sosial dalam setiap analisis risiko. Pentingnya perencanaan di awal, ditegaskan banyak peneliti pembangunan berkelanjutan (Harris dan Harris 2001: 73 - 75; Hitchcock dan Willard 2008: 53 - 56).

Di lingkup eksternal, perusahaan adalah salah satu aktor sosial di dalam masyarakat. Sebagian

menyebutnya dengan konsep *corporate citizenship* (Camilleri 2017: 99 - 114), sebagian menggunakan konsep *personhood* (Dolan dan Rajak 2016; Welker 2014). Sebagai aktor sosial, perusahaan selalu dalam hubungan timbal balik dengan lingkungan sosialnya. Pengaruhnya dapat berdampak pada ketergantungan ekonomi, konflik lokal, eksklusi, dsb (Coumans 2011; Hall et al 2020; Li 2012; Kirsch 2014; Welker 2014). Lebih khusus, apabila intervensi program pembangunan pertanian pangan hanya mengikuti model Revolusi Hijau/neoliberal, hal ini malah dapat menguatkan hubungan patronase dan menyebabkan ketimpangan struktural (Bernstein 2019; Breman dan Wiradi 2004; Hüsken 1998; Li 2002; Mcmichael 2020; Welker 2014). Namun, sebagaimana yang dibahas sebelumnya, sebagai aktor sosial dengan kekuatan finansial, teknologi, jaringan dan - dalam batas tertentu - kapasitas politik, perusahaan tambang bisa berperan sebagai pelaku perubahan. Melalui inisiatif pembangunan yang berpihak, afirmasi terhadap akses sumber daya alam yang inklusif, dan mendukung kerja advokatif kelembagaan, perusahaan dapat mendukung keberlanjutan usaha tani dan ketahanan pangan lokal. Perubahan kebijakan dan arah pembangunan yang lebih luas bisa diinisiasi melalui program pangan pascatambang.

Perusahaan dapat menjawab isu struktural mengenai aksesibilitas pelaku usaha terhadap sumber daya kawasan pascatambang. Penentuan fungsi dan pemanfaatan kawasan pascatambang oleh KPC untuk program pangan yang dinyatakan dalam dokumen-dokumen formal (AMDAL, RPT, RKAB, PPM, dst) tidak hanya menunjukkan komitmen, namun juga kepastian bagi tim pelaksana di lapangan untuk menerjemahkan program dan melibatkan pemangku kepentingan dalam tindak lanjut teknis.

Cerita pertanian di DAS Segadur menunjukkan bahwa pertanian yang berada di lingkar tambang, menghadapi tingkat kerentanan yang tinggi. Petani mengandalkan sumber air dari Sungai Segadur. Apabila pasokan air Sungai Segadur tidak tercukupi, maka pilihannya adalah mengubah sistem pertaniannya menjadi pertanian sawah tadah hujan dan ladang berpindah. Apabila ini terjadi, dampaknya penurunan produktivitas lahan, yang dapat berakibat menurunnya kemampuan konsumsi rumah tangga petani. Pelajaran dari pengelolaan kolam Kecubung dan pertanian di hilir DAS Segadur selama kurang lebih enam tahun, menunjukkan bahwa tidak ada proses yang cepat. Komitmen dalam mendukung keberlanjutan pertanian dan pangan perlu diwujudkan bahkan dari awal sebelum proyek direalisasikan. Dengan mengakui dampak yang mungkin terjadi terhadap keberlanjutan pertanian - melalui analisa risiko yang komprehensif - serta konsisten melibatkan masyarakat pada tahap-tahap kritikal, KPC menempatkan program pascatambang di dalam hubungan dan struktur sosial yang lebih luas.

Di dalam kisah program ayam petelur Jupiter Farm dan pembibitan unggas lokal di Pesat, pascatambang menyimpan potensi yang luar biasa besar terhadap keberlanjutan usaha pertanian dan produksi pangan lokal. Pascatambang dapat menjawab masalah ketersediaan lahan pertanian sebagai sebagai sarana utama produksi pangan. Akan tetapi, seperti yang kita lihat, fakta bahwa adanya lahan pascatambang yang ekstensif saja tidak cukup. Pendampingan organisasi juga mendorong advokasi isu pangan. Pada cerita peternak ayam petelur dan peternak ayam kampung, keberadaan asosiasi peternak memungkinkan peternak lokal Kutim untuk menyuarakan masalah yang mereka hadapi di tingkat pembuat kebijakan. Ini adalah faktor kritikal, mengingat pertanian di lahan pascatambang adalah subyek yang rumit karena kaitannya dengan undang-undang yang berbeda-beda dengan aturan lintas kementrian yang berbeda-beda pula. Aktivitas advokasi yang didukung oleh KPC melalui organisasi pelaku usaha/produsen, memungkinkan adanya *affirmative action* semua pihak yang terkait, khususnya pemerintah dalam memberikan dukungan terhadap proyek pangan di pascatambang.

Lebih lanjut, dari pembahasan di atas, kita dapat melihat strategisnya aspek pengorganisasian pelaku usaha pertanian, baik dalam proses pemberdayaan maupun pengelolaan sumber daya. Organisasi dapat berwujud: kelompok tani, asosiasi, atau koperasi. Secara teknis pendekatan melalui organisasi bertujuan untuk menumbuhkan petani/produsen pangan sebagai subjek yang berdaya. Pelatihan, pendampingan teknis, dan akses terhadap sarana atau bantuan ditujukan melalui jaringan organisasi. Tujuannya agar sumber daya dapat dimanfaatkan secara kolektif.

Kekuatan kolektif dalam organisasi juga bertujuan untuk memberikan perlindungan sesama produsen pangan, terutama pada proses integrasi dan konsolidasi dengan pasar pangan yang lebih luas. Pasar pangan di Kutai Timur yang terintegrasi dengan pasar bebas bisa menjadi ancaman bagi keberlangsungan usaha pertanian dan produsen pangan lokal. Harga jual yang lebih murah, kekuatan sarana produksi, dan kemampuan modal yang lebih besar dari usaha pangan skala besar, dengan mudah dapat mematikan inisiatif usaha pangan lokal.

Maka dibutuhkan kemampuan pengorganisasasian pelaku usaha (melalui asosiasi dan koperasi) untuk mengantisipasi ancaman dan menghadapi risiko-risiko, seperti: kenaikan harga input (bibit, pupuk, pakan, dsb), fluktuasi permintaan pasar lokal, dan aksi *dumping* komoditas dari luar daerah. Organisasi juga berperan penting dalam replikasi usaha dan memperbanyak produsen pangan lokal dengan membuka akses terhadap sarana produksi secara kolektif (air, mesin pertanian, kandang, pembibitan, dsb) akses pengetahuan, jaringan pasar dan teknis usaha yang berjalan.

Pengorganisasian dan hubungan kelembagaan penting, terutama dalam konteks pengelolaan pascatambang sebagai sumber daya daerah. Sumber daya yang dimanfaatkan secara kolektif, dapat mendatangkan bencana apabila tidak dibarengi dengan pranata sosial. Kerusakan lingkungan, eksploitasi berlebih, ketimpangan kelas, serta konflik terbuka bisa terjadi karena kombinasi antara kapitalisasi usaha dan perebutan sumber daya pascatambang (Titus 2008: 290-294). Pendekatan struktural melalui membuka akses dan penguatan organisasi inilah yang menjadi penentu dari program pertanian pascatambang. Pascatambang yang dapat mewujudkan ketahanan pangan yang berkelanjutan dan memberikan kesejahteraan bagi masyarakat di sekitar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang sudah memberikan bantuan dan dukungan selama penulisan makalah ini. Kepada Kris Pranoto, Sugeng Wiyatno, Subagya, Edi Palinggi, Rexy, Adi Mulyono, dan Ibrahim, terima kasih atas waktu dan wawasan yang diberikan sehingga saya dapat merampungkan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anbiyak, Nur., Sudrajat, Jajat., Octavya, Putri Elma. (2020) *Kerangka Regulasi Kegiatan Pascatambang Bendungan Tailing Di Indonesia*. Prosiding XXIX Perhapi 2020.PERHAPI.

Breman, Jan. and Gunawan Wiradi. (2004): *Masa Cerah Dan Masa Suram Di Pedesaan Jawa: Studi Kasus Dinamika Sosio-Ekonomi Di Dua Desa Menjelang Akhir Abad Ke-20.* Jakarta: LP3ES.

Camilleri, Mark Anthony. (2017): *Corporate Sustainability, Social Responsibility and Environmental Management*. Cham: Springer International Publishing.

Emerson, Robert M., Fretz, Rachel I., Shaw, Linda L. (2011): *Writing ethnographic fieldnotes.* Chicago. The University of Chicago Press.

KPC. (2021): *Usaha Peternakan Ayam Petelur di Masyarakat Mendukung Program Ketahanan Pangan dan Gizi. Materi Presentasi*. Materi Presentasi Sidang ISDA 2021. Tidak diterbitkan.

KPC. (2021): *Air Sampai Jauh: Kelola Air Tambang Untuk Pertanian Berkelanjutan.* Materi Presentasi Sidang ISDA 2021. Tidak diterbitkan.

Harris, Leonard, and Rosa H. Harris. (2001): "The Importance of Community Assistance in the Mining Industry." Essay. *In Politics of Mining What They Don't Teach You in School*, edited by Deepak Malhotra, 73–80. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

Hall, Derek, Philip Hirsch, and Tania Li. (2020): Kuasa Eksklusi: Dilema Pertanahan Di Asia Tenggara. Diterjemahkan oleh Darmanto Simapea and Achmad Choirudin. Yogyakarta: Insist Press.

Hüsken, Frans. (1998): *Masyarakat Desa Dalam Perubahan Zaman: Sejarah Diferensiasi Sosial Di*

Jawa, 1830-1980. Jakarta: PT Gramedia Widiasarana Indonesia.

Hitchcock, Darcy E., Willard, Marsha L. (2008): *The Step-by-step Guide to Sustainability Planning: How to Create and Implement Sustainability Plans in Any Business Or Organization*. London: Earthscan.

Li, Tania Murray. (2002): *Proses Transformasi Daerah Pedalaman Di Indonesia*. Diterjemahkan oleh S N Kartikasari and Sumitro. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

Li, Tania Murray. (2014): *Kisah Dari Kebun Terakhir: Hubungan Kapitalis Di Wilayah Adat.* Diterjemahkan oleh Nadya Karimasari and Ronny Agustinus. Serpong, Tanggerang Selatan: Marjin Kiri.

Li, Tania Murray. (2012): *The Will to Improve Perencanaan, Kekuasaan, Dan Pembangunan Di Indonesia.* Diterjemahkan oleh Pujo Semedi and Heri Santoso. Serpong, Tanggerang: Marjin Kiri.

McMichael, Philip. (2020): *Rezim Pangan dan Masalah Agraria*. Yogyakarta: Insist Press

Titus, Milan J. (2008): "Indonesian Rural Livelihood and Resource Use in Crisis, 277–96. *dalam* Milan J. Titus and Paul M Burgers,. eds,. *Rural Livelihoods, Resources and Coping with Crisis in Indonesia a Comparative Study*,. Amsterdam: Amsterdam University Press.

Tuheteru, Edy Jamal., Gautama, Rudy Sayoga., Kusuma, Ginting Jalu., Pranoto, Kris. (2018): *Pit Lake Sebagai Alternatif Kegiatan Pascatambang*. Prosiding XXVII Perhapi 2018. PERHAPI.

Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian (2016). *Outlook Daging Ayam: Komoditas Pertanian Subsektor Peternakan*.

Responsible Mining Foundation (RMF) dan Columbia Center on Sustainable Investment. (2020). *Pertambangan dan TPB/SDGs: Pembaruan status 2020.*

Sihotang, Dewi Ririn., Sudrajat, Jajat. (2018): *Dampak Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Pemerintahan Daerah: Studi Kasus Pengalihan Kewenangan Reklamasi Dan Pascatambang IUP Dalam Rangka PMA*. Prosiding XXVII Perhapi 2018. PERHAPI.

Undang-undang No. 3 (2020): tentang Perubahan atas Undang Undang No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Pub. L. No. 3.

Van Maanen, John. (2001): *Tales of the field: on writing ethnography* 2nd ed. Chicago: The University of Chicago Press.

Welker, Marina. (2014): *Enacting the Corporation: An American Mining Firm in Post-Authoritarian Indonesia*. California: University of California Press.

PREDIKSI NILAI *UNIT-COST* PENAMBANGAN BIJIH NIKEL DI INDONESIA MENGGUNAKAN *COMPARATIVE* DAN *STATISTICAL APPROACH*

Ratna Mustika Dewi[1)*], Indra Yuspiar[2], Barlian Dwinagara[3], Lidana Erfiandri[4], Indra Wahyu Murtyanto[4], Istifari Husna Rekinagara[4], Aldin Ardian[3]

1) Prodi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*
2) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
3) Prodi Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
4) PT Studio Mineral Batubara

ABSTRAK

Indonesia menduduki peringkat pertama sebagai produsen nikel terbesar di dunia. Meningkatnya kebutuhan nikel secara global dalam pengembangan mobil listrik memberikan dampak positif terhadap industri tambang nikel di Indonesia. Hal tersebut berkaitan dengan pemanfaatan nikel sebagai komponen baterai mobil listrik. Lebih dari itu, Indonesia merupakan negara dengan cadangan bijih nikel terbesar di dunia (sekitar 32,7%). Pada tahun 2019, ESDM mencatat produksi nikel Indonesia mencapai 800 ribu ton. Dalam kegiatan penambangan, biaya (*cost*) menjadi komponen penting untuk mencapai titik optimal fungsi keuntungan (*profit*). Biaya penambangan per ton (*unit-cost*) dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan tingkat efisiensi dari suatu kegiatan penambangan. Akan tetapi, masih banyak ditemui berbagai permasalahan terkait formulasi *unit-cost* yang tidak seragam antara satu perusahaan dengan perusahaan lainnya. Maka dari itu, penelitian ini akan mengkaji estimasi *unit-cost* dengan dua pendekatan yaitu *comparative* dan *statistics*. Berdasarkan penelitian ini, didapatkan nilai *unit-cost* yang berkisar antara US$9,97/ton hingga US$18,23/ton menggunakan *comparative approach.* Rekomendasi yang diberikan yaitu menggunakan metode rasio pembanding, dengan beberapa variabel berupa gaji, total biaya penambangan *(total cost)*, dan produksi per tahun. Sementara, *statistical approach* menghasilkan formulasi *unit-cost* $y = 2{,}47 \times 10^{-14}(x)^2 - 1 \times 10^{-6}(x) + 23{,}87$.

Kata Kunci: Penambangan nikel, Pendekatan komparatif, Pendekatan statistik, *Unit-cost*

ABSTRACT

Indonesia has the highest world rank as the largest nickel producer. The increasing global demand for nickel in the development of electric cars has a positive impact on the nickel mining industry in Indonesia. Moreover, Indonesia is a country with the largest nickel ore reserves in the world (around 32.7%). In 2019, Ministry of Energy and Mineral Resources Indonesia recorded Indonesia's nickel production reached 800 thousand tons. This is related to the use of nickel as a component of electric car batteries. Moreover, Indonesia ranks as the second-largest nickel producer in the world. In mining activities, the cost is a crucial component to reach the optimum profit function. Mining cost per ton (i.e., unit-cost) can be used as a parameter to determine the efficiency level of a mining activity. However, there are still many problems related to generalize the unit-cost formulation between one company to another. Therefore, this study will examine two approaches in determining the unit-cost formulation, which are comparative and statical approach. As a result, the comparative approach showed the unit-cost of the nickel ore mining in Indonesia was in the range of US$9,97/ton to US$18,23/ton. The recommended method in this approach was used a comparative ratio method with some variables such as, salary, total cost, and annual production. Meanwhile, based on the statistical approach, the unit-cost formulation is $y = 2{,}47 \times 10^{-14}(x)^2 - 1 \times 10^{-6}(x) + 23{,}8$.

Keywords*: Comparative approach, Nickel mining, Statistical approach, Unit-cost*

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen nikel terbesar di dunia (Utami, Suci S., 2020). Sebagai negara pengekspor nikel, Indonesia memiliki cadangan bijih nikel mencapai 4.346 juta ton (terbukti 3.360 juta ton dan terkira 986 juta ton) (Badan Geologi, 2020). Kegiatan pertambangan, khususnya pertambangan nikel telah memberikan dampak positif kepada kas negara dari pajak dan royalti. Perhitungan pajak dihitung berdasar persentase pendapatan bersih *(net income)*, sedangkan royalti dihitung berdasarkan pendapatan *(revenue)*. Dari sini terlihat bahwa, semakin tinggi biaya penambangan *(mining cost)*, semakin rendah pendapatan negara dari sisi pajak. Hingga saat tulisan ini dibuat, kontrol biaya oleh pemerintah belum menjadi isu prioritas pengelolaan pertambangan. Terlebih lagi, kontrol biaya oleh perusahaan biasanya kurang menjadi perhatian saat harga komoditas tinggi.

Dari sisi pemerintah, kontrol biaya dapat dilakukan dengan pendekatan target produksi penambangan. Pendekatan tersebut memerlukan perkiraan biaya per satuan berat atau biasa disebut *unit-cost*, misalnya US dollar per ton atau US dollar per pound (Hustrulid, et al., 2013; Koller, Goedhart, & Wessels, 2010). *Unit-cost* dapat menjadi tolok ukur performa kegiatan penambangan. Semakin rendah *unit-cost*, dapat menjadi indikator bahwa kegiatan penambangan lebih efisien dibandingkan dengan proyek dengan *unit-cost* lebih tinggi. Selain itu, rendahnya *unit-cost* berdampak pada semakin tingginya keuntungan yang diterima perusahaan dan pendapatan negara dari pajak. Oleh karena itu, memahami dan mengetahui nilai *unit-cost* menjadi hal penting. Pada penelitian ini, pendekatan formulasi model estimasi *unit-cost* akan menggunakan metode pendekatan *comparative* dan *statistics.*

B. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kuantitatif dan deskriptif, dengan tahapan sebagai berikut: akuisisi data, pengolahan data, studi literatur, dan analisis data. Akuisisi data merupakan proses pengumpulan data, baik primer maupun sekunder yang akan digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengolahan data. Data yang diambil berupa biaya penambangan dan produksi tahunan dari Laporan Rencana Kerja dan Anggaran Belanja (RKAB).

Tahap selanjutnya yaitu pengolahan data. Data primer dan sekunder yang telah didapat kemudian diolah menggunakan *software Microsoft Excel* dan *Matlab* sesuai dengan pendekatan yang digunakan, yaitu *statistical approach* dan *comparative approach.* Hasil dari pengolahan data akan digunakan sebagai dasar analisis penelitian ini.

C. TINJAUAN PUSTAKA

Comparative Approach

Pada pendekatan perbandingan (*comparative approach*), dua jenis metode akan dijabarkan pada penelitian ini. Metode pertama, perhitungan *unit-cost* dengan *comparative approach* didapat dengan membandingkan proyek penambangan nikel yang sudah diketahui nilainya secara rata-rata (μ). Nilai rata-rata di sini dapat menggunakan nilai rata-rata aritmatik atau nilai median, tergantung parameter mana yang dianggap lebih merepresentasikan keadaan aktual (*robust*). Kemudian, untuk memberi ruang toleransi, diberikan nilai baawah dan atas yang direpresntasikan oleh standar deviasi (σ). Secara umum, *comparative approach* dapat diformulasikan pada UC = μ ± σ) di bawah ini:

$$UC = \mu \pm \sigma \qquad (1)$$

di mana μ adalah nilai rata-rata dan σ nilai volatilitas yang direpresentasikan oleh standar deviasi. Agar UC = μ ± σ) dapat digunakan untuk waktu yang lama, laju inflasi harus diperhitungkan dalam perhitungan nilai rata-rata (μ) dan standar deviasinya (σ).

Metode kedua, nilai *unit-cost* dihitung secara relatif berdasar rasio variable penyusunnya. Pada penelitian ini, rasio biaya gaji dengan biaya total (*total cost*), biaya gaji dengan produksi (tonase bijih), dan biaya total dengan produksi dapat dilihat pada Persamaan

$GajiTC$ ($1\frac{Gaji}{OT}$ ($2\frac{TC}{OT}$

(3) di bawah ini secara berurutan.

$$\frac{Gaji}{TC} \quad (1)$$

$$\frac{Gaji}{OT} \quad (2)$$

$$\frac{TC}{OT} \quad (3)$$

di mana *Gaji* adalah upah seluruh karyawan untuk menunjang kegiatan penambangan di perusahaan tersebut, *TC* adalah total cost atau seluruh biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan seluruh produksi bijih, dan *OT* adalah produksi (*ore tonnage*).

Hasil perhitungan dari metode ini berupa rasio pembanding apakah perusahaan tersebut memiliki rasio yang wajar dengan perusahaan sejenis lainnya. Dengan kata lain, misal rasio Gaji/TC perusahaan X lebih besar dibanding perusahaan Y, maka perusahaan X dianggap mengeluarkan komponen biaya gaji lebih tinggi terhadap komponen biaya total. Contoh lainnya, misal pada rasio TC/OT perusahaan X lebih besar dari perusahaan Y, maka perusahaan X mengeluarkan biaya lebih besar untuk mendapatkan per ton bijih. Artinya, perusahaan Y lebih efisien secara komponen biaya penambangan (TC) dibanding perusahaan X.

Statistical Approach

Pendekatan statistik merupakan teknik paling populer dalam mengestimasi biaya. Rumus estimasi *unit-cost* paling terkenal dan masih digunakan sampai sekarang yaitu dari penelitian O'Hara (1980), beliau menggunakan data-data biaya dan produksi dari sedikitnya 9 negara dan 17 tahun pengalaman bekerja di industri pertambangan global. Dari data tersebut, model prediksi terbentuk menggunakan pendekatan statistik (*statistical approach*). O'Hara mendapatkan formulasi untuk memprediksi *Capital cost, maintenance cost, labor cost,* untuk tambang terbuka maupun bawah tanah.

Pendekatan statistik juga masih digunakan oleh Shafiee dan Topal (2012) untuk memprediksi biaya penambangan batubara dengan sistem terbuka. Dalam penelitiannya, Shafiee dan Topal (2012) menggunakan data produksi, biaya modal, biaya operasi, cadangan, dan tahun akhir tambang (*end of mine life*) dari 20 perusahaan tambang batubara di Australia. Dalam penelitian tersebut perlu diperhatikan bahwa biaya modal dan biaya operasi dipengaruhi oleh ketebalan cadangan, stripping ratio, dan tingkat produksinya. Sehingga, penelitian tersebut menghasilkan rumus prediksi biaya operasi per ton berdasar ketebalan cadangan, stripping ratio, biaya modal, dan tingkat produksi.

Dengan dasar 2 penelitian di atas, maka dalam penelitian ini, pendekatan statistik juga digunakan untuk memprediksi *unit-cost* pertambangan nikel di Indonesia. Namun terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan pendekatan statistik. Pada pendekatan statistik, jumlah dan reliabilitas data menjadi hal yang penting (Shafiee dan Topal, 2012). Hal tersebut bertujuan agar sample yang diambil diharapkan mampu menggambarkan populasi.

Model matematis pendekatan statistik dapat dibedakan menjadi dua, linear dan non-linear. Secara umum, terdapat satu variable terikat yang dilambangkan dengan huruf *y* dan minimal 1 variabel bebas dilambangkan dengan huruf *x*. Model *linear* dapat digambarkan dengan Persamaan $y=\alpha+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_n x_n+\varepsilon$ (*4*).

$$y=\alpha+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_n x_n+\varepsilon \quad (4)$$

di mana *y* adalah variabel terikat, α adalah *intercept*, β adalah *slope* atau *gradient*, *x* adalah variabel bebas, ε adalah error atau tingkat kesalahan, n adalah jumlah variabel bebas. Nilai *slope* didapat dengan menggunakan Persamaan $\beta=\frac{cov\,(x,y)}{var\,(x)}$ (*5*),

sedangkan *intercept* menggunakan Persamaan $\alpha=\bar{y}-\hat{\beta}(\bar{x})$ (*6*) di bawah ini:

$$\beta = \frac{cov\,(x,y)}{var\,(x)} \quad (5)$$

$$\alpha = \bar{y} - \hat{\beta}(\bar{x}) \quad (6)$$

di mana $cov\,(x,y)$ adalah *covariance x* terhadap *y*, dapat dihitung dengan Persamaan $cov(x,y) = \frac{\sum(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{n-1}$ (*7*). Sementara $var(x)$ adalah *variance x* dapat dihitung dengan Persamaan $var\,(x) = \frac{\sum(X_i-\bar{X})}{n-1}$ (*8*), $\bar{y}$ dan $\bar{x}$ adalah nilai mean variabel *x* dan *y*, secara berurutan:

$$cov(x,y) = \frac{\sum(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{n-1} \quad (7)$$

$$var\,(x) = \frac{\sum(X_i-\bar{X})}{n-1} \quad (8)$$

Sedangkan untuk model *non-linear*, memiliki jenis yang lebih bervariasi. Dalam penelitian ini, model non-linear yang dianalisis adalah eksponensial, logaritmik, power, dan polinomial. Model-model non-linear tersebut dapat dilihat pada Persamaan $y=\alpha e^{\beta x}+\varepsilon$ (*9*)$y=\alpha ln(x)+\beta+\varepsilon$ (*10*)$y=\alpha(x)\beta+\varepsilon$ (*11*), dan $y=\alpha(x)^2+\beta(x)+\varepsilon$ (*12*), secara berurutan:

$$y = \alpha e^{\beta x} + \varepsilon \quad (9)$$

$$y = \alpha\, ln(x) + \beta + \varepsilon \quad (10)$$

$$y = \alpha(x)^{\beta} + \varepsilon \quad (11)$$

$$y = \alpha(x)^2 + \beta(x) + \varepsilon \quad (12)$$

Persamaan (10) dan (12) dapat ditransformasi menjadi persamaan linear, sehingga nilai α dan β dapat diprediksi menggunakan Persamaan $ln\quad(y) = ln\,(\alpha) + \beta x$ (*13*) dan $ln\quad(y) = ln\,(\alpha) + \beta ln\,(x)$ (*14*), secara berurutan.

$$ln\,(y) = ln\,(\alpha) + \beta x \quad (13)$$

$$ln\,(y) = ln\,(\alpha) + \beta ln\,(x) \quad (14)$$

Sedangkan, koefisien α dan β pada Persamaan $y=\alpha\, ln(x)+\beta+\varepsilon$ (*10*), $y=\alpha(x)^2+\beta(x)+\varepsilon$ (*12*), $ln\quad(y) = ln\,(\alpha) + \beta x$ (*13*), dan $ln\quad(y) = ln\,(\alpha) + \beta ln\,(x)$ (*14*) diestimasi menggunakan algoritma *Cramer's rule*.

$$\alpha/\beta = \frac{det\,(M_i)}{det\,(M)} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \\ \sum_{i=1}^{N} x_i^2 & \sum_{i=1}^{N} x_i^4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{N} y_i \\ \sum_{i=1}^{N} x_i^2 y_i \end{bmatrix} \quad (16)$$

di mana $\det\,(M_i)$ adalah determinan matrix M pada kolom ke-*i*.

Sebagai tambahan informasi, O'Hara (1980) mendapatkan model *non-linear* eksponensial untuk memprediksi biaya, sedangkan Shafiee dan Topal (2012) menghasilkan model signifikan pada model *linear* dengan nilai R^2 sebesar 0,95.

Nilai *adjusted* R^2 didapatkan dari persamaan berikut (Lacy, M. G., 2006):

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (17)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2}$$

Nilai MSE *(Mean Squared Error)* dan MAER *(Mean Absolute Error Rate)* didapatkan dari persamaan $MSE=1⁄n∑ (C_e - C_a)^2$ (*18*) $MAER=1nCe-Ca⁄C_a$ (*19*) berikut, secara berurutan:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum(C_e - C_a)^2 \quad (18)$$

Keterangan:
C_e adalah nilai prediksi
C_a adalah biaya aktual
n adalah jumlah sample.

$$MAER = \frac{1}{n}\sum\left|\frac{C_e - C_a}{C_a}\right| \quad (19)$$

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Data

Pada penelitian ini, dilakukan modifikasi komponen *unit-cost* dengan generalisasi komponen *unit-cost* untuk menghilangkan komponen *outlier* (komponen yang dianggap tidak harus ada) pada setiap proyek penambangan nikel. Komponen-komponen *unit-cost* yang menjadi data untuk dianalisis dan menjadi dasar prediksi *unit-cost* antara lain:

1. Biaya bahan bakar & pelumas
2. Biaya bahan dan biaya lain
3. Biaya pegawai
4. Biaya jasa
5. Biaya pajak, iuran & retribusi
6. Biaya depresiasi & amortisasi

Formulasi Comparative Approach

1. Metode Rata-rata dan varian

Dalam mencari nilai *central tendency* dari suatu data, dapat digunakan 3 metode, yaitu: median, modus, dan mean (rata-rata). Pada penelitian ini, nilai μ direpresentasikan oleh nilai median, karena memiliki nilai yang lebih *robust* dibandingkan dengan nilai rata-rata aritmatik. Dari data yang tersedia, didapatkan nilai μ biaya penambangan bijih nikel sebesar US$14,10/ton.

Tingkat volatilitas dalam *comparative approach* direpresentasikan oleh nilai standar deviasi. Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan, maka standar deviasi (σ) untuk proyek penambangan

nikel yaitu sebesar US$4,13/ton. Nilai μ, σ, dan nilai atas dan nilai bawah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai μ; σ; serta Nilai Atas dan Nilai Bawah Pertambangan Nikel di Indonesia

Parameter	Nilai	Satuan
1 x Std dev	4,13	US$/ton
Batas bawah	9,97	US$/ton
Median (μ)	14,10	US$/ton
Batas atas	18,23	US$/ton

Setelah menentukan nilai μ dan nilai σ, nilai *unit-cost* penambangan nikel dapat diprediksi menggunakan Persamaan (1). Maka, nilai *unit-cost* penambangan nikel di Indonesia berkisar antara US$9,97/ton hingga US$18,23/ton.

Pendekatan *comparative* dengan metode rata-rata dan varian sangat cepat dalam perhitungannya karena kisaran angka *unit-cost* sudah ditentukan. Pendekatan tersebut juga memberikan ruang ketidakpastian dengan memberi nilai atas dan bawah menggunakan standar deviasi. Namun, pendekatan ini perlu dilakukan kalibrasi nilai dengan tingkat laju inflasi tiap tahun.

2. Metode Rasio

Penggunaan metode ini cukup sederhana, yaitu menggunakan Persamaan (2), (3), dan (4). Rasio biaya gaji (Gaji) dengan biaya total (TC), biaya gaji dengan tonase produksi bijih (OT), dan biaya total dengan tonase bijih untuk proyek penambangan nikel di perusahaan A dan perushaan B dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Rasio Masing-masing Parameter pada Penilaian *Unit-Cost*

Rasio	Perusahaan	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gaji/TC	A	–	–	–	–	0.28	0.29	0.16	0.15
	B	0.21	0.18	0.18	0.16	0.12	0.15	0.16	0.15
Gaji/OT	A	–	–	–	–	5.98	6.47	5.03	6.86
	B	2.37	2.35	2.33	2.15	1.46	1.89	2.13	1.95
TC/OT	A	–	–	–	–	21.17	22.40	7.22	10.00
	B	11.39	13.13	12.76	13.17	11.82	12.74	13.61	12.85

Dari Tabel 2 terlihat bahwa PT A pada rasio gaji karyawan terhadap total cost (Gaji/TC), komponen gaji berkontribusi lebih besar terhadap total biaya penambangan nikel dibandingkan PT B pada tahun 2015 dan 2016. Begitu juga biaya gaji yang dikeluarkan oleh perusahaan A untuk mendapatkan per ton bijih nikel (Gaji/OT), nilainya lebih besar daripada perusahaan B.

Pendekatan *comparative* dengan metode rasio ini juga termasuk cepat, hanya memerlukan komponen-komponen *unit-cost* yang umum ditemukan di setiap kegiatan penambangan bijih nikel. Namun perlu diketahui bahwa hasil metode tersebut tidak berupa nilai prediksi *unit-cost*, tetapi nilai rasio perbandingan secara relatif dengan proyek penambangan bijih nikel lainnya. Oleh karena itu, metode rasio memberikan gambaran apakah proyek tersebut lebih murah (efisien) atau lebih mahal daripada proyek lainnya.

FORMULASI STATISTICAL APPROACH

Pada pendekatan statistik, nilai *unit-cost* merupakan variable terikat (y) dan produksi (bijih) sebagai variable bebas (x). Nilai *unit-cost* (y) yang didapat merupakan hasil akumulasi komponen biaya yang sudah ditetapkan, sedangkan produksi (bijih) didapat dari data lapangan (primer). Perlu diperhatikan

bahwa nilai *unit-cost* telah disesuaikan terhadap tingkat laju inflasi, maka nilainya merupakan *real value* per tahun 2019.

Lima jenis model statistik linear maupun non-linear didekati denanuji dengan menggunakan metode numerik. Aplikasi Matlab digunakan untuk mengidentifikasi model. Uji parameter validasi model yang digunakan yaitu *adjusted*-R^2, MSE, dan MAER. Model dan perbandingan model estimasi *unit-cost* penambangan nikel di Indonesia dapat dilihat secara berurutan pada Tabel 3 dan Tabel *4*.

Tabel 3. Model Statistik Unit-Cost Penambangan Nikel

Model	Persamaan
Linear	$\boldsymbol{y = 23,61 - 7,4(x)}$
Logaritmik	$\boldsymbol{y = -2,93ln(x) + 61,73}$
Power	$\boldsymbol{y = 196,29(x)^{-0.16}}$
Eksponensial	$\boldsymbol{y = 23,74e^{-0,00000004132(x)}}$
Polinomial	$\boldsymbol{y = 2,47 \times 10^{-14}(x)^2 - 1 \times 10^{-6}(x) + 23,87}$

Tabel 4. Perbandingan 5 Model Statistik

Produksi (ton/th)	UC nom[a] ($/ton)	UC real[b] ($/ton)	Linear ($/ton)	Log ($/ton)	Power ($/ton)	Eks ($/ton)	Poli ($/ton)
501.199	21,17	22,83	23,24	23,28	23,27	23,25	23,33
472.534	22,40	23,86	23,26	23,45	23,49	23,28	23,36
12.447.392	11,39	12,95	14,37	13,87	13,81	14,19	14,07
11.863.372	13,13	14,62	14,81	14,01	13,91	14,54	14,36
13.070.625	12,76	14,01	13,91	13,73	13,70	13,83	13,78
13.557.891	13,17	14,22	13,55	13,62	13,62	13,56	13,57
15.161.170	11,82	12,75	12,36	13,29	13,37	12,69	12,95
13.370.569	12,74	13,57	13,69	13,66	13,65	13,66	13,65
13.131.814	13,61	14,19	13,87	13,71	13,69	13,80	13,75
14.284.142	12,85	13,08	13,01	13,47	13,50	13,16	13,27
Adjusted-R^2			0,967	0,974	0,956	0,960	0,975
MSE			0.334	0.271	0.284	0.272	0.258
MAER			0.029	0.032	0.034	0.025	0.028

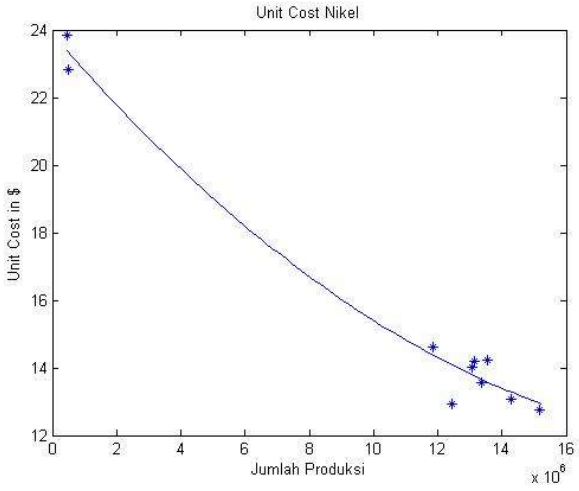
Tabel 4 menunjukkan model polynomial dengan nilai *adjusted-*R^2, MSE, dan MAER sebesar 0,975; 0,258; dan 0,028 secara berturut-turut. Oleh karena nilai *adjusted-*R^2 dan MSE pada model polynomial memiliki nilai tertinggi, maka berarti model tersebut memiliki tingkat prediksi yang paling mendekati kondisi *real* dibandingkan dengan model lainnya. Model polinomial tersebut memiliki nilai koefisien $\alpha = 2{,}47 \times 10^{-14}$ dan koefisien $\beta = 1 \times 10^{-6}$, dan konstanta $c = 23{,}87$.

Meskipun model eksponensial memiliki nilai MAER lebih rendah, namun nilai *adjusted* R^2 dan MSE-nya jauh lebih rendah dibanding model polinomial. Sedangkan, MAER pada model polinomial memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan model eksponensial.

$$y = 2{,}47 \times 10^{-14}(x)^2 - 1 \times 10^{-6}(x) + 23{,}87 \qquad (20)$$

di mana y adalah variable terikat (*unit-cost*), x adalah variable bebas berupa produksi bijih dalam ton

per tahun. Regresi polinomial dengan Persamaan (18) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Regresi Non-linear (Polinomial*) Unit-Cost* Penambangan Bijih Nikel

Nilai *adjusted* R^2 didapatkan dari perhitungan berikut, yang merujuk pada Persamaan $R2= 1 - \frac{SSR}{SST}$ (*17*).

$$R^2 = 1 - 0.03608$$
$$R^2 = 0.96392$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left[\frac{(1 - 0.96392) \times (10 - 1)}{10 - 1 - 1}\right] = 0.975$$

Perlu diperhatikan, nilai estimasi menggunakan *statistical approach* merupakan *real value* tahun 2019. Untuk melihat nilai nominalnya, perlu mempertimbangkan efek inflasi. Oleh karena tahun 2019 menjadi patokan penelitian ini, maka nilai nominal *unit-cost* hasil estimasi penambangan nikel pada tahun ≤2018 perlu disesuaikan menggunakan Persamaan (21).

$$real\ value_x^{IR} = \frac{UC_x}{\prod_{i=0}^{t}(1+IR_i)} \quad (22)$$

Sedangkan, untuk hasil estimasi *unit-cost* tahun 2020 dan seterusnya, perlu disesuaikan nilainya menggunakan Persamaan (23).

$$real\ value_x^{IR} = UC_x \times \prod_{i=1}^{t}(1 + IR_i) \quad (24)$$

Pendekatan statistik sering digunakan pada berbagai jenis penelitian termasuk *unit-cost.* Pendekatan statistik dianggap dapat diandalkan karena pengujian hipotesis dilakukan secara kuantitatif. Formulasi yang dihasilkan pendekatan statistik lebih mudah dipahami oleh pengguna dengan latar belakang yang lebih umum. Namun kelemahan pendekatan statistik adalah hasil estimasi bersifat deterministik berupa satu nilai, tanpa memberikan ruang ketidakpastian. Lebih dari itu, pendekatan ini juga perlu dikalibrasi dengan tingkat laju inflasi, karena variable waktu tidak dimasukkan dalam analisis.

E. KESIMPULAN

Nilai *unit-cost* penambangan bijih nikel di Indonesia diestimasi menggunakan dua pendekatan, yaitu *comparative* dan *statistical approach*. Pada *comparative approach*, ada dua metode yang dapat digunakan, yaitu (1) metode rata-rata dan varian dan (2) rasio. Berdasarkan pendekatan *comparative*

metode rata-rata dan varian, nilai *unit-cost* diprediksi berkisar antara US$9,97/ton hingga US$18,23/ton. Sedangkan jika menggunakan metode rasio, rasio Gaji : Total Cost (TC), Gaji : Tonase produksi (OT), dan TC : OT dapat menjadi perbandingan apakah *unit-cost* perusahaan tertentu tergolong tinggi atau rendah. Pada *stastical approach,* model formulasi *unit-cost* penambangan nikel terbaik yaitu menggunakan model polinomial dengan formulasi $\boldsymbol{y = 2,47 \times 10^{-14}(x)^2 - 1 \times 10^{-6}(x) + 23,87}$. Masing-masing pendekatan memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Beberapa kelemahan pendekatan tersebut adalah kalibrasi tingkat laju inflasi dan unsur ketidakpastian. Sehingga dibutuhkan satu pendekatan lagi untuk melengkapi pendekatan lainnya dalam memprediksi nilai *unit-cost*.

Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, unsur ketidakpastian dapat dimasukkan dalam formulasi perhitungan *unit-cost*. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memodelkan unsur ketidakpastian adalah *Monte-Carlo Simulation* dan *Decision Tree Analysis.*

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia dan PT Studio Mineral Batubara yang telah mendukung dalam pengumpulan data sampel dan penggunaan fasilitas pengolahan data.

G. DAFTAR PUSTAKA

Arfania, S., Sayadi, A., & Khalesi, M. (2017). Cost Modelling for Flotation Machines. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 117(1), 89-96.

Greene, W. H. (2003). Econometric Analysis (6th Ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Hilirisasi Nikel Ciptakan Nilai Tambah dan Daya Tahan Ekonomi, data diperoleh melalui situs internet: https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hilirisasi-nikel-ciptakan-nilai-tambah-dan-daya-tahan-ekonomi . Diunduh pada 25 Agustus 2021.

Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). Open Pit Mine Planning and Design (3rd ed. Vol. 1 – Fundamentals). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Koller, T., Goedhart, M., & Wessels, D. (2010). Valuation: measuring and managing the value of companies (4th ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Lacy, M. G. (2006). An Explained Variation Measure for Ordinal Response Models With Comparisons to Other Ordinal R ² Measures. Sociological Methods & Research, 34(4), 469-520.

O'Hara, T. A. (1980). Quick guide to the evaluation of ore bodies. CIM bulletin, 73(2), 87-99.

Sauvageau, M., & Kumral, M. (2015). Analysis of Mining Engineering Data Using Robust Estimators in the Presence of Outliers. Natural Resources Research, 24(3), 305-316.

Shafiee, S., & Topal, E. (2012). New approach for estimating total mining costs in surface coal mines. Mining Technology, 121(3), 109-116.

World Bank. (2020). Inflation, consumer prices (annual %) - United States, data diperoleh melalui situs internet: https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG?locations=US. Diunduh pada 6 September 2020

BACK ANALYSIS OF VECTOR LOSS EFFECT TO DETERMINE THRESHOLD USING SLOPE STABILITY RADAR DATA CASE STUDY OF FAILURE IN OPEN PIT COAL MINE

Alden Sinai Yudono[1)], Dwi Prio Utomo[1)], Luckman Hakim[1)], Ignatius Putra[1)], Deaz Dewantara[2)], and Tri Haryanta[2)]

1)Geotechnical Support Service PT GroundProbe Indonesia.
2)Site Geotechnical Team PT Pamapersada Nusantara.

ABSTRAK

Pemantauan kestabilan lereng suatu tambang terbuka adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengelola risiko dari potensi longsor. Slope Stability Radar (SSR) adalah teknologi/alat yang dapat digunakan untuk memantau kestabilan lereng dengan menyajikan data secara real time. SSR menggunakan prinsip line-of-sight dalam menghitung besaran pergerakan lereng yang dapat menghasilkan vector loss pada nilai pengukurannya. Vector loss adalah persentase besaran deformasi tereduksi akibat arah pergerakan lereng memiliki selisih sudut terhadap arah pengukuran radar. Dalam pengelolaan longsor terdapat nilai ambang batas yang diterapkan untuk mengkategorikan perilaku deformasi batuan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh vector loss terhadap nilai ambang batas yang diterapkan pada tambang terbuka batubara dengan menggunakan 20 data longsor pada periode 3 April 2021 – 9 Mei 2021 yang dideteksi oleh SSR pada Pit A di area High-Wall Timur dan L Barat, serta Pit B di area High-Wall Barat.

Nilai ambang batas yang diterapkan saat ini mencakup kategori “Aman” pada nilai kecepatan deformasi 0 - 50 mm/hari, “Waspada” pada nilai kecepatan deformasi 50 mm/hari – 120 mm/hari, dan “Evakuasi” pada nilai kecepatan deformasi lebih dari 120 mm/hari. Hasil perhitungan data SSR menunjukkan bahwa tingkat kecepatan deformasi saat terjadinya longsor berada pada rentang data 28.77 – 202.53 mm/hari dan tingkat kecepatan deformasi terkoreksi vector loss saat terjadinya longsor berada pada rentang data 49.43 – 367.44 mm/hari.

Berdasarkan hasil perhitungan, maka nilai ambang batas pada kategori “Evakuasi” yang sebelumnya

berada pada nilai deformasi lebih dari 120 mm/hari dapat dioptimalkan menjadi lebih dari 50 mm/hari untuk area High-Wall Timur dan Low-Wall Barat pada Pit A, serta area High-Wall Barat untuk Pit B. Nilai ambang batas untuk SSR dapat menggunakan nilai lebih dari 30 mm/hari untuk area High-Wall Barat pada Pit B, lebih dari 40 mm/hari untuk area Low-Wall Barat pada Pit A, dan lebih dari 50 mm/hari untuk area High-Wall Timur pada Pit A.

Kata Kunci: *vector loss, Slope Stability Radar, threshold.*

ABSTRACT

Slope stability monitoring in open pit mines is one of method that can be used to manage the potential of slope risk failures. Slope Stability Radar (SSR) is a technology/tool that can be used to monitor slope stability by provides real time data. SSR using the line-of-sight principle to calculate the magnitude of slope movement that will generates a vector loss on its measurements. Vector loss is the percentage of reduced deformation due to the direction of the movement of the slope forming an angle difference to the direction of the radar measurement. In slope failure management, slope stability threshold is used to categorize/classify the rock deformation behaviour. The aims of this research are to analyse the effect of vector loss on the threshold that applied in open pit coal mines using 20 failures data from the period of April 3 - May 9, 2021, which detected by radar in Pit A at the East High-Wall and West Low-Wall areas, also in the Pit B at the West High-Wall area.

The current threshold applied include the "Safe" category with velocity of deformation at a range of 0 – 50 mm/day, "Warning" at velocity of deformation at a range of 50 mm/day – 120 mm/day, and "Evacuation" with velocity of deformation more than 120 mm/day. The analysis result of SSR data calculation shows that the rate of velocity when slope failures is in the range of data from 28.77 – 202.53 mm/day and the rate of velocity corrected by vector loss is in the range of data from 49.43 – 367.44 mm/day.

Based on the calculation, the threshold for the "Evacuation" category which was previously more than 120 mm/day can be optimized to be more than 50 mm/day for the East High-Wall and West Low-Wall areas in Pit A, as well as the West High-Wall area for Pit B. The threshold for SSR could be set using more than 30 mm/day for the West High-Wall area in Pit B, more than 40 mm/day for the West Low-Wall area in Pit A, and more than 50 mm/day for the East High-Wall area in Pit A.

Keywords: *vector loss, Slope Stability Radar, threshold.*

A. INTRODUCTION

The management of risk to personnel, equipment and continued production associated with slope instability is one of the key roles of geotechnical aspect in open pit mines. Slope stability monitoring tools can be used as part of a risk management program. The slope stability monitoring tool will work optimally in its application if it has a threshold that is used as a reference for action taking according to the hazard category based on the rock mass characteristics. Slope Stability Radar (SSR) is a technology/tool that can be used to monitor slope stability by presenting data in real-time with sub-millimeter of accuracy.

This paper aims to evaluate whether the current threshold is still relevant to use by conducting a back analysis using monitoring data from Slope Stability Radar (SSR). It is also expected to obtain a threshold that is appropriate for the monitored slope conditions by conducting a back analysis.

The geometry of the pit is one of the factors that affect the results of measurements using SSR where the angle formed between the direction of measurement and the direction of movement is a deduction from the actual movement where this condition is called vector loss. The approximate magnitude of the actual movement can be determined by using the back analysis method, and the corrected result can then be analyzed further to be used as a threshold.

B. METHODOLOGY

This study uses slope monitoring data by Slope Stability Radar – XT (SSR – XT) in cases of failures that occurred in one of Indonesia's coal mines. Figure 1 shows how Slope Stability Radar – XT (SSR – XT) acquire data of the slope. The analysis for determining the threshold is using the back analysis method based on the data characteristics of each failure that was successfully detected by radar. The analysis results will be calculated based on the vector loss from the line-of-sight of radar for each failure location to obtain a correction or the actual value of the maximum velocity at the time of the failure. The detailed geometry parameters of the slopes, such as slope dip and the presence of geological structures that affect the slope stability radar's line-of-sight, are not discussed in detail in this study.

SSR slope monitoring concept is based on radar interferometry technique (Noon, 2003). Interferometry is a method to measure displacement of an object/wall by calculating the small phase change of successive reflected signal. The SSR will transmit an electromagnetic signal to the slope surface and receive back the reflected signal successively as shown on figure 2. Each reflected signal received by the radar has its own signal phase. Phase shift between successive transmissions used to determine displacement. The sets of deformation data for each scan in a monitoring period will produce a deformation plot which is the accumulation of magnitude slope movement in each scan. The plots of deformation data can be further analysed based on the deformation data's trend, velocity, inverse velocity, and velocity ratio.



Figure 1. SSR scanning based on line-of-sight.

There is a simple relationship between the direction of slope movement and the direction of the SSR can measure. All radar systems that use differential interferometry to calculate deformations can only measure deformations in the direction of the radar beam. SSR only measures movement towards or away from the dish, along the line-of-sight, it cannot measure sideways movement. All line-of-sight measurement tools can potentially measure less movement than actually occurs due to the geometry of the target and the instrument. This applies to all radar and laser monitoring technology. The greater the difference between the vector impact angle of the measurement tool and the movement of the wall, the less movement magnitude will be detected. The diagram in figure 3 explains the issue.

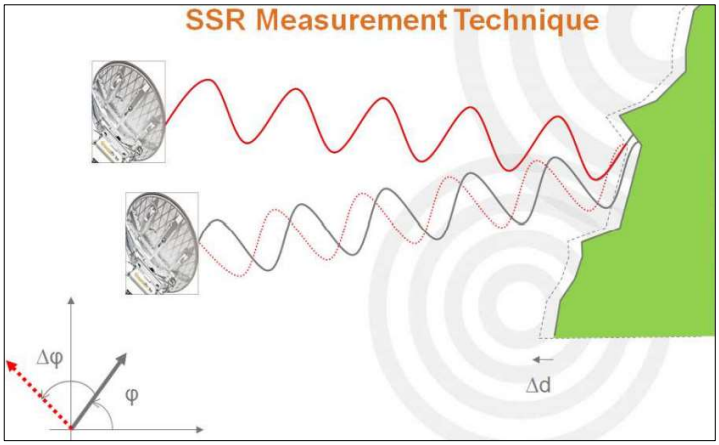


Figure 2. SSR measurement technique using interferometry method.

Figure 4 looks down on an SSR at positioned to monitor a wall. Assume the wall has moved uniformly (S) in the direction shown as $\mathbf{d_{WALL}}$, with the amount of movement represented by the length of the arrow. When the SSR dish is pointing directly in line with the movement, along the line-of-sight as at position (A), then the full effect of the movement will be measurable. However, when the dish has rotated and points at position, the line-of-sight is now at an angle (θ), to (B) the movement. The movement is made up of the component shown in orange, in line with the $\mathbf{d_{WALL}}$ radar signal, and the component shown in brown, perpendicular to the radar signal. Only $\mathbf{d_{LOS}}$, the component of the movement along the line-of-sight, can be measured. As the angle between the line-of-sight and the deformation increases toward 90°, the measurement is less sensitive to the deformation. This phenomenon called sensitivity. Sensitivity is the reduction in measurable deformation caused by the line-of-sight being at an angle to the actual movement.

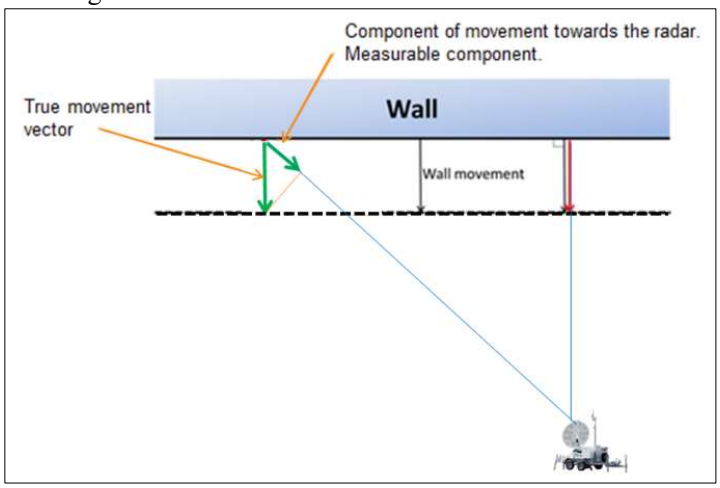


Figure 3. Component of wall movement vector

In a worst scenario, when the movement is actually at 90° to the line-of-sight, in the direction shown by the brown arrows in figure 4, then no movement at all can be detected. If the movement direction is more than 90° to the line-of-sight, then the SSR measures the line-of-sight component of the deformation in the opposite direction. In that case the wall is moving away from the SSR. Always consider the direction of likely movement, a small-measured movement may indicate a larger movement in a different direction. Sensitivity can also be important vertically in SSR measures across a pit. At the entire figure 5 (S) (A) movement is measurable. At the measurable deformation shown in orange is reduced because the (B) line-of-sight is not aligned with actual movement shown in blue.

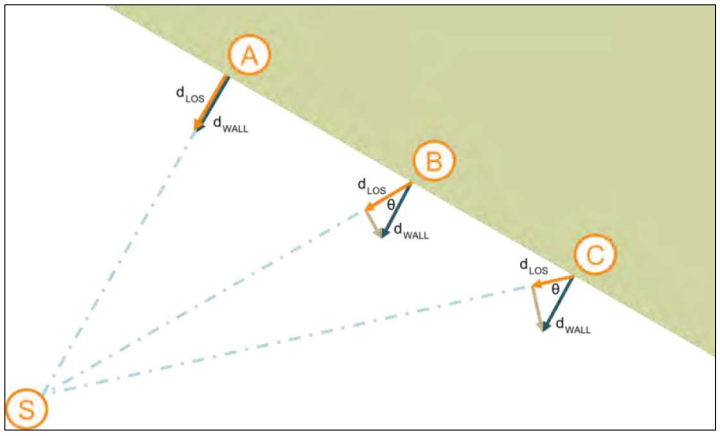


Figure 4. Horizontal sensitivity.

The measureable movement is smaller than the complete movement by a factor of **cos θ**, as described by equation (1). This equation (1) can be used to calculate both horizontal and vertical sensitivity. The result of the final calculation will be the true direction of the SSR when measured and obtain the corrected magnitude.

$$d_{WALL} = d_{LOS} \times \cos \theta \quad (1)$$

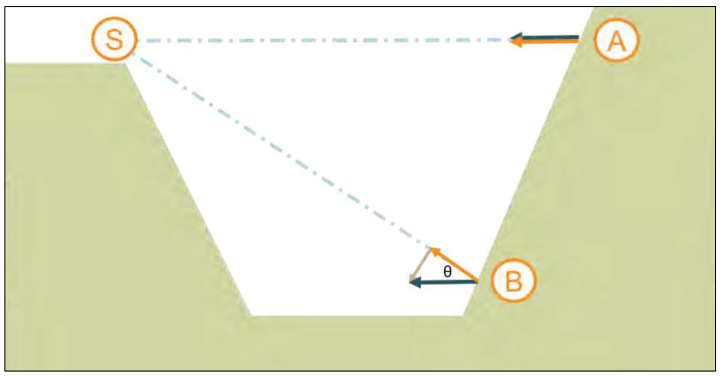


Figure 5. Vertical sensitivity.

C. RESULT AND DISCUSSION

1. EXISTING THRESHOLD

Slope stability monitoring tools are one part of risk management in mining activities. This management program is designed to focus on providing early warning of an impending slope failure so that personal risk to mining staff is minimized while mine production is maximized by reducing downtime of the mine (Kumar and Rathee, 2017). For this reason, it is necessary to have a deformation threshold that functions as a critical limit with certain categories to assist the person in charge of making decisions. Table 1 shows the current threshold used in slope risk management in Pit A and Pit B. There are 3 categories in the current threshold. These are safe, warning, and evacuation. The safe category is at a deformation velocity between 0 – 50 mm/day while continuing to monitor periodically and make stabilization efforts. The warning category is at a deformation velocity between 50 – 120 mm/day, which requires hourly monitoring and applying signs in areas that are potentially affected by the failure. The evacuation category is at a deformation velocity more than 120 mm/day and evacuation must be carried out immediately. This study is to find out whether the current thresholds are still relevant to be applied or not by using monitoring data from the Slope Stability Radar (SSR).

Table 1. Existing deformation threshold applied.

Category	Safe	Warning	Evacuation
Velocity of deformation	0 – 50 mm/day	50 – 120 mm/day	>120 mm/day
Action	• Monitor periodically • Make stabilization effort	• Hourly monitoring • Apply warning sign	• Immediately evacuation to muster point

This study was conducted in Pit A and Pit B in the period of 3 April 2021 – 9 May 2021, where the failure events occurred. A total of 6 failure events occurred in the West Low-Wall area and 8 failure events occurred in the East High-Wall area of Pit A. Pit B contained 6 failure events that occurred in the West High-Wall area. The failure with the lowest maximum velocity of failure occurred in the West High-Wall area of Pit B with 28.77 mm/day and the failure with the highest maximum velocity of failure occurred over the West Low-Wall area of Pit A with 202.53 mm/day. Referring to the threshold that is currently used, a failure event with a maximum velocity of failure at 28.77 mm/day should be in the safe category. Figure 6 shows the maximum velocity of failure events, and the x axis represents the time of occurrences.

2. EFFECT OF PIT GEOMETRY

SSR is using the line-of-sight method to monitor, hence the condition of pit geometry will affect the result of the data. If assumed that the movement direction of a slope is in the same direction as the slope face, then the magnitude of the movement will be reduced if it is not measured from the direction and position that is parallel to the movement. The percentage of reduction in measurable deformation caused by the line-of-sight being at an angle to the actual movement is called vector loss. Figure 7 and figure 8 are the front view and plan view of Pit A and Pit B which shows the failure events area. F01 – F20 in figure 7 and figure 8 shows the point where failure occurs and the arrow at each point represent the direction of movement where the direction is parallel to the slope face.

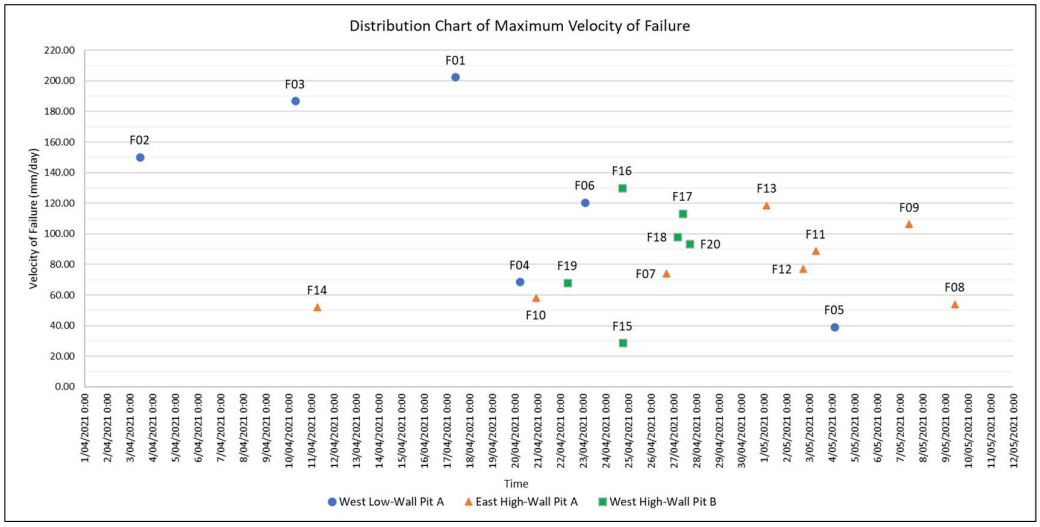


Figure 6. Failure events over the Pit A and Pit B.

3. BACK ANALYSIS

To determine the appropriate threshold for the current movement conditions, it is necessary to do a back analysis of the maximum velocity of failure from the failure data that was resulted by the SSR measurement. However, before the velocity data is used, it is necessary to make corrections to the effect of vector loss on the reduction of the velocity. Table 2 shows the data of the maximum velocity of failure and the difference between the vertical and horizontal angles from the line-of-sight of the SSR to the

direction of movement. The data in table 2 then calculated using equation (1) that used to correct the velocity by the difference in the horizontal and vertical angle. Table 3 shows the velocity that has been corrected for vector loss. By comparing the velocity in table 2 and table 3, the magnitude of the loss angle is directly proportional to the increase in the vector loss.

Table 2. Maximum velocity of failure events and its magnitude of the loss angle.

#	Code	Max. velocity of failure (mm/day)	θ Hor. (deg.)	θ Ver. (deg.)	#	Code	Max. velocity of failure (mm/day)	θ Hor. (deg.)	θ Ver. (deg.)
1	F01	202.53	43.16	1.74	11	F11	88.83	5.44	1.82
2	F02	150.13	56.55	0.34	12	F12	76.96	0.53	2.40
3	F03	186.92	56.55	0.34	13	F13	118.73	2.62	2.56
4	F04	68.60	58.21	2.06	14	F14	52.08	73.40	8.72
5	F05	39.28	52.41	3.05	15	F15	28.77	54.37	2.32
6	F06	120.48	1.74	0.94	16	F16	130.13	55.30	1.28
7	F07	74.21	23.16	11.83	17	F17	113.39	53.67	1.28
8	F08	54.00	21.80	8.77	18	F18	97.98	26.65	2.34
9	F09	106.32	19.07	8.34	19	F19	68.04	48.61	4.56
10	F10	58.26	15.50	0.65	20	F20	93.33	23.82	4.42

According to the calculations, the maximum velocity of failure with the most occurrences is in the range of 51 – 150 mm/day, with 12 landslide events in that range. The highest magnitude for maximum velocity of failure is 367.44 mm/day, while the lowest magnitude is 49.43 mm/day. The distribution of the maximum velocity of failure based on their range is depicted in figure 9, while the corrected maximum velocity of failure is shown in figure 10. By combining the information from table 3 and figure 10, it shows that the lowest velocity in the West Low-Wall Pit A area is 64.48 mm/day, the lowest velocity in the East High-Wall Pit A area is 58.84 mm/day, and the lowest velocity of failure in the West High-Wall Pit B area is 49.43 mm/day. By approaching the corrected lowest maximum velocity where the magnitude is around 50 mm/day, then the velocity at 50 mm/day can be recommended as a threshold for evacuation where the previous threshold was at > 120 mm/day. This recommendation threshold applies to Pit A in the West Low-Wall and East High-Wall areas, and also to Pit B in the West High-Wall area. Figure 10 also shows the threshold line, which is at 50 mm/day where most of the failures occur at velocities above that number.

Table 3. Corrected maximum velocity of failure and the percentage of vector loss.

#	Code	Max. velocity of failure (corrected) (mm/day)	Loss velocity	#	Code	Max. velocity of failure (corrected) (mm/day)	Loss velocity
1	F01	367.44	44.88%	11	F11	89.28	0.50%
2	F02	272.37	44.88%	12	F12	77.03	0.09%
3	F03	255.39	26.81%	13	F13	118.9	0.20%
4	F04	130.31	47.35%	14	F14	179.32	70.95%
5	F05	64.48	39.08%	15	F15	49.43	41.79%
6	F06	120.55	0.05%	16	F16	228.65	43.08%
7	F07	82.46	10.01%	17	F17	191.45	40.77%
8	F08	58.84	8.23%	18	F18	168.34	41.79%
9	F09	113.69	6.48%	19	F19	103.04	33.96%
10	F10	60.46	3.64%	20	F20	102.33	8.79%

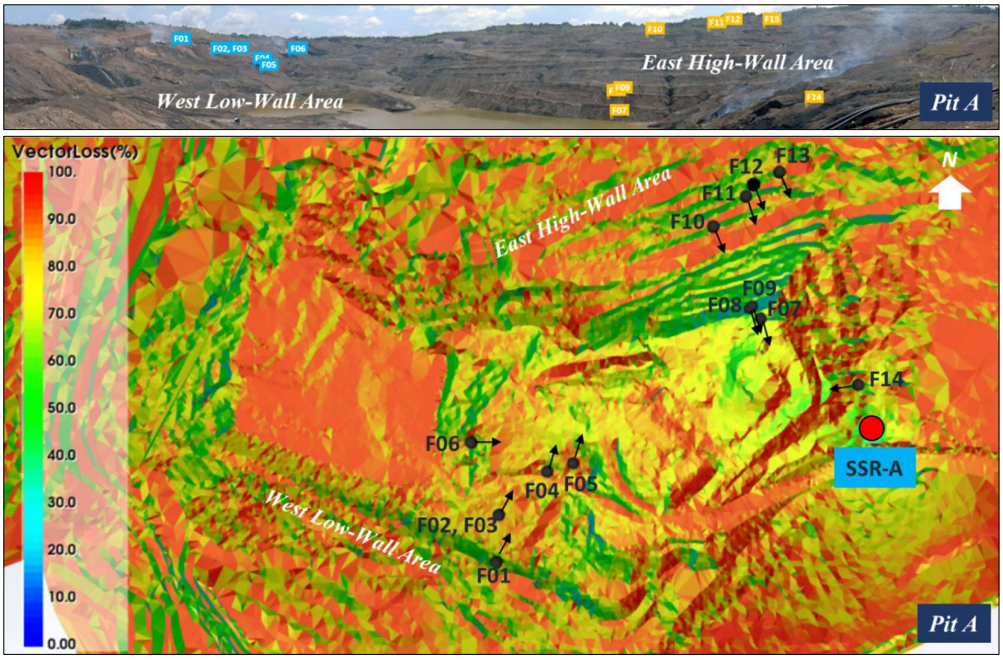


Figure 7. Front view photograph and view of Pit A that shows position of each failure event.

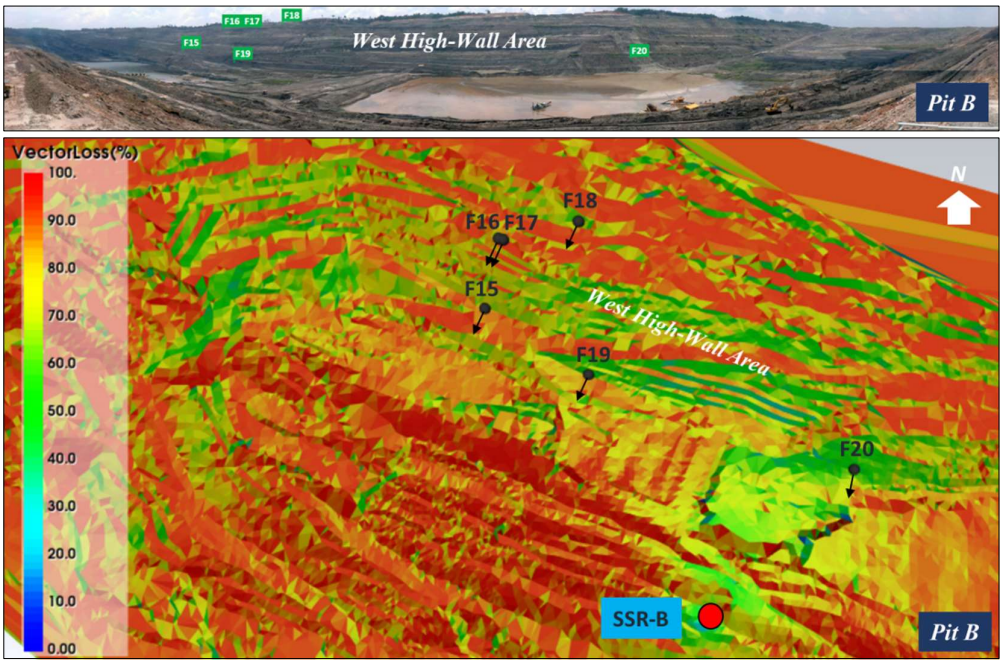


Figure 8. Front view photograph and view of Pit B that shows position of each failure event.

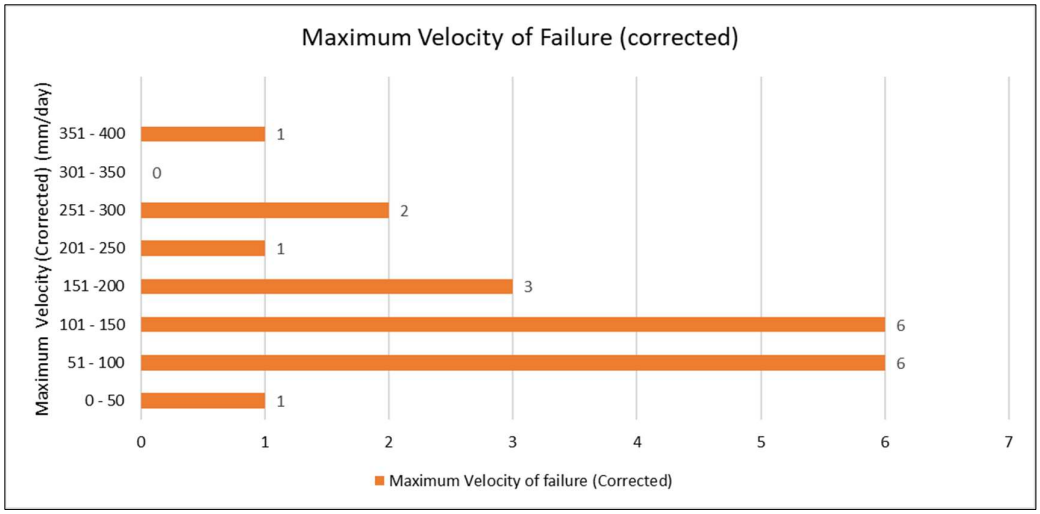


Figure 9. Corrected maximum velocity of failure events that divided by specific range.

The recommended threshold for the evacuation is the velocity magnitude that has been corrected. So that it can be applied to other monitoring tools that monitor the same area. As a best practice in monitoring using SSR, the measured (uncorrected) of maximum velocity of failure can be used as a threshold for monitoring using SSR. Using the data in table 2, the lowest maximum velocity of failure in the West Low-Wall area of Pit A is 39.28 mm/day, in the East High-Wall area of Pit A is 54.00 mm/day, and in the West High-Wall area of Pit B is 28.77 mm/day. By approaching the velocity in each of these areas, it can be recommended that the threshold for monitoring using SSR in the West Low-Wall area of Pit A is 40 mm/day, in the East High-Wall area of Pit A is 50 mm/day, and in the West High-Wall area of Pit B is 30 mm/day, as can be seen in figure 11.

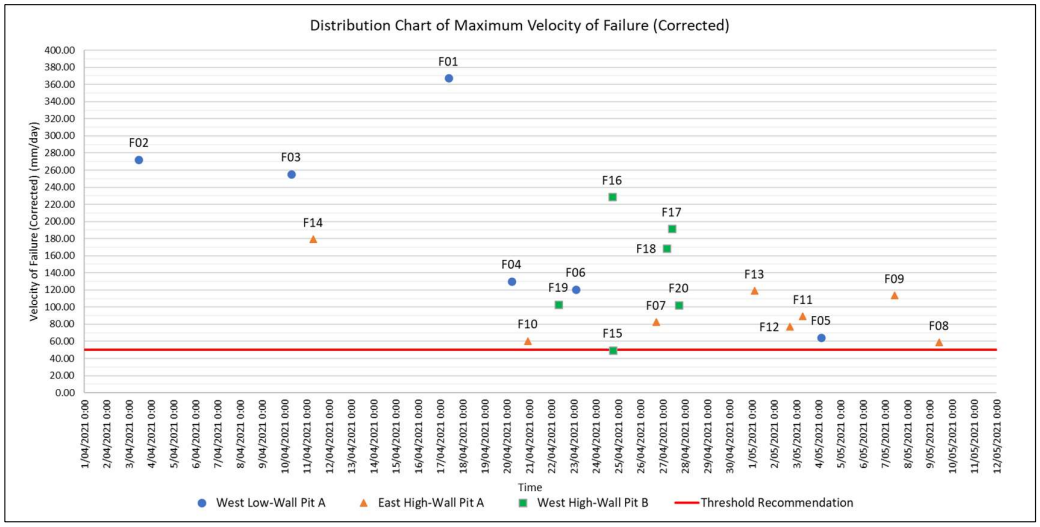


Figure 10. Distribution of corrected maximum velocity of failure events and the threshold recommendation.

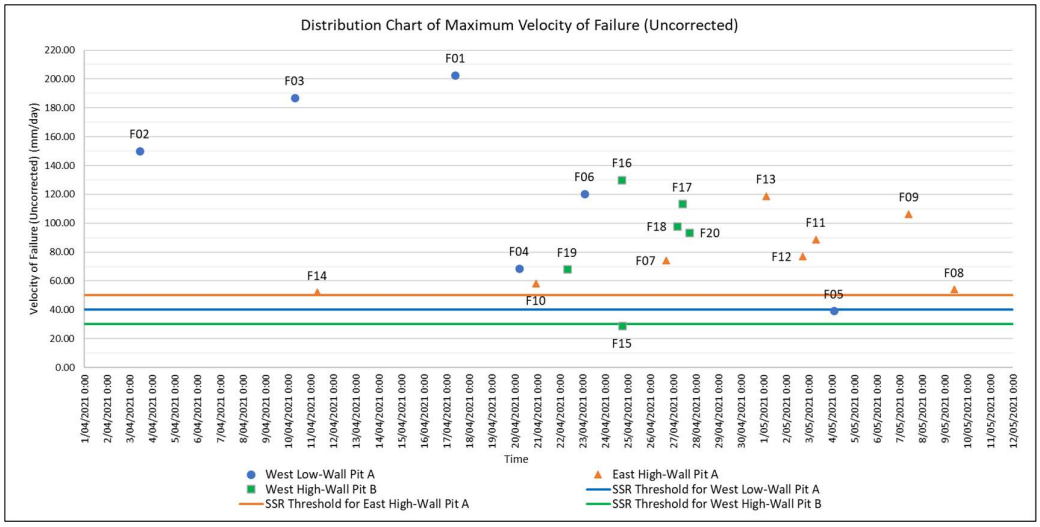


Figure 11. Distribution of uncorrected maximum velocity of failure events and the threshold recommendation for monitoring using SSR.

4. SSR AS MONITORING TOOL

In monitoring slope stability using SSR, pit geometry and the position of the SSR influence the measuring the movement. But this is by no means something insurmountable. SSR is a real-time monitoring tool that helps in managing the risk of slope stability by giving early warnings before failure occurs. We can create a critical limit using only SSR data without the need for back analysis. However, the threshold for monitoring results using SSR can only be applied to the SSR itself, and if it is to be applied to other monitoring tools, it is necessary to carry out back analysis using the method described above. This needs to be considered so as not to be misled in its application. After Bye's research on Osasan (2012), SSR has 93% of a success rate in detecting slope failures, whereas other method has the rate below 90%. Combining the SSR with other methods allows receiving almost 100% success rate. That study shows on table 4.

Table 4. Bye's monitoring type analysis (Osasan, 2012).

Monitoring type	Success rate
Visual monitoring only	32%
Prism/crack meter only	45%
Visual + prism/crack meter	63%
Visual + prism/crack meter + laser	86%
Radar only	93%
Visual + prism/crack meter + radar	97.5%
Visual + prism/crack meter + laser + radar	99%

D. CONCLUSION

According to the results of the back analysis, the geometry of the open pit has an impact on the measurement results, with the greater the angle formed between the direction of movement and the direction of measurement, the lower the value of the movement. The vector loss is 70.95% at point F14, with a horizontal angle difference of 73.40° and a vertical angle difference of 8.70°. On the other hand, a vector loss of 0.05% is obtained at point F06, which has a horizontal angle difference of 1.74° and a vertical angle difference of 0.94°. To overcome this, the threshold of actual movement needs to be optimized to accommodate the reduction magnitude caused by the effect of vector loss.

The maximum velocity of failure is in the data range of 28.77 – 202.53 mm/day, and the corrected

magnitude of maximum velocity of failure after vector loss correction is in the range of 49.43 – 367.44 mm/day. Based on the results of these calculations, the "Evacuation" threshold category, which was previously set at more than 120 mm/day for the East High-Wall and West Low-Wall areas of Pit A, as well as the West High-Wall area of Pit B, can be optimize to more than 50 mm/day. The threshold used specifically for monitoring using SSR can apply a threshold category of the "Evacuation" of more than 30 mm/day for the West High-Wall area of Pit B, more than 40 mm/day for the West Low-Wall area of Pit A, and more than 50 mm/day for the East High-Wall area of Pit A.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank PT Pamapersada Nusantara as owner of the data and gratefully acknowledge support everyone who helps in this work.

REFERENCES

GroundProbe Geotechnical Support Services, (2017): *SSR Geotechnical Training Modules*, Internal Document GroundProbe Geotechnical Support Services.

Harries, N., Noon, D., and Rowley, K. (2006): Case studies of slope stability radar used in open cut mines, *International Symposieum on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering*, 335 – 342.

Kumar, A., and Rathee, R. (2017): Monitoring and evaluationg of slope stability for setting out of critical limit at slope stability radar, *International Journal of Geo-Engineering*, **8**, 1 – 16.

Noon, D. (2003): Slope stability radar for monitoring mine walls, *Mining Risk Management Conference*, Sydney, NSW, 1 – 12.

Noon, D., and Harries, N. (2003): Slope stability radar for managing rock fall risk in open cut mines, *Sixth Large Open Pit Mining Conference*, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Perth, 93 – 98.

Osasan, K.S. (2012): *Open-Cast Mine Slope Deformation And Failure Mechanisms Interpreted From Slope Radar Monitoring*. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR REAL TIME PIT MONITORING AT BATU HIJAU SITE, INDONESIA

[1)]Ezra Drieka*, [2)]Fransiscus Cahya Kusnantaka, [3)]Khatib Syarbini

[1)] Engineer Mine Geotechnical Departement, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara
[2)] Chief Engineer Mine Geotechnical Departement, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara
[3)] Superintendent Mine Geotechnical Departement, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara

E-mail: Ezra.Drieka@amman.co.id / driekaezra@gmail.com

ABSTRAK

Program pemantauan lereng merupakan bagian dari sistem pengelolaan lereng untuk memitigasi risiko keruntuhan lereng. Kehadiran instrumentasi pemantauan tidak hanya membantu identifikasi bahaya dan mengontrol risiko tetapi juga mengurangi kecemasan tenaga kerja dengan memastikan kondisi lapangan yang dipantau oleh personel yang berpengalaman dan kompeten. Radar stabilitas lereng telah muncul

sebagai instrumen utama dalam pemantauan berkelanjutan kondisi pit karena dirancang guna mendeteksi deformasi lereng hingga skala milimeter. Saat ini, dengan metode pemantauan radar yang ada, insinyur menetapkan nilai batas berdasarkan perpindahan atau kecepatan, yang biasanya bervariasi, tergantung pada karakteristik geoteknik daerah tersebut. Sementara itu, masalah muncul ketika nilai ambang yang terlalu konservatif diterapkan, menyebabkan banyak prediksi dan alarm yang salah. Penelitian ini mencoba mengatasi masalah ini dengan mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk mendapatkan prediksi yang lebih akurat dan lebih cepat. Kecerdasan buatan dalam bentuk regresi terawasi dan pengelompokan tanpa pengawasan digunakan untuk mengevaluasi data radar secara langsung. Model regresi linier digunakan untuk mengukur hubungan antara waktu dan pergerakan. Berdasarkan teori pergerakan inversi kecepatan, gerakan linier secara bertahap akan berubah karakteristiknya ke arah gerakan progresif. Oleh karena itu, model linier dipilih sebagai model yang tepat untuk mengidentifikasi pergerakan selama masih dalam fase linier sedini mungkin. Hasil dari metode sebelumnya selanjutnya akan dikelompokkan menggunakan metode pengelompokan tanpa pengawasan. Ini adalah teknik pengelompokan fitur-ruang non-parametrik yang tidak memerlukan pengetahuan sebelumnya tentang jumlah klaster, dan tidak membatasi bentuk klaster. Kluster dengan jumlah piksel yang kurang dari jumlah ambang minimum piksel akan difilter sebagai prediksi palsu, dan sisanya tetap. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode ini mampu mengurangi prediksi palsu dan memiliki akurasi yang lebih baik dalam memprediksi pergerakan riil. Namun, pengalaman dan penilaian insinyur masih diperlukan untuk menentukan dengan benar parameter kecerdasan buatan serta memvalidasi hasil prediksi dengan kondisi riil. Peningkatan dengan mudah dapat dilakukan dengan meningkatkan frekuensi akuisisi data, sementara penelitian lebih lanjut diperlukan dengan melakukan analisis beberapa variasi kerangka waktu.

Kata kunci: Radar, Monitoring, *Machine Learning,* Geoteknik

ABSTRACT

Slope monitoring program is a part of slope management system to mitigate the risk of slope failure. The presence of monitoring instrumentation not only aids hazard and risk identification but also reduces any workforce anxiety by confirming ground condition that is monitored by experienced and competent personnels. Slope stability radar has emerged as the go-to instrument for continuous pit monitoring tool as it is designed to detect slope deformation up to millimeters scales. Nowadays, with the current radar monitoring method, engineers assign a cut-off value based on displacement or velocity value depending on the geotechnical characteristic of the area. Meanwhile, the problem rises when a too conservative cut-off value is applied, causing many false predictions and alarms. This paper tries to overcome this problem by integrating artificial intelligence to get a more accurate and faster prediction. Artificial intelligence in the forms of supervised regression and unsupervised clustering are utilized to evaluate real-time radar data. Linear regression model is used to measure the correlation between time and movement. Based on inverse velocity movement theory, linear movement will gradually change its characteristic towards progressive movement. Therefore, the linear model is selected to be the correct model to identify real movement during the linear phase as early as possible. The result from the previous method will be further clustered using an unsupervised clustering method. It is a non-parametric feature-space clustering technique which requires no prior knowledge of the number of clusters, and does not constrain the shape of the clusters. Clusters with fewer pixels than the minimum cut-off number of pixels will be filtered out as false prediction, and the rest remains. Trial results show this method greatly reduces false prediction and gives better accuracy in predicting real movement. However, engineering experience and judgment are still needed to correctly determine the AI parameters and validate the prediction result to the real-life condition. Improvement is easily expected by increasing the acquisition rate, while further research is needed by incorporating multiple time-frames analysis.

***Keywords**: Radar, Monitoring, Machine Learning, Geotechnical*

A. BACKGROUND

Rock mass, intact rock with its inheritance of discontinuities, is one of the most complex/heterogeneous materials that humans have faced throughout history. Models that depict soil, rock, groundwater distributions and characteristics throughout the deposit are often based on incomplete information and subjective interpretations (Read & Stacey, 2009). Meanwhile, the scale of investigation and modeling techniques rely heavily on data availability. Thus, it would be impossible to explicitly model the behavior of a pit slope into the smallest detail as the number of available data is usually very scarce. These practical limitations and uncertainty leave some remaining hazards at the smallest detail that need to be understood through a comprehensive slope management system.

Slope monitoring program is integrated as part of the slope management system to mitigate the risk of slope failure. The presence of monitoring instrumentation not only aids hazard and risk identification but also reduces any workforce anxiety by confirming ground condition, which is monitored by experienced and competent personnels (Vaziri et al., 2010). Radar has emerged as the most leading-edge technologies among many ground surface monitoring instruments, due to its completeness in high precision, spatial coverage, and acquisition time (Carla et al., 2017). There have been many publications showing the successful implementation of radar in slope hazard early-warning systems. From all these examples, the most common time-dependent relationship of a slope failure is progressive displacement, where slope velocity tends to increase closer to the onset of failure, and can be analyzed with the inverse velocity method (Fukuzono, 1985).

With the current radar monitoring method, user or engineer assigns a cut-off value based on displacement or velocity value depending on the geotechnical characteristic of the area. The determination of the cut-off value itself is a subject to separate study. Meanwhile, the problem rises when a too conservative cut-off value is applied, causing many false predictions and alarms. These predictions/alarms are visualized in the computer and need to be checked and interpreted manually. This time-consuming and repetitive task is subject to error, as engineers are humans who are inconsistent and prone to procrastinate their tasks.

This paper proposes an additional method to the current normal radar monitoring standard, by implementing artificial intelligence that helps engineer identifying real movement. The AI, in the form of machine learning, will automatically analyze radar data's time relation and spatial correlation.

B. STUDY AREA

Batu Hijau Pit is one of the biggest copper porphyry open pits in Indonesia. It is currently operated by PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. The mine is located in Sumbawa Island, West Nusa Tenggara Province. Since mining operation started in 2000, the mine has gone through a total of seven mining phases. Currently, the mine has a length of roughly 3 km, a width around 2.5 km, with a current maximum depth at -315 meters below sea level. In Batu Hijau Pit, each bench is 15 meters high, with bench face angle varies between 60 and 70 degrees, and the overall slope angle of the pit varies between 36 and 38 degrees.

From a geological point of view, The Batu Hijau deposit is situated within an East-west-trending Sunda Banda Arc (Hamilton, 1979). At the Batu Hijau, there are four different main lithology units (Figure 1). The oldest rock formation is volcanic rocks, which was intruded by diorite, and a latter intrusion of

tonalite. The tonalite intrusion comprises multiple stages of intrusion which could be differentiated into intermediate tonalite and the latter young tonalite by the texture and mineralization. Clode et al. (1999) reported that the copper and gold mineralization is related to quartz veining and wall rock alteration, and centered inside the tonalite stocks. The tonalite porphyries were emplaced along the contact between andesitic volcanic rocks and equigranular quartz diorite. The time range of emplacement of the tonalite porphyry was relatively short, at 3.76 ± 0.12 to 3.67 ± 0.10 Ma (Garwin, 2002). Alteration-wise, there are four different alteration types in Batu Hijau: Secondary Biotite Alteration, Pale Green Mica (PGM), Chlorite-Epidote Alteration and Feldspar Destructive Alteration.

Geotechnically, the pit is divided into 9 geotechnical domains, characterized by rock type, alteration and structural sets (Figure 1). The UCS of the rock in Batu Hijau varies from 42 to 100 MPa, with the diorite being significantly weaker than the other rock types. The RMR value of the pit varies between 20 and 70, with a mean value between 30 and 40. In a more general perspective, the pit can be divided into two regions, East and West. The East Region is characterized by weak rock mass properties, whereas the West Region has a strong, blocky, structurally controlled type of rock mass. A typical failure in Batu Hijau is commonly caused by poor rock mass properties, resulting from complex intensive structural geology distribution (Aprilia et al., 2010).

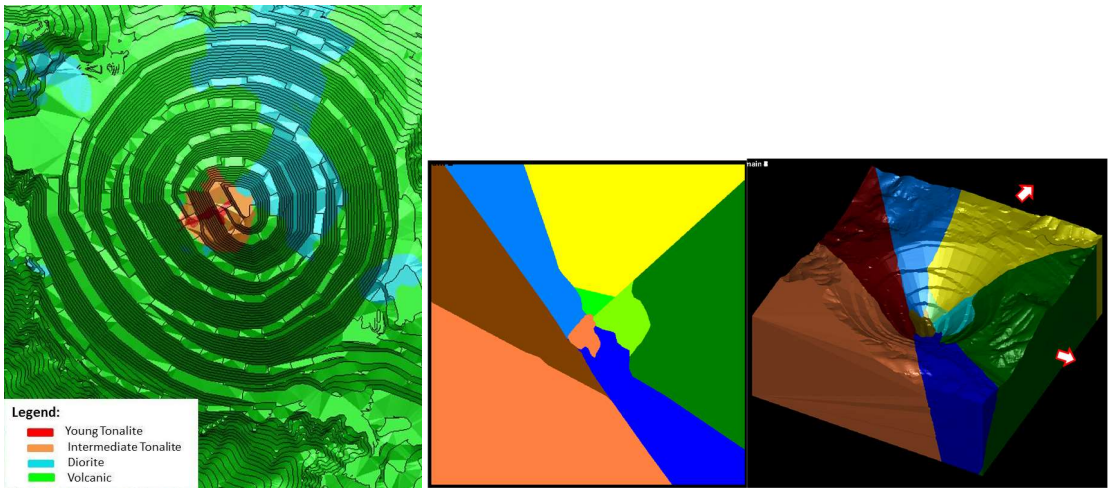


Figure 1. Lithology and geotechnical domain model in Batu Hijau Pit.

C. DATA AND INSTRUMENTATION

The use of ground-based radar in open-pit mines has become a standard practice for early warning slope hazard monitoring equipment. All types of radar work by measuring phase difference of a continuous transmitted microwave signal which is back-scattered by slope surface. The difference of measured phase waves is then back calculated to get the relative displacement or deformation of the surface. Radar possesses some advantages over other instruments such as high precision, long-range capability and high frequency acquisition rate (Farina et al., 2013).

Batu Hijau Mine is currently operating a real-time radar monitoring system which is considered as the most advanced technology in this field today. Among the radar monitoring technologies, IDS GeoRadar's IBIS-FM, which relies on the interferometric signal, is currently deployed in Batu Hijau site. Several radars are placed radially in the outer edge of the pit limit, covering every area of Batu Hijau Pit. The average distance from radar to pit wall of each radar is approximately 1.5 to 2 km. Each radar has roughly 2 minutes of acquisition time, which means 30 sets of data are collected every hour.

In the example, the machine learning method collects real-time radar data within the last constant time interval, usually 1 or 2 hours. In this paper, we provide real sample data from Radar 2 (Figure 2), facing

the north Pit area, as an example to show how the prediction generation process works.

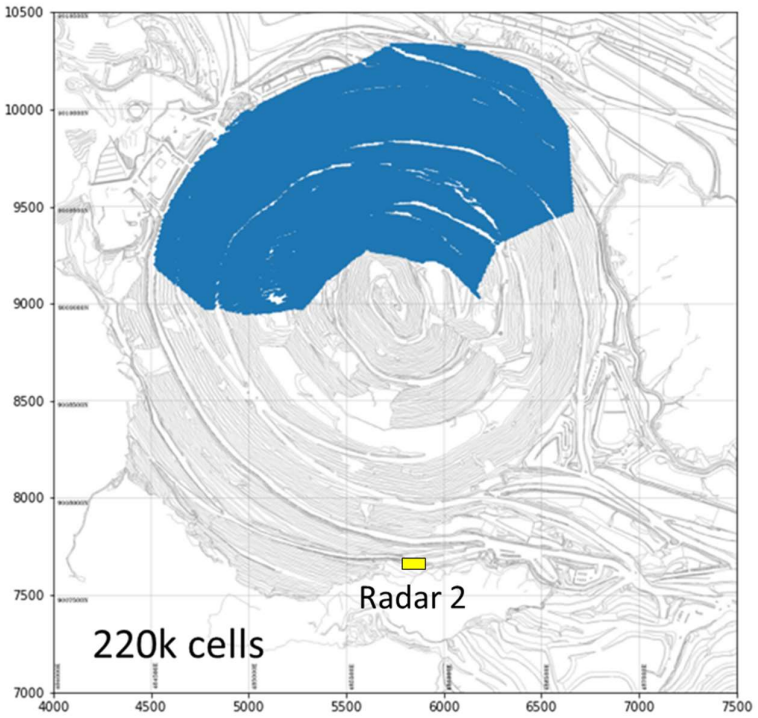


Figure 2. Radar 2 covering area.

D. PREDICTION MODEL

The three predicting methods used to generate prediction are radar's velocity threshold filtering, regression, and unsupervised clustering (Figure 3).

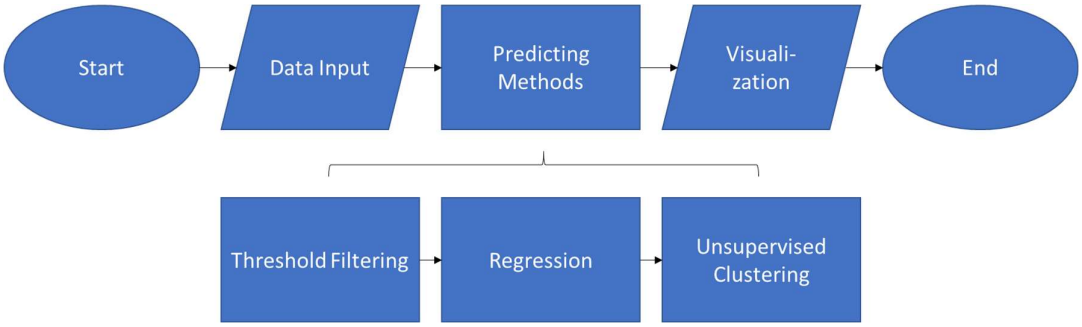


Figure 3. Flowchart model prediction.

D.1. VELOCITY CUT-OFF

The long process to determine Trigger Action Response Plan (TARP) threshold value involves multiple back analysis studies. Therefore, this paper will not be discussing the statistical study of TARP threshold in Batu Hijau site. The most recent TARP study in Batu Hijau, conducted in 2020, incorporates a 1.5 mm/hour cut-off velocity value as an early warning indicator.

Traditional velocity cut-off method is still the most effective and efficient way to classify real movement (Figure 4). It runs first to greatly reduce the number of cells that will be processed by the AI model next. This saves a significant amount of computational power and processing time. However, when computational power is no longer an issue, machine learning models can be run alternatively first.

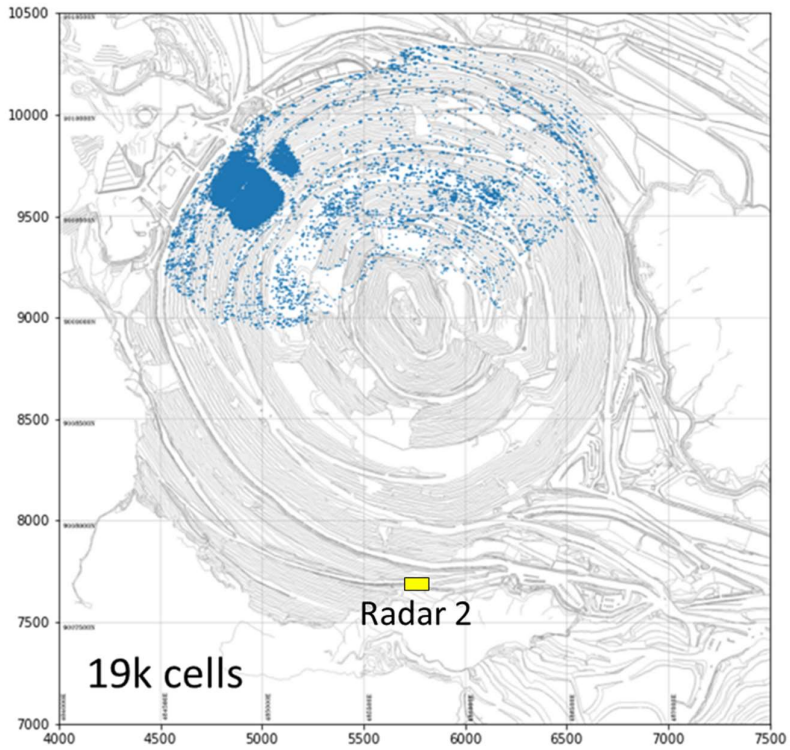


Figure 4. Real time prediction example after applying traditional cut-off threshold.

D.2. LINEAR REGRESSION MODEL

Regression is the easiest way to determine correlation between variables. There are many forms of regression model: linear, polynomial, exponential and others. However, linear regression, which is the simplest regression model, is used. Based on linear/progressive movement theory, real movement is assumed to be highly correlated with time when compared to noise or no movement. As stated in Fukuzuno (1985), linear movement will gradually change its characteristic towards progressive movement. Therefore, the linear model is selected to be the correct model to identify real movement during the linear phase as early as possible. Other reasons for using linear models are its simplicity and more computational friendly than other models.

The main premise that needs to be understood when applying this step is "every real movement has a high correlation with time, however not everything correlated with time is real movement". This model uses the above assumption to distinguish and classify real movement from non-real movement. Linear regression is run on every radar pixel which contains a set of displacement data within the last time interval (Figure 5). It evaluates the correlation between displacement and time with the value of coefficient of determination, more commonly known as R-squared (R^2). A cut-off coefficient of determination was previously determined based on the context of site characteristic justified by multiple trial-error results. Figure 6 shows the effect of regression filtering when applied to the previous dataset (Figure 4).

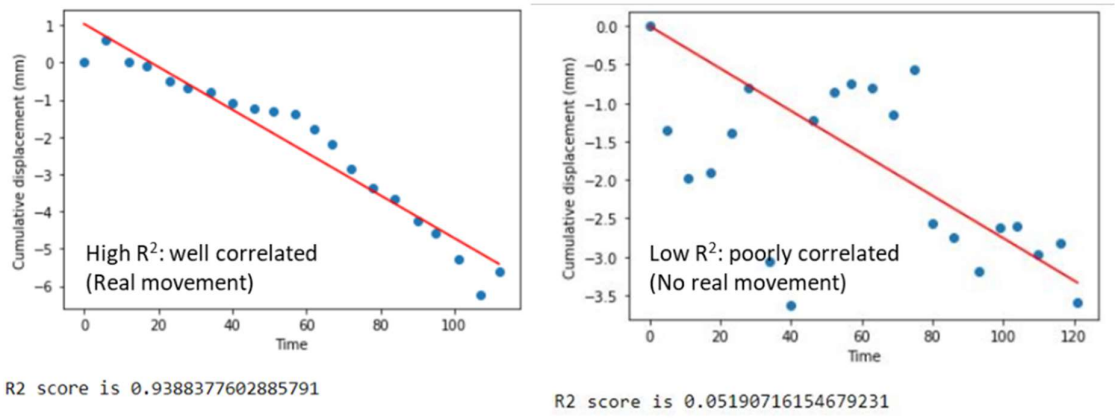


Figure 5. Pixels examples of linear regression model measure the correlation between time and movement.

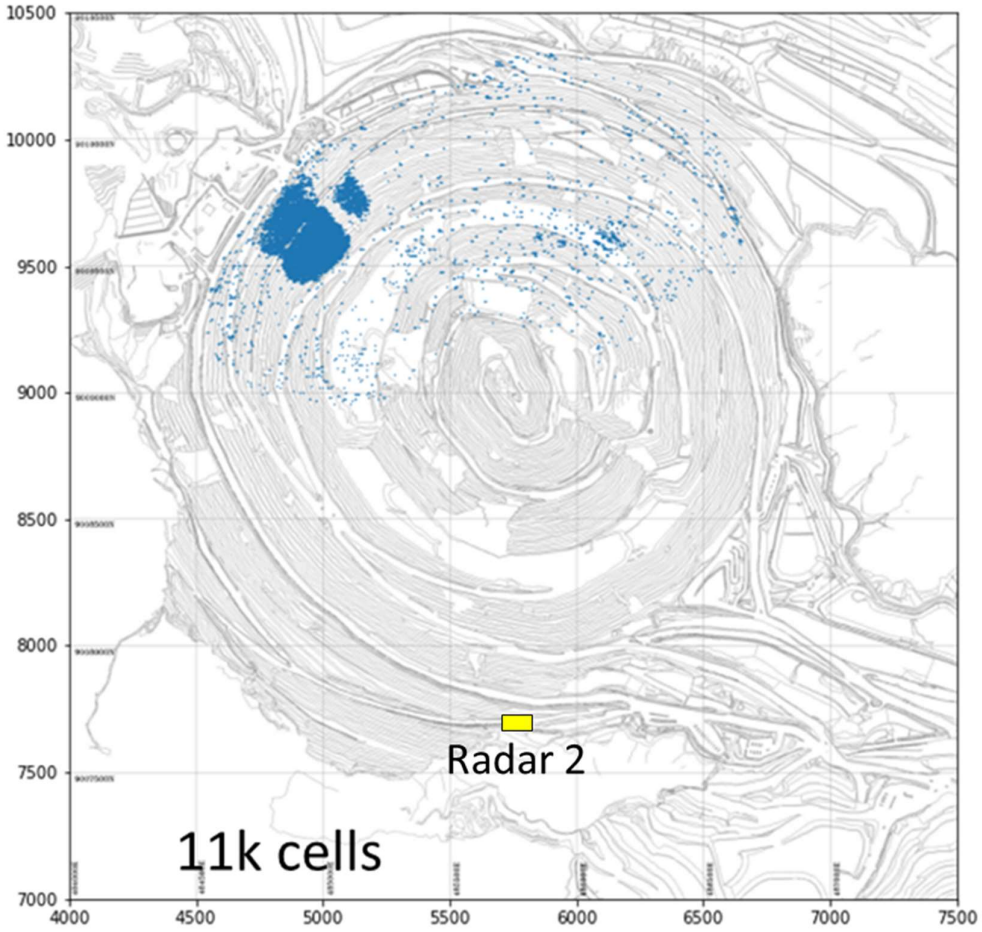


Figure 6. Real time prediction example after applying linear regression filter.

D.3. MEAN SHIFT CLUSTERING

From many clustering methods that are available out there, no method is more suitable than the mean shift unsupervised clustering method. Mean shift is a non-parametric feature-space clustering technique which does not require prior knowledge of the number of clusters and does not constrain the shape of the clusters. It uses an iterative mode search, which initializes with random seed, then calculates the mean of the cluster, shifts the search window to the mean, and repeats until converge. It will generate several clusters that are potentially detected as real movement. Because the mean shift clustering method uses a radial basis function (RBF) kernel, the location or coordinate of each pixel will be referenced and fixed first from the cartesian coordinate.

The main premise that needs to be understood when applying this step is "every real movement has high spatial correlation, however not every highly spatial correlated signal is real movement". For example, pixels that lie next to each other will have higher spatial correlation than those pixels that lie 100 meters apart. It means that a potential real movement must consist of a minimum number of pixels, known as minimum area extent. The cluster of several close-proximity pixels is an indicator of real movement that triggers the alarm.

There are two main parameters that affect the clustering result, which are bandwidth, equivalent to distance and minimum bin frequency, equivalent to minimum area extent. Bandwidth determines the maximum distance of the kernel function; in other words, it dictates the maximum distance of two pixels that is required to be recognized as a group. The second parameter is the minimum bin or cluster frequency, which determines the minimum number of pixels required for a single cluster.

There is no value that works well straight away for all purposes and instances of the data. Instead, the right value should be carefully adjusted, depending on the targeted movement size. The most suitable value must be justified based on real time observation from several trials. Figure 7 shows the final prediction after applying mean shift clustering.

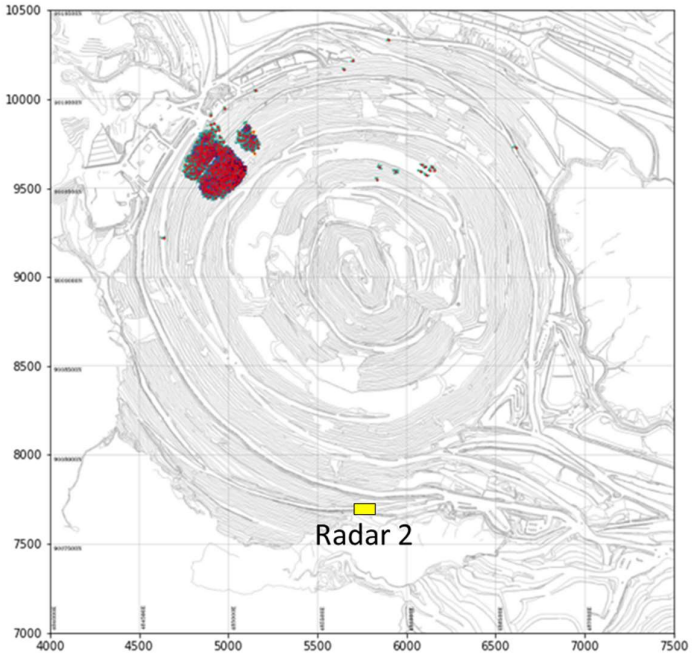


Figure 7. Final prediction after applying mean shift clustering method.

E. CONCLUSION

The conclusions from this research are:

1. In addition to the current normal cut-off TARP response, two supplementary machine learning models are used to analyze real-time radar. The first model is a regression model, which tries to measure the correlation of movement/deformation with time. The second method is an unsupervised clustering technique to understand the data's spatial correlation.
2. These supplementary methods are created to assist engineers, not to replicate or substitute them. Engineering experience and judgement are still needed to correctly determine the AI parameters and validate the prediction result to the real-life condition.
3. Multiple field tests were done to adjust the correct cut-off value for each machine learning parameter. The machine learning parameters that are vital to the classification result are the coefficient of determination, the bandwidth (distance) and the minimum requirement pixel number of a cluster (minimum area extent).
4. Trial result shows a significant reduction of false predictions/alarms, thus giving better accuracy in predicting real movement. However, false predictions are still encountered. This is because the radar data quality is greatly affected by physical weather conditions.
5. Improvement and further research will be conducted by applying multiple timeframes analysis to generate better prediction.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to express their gratitude to the mining company, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara, for facilitating this project and allowing us to present the result as a paper. The authors wish to acknowledge Mine Geotechnical Department staff, who have provided all the help and technical support. The authors also would like to show deep appreciation to our supervisors and managers, who helped the authors to finalize this project.

REFERENCES

Aprilia, F, Indrawan, IGB, Adriansyah, Y dan Maryadi, D, (2014): Analisis Tipe Longsor Dan Kestabilan Lereng Berdasarkan Orientasi Struktur Geologi Di Dinding Utara Tambang Batu Hijau, Sumbawa Barat, Seminar Nasional Kebumian Ke-7 dan Simposium Pendidikan Geologi Nasional, 149 – 162.

Carla, T, Farina, P, Intrieri, E, Botsialas, K & Casagli, N, (2017): On the monitoring and early warning of brittle slope failures in hard rock masses: Examples from an open-pit mine, Engineering Geology, vol. 228, 71–81.

Clode, C, Proffet,, J, Mitchell P, and Munajat, L, (1999): Relationship of intrusion, wallrock alteration and mineralization in the Batu Hijau Copper-Gold Porphyry Deposit, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series no. 4/99, 485-498.

Farina, P, Coli, N, Yön, R, Eken, G, Keitzmen, H, (2013): Efficient real time stability monitoring of mine walls: the Çöllolar Mine Case Study, Proceedings of the 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey, Antalya, Turkey, 111-117.

Fukuzono, T, (1985), 'A new method for predicting the failure time of a slope', Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, 145–150.

Garwin, Steve, (2000): The Setting, Geometry and Timing Of Intrusion Related Hydrothermal Systems In The Vicinity Of Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia, Thesis, University of Western Australia.

Hamilton,W B, (1979): Tectonics of the Indonesian Region, U.S. Geological Survey Professional Paper 1078.

Read, J & Stacey, P, (2009): Guidelines for Open Pit Slope Design, CSIRO Publishing, Australia.

Vaziri, A, Moore, L & Ali, H, (2010): Monitoring systems for warning impending failures in slopes and open pit mines', Natural Hazards, vol. 55, no. 2, 501–512.

ANALISIS AWAL PENDUGAAN NILAI *UCS* DARI NILAI *PLI* UNTUK BATU LEMPUNG DAN BATU PASIR , PT ARUTMIN INDONESIA TAMBANG ASAM ASAM, KALIMANTAN SELATAN

Muhamad Zainal Kahfi

Section Geologi dan Geoteknik, PT Arutmin Indonesia Tambang Asam Asam

Email: zainalkahfi@gmail.com

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun kedepan, proyeksi kebutuhan batubara masih terus mengalami peningkatan. Imbas dari hal tersebut, bukaan lubang tambang akan bertambah luas dan dalam. Kondisi tersebut mengharuskan adanya perhatian yang lebih terhadap keamanan bekerja di lokasi penambangan. Salah satu hal yang berperan dalam peningkatan keamanan bekerja adalah kondisi lereng tambang yang relatif stabil. Kondisi tersebut harus bisa dinilai secara kuantitatif. Untuk penilaian tersebut, salah satu inputnya adalah sifat mekanik batuan. Agar dapat menghasilkan kesimpulan analisis secara tepat, maka sifat mekanik batuan sebaiknya diambil dari lokasi yang berdekatan dengan lokasi yang dianalisis melalui pemetaan geoteknik. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari bias data akibat interpolasi kekuatan batuan yang didapat dari lubang bor yang telah ada sebelumnya. Uji yang sering dilakukan untuk mendapatkan sifat tersebut adalah Uji Kuat Tekan Uniaksial *(UCS)* dan Uji *Point Load (PLI)*. Secara umum, *UCS* relatif lebih lama dan kompleks dalam pengujiannya dibandingkan *PLI.* Akan tetapi, kedua uji tersebut bisa saling berkorelasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan persamaan untuk mengkorelasikan nilai *UCS* dan *PLI* di area penelitian. Dari kumpulan data yang telah ada sebelumnya, secara statistik melalui piranti lunak SPSS, didapatkan hasil regresi linear adalah *UCS* = 9.77**PLI* untuk batu lempung dan *UCS* = 12.93**PLI* untuk batu pasir. Dengan adanya persamaan ini diharapkan hasil analisis geoteknik dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat.

Kata kunci : UCS, PLI, batu lempung, batu pasir

ABSTRACT

In the next few years, the projected coal demand will continue to increase. As a result of this, the mine pit openings will be wider and deeper. This condition requires more attention to the safety of working at the mining site. One of the things that play a role in improving work safety is the stability of mine

*slopes. These conditions must be assessed quantitatively. For this assessment, one of the inputs is rock mechanical properties. In order to produce accurate analytical conclusions, the mechanical properties of rocks should be taken from locations close to the analyzed location through geotechnical mapping. This is intended to avoid data bias due to interpolation of rock strength obtained from pre-existing drill holes. The tests that are often carried out to obtain these properties are the Uniaxial Compressive Strength Test (UCS) and the Point Load Test (PLI). In general, UCS is relatively longer and more complex to test than PLI. However, the two tests can be correlated with each other. This study aims to obtain an equation to correlate the UCS and PLI values in the research area. From the pre-existing data set, statistically through SPSS software, the linear regression results obtained are UCS = 9.77*PLI for claystone and UCS = 12.93*PLI for sandstone. With this equation, it is hoped that the results of geotechnical analysis can be carried out more quickly and precisely.*

***Keywords** : UCS, PLI, claystone, sandstone*

A. PENDAHULUAN

Batubara saat ini masih memegang peranan penting dalam menyuplai kebutuhan energi listrik dalam negeri. Dalam beberapa tahun kedepan, proyeksi kebutuhan batubara masih terus mengalami peningkatan. Imbas dari hal tersebut, bukaan lubang tambang akan bertambah luas dan dalam. Kondisi tersebut mengharuskan adanya perhatian yang lebih terhadap keamanan bekerja di lokasi penambangan. Salah satu hal yang berperan dalam peningkatan keamanan bekerja adalah kondisi lereng tambang yang relatif stabil. Kondisi tersebut harus bisa dinilai secara kuantitatif. Dalam ilmu mekanika batuan, teknik kuantifikasi ini dapat dilakukan melalui uji laboratorium untuk mendapatkan sifat mekanik sampel batuan. Uji yang sering dilakukan untuk mendapatkan sifat tersebut adalah Uji Kuat Tekan Uniaksial *(Unconfined Compressive Strength Test-UCS)* dan Uji *Point Load (Point Load Test-PLI).*

Uji *UCS* merupakan salah satu metode untuk menentukan sifat mekanik batuan skala laboratorium. Tujuan uji ini adalah untuk klasifikasi dan karakterisasi sampel batuan utuh *(intact rock).* Dari uji ini dihasilkan beberapa informasi yaitu kurva tegangan regangan, kuat tekan uniaksial *(UCS)* (σ_c), modulus Young *(E),* nisbah Poisson *(v),* fraktur energi, dan spesifik fraktur energi. Di PT Arutmin Indonesia, pengujian *UCS* menggunakan mesin kuat tekan merk Control dengan mengikuti standard dari ISRM 1981.

Uji *Point Load*, sama halnya dengan *UCS*, merupakan salah satu metode untuk menentukan sifat mekanik batuan. Dari uji ini dihasilkan nilai Indeks *Point Load* (PLI) (I_s). Di PT Arutmin Indonesia, pengujian *Point Load* menggunakan alat *Point Load Tester* yang mengikuti standard dari ISRM 1985. Menurut standar tersebut, sampel batuan uji dapat berupa silinder ataupun berupa bongkah batuan.

Dari kedua uji tersebut, uji UCS mempunyai prosedur pengujian yang rumit, membutuhkan alat uji yang besar dan tidak portabel, serta durasi pengujian yang relatif lama. Sebaliknya, uji *Point Load* mempunyai prosedur pengujian yang sederhana, preparasi contoh yang mudah, alat pengujian sangat portabel, serta pengujian dapat langsung dilakukan di lapangan.

Para ahli telah melakukan penelitian mengenai cara memprediksi nilai UCS sampel batuan secara tidak langsung di lapangan berdasarkan dari nilai indeks *Point Load* yang dimilikinya. Broch & Franklin (1972), Read at al (1980), Das (1985), Hawkins & Olver (1986), Kramadibrata (1989), Vallejo at al (1989), Elkateb (2009), dan Kahraman (2011) telah memberikan persamaan untuk memprediksi nilai UCS dari nilai PLI untuk beberapa jenis batuan sedimen.

Lokasi penelitian ini berada di PT Arutmin Indonesia tambang Asamasam. Formasi Warukin merupakan pembawa batubara di daerah ini. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Banjarmasin (N. Sikumbang dan R. Heryanto, 1994), Formasi Warukin terdiri atas perselingan batupasir kuarsa halus-kasar konglomeratan

dan batulempung, dengan sisipan batulempung pasiran dan batubara.

Penelitian ini bertujuan mencari persamaan umum untuk memprediksi nilai UCS dari nilai PLI dari setiap jenis batuan penyusun lereng serta membandingkan persamaan yang didapat dengan persamaan dari para peneliti sebelumnya.

B. METODOLOGI PENELITIAN

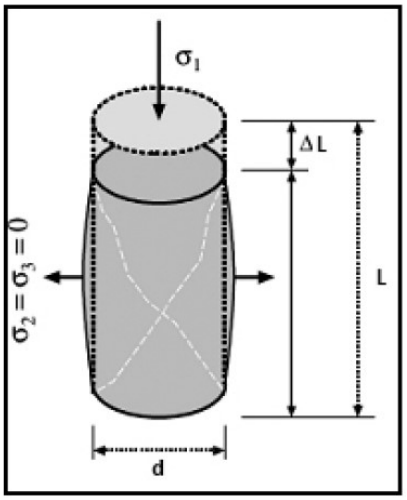
B.1. Metode Kerja *UCS*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, UCS menggunakan Standard dari ISRM 1981. Uji ini menggunakan mesin tekan dengan laju tegangan antara 0.5-1.0 MPa/detik. Pengukuran gaya tekan melalui pembacaan *manometer gauge.* Sedangkan pengukuran perpindahan aksial dan lateral dilakukan dengan memasang *dial gauge* secara vertikal dan horizontal. Menurut standard tersebut, contoh batuan uji berbentuk silinder dengan perbandingan L/D bervariasi dari 2.5 – 3.0. Diameter sampel batuan lebih dari ukuran NX (± 54 mm). Kedua muka contoh batuan uji harus mencapai kerataan hingga 0.02 mm. Sisi panjangnya juga harus rata, sehingga kelurusannya sepanjang sampel batuan.

Kuat Tekan Uniaksial *(σ_c),* adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah sampel batuan sesaat sebelum batuan tersebut hancur *(failure)* tanpa adanya pengaruh dari tegangan pemampatan. Kuat Tekan Uniaksial *(σ_c)* dinyatakan dengan persamaan (1) :

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

Ketika dilakukan penekanan terhadap sampel batuan, maka sampel tersebut akan mengalami pemendekan di sisi aksial dan penggelembungan di sisi lateral. Penyebaran tegangan di dalam sampel batuan secara teoritis searah dengan gaya yang dikenakan pada sampel tersebut.



Gambar 1. Skema uji UCS

Keterangan :

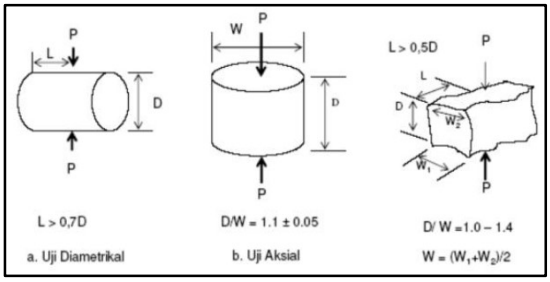
L:	Panjang Sampel Batuan	d:	Diameter
ΔL:	Perpindahan Aksial	σ_1 :	Tekanan arah vertikal

Hasil uji kuat tekan uniaksial yang meliputi pengukuran beban, perpindahan aksial, dan lateral akan diperoleh kurva tegangan dan regangan batuan.

B.2. Metode Kerja *Point Load Test*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, UCT menggunakan Standard dari ISRM 1985. UCT merupakan uji indeks yang telah secara luas digunakan untuk memprediksi nilai UCS dari batuan. Sampel batuan uji dapat berupa silinder ataupun berupa bongkah batuan. Diameter sampel uji disarankan berbentuk silinder dengan diameter 50 mm. Menurut Broch & Franklin (1972), Indeks *Point Load* (I_S) sampel batuan dapat dihitung dengan persamaan (2) :

$$\boldsymbol{I_s = \frac{P}{D^2}} \qquad (2)$$



Gambar 2. Skema uji *point load*

Apabila diameter sampel batuan yang diuji bukan 50 mm, maka persamaan (2) diperlukan koreksi. Menurut Greminger (1982), selang faktor koreksi tergantung besarnya diameter. Karena diameter ideal yang digunakan adalah 50 mm, maka Greminger menurunkan persamaan (3) :

$$\boldsymbol{I_{s(50)} = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45} \frac{P}{D^2}} \qquad (3)$$

Keterangan :

$I_{s(50)}$: Point Load Index diameter 50 mm (Mpa)
P : Beban maksimum contoh pecah (N)
D : Jarak antar konus penekan (mm)
d : diameter contoh

B.3. Metode Analisis Data

Untuk mencari korelasi yang terdapat diantara nilai UCS dan PLI dalam bentuk persamaan maka digunakan metode analisis regresi linier sederhana.

Analisis regresi digunakan memprediksikan seberapa jauh perubahan yang terjadi pada nilai variabel dependen, jika nilai variabel independen dimanipulasi atau diubah. Koefisien korelasi adalah pengukuran statistik kovarian antara dua variabel. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara +1 hingga -1. Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan hubungan linier dan arah hubungan dua variabel. Jika koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah, sebaliknya jika koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Tabel 1 menjelaskan makna dari koefisien korelasi menurut Jonathan Sarwono:

Tabel 1. Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi	Keterangan
0	tidak ada memiliki korelasi antara dua variabel
0 – 0.25	memiliki korelasi sangat lemah
0.25 – 0.5	memiliki korelasi cukup
0.5 – 0.75	memiliki korelasi kuat
0.75 – 0.99	memiliki korelasi sangat kuat
1	memiliki korelasi sempurna

Penelitian mengenai korelasi UCS dan PLI sudah dilakukan oleh banyak peneliti beberapa puluh tahun ke belakang. Objek dari penelitian tersebut terbagi menurut jenis batuan yang diteliti. Untuk batuan

sedimen sendiri terdapat beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian. Tabel 2 menunjukkan beberapa usulan persamaan korelasi antara UCS dan PLI yang telah dikeluarkan oleh para ahli.

Dari penelitian para ahli tersebut, akan dicari persamaan mana yang paling mendekati untuk kondisi batuan di lokasi penelitian. Selain itu akan dicari juga persamaan tersendiri untuk masing- masing batuan di lokasi penelitian. Pada penelitian ini, tipe batuan yang dijadikan objek penelitian adalah batu lempung *(claystone)* dan batu pasir *(sandstone)*.

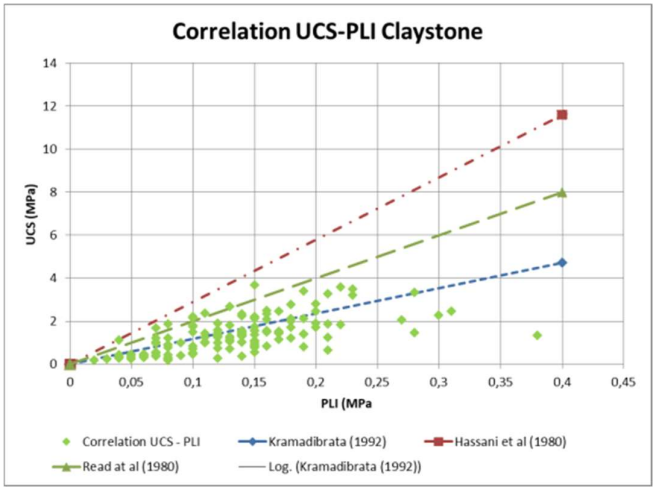
Tabel 2. Usulan persamaan korelasi UCS dan PLI

Peneliti	Usulan Persamaan	Tipe Batuan
Hassani et al (1980)	UCS = 29 PLI	Sedimen
Read et al (1980)	UCS = 20 PLI	Sedimen
O'Rourke (1988)	UCS = 30 PLI	Sedimen
Kramadibrata (1992)	UCS=11,82 PLI	Batu pasir dan Batu lempung
Broch & Franklin (1972)	UCS=24 PLI	Batu pasir
Das (1985)	UCS=18 PLI	Batu pasir
Hawkins & Olver (1986)	UCS=24.8PLI	Batu pasir
Smith (1997)	UCS=24 PLI	Batu pasir
Rusnak & Mark (1999)	UCS=20.6 PLI	Batu pasir
Elkateb (2009)	UCS=6.2 PLI	Batu pasir
Das (1985)	UCS=14.7 PLI	Batu lanau
Rusnak & Mark (1999)	UCS=20.2 PLI	Batu lanau
Elkateb (2009)	UCS=8.6 PLI	Batu lanau
Kahraman (2001)	UCS=23,6PLI-2,69	Batubara

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

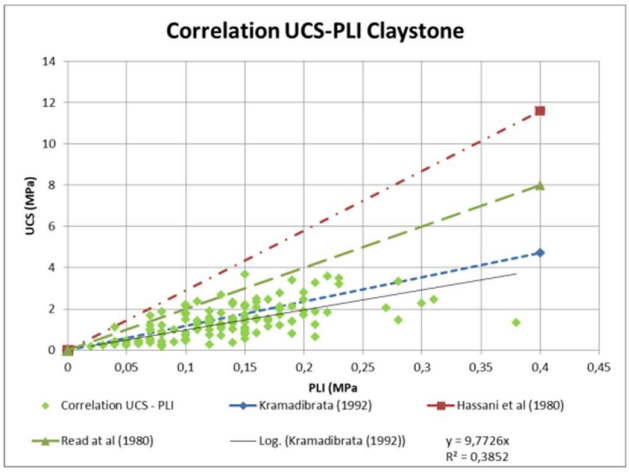
C.1. Korelasi UCS dan PLI Batu Lempung

Pada penelitian ini, penentuan korelasi antara UCS dan PLI batu lempung menggunakan 138 pasang data pengujian. Pada penelitian terdahulu, penentuan korelasi UCS dan PLI batu lempung relatif lebih sedikit dibandingkan batuan lain. Grafik 1 merupakan hasil plotting UCS dan PLI batu lempung yang di *overlay* dengan hasil penelitian sebelumnya :



Gambar 3. Korelasi UCS dan PLI batu lempung

Dari Gambar 3 terlihat bahwa persamaan yang diusulkan oleh Kramadibrata (1992) merupakan persamaan yang paling cocok dengan jenis batu lempung di lokasi penelitian. Untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati, maka regresi linear untuk data batu lempung dapat dilihat di Grafik 2. Dari koefisien korelasi dapat dipahami bahwa nilai UCS dan PLI di batu lempung mempunyai korelasi yang kuat yaitu 0.621.



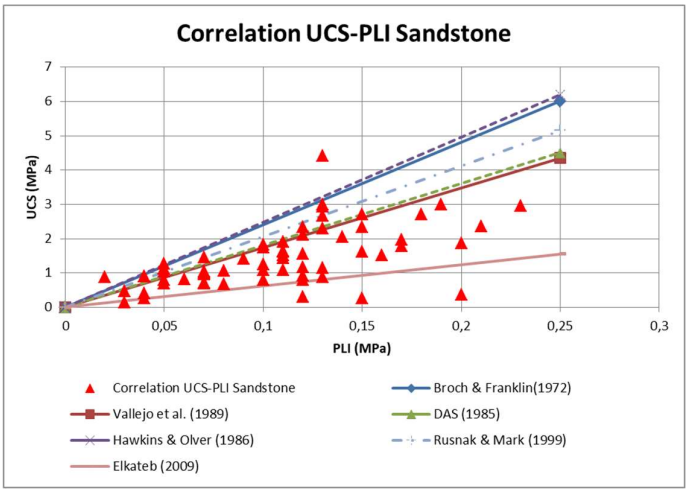
Gambar 4. Regresi Linear korelasi UCS dan PLI batu lempung

Tabel 3. Koefisien korelasi nilai UCS dan PLI batu lempung

Regresi Linear	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (R)
UCS = 9.7726 PLI	0.3852	0.621

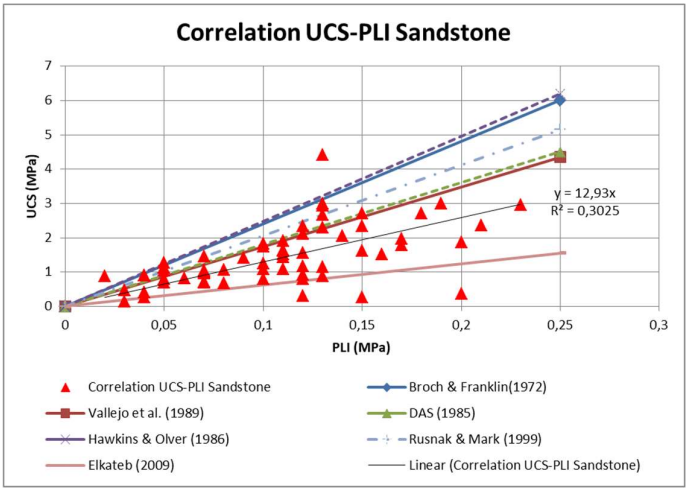
C.2. Korelasi UCS dan PLI Batu Pasir

Pada penelitian ini, penentuan korelasi antara UCS dan PLI batu pasir menggunakan 62 pasang data pengujian. Penelitian sebelumya mengenai korelasi UCS dan PLI batu pasir relatif lebih banyak dibandingkan jenis batuan lain. Grafik 3 merupakan hasil plotting UCS dan PLI batu pasir yang di *overlay* dengan hasil penelitian sebelumnya.



Gambar 5. Korelasi UCS dan PLI batu pasir

Dari Gambar 5 terlihat bahwa sebagian besar data korelasi UCS dan PLI di lokasi penelitian berada diantara grafik yang diusulkan Elkateb (2009) dan Das (1985). Untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati, maka regresi linear untuk data batu pasir dapat dilihat di Gambar 6. Dari koefisien korelasi dapat dipahami bahwa nilai UCS dan PLI di batu pasir mempunyai korelasi yang kuat yaitu 0.55.



Gambar 6. Regresi linear korelasi UCS dan PLI batu pasir

Tabel 4. Koefisien korelasi nilai UCS dan PLI batu pasir

Regresi Linear	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (R)
UCS = 12.93 PLI	0.3025	0.55

D. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Terdapat korelasi yang kuat antara UCS dan PLI pada contoh batuan yang diuji.
2. Persamaan pendugaan nilai UCS dari PLI di lokasi penelitian pada Batu Lempung UCS = 9.77*PLI dan untuk Batu Pasir UCS = 12.93*PLI.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada PT Arutmin Indonesia tambang Asam Asam terutama kru dan personel Laboratorium Mekanika Batuan yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian.

F. DAFTAR PUSTAKA

Alitalesh, Mahtab, M. Yazdani, M. Molaali. 2016.*Correlation between uniaxial strength and point load index of rocks*. Japanese Geotechnical Society Special. https://www.researchgate.net/publication/292213486 DOI: 10.3208/jgssp.IRN-0

Broch, E. and Franklin, J.A. (1972) The Point-Load Strength Test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 669-697 .

Das BM. Evaluation of the Point Load Strength for SoftRock Classification. Proceeding of the 4th InternationalConference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV,1985, pp. 220-226.

Hasanah et al. 2019. Alternatif Penentuan *Uniaxial compressive strength* batu lempung Dari *Point Load Strength Index* dan *Rebound Number Schmidt Hammer*. Jurnal GEOSAPTA Vol. 5 No.2. Universitas Lambung Mangkurat.

Hassani FP, Whittaker BN, Scoble MJ. Application of thePoint Load Index Test to Strength Determination of Rock,Proposals for a New Size Correlation Chart. Proceeding of the21st U.S. Symp. on Rock Mech., Rolla, MO, 1980.

Kahraman, Sair. 2009. *The Effect Of Rock Classes On The Relation Between Uniaxial Compressive Strength And Point Load Index*. Bulletin of Engineering Geology and theEnvironment. https://www.researchgate.net/publication/227065418 DOI: 10.1007/s10064-009-0195-0

Liang, Maybelle et al. *Estimating Uniaxial Compressive Strength of Tropically Weathered Sedimentary Rock Using Indirect Tests.* Jurnal Teknologi. *Faculty of Civil Engineering*, Universiti Teknologi Malaysia.

O'Rourke JE. Rock Index Properties for Geoengineering Design in Underground Development. SME preprint 88-48,1988, 5 pp.

Rai, Astawa Made et al. 2014. Mekanika Batuan. Bandung: Penerbit ITB.

Read JRL, Thornton PN, Regan WM. A RegionalApproach to the Point Load Test. Proceeding of the Aust-NZGeomech. Conference 2, 1980, pp. 35-39.

Rusnak, John & C. Mark. Using The Point Load Test To Determine The Uniaxial Compressive Strength Of Coal.

Smith HJ. The Point Load Test for Weak Rock inDredging Applications. Int. Journal Rock Mech. Min. Sci 34,No. 3-4, 1997, Paper No. 295.

PEMODELAN PENGUJIAN PEMAMPATAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DENGAN PENDEKATAN METODE ELEMEN HINGGA MODEL KONSTITUTIF PLASTISITAS CAM-CLAY MODIFIKASI PADA MATERIAL BERPORI

Vergiagara V.[1, a)] dan Saptono S. [2, b)]

[1,2]*Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta*

E-mail: [a)]vergiagaravega@gmail.com [b)]singgihsaptono@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Sifat rekayasa tanah berpori penting untuk desain dan konstruksi struktur geoteknik. Perilaku kompresibilitas tanah berpori seperti lempung bergantung pada waktu dan mencirikan perilaku lempung tersebut, dan digunakan uji konvensional satu dimensi, yaitu uji Oedometer. Keberhasilan penggunaan analisis numerik dalam memecahkan masalah rekayasa geoteknik tergantung pada model konstitutif yang dipilih untuk mewakili perilaku material yang sebenarnya. Model konstitutif yang terkait dengan material tertentu harus menggambarkan perilaku material di bawah gangguan eksternal. Model ini diformulasikan secara matematis secara khusus untuk mewakili tanah berpori lunak seperti lempung dan menyediakan beberapa parameter yang memungkinkan representasi akurat dari karakteristik respons tegangan-regangan pra-kegagalan. Model konstitutif *Cam-Clay* Modifikasi dalam perangkat lunak Metode Elemen Hingga Simulia *ABAQUS* dalam penelitian ini secara sistematis mewakili perilaku lempung berpori lunak dan memberikan beberapa parameter yang memungkinkan akurasi untuk mewakili karakteristik respons tegangan-regangan bahan berpori.

Kata kunci : *Cam-Clay,* Simulia ABAQUS, tanah berpori

A. LATAR BELAKANG

Ketika dilakukan pembebanan pada material tanah jenuh berpori berpermeabilitas rendah, beban tersebut menyebabkan tekanan pada tanah. Tekanan tersebut akan terdistribusikan ke dalam massa tanah dan akan menekan air yang berada pada pori sehingga meningkatkan tekanan air pori secara cepat. Tekanan air pori berlebih ini hilang saat air mengalir keluar dari rongga tanah dan tekanan dipindahkan ke kerangka tanah yang secara bertahap dikompresi, menghasilkan penurunan. . Peristiwa tersebut dinamakan konsolidasi atau pemampatan tanah, bergantung pada properti teknik, respons tanah terhadap tegangan yang diterapkan akan berbeda dan peristiwa konsolidasi berlangsung sampai tekanan air pori berlebih hilang.

Sifat teknik tanah berpori ini penting untuk desain dan konstruksi struktur geoteknik. Perilaku kompresibilitas tanah berpori seperti lempung bergantung pada waktu dan untuk mengkarakterisasi perilaku lempung tersebut digunakan uji konvensional satu dimensi yaitu uji Oedometer. Hasil uji Oedometer sangat penting dari sudut pandang geoteknik, karena persyaratan penurunan biasanya mengontrol desain timbunan pada tanah dasar berpori. Karakteristik perubahan volume tanah dapat ditentukan melalui uji Oedometer di laboratorium yang merupakan pengujian konvensional, diasumsikan untuk mensimulasikan kondisi regangan lateral nol pada spesimen.

Keberhasilan penggunaan analisis numerik dalam memecahkan masalah rekayasa geoteknik bergantung pada model konstitutif yang dipilih untuk mewakili perilaku material yang sebenarnya. Model konstitutif yang terkait dengan materi tertentu harus menggambarkan perilaku material di bawah gangguan eksternal.

Model konstitutif Modified Cam-Clay pada perangkat lunak ABAQUS Finite Element Method (Versi 6.5-3, 2005) dipilih sebagai model untuk studi pemodelan ini. Model ini secara matematis diformulasikan secara khusus untuk merepresentasikan tanah lunak berpori seperti lempung, dan menyediakan beberapa parameter yang memungkinkan akurat untuk mewakili karakteristik respons tegangan-regangan pra-keruntuhan. Penggunaan Modified Cam-Clay pada penelitian ini dinilai cocok untuk secara terpisah mengakomodasi skenario pembebanan awal plastik dan pelepasan-pemberian beban elastis sebagai fungsi logaritmik dari angka pori dan tegangan efektif. Parameter input untuk model dapat diturunkan dari konsolidasi satu dimensi sederhana pada laboratorium mekanika tanah.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan Penelitian yang dilakukan yaitu menganalisis validitas penggunaan model konstitutif modified Cam-Clay pada perangkat lunak ABAQUS Finite Element Method untuk menganalisis perilaku konsolidasi tanah berbutir halus.

C. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang dilakukan dengan teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian. Pengumpulan data dapat dilakukan dengan berbagai cara, memperoleh data yang luas dan rinci, dan diklasifikasikan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

1. **Studi Sastra**
   Tahap awal dalam pelaksanaan penelitian ini adalah melakukan studi kepustakaan. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui material yang berhubungan dengan perilaku konsolidasi tanah berbutir halus, tanah lunak, uji fisik-mekanis tanah, modifikasi model konstitutif Cam-Clay.
2. **Pengambilan data**
   Pengambilan sampel tanah berpori lunak dilakukan pada endapan limonit
3. **Uji Laboratorium**
   Sampel tanah Limonit diuji konsolidasi satu dimensi dan oedometer pembengkakan, pengujian Drainase konsolidasi triaksial, kuat tekan, dan pengujian difraksi sinar-x.

4. Pengolahan dan analisis data

Pemodelan perilaku konsolidasi tanah berbutir halus dengan model konstitutif Cam-Clay pada software ABAQUS Finite Element Method dan hasilnya divalidasi dengan pengujian skala laboratorium. Perbedaan antara hasil pemodelan dan kenyataan pengujian laboratorium mengharuskan nilai RMSE & MAE < 0,5 dan R^2>0,75.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |e_i| \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2} \tag{1}$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \tag{2}$$

$$SSR = \sum (Ymodel - Yrata - rata)^2 \tag{3}$$

$$SST = \sum (Yaktual - Yrata - rata)^2 \tag{4}$$

MODEL KONSTITUTIF CAM-CLAY MODIFIKASI

Model ini mengasumsikan hubungan logaritmik antara tegangan efektif dan angka pori, dengan konstanta kekakuan linier yang diterapkan bergantung pada apakah keadaan tanah dalam kondisi kompresi plastik primer atau siklus pelepasan- pemberian beban. Respon deformasi tanah menunjukkan karakteristik pengerasan plastik; yaitu, ketika regangan deviatorik meningkat dari keadaan terkonsolidasi normal, terjadi regangan plastik volumetrik berkurang menjadi nol ketika regangan deviatorik kumulatif meningkat. Keadaan kritis dicapai ketika regangan volumetrik nol disertai regangan deviatorik tak hingga.

Model konstitutif Cam-Clay membutuhkan parameter inputan Logarithmic Bulk Modulus, Poisson's Ratio, Elastic Tensile Limit, Initial Void Ratio, Logarithmic Hardening Modulus, Critical State Ratio, Initial Overconsolidation Parameter, Wet Yield Surface Size, dan Flow Stress Ratio.

Logarithmic Bulk Modulus

Logarithmic bulk modulus, kappa (κ), adalah konstanta tanah yang ditentukan oleh kemiringan rata-rata garis pelepasan-pemberian beban pada grafik konsolidasi satu dimensi lihat Gambar 1.. κ digunakan untuk memberikan respons volumetrik elastis linier. Karena κ didefinisikan dalam $e - In\ p$, nilainya dapat diturunkan dari konstanta pengembangan tanah Cs sebagai:

$$\kappa = \frac{C_s}{\ln 10} \tag{5}$$

Logarithmic Hardening Modulus, Lambda (λ) adalah konstanta tanah yang ditentukan oleh kemiringan rata-rata garis virgin konsolidasi pada grafik konsolidasi satu dimensi lihat Gambar 1. Seperti dijelaskan, λ adalah konstanta pengerasan logaritmik yang menentukan karakteristik kompresibilitas plastis dari tanah liat. Karena λ didefinisikan dalam ruang $e - In\ p$, nilainya dapat diturunkan dari konstanta pengembangan tanah Cc sebagai berikut:

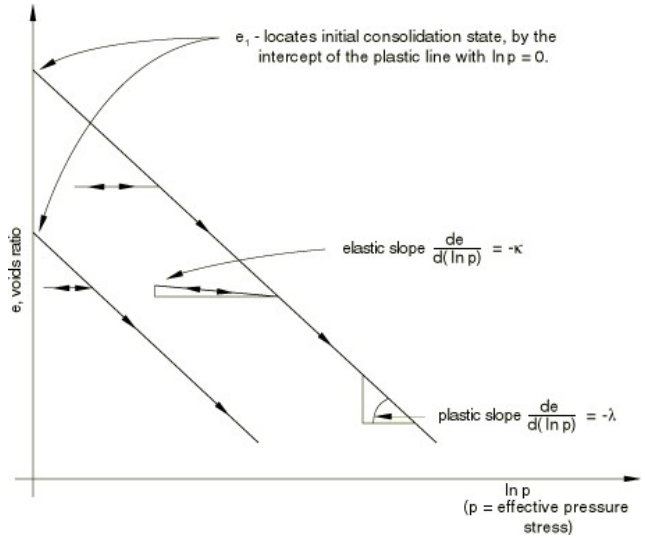
$$\Lambda = \frac{C_c}{\ln 10} \tag{6}$$

Poisson's Ratio (Nisbah Poison)

Nisbah Poisson (v) adalah nisbah regangan kontraksi normal terhadap beban yang diterapkan dibagi regangan ekstensi yang paralel dengan beban yang diterapkan. Sebagian besar material mekanis

memiliki rasio Poisson yang berada dalam kisaran 0.0 hingga 0.5.

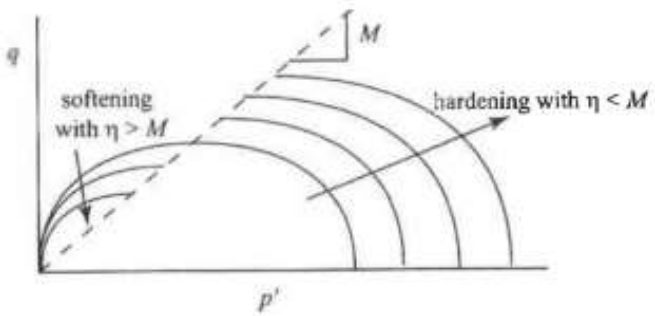
Initial Void Ratio (Angka Pori Awal)
Angka pori, e0, dihitung dengan membagi volume rongga dengan volume padatan dalam spesimen tanah. Angka pori didefinisikan sebagai volume dalam sampel yang diisi oleh air atau gas. Angka pori dapat ditentukan dari uji konsolidasi satu dimensi.



Gambar 1. Logarithmic Bulk Modulus dan Logarithmic Hardening Modulus

Elastic Tensile Limit (Batas Taris Elastis)
Elastic tensile limit, Pt(el), adalah tegangan tarik maksimum yang diijinkan, untuk model konstitutif. Parameter ini digunakan oleh model material ABAQUS "Porous Elasticity" untuk menggambarkan perilaku tarik elastis. Untuk sebagian besar tanah, kekuatan tarik diasumsikan nol.

Critical State Ratio (Rasio Keadaan Kritis)
Rasio Keadaan Kritis, M, adalah kemiringan dari garis keadaan kritis, seperti yang didefinisikan sebelumnya. Saat regangan volumetrik plastik dari sampel yang diberi tekanan mendekati keadaan kritis, sampel cenderung ke arah regangan konstan tanpa perubahan tegangan atau volume. Rasio Keadaan Kritis, M dapat ditentukan dari uji triaksial, lihat Gambar 2.



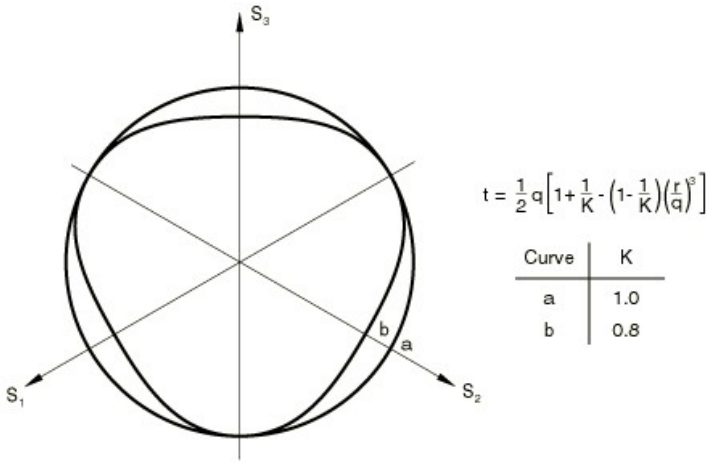
Gambar 2. Pengerasan dan Pelunakan Lokus Hasil di Ruang p'- q (Wood, 2004)

Wet Yield Surface Size
Ukuran yield surface basah, beta β, adalah konstanta yang ditentukan untuk digunakan untuk mengontrol bentuk yield surface di sisi basah kondisi kritis. Hal ini memungkinkan untuk membuat permukaan hasil

dua bagian dengan dua derajat kelengkungan yang berbeda untuk elips permukaan hasil; satu untuk setiap sisi kondisi kritis. β biasanya diambil sebagai 1.0 pada sisi kering kritis dan bervariasi dari 0.5 hingga 1.0 pada sisi kritis basah, dengan 1.0 mewakili formulasi asli model Cam-Clay yang dimodifikasi. Menurut Panduan Pengguna Analisis ABAQUS, β dikalibrasi dari serangkaian uji triaksial yang dilakukan pada tekanan pembatas tinggi. Penyelesaian uji triaksial tekanan pembatas tinggi ini melebihi batas peralatan laboratorium dan berada di luar cakupan penelitian ini. Untuk tujuan kalibrasi model, p harus diasumsikan sama dengan 1.0, dan dapat divariasikan antara 0,5 dan 1,0 sebagai parameter kalibrasi tambahan, sesuai kebutuhan.

Flow Stress Ratio (Rasio Aliran Tegangan)

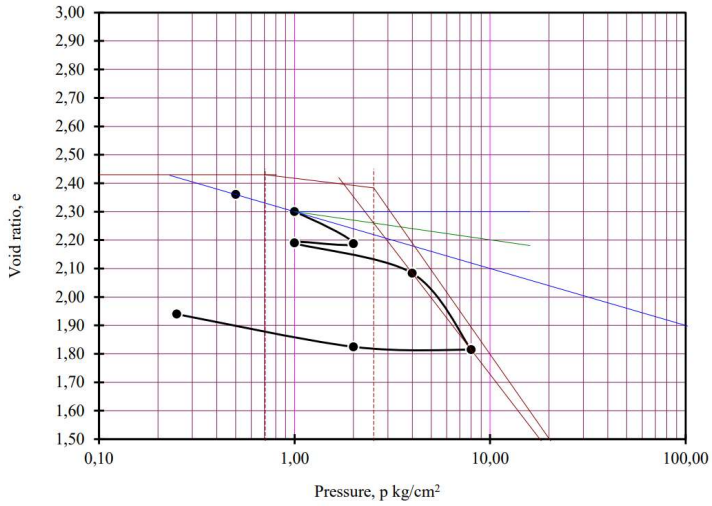
Rasio aliran tegangan, K, didefinisikan sebagai rasio aliran tegangan dalam tegangan triaksial dengan tegangan aliran dalam kompresi triaksial, dan, seperti dijelaskan di atas, menentukan bentuk yield surface pada bidang tegangan deviatorik utama. K mengontrol ketergantungan luluh pada invarian tegangan ketiga, dan kalibrasi diperoleh dengan melakukan serangkaian uji triaksial kubik yang sebenarnya. Tes ini berada di luar kemampuan kebanyakan laboratorium, dan ABAQUS merekomendasikan penggunaan nilai yang ditentukan pengguna untuk K atau mengabaikan efek ini sama sekali yang akan default ke K = 1.0 lihat Gambar 3. Model asli Cam-Clay yang dimodifikasi diwakili oleh K = 1.0, dan nilai ini gunakan dalam pemodelan untuk penelitian ini.



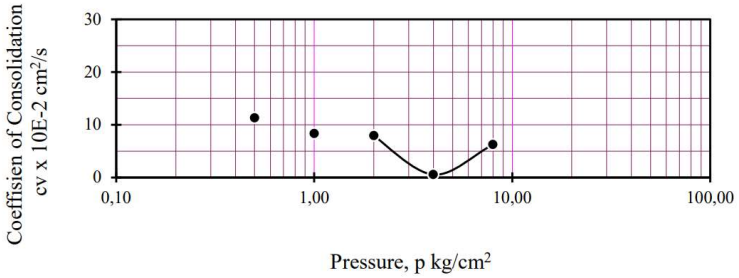
Gambar 3. Pengaruh K pada Bentuk Bidang Utama Deviatoric Stress Plane

PENGUJIAN OEDOMETER

Pengujian konsolidasi pada sampel tanah limonit dilakukan dalam delapan tahap, yang meliputi peristiwa bongkar muat-reload yaitu pemberian beban total 0,50 kg/cm2 pada tahap pertama, pemberian beban total lanjutan sebesar 1,00 kg/cm2 pada tahap kedua. tahap, memberikan beban total lebih lanjut 2,00 kg/cm2 pada tahap ketiga, diikuti dengan pengurangan beban menjadi beban total 1,00 kg/cm2 pada tahap keempat, pemberian kembali beban menjadi total beban 4,00 kg/cm2 pada tahap kelima dilanjutkan pemberian beban total 8,00 kg/cm2 pada tahap keenam, dilanjutkan pengurangan beban menjadi total beban 2,00 kg/cm2 pada tahap ketujuh, dan pada tahap terakhir pengurangan beban kembali menjadi beban total 0,25 kg/cm2. Perlakuan loading-unloading-reloading bertujuan untuk menentukan parameter kompresi dan ekspansi dari material tanah jenuh berpori. Hasil pengujian oedometer dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



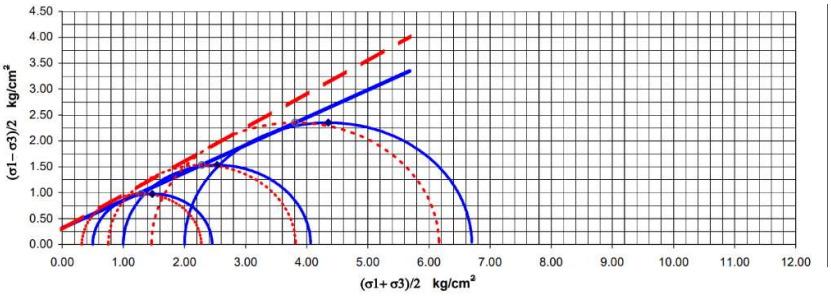
Gambar 4. Perubahan Rasio Void karena Tekanan



Gambar 5. Perubahan Koefisien Konsolidasi karena Tekanan

PENGUJIAN TRIAXIAL CONSOLIDATED DRAINED

Uji drainase konsolidasi triaksial dilakukan dengan menerapkan tegangan dari tiga tegangan utama. Contoh tanah dalam keadaan jenuh, dan bila diberikan tegangan, dibiarkan mengalir sehingga diperoleh kondisi yang sama pada peristiwa konsolidasi. Hasil pengujian drainase konsolidasi triaksial dapat dilihat pada Gambar 6. Ditemukan bahwa diagram p-q adalah metode penyederhanaan analisis data tegangan triaksial dan lainnya, yang umum digunakan dalam mekanika tanah. Hal ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi dan memecahkan berbagai masalah. Istilah "p" adalah tegangan utama efektif rata-rata, dan istilah "q" adalah perbedaan tegangan utama.

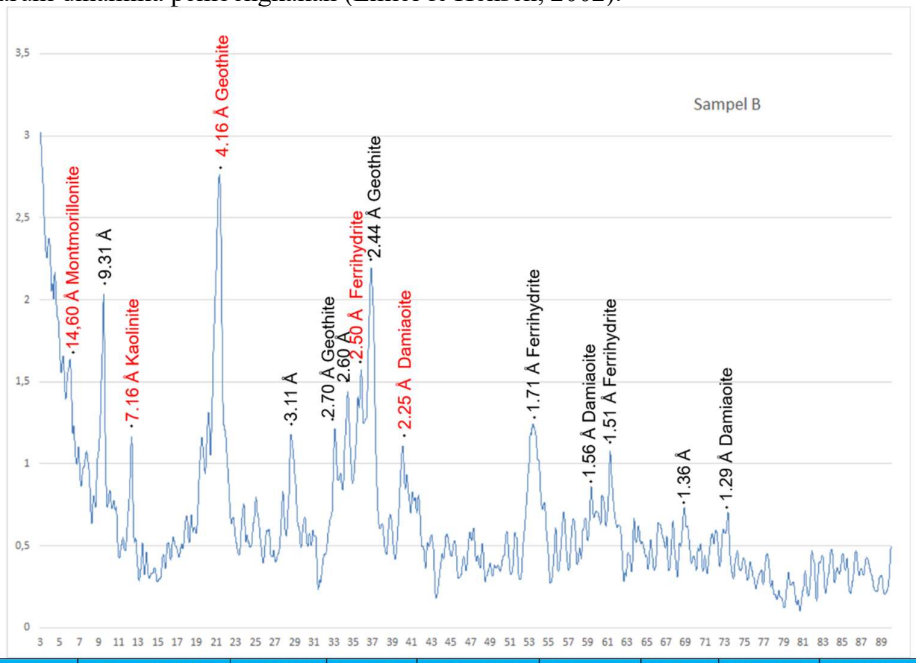


Gambar 6. Diagram p-q

PENGUJIAN X-RAY DIFFRACTION

XRD adalah metode untuk menentukan struktur atom dan molekul kristal, dan kristal akan membiaskan sinar-X ke segala arah. Dari sini, kerapatan elektron dalam atom dan ikatan kimia mineral dapat ditentukan. Hasil uji XRD pada Gambar 7 dari sampel tanah limonit menunjukkan potensi mengembang

karena terdapat kandungan mineral lempung Montmorillonit 19,83% dan Kaolinit 14,10%. Molekul air menyebabkan pembengkakan pada montmorillonit. Pembengkakan ini merupakan hasil interaksi montmorillonit-air yang kompleks antara partikel dan di dalam partikel itu sendiri. Adsorpsi molekul air dan pembengkakan montmorillonit memperkenalkan keadaan terhidrasi dan histeresis. Migrasi counter-ion, awalnya terikat pada permukaan montmorillonit ke bidang interlayer pusat, menyebabkan pembengkakan di montmorillonit. Oleh karena itu, lokus muatan dalam montmorillonit sangat mempengaruhi dinamika pembengkakan (Emiel & Hensen, 2002).



Sample	∑	Montmorillonite (%)	Millerite (%)	Zaratite (%)	Ferrihydrite (%)	Kaolinite (%)	Pyrite (%)	Geothite (%)	Moctezumite (%)	Damiaoite (%)
Limonite	8.251498	19.83	0.00	0.00	19.11	14.10	0.00	33.51	0.00	13.44

Gambar 7. Hasil Pengujian X-Ray Diffraction

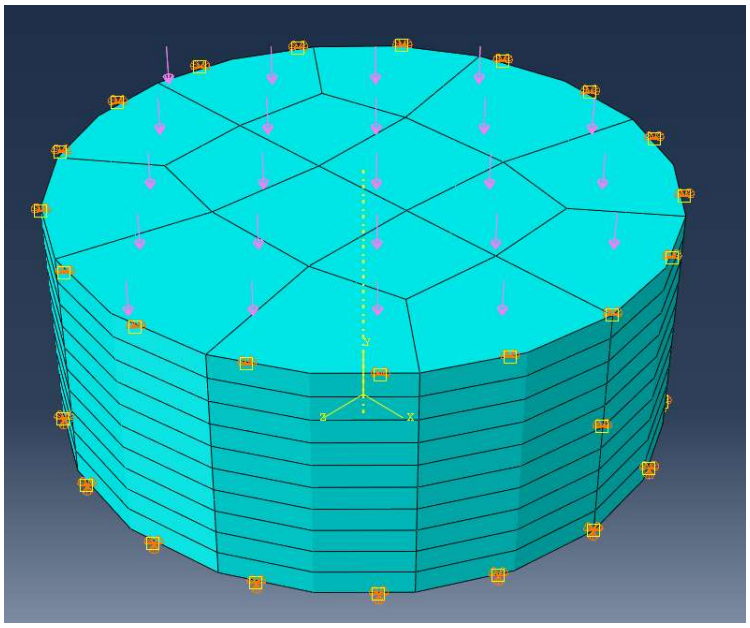
PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA SIMULIA ABAQUS

Berdasarkan pengujian laboratorium dapat dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 1. Sifat Material Spesimen Tanah Limonit

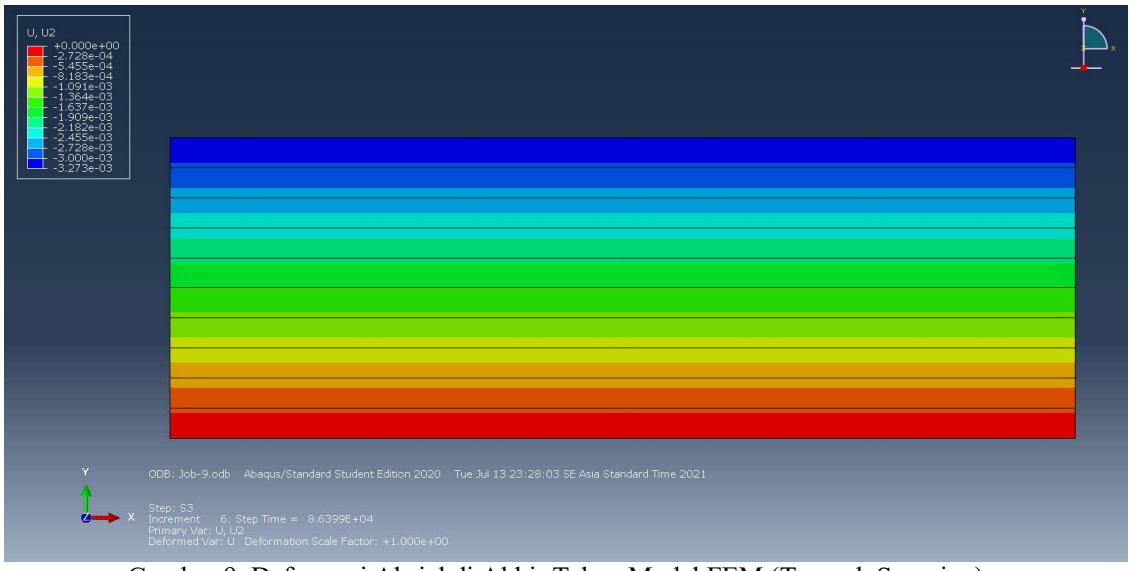
LIMONITE	
Dry Density	20300 N/m^3
Cs	0.023
Log Bulk Modulus	0.01
Poisson Ratio	0.3
Tensile Limit	0
Cc	0.983
Log Plas Bulk Mod	0.427
Initial Yield Surface	95.7129 kPa
Wet Yield Surface Size	1
Q'	1.298 gr/cm^2
P'	0.976 gr/cm^2
Stress Ratio	1.33
Water Density	9806 N/m^3
Permeability	1e-9 m/s
Initial Void Ratio	2.43

Pemodelan contoh tanah dilakukan dengan menggunakan pendekatan Metode Elemen Hingga dengan Model Plastisitas Konstitutif Cam-Clay, dimana langkah pertama adalah membuat dimensi batas yang berbentuk silinder dengan diameter lima sentimeter dan tinggi dua sentimeter. Kondisi batas mensyaratkan bahwa sampel tanah hanya dideformasi pada koordinat y atau secara aksial untuk mewakili uji oedometer laboratorium. Pemodelan tekanan air model pada bagian atas dan bawah model dibuat memiliki nilai nol yang artinya proses drainase diperbolehkan, seperti yang dilakukan pada sampel oedometer. Pemberian loading-unloading-reloading dilakukan dalam 8 tahap, dan pada kondisi awal diberikan tekanan tempat duduk sebesar 0,05 kg/cm2. Perhitungan FEM yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 160 elemen, dan batas model akhir dapat dilihat pada Gambar 8.

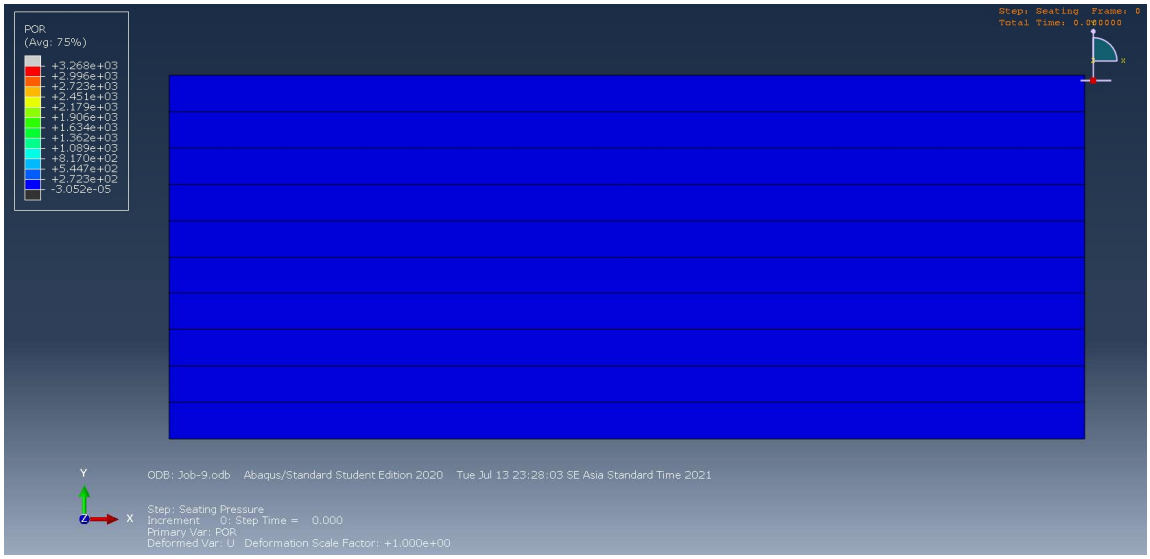


Gambar 8. Kondisi Batas Model FEM Spesimen Tanah Oedometer (Tampilan 3D)

Perhitungan FEM dapat menunjukkan Deformasi Aksial, perubahan Tekanan Air Pori, dan perubahan rasio rongga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-11. Deformasi aksial yang paling signifikan terkonsentrasi di bagian atas model karena lokasinya bersentuhan antara material tanah dan tekanan yang diberikan sehingga terjadi kompresi. Perubahan tekanan air pori dari kondisi awal model yang belum dilakukan bongkar muat menunjukkan nilai tekanan air pori yang rendah saat kondisi bongkar muat menunjukkan nilai tekanan air pori yang mengalir naik turun. karena batas atas dan batas bawah yang diberikan kondisi air dapat dihamburkan. Pada akhir model, kondisi tekanan air pori rendah karena tekanan air pori berlebih telah hilang.

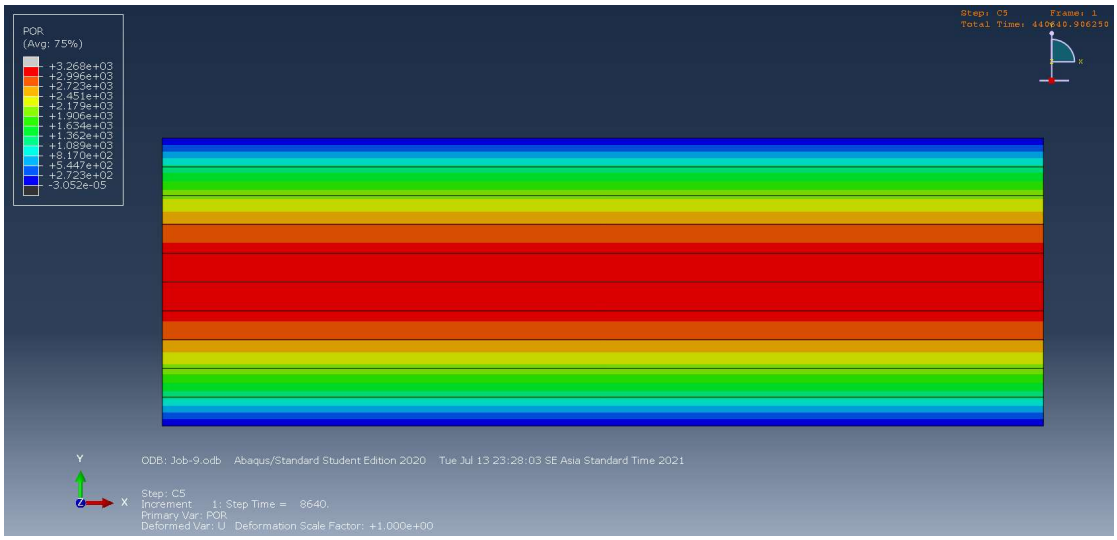


Gambar 9. Deformasi Aksial di Akhir Tahap Model FEM (Tampak Samping)



Gambar 10. Tekanan Air Pori pada Awal Tahap Model FEM (Tampak Samping)

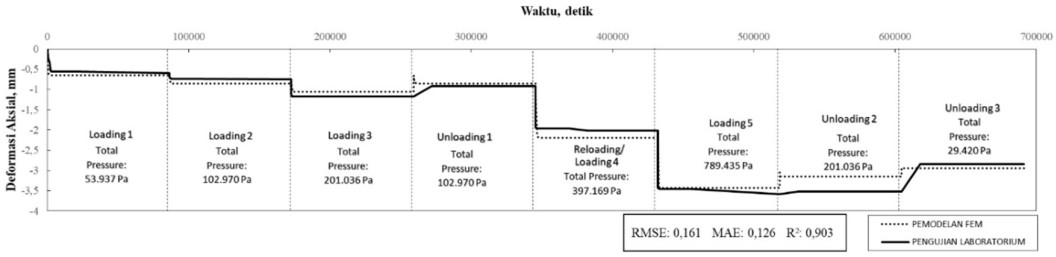
Grafik pada Gambar 13 menunjukkan perubahan deformasi aksial dari waktu ke waktu antara pemodelan FEM dan pengujian oedometer di laboratorium. Grafik pada Gambar 14 menunjukkan perbandingan perubahan rasio kekosongan dari waktu ke waktu di mana hasilnya serupa antara pemodelan numerik dan kejadian sebenarnya. Gambar 13-14 menunjukan komparasi deformasi aksial model simulasi dan pengujian aktual dimana kriteria model dapat diterima/valid dikarenakan nilai RMSE & MAE < 0,5 dan R2>0,75.



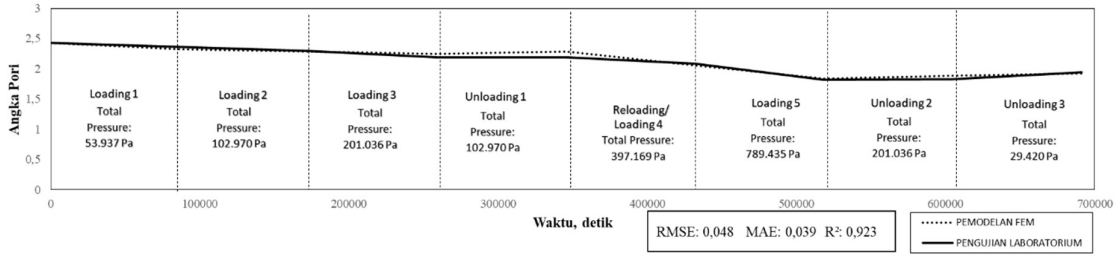
Gambar 11. Tekanan Air Pori pada pembebanan konsolidasi 5 langkah Tahap Model FEM (Tampak samping)



Gambar 12. Tekanan Air Pori di Akhir Tahap Model FEM (Tampak Samping)



Gambar 13. Perubahan Deformasi Aksial Seiring Waktu



Gambar 14. Perubahan Angka Pori Seiring Waktu

D. KESIMPULAN

Model konstitutif Cam-Clay Modifikasi dalam perangkat lunak Metode Elemen Hingga Simulia ABAQUS dalam penelitian ini secara sistematis mewakili kejadian lempung berpori lunak, dan memberikan beberapa parameter yang memungkinkan akurasi untuk mewakili karakteristik respons tegangan-regangan bahan berpori.

DAFTAR PUSTAKA

ABAQUS/CAE Version 6.5-3. (2005). Analysis theory manual. New England: Documentation packaged with software. ABAQUS, Inc.

Bradley, D. M. (2006). Derivation of Parameters and Calibration of Modified Cam-Clay Constitutive Soil Model for Airfield Matting.

Devi, D. (2013). On the determination of modified Cam-Clay model parameters. National Conference on Recent Advances in Civil Engineering (NCRACE).

Emiel, J. M., & Hensen, S. B. (2002). Why clay swell. The Journal of Physical Chemistry B. 106(49):12664-12667.

Monkul, M. M., & Onal, O. (2004). A visual basic program for analyzing oedometer test results and evaluating inter granular void ratio. Computers and Geosciences.

Terzaghi, K., Mesri, G., & Peck, R. B. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice.

Wood, D. M. (2004). Geotechnical Modeling. New York: Spon Press.

KAJIAN ANALISIS RAWAN LONGSOR DI AREA TAMBANG

Wisnu Setiono

Direktur CV. Geo Mining Berkah

E-mail: wisnuset@geominingberkah.com

ABSTRAK

Kabupaten Bogor merupakan daerah yang mempunyai tingkat kerawanan cukup tinggi terhadap kejadian tanah longsor. Berdasarkan pemetaan yang telah dilaksanakan oleh pemerintah daerah, Kecamatan Tanjungsari Bogor merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bogor yang mempunyai tingkat kerawanan sedang tinggi terhadap kejadian tanah longsor. Kajian saya ambil di lahan WIUP PT. Arto Bangun Cemerlang yang terletak di Desa Sirnarasa Kecamatan Tanjungsari Bogor. Pada lokasi kegiatan didominasi dengan kemiringan lereng antara 0-30% dengan formasi Batuan Andesit, breksi dan lempung pasiran dan juga curah hujan yang cukup tinggi sebesar 2.000 mm/tahun – 4.000 mm/tahun maka termasuk ke dalam daerah yang memiliki pergerakan tanah yang sedang sampai dengan tinggi. Penyebab terbesar kemungkinan terjadinya longsor pada lokasi kegiatan adalah curah hujan yang cukup tinggi sebesar 2.000 mm/tahun – 4.000 mm/tahun. Untuk mengantisipasi terjadinya longsor pada lokasi kegiatan yaitu dengan kajian geoteknik dengan rekomendasi teknis tinggi lereng 5-10 meter dan kemiringan 65^0 sehingga memiliki faktor keamanan (FK) yang dihasilkan sebesar 1,35-2,43 (kategori aman). Disisi lain juga harus dibuatnya aliran air untuk mengantisipasi terjadinya curah hujan yang tinggi dengan dimensi drainase tinggi (H) = 20 cm; lebar atas (La) = 50 cm; dan lebar bawah (Lb) = 20 cm.

Kata kunci: tanah longsor, curah hujan, faktor keamanan

ABSTRACT

Bogor Regency is an area that has a fairly high level of vulnerability to landslides. Based on the mapping that has been carried out by the local government, Tanjungsari District, Bogor is one of the sub-districts in Bogor Regency which has a moderate high level of vulnerability to landslides. I studied in the WIUP PT. Arto Bangun Cemerlang is located in Sirnarasa Village, Tanjungsari District, Bogor. The activity location is dominated by slopes between 0-30% with Andesite Rock formations, breccias and sandy loams and also quite high rainfall of 2,000 mm / year - 4,000 mm / year so it is included in the area that has moderate to high soil movement. The biggest cause of the possibility of landslides at the activity site is a fairly high rainfall of 2,000 mm/year – 4,000 mm/year. To anticipate the occurrence of landslides at the location of the activity, that is with a geotechnical study with a technical recommendation of a slope height of 5-10 meters and a slope of 650 so that the resulting safety factor (FoS) is 1.35-2.43 (safe category). On the other hand, the flow of water must also be made to anticipate the occurrence of high rainfall with high drainage dimensions (H) = 20 cm; top width (La) = 50 cm; and bottom width (Lb) = 20 cm.

Keywords: landslide, rainfall, safety factor

A. PENDAHULUAN

Kabupaten Bogor merupakan daerah yang mempunyai tingkat kerawanan cukup tinggi terhadap kejadian tanah longsor. Berdasarkan pemetaan yang telah dilaksanakan oleh pemerintah daerah, Kecamatan Tanjungsari Bogor merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bogor yang mempunyai tingkat kerawanan sedang tinggi terhadap kejadian tanah longsor.

Maksud dan Tujuan

Maksud dari kegiatan ini adalah :

1. Mengidentifikasi karakteristik fisik alam yang ada di Desa Mekarsari khususnya di lokasi pemanfaatan lahan untuk kegiatan pertambangan;
2. Menganalisis dasar penyebab terjadinya longsor pada lokasi kegiatan;
3. Menganalisis antisipasi untuk mencegah kejadian tanah longsor pada lokasi kegiatan

Ruang Lingkup

Ruang lingkup wilayah berada di area wilayah IUP OP PT. ABC baik yang 4,8 ha ataupun 55,8 ha, Desa Sirnarasa Kecamatan Tanjungsari Kab. Bogor.

Ruang Lingkup Kegiatan

Lingkup materi kegiatan kajian yaitu pemetaan geologi, pemetaan hidrogeologi, penyelidikan geolistrik, pengukuran lereng, pemetaan lokasi gerakan tanah, sondir dan hand boring, penyusunan zonasi kerawanan gerakan tanah dan penyusunan alternatif rekomendasi rencana penanggulangan dan mitigasi untuk penanganan bencana gerakan tanah dan longsor. Langkah – langkah kegiatan yang akan dilakukan adalah persiapan survey , pra survey, pengumpulan data , analisis dan pelaporan hasil kerja.

Persiapan Survey

Persiapan survey dilakukan untuk membuat rancangan pelaksanaan masing – masing pekerjaan serta inventarisasi peralatan yang diperlukan.

- Menyusun jadwal pelaksanaan dan penugasan personel untuk masing – masing pekerjaan
- Menyiapkan alat survey seperti : peta dasar wilayah penelitian, peta geologi, alat ukur jarak dan kedalaman, kamera digital, GPS, seperangkat alat pengukuran geolistrik dan alat survey lainnya yang dibutuhkan.

Pra Survey

Kegiatan pra survey dilakukan melalui orientasi lapangan guna melihat kemungkinan dilakukannya pengumpulan data, baik melalui pengamatan langsung di lapangan maupun dengan melihat pustaka yang ada kaitannya dengan penelitian yang dilaksanakan termasuk didalamnya mempelajari laporan penelitian sejenis yang dilakukan sebelumnya.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi data primer dan sekunder, pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara telaah terhadap laporan penelitian sejenis yang dilakukan sebelumnya. Data tersebut meliputi :

- Intensitas curah hujan
- Peta geologi skala 1 : 100.000
- Peta geologi teknik skala 1 : 100.000
- Debit muka air tanah dangkal (peta geohidrologi, 1 : 50.000)
- Peta zonasi gempa bumi
- Peta kerentanan gerakan tanah kab. Bogor skala 1 : 50,000

Data primer dikumpulkan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran dilapangan dengan metode yang sesuai dengan data yang diperlukan. Data tersebut meliputi :

- Data geologi permukaan yang dilakukan dengan pemetaan batuan
- Data geologi bawah permukaan serta pemetaan batas bidang gelinciran dengan metode pengukuran geolistrik.
- Data elevasi muka air tanah, dilakukan dengan pengukuran kedalaman permukaan muka air sumur dan mata air.

- Data pengukuran kelerengan
- Data sondir dan hand boring
- Drone mapping

Analisa Data dan Penyusunan Laporan

Analisa dan evaluasi data dilaksanakan dengan mengevaluasi dan menganalisis data yang telah diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian, antara lain :

- Analisis hasil pengukuran geolistrik
- Analisis data – data primer dans ekunder untuk pembuatan zonasi kawasan kerawanan gerakan tanah
- Analisis data – data primer dan sekunder untuk pembuatan zonasi keluasan
- Analisis pengukuran kelerengan

B. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis data atau informasi dilakukan sejak data diperoleh. Data tersebut selanjutnya dikumpulkan dan dipilah untuk mendapatkan data analisis yang akan dilakukan penyesuaian terhadap tema penelitian yang ditetapkan. Selanjtnya adalah penarikan kesimpulan atau verifikasi data yang telah didapat tersebut. Proses tersebut selanjutnya dituangkan kembali dalam bentuk tulisan ilmiah yang didasari pokok bahasan yang sudah dilakukan analisis dalam kerangka yang bersifat sementara, Miles and Huberman (1992).

Pembahasan dalam bentuk paparan tidak hanya menjelaskan mengenai temuan lapangan apa adanya tapi juga telah disusun dalam bentuk kerangka tulisan yang diarahkan dan dikaitkan dengan data lainnya secara sistematis. Hasil analisis yang bersifat sementara tersebut diupayakan dapat menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

Analisis Karakteristik Fisik Desa Mekarsari

Berdasarkan identifikasi karakteristik fisik alam yang diperoleh dari data sekunder dan observasi lapangan, maka dapat diketahui potensi gerakan tanah yang ada di Desa Mekarsari. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel B.1, berikut ini.

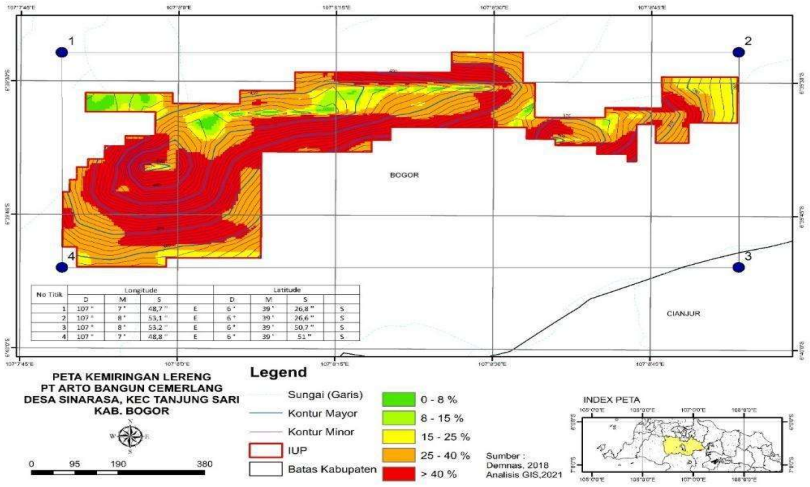
Tabel 1. Potensi Gerakan Tanah Di Desa Sirnarasa Kec. Tanjungsari

No	Variabel Penelitian	Kondisi	Keterangan	Potensi
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	**Kelerengan**			
	0 – 15 %	Dataran dengan luas (60 % dari total luasan)	➢ Pelapukan intensif; ➢ Tidak peka terhadap erosi; ➢ Sedimentasi tinggi	Gerakan Tanah Rendah – Sedang
	15 – 30 %	Relief halus dan bergelomba ngdengan luas (20 % dari total luasan)	➢ Pelapukan sangat intensif; ➢ Agak peka terhadap erosi; ➢ Sedimentasi cukup tinggi	Gerakan Tanah Sedang
	30 – 50 %	Agak curam Relief sedang dengan luas (20 % dari total luasan)	➢ Pelapukan cukup intensif; ➢ Kurang peka terhadap erosi; ➢ Sedimentasi sedang	Gerakan Tanah Sedang – Tinggi

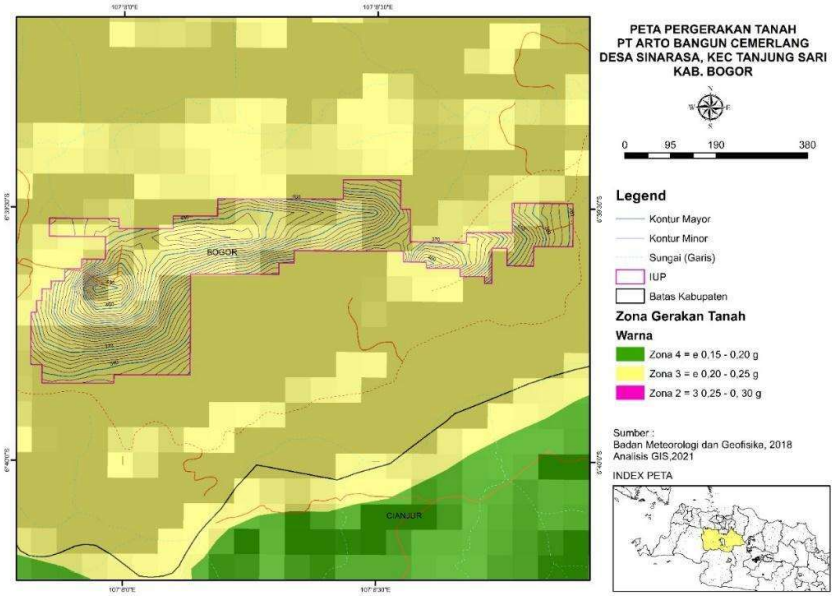
2	**Batuan / Tanah Penyusun**			
	Vitrovit, porfiri basal, dan diorit (Vi)	Batuan terobosan, vitrofit, andesit, porfiri basal, diorite mikro	➢ Pelapukan intensif; ➢ Tidak peka terhadap erosi	Gerakan Tanah Rendah
	Formasi cantayang anggota batu breksi (Qot)	Hasil gunng tua breksi lava, andesit dan batu gamping koral	➢ Pelapukan cukup intensif; ➢ Peka terhadap erosi	Gerakan Tanah Sedang
	Formasi cantayan anggot batu lempung (Mttc)	Lempung napal batu pasir	➢ Pelapukan sangat intensif; ➢ Peka terhadap erosi	Gerakan Tanah Tinggi
3	**Intensitas Curah Hujan**			
	2000 – 4000 mm/Tahun	Cukut tinggi	➢ Pelapukan dan erosi tinggi; ➢ Pemicu gerakan tanah	Gerakan Tanah Sedang – Tinggi

Analisis karakteristik fisik alam dan faktor pemicu terjadinya gerakan tanah di lokasi kegiatan:
Analisis karakteristik fisik berdasarkan kelerengan yang meliputi tingkat kemiringan, pelapukan, kepekaan terhadap erosi dan sedimentasi yang terjadi di daerah penelitian. Berdasarkan identifikasi karakteristik fisik, tersusun secara variatif kelerengan antara 0% sampai 15% pada bagian Utara, 15% sampai 30% pada bagian Selatan dan 30% sampai 50% pada bagian Timur . Tingkat terjadinya pelapukan dari lereng yang ada, tersusun atas lereng dengan pelapukan yang intensif. Pengaruh erosi terhadap lereng berupa kondisi tidak peka terhadap erosi pada kemiringan relative landai dan peka terhadap erosi pada kemiringan yang tinggi. Di sisi lain dari tingkat sedimentasi, terdiri dari daerah dengan tingkat pembentukan sedimentasi yang tinggi pada bagian lereng yang landai dan tingkat sedimentasi rendah pada bagian kelerengan yang tinggi memiliki sedimentasi yang tinggi.

Analisis karakteristik fisik yang didasari oleh batuan atau tanah penyusun yang ada di Desa Mekarsari meliputi tingkat terjadinya pelapukan batuan dan tingkat kepekaan tanah penyusun terhadap erosi yang terjadi. Berdasarkan penilaia karakteristik fisik yang ada di daerah penelitian, tanah tersusun oleh Vitorit porfiri basalt diorit (Vi) pada bagian Timur dengan kondisi batuan terjadi pelapukan secara intensif dan tanah penyusun tidak peka terhadap erosi,. Formasi Cantayan anggota batu breksi (Qot), dan Formasi Cantayan anggota batulempung (Mttc) pada bagian Utara dengan kondisi batuan yang mengalami pelapukan intensif dan tanah penyusun yang peka terhadap erosi.

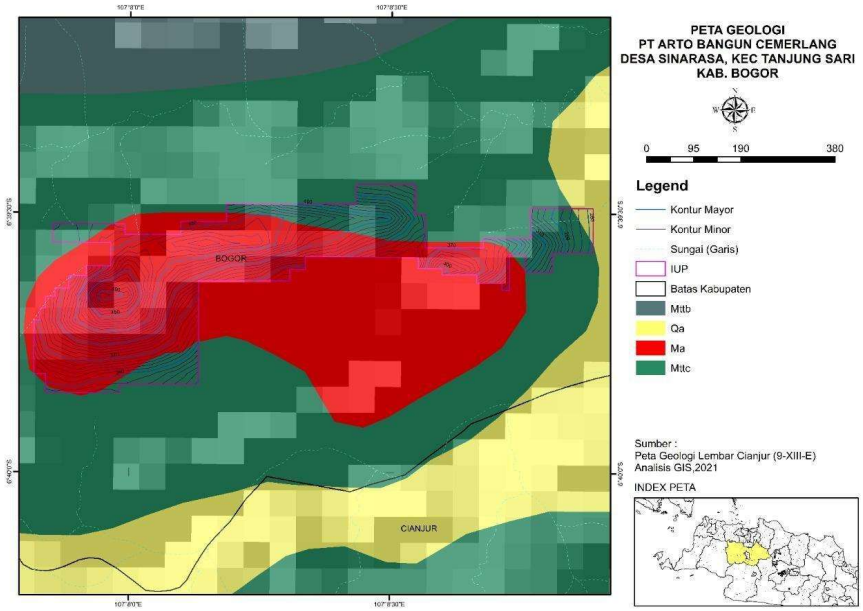


Gambar 1. Peta Kemiringan



Gambar 2. Peta Pergerakan Tanah

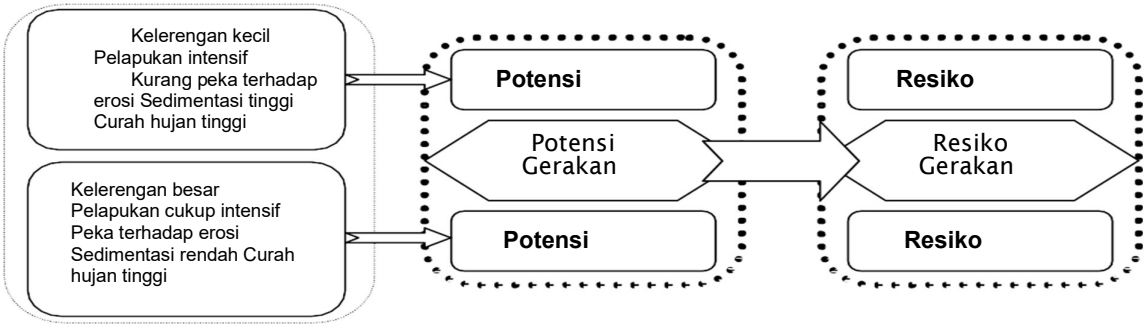
Analisis karakteristik fisik didasari oleh intensitas curah hujan yang ada di Desa Mekarsari termasuk ke dalam kategori tinggi yaitu mencapai 2000–4000 mm/tahun. Kondisi intensitas curah hujan yang tinggi akan meningkatkan terjadinya pelapukan batuan dan erosi pada tanah penyusun daerah. Selain itu, intensitas curah hujan yang tinggi juga dapat meningkatkan kejenuhan air tanah dan menurunkan kekuatan ikatan antar partikel tanah yang akan dapat memicu terjadinya gerakan tanah.



Gambar 3. Peta Geologi Regional

Berdasarkan kondisi fisik berupa tingkat kemiringan lereng, kondisi batuan atau tanah dan intensitas curah hujan di atas, daerah penelitian memiliki beberapa tingkat potensi pergerakan tanah yaitu potensi terjadinya pergerakan yang tinggi, sedang dan rendah. Kegiatan masyarakat berupa budidaya padi dan budidaya ikan di tambak akan meningkatkan kejenuhan air tanah Hasil analisis tersebut diatas sesuai dengan teori dari Karnawati (2003), Sujoko (2003) dan Paimin (2005).

Kondisi karakteristik fisik yang mempengaruhi alam disajikan secara lengkap seperti terlihat pada Gambar B.4 dibawah ini.



Gambar 4. Bagan Karakteristik Fisik
Sumber: Hasil analisis (2021)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Geoteknik

Pada dasarnya kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti :

a) geometri lereng,
b) kondisi geologi daerah setempat,

c) bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut,
d) kondisi air tanah setempat,
e) faktor kegempaan setempat,
f) alat mekanis yang beroperasi, dan
g) teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng.

Apabila kestabilan dari suatu lereng dalam operasi penambangan meragukan, maka analisa terhadap kestabilannya harus dinilai berdasarkan dari struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terdapat pada suatu lereng.
Suatu cara umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng penambangan adalah dengan mendapatkan faktor keamanan dari hasil simulasi kajian kestabilan lereng tersebut, Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang dapat menyebabkan longsor. Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan sederhana untuk mencari nilai FK (Faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut:

a. Data lereng atau geometri

Data lereng atau geometri lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng). Meliput: sudut kemiringan lereng, tinggi lereng dan lebar jalan angkut atau berm pada lereng tersebut.

b. Data mekanika tanah

- Sudut geser dalam (ϕ)
- Bobot isi tanah atau batuan (y)
- Kohesi (c)
- Kadar air tanah (ϙ)

c. Faktor Luar

- Beban alat mekanis yang beroperasi, dll.

Dalam penentuan beberapa kriteria penambangan diperlukan data-data yang diperoleh dari hasil eksplorasi seperti data dari pengujian geoteknik pada saat pelaporan terdahulu. Kajian data pengujian geoteknik yang dilakukan menghasilkan rekomendasi batas maksimum dimensi lereng yang diizinkan untuk digunakan dalam perancangan tambang.

Batas maksimum dimensi lereng yang diijinkan untuk digunakan dalam perancangan tambang yaitu batas maksimum dimensi lereng yang berupa tinggi, kemiringan lereng tunggal dan kemiringan lereng keseluruhan untuk lereng tambang yang masih aman. Analisis geoteknik meliputi analisis kemantapan lereng tunggal (*single slope*) dan juga lereng keseluruhan (*overall slope*). Analisis kemantapan lereng bertujuan untuk menentukan dimensi lereng yang stabil dalam bentuk tinggi lereng dan kemiringan lereng. Data masukan yang diperlukan untuk analisis ini adalah topografi, serta sifat fisik dan mekanik dari batuan penyusun lereng.

Analisis Kemantapan Lereng Tunggal

Analisis kemantapan lereng tunggal dilakukan pada material batuan pasir yang merepresentasikan jenis material penyusun lereng tambang yang akan terbentuk pada saat kegiatan operasi penambangan nantinya.

a. Pendekatan Analisis Kemantapan Lereng Tunggal

Beberapa pendekatan dan asumsi yang digunakan dalam perhitungan kemantapan lereng tunggal antara lain:

Material penyusun merupakan batuan sedimen.

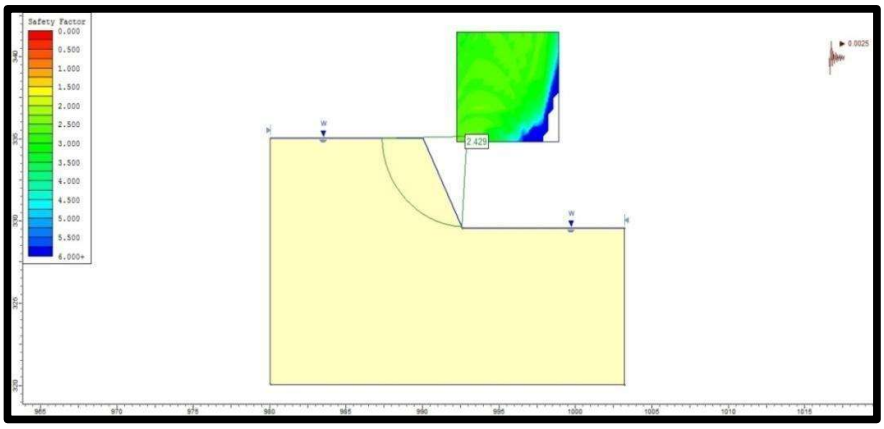
a. Tinggi lereng tunggal rencana 5,5 M.
b. Kondisi lereng disimulasikan dalam keadaan jenuh dan bobot isi jenuh (γ_s).
c. Longsoran potensial diasumsikan berbentuk longsoran busur.
d. Analisis dilakukan dengan metode kesetimbangan batas, menggunakan alat bantu berupa perangkat lunak (*software*) SLIDE dari *Rocscience*.
e. Kondisi lereng tunggal diasumsikan dalam keadaan sudah terganggu, sehingga nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang digunakan adalah nilai residual.

f. Nilai Faktor Keamanan yang akan dicapai sekitar 1,25.

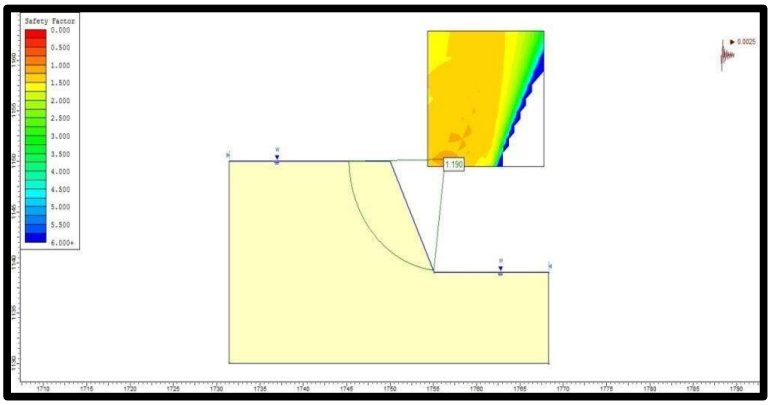
Sifat fisik bahan galian dalam analisis awal kemantapan lereng tunggal ditunjukkan pada (Tabel 2) Contoh hasil analisis kemantapan lereng tunggal menggunakan perangkat lunak SLIDE diperlihatkan pada (Gambar 5 dan 6). Hasil pengujian sifat fisik ini merujuk pada jurnal-jurnal yang membahas mengenai sifat fisik material Sirtu di jawa barat sehingga digunakan sample angka yang paling umum dalam perhitungan stabilitas lereng untuk tambang Sirtu. Nilai dari kohesi dan sudut geser dalam didapat dengan cara menggunakan program RocLab. RocLab adalah sebuah *software* (perangkat lunak) untuk menentukan nilai-nilai dari kekuatan massa batuan, berdasarkan dari versi terbaru yang menggunakan kriteria runtuhan Hoek-Brown umum. RocLab memberikan implementasi secara sederhana dan intuitif kriteria runtuhan Hoek-Brown, yang memberikan kesempatan pada pengguna untuk dengan mudah memperoleh estimasi yang dapat digunakan dalam sifat massa batuan dan untuk menampilkan efek dari perubahan parameter massa batuan pada amplop failure.

Tabel 2. Sifat fisik untuk Analisis Lereng Tunggal

Sample	**Unit Weight (γs) (kN/m^3)**	**Kohesi Residual (C) (kN/m^2)**	**Sudut Geser Dalam Residual (ϕ) (°)**
Sample 1	16,2	43.5	22.7



Gambar 5. Contoh Hasil Analisis Kemantapan Lereng Tunggal dengan Ketinggian 5,5 M Sudut 65^0



Gambar 6. Contoh Hasil Analisis Kemantapan Lereng Tunggal dengan Ketinggian 11 M Sudut 65^0.

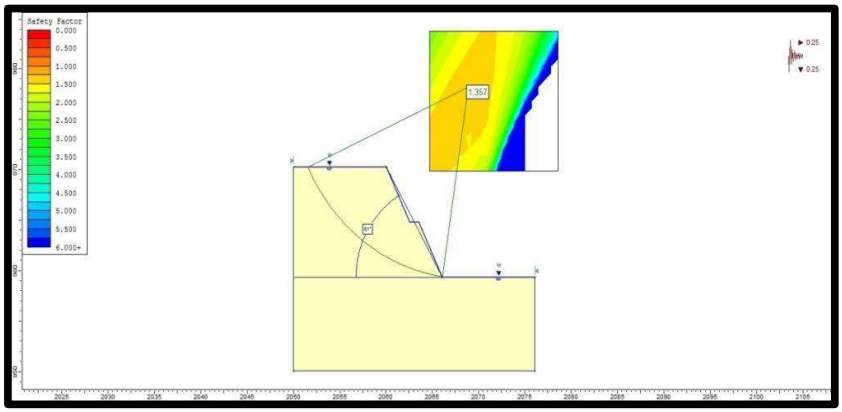
Secara lengkap hasil simulasi dengan ketinggian lereng yang tetap yaitu 5,5 m dan 11 m serta sudut lereng yang bervariasi dapat dilihat pada (Tabel 3) berikut.

Tabel 3. Pengaruh Faktor Keamanan Lereng Tuggal terhadap Variasi Tinggi dan Sudut Lereng

Sample	Tinggi 5.5 meter		Tinggi 11 meter	
	Sudut Lereng (º)		Sudut Lereng (º)	
	55	65	55	65
Sample 1	2.755	2.429	1.402	1.190

Analisis Kemantapan Lereng Keseluruhan

Lereng keseluruhan adalah lereng yang membentuk batas pit penambangan (*pit limit*) berdasarkan desain akhir tambang. Lereng keseluruhan direncanakan dibuat dengan ketinggian maksimal 11 meter dengan besar sudut kemiringan lereng keseluruhan 61 derajat. *Overall slope* juga dilakukan simulasi faktor keamanan lereng dengan menggunakan perangkat lunak SLIDE untuk mengetahui kemiringan lereng yang aman untuk dilakukan penambangan (Gambar 7).

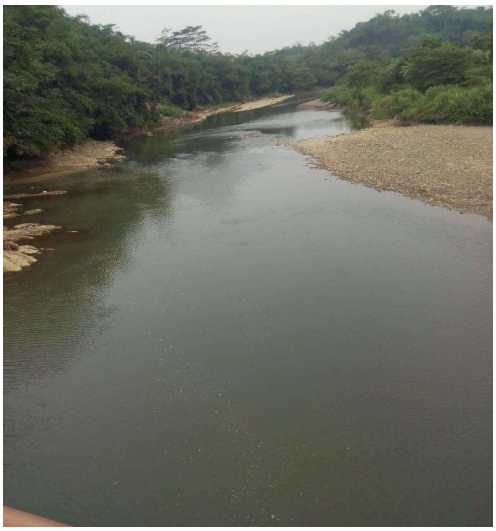


Gambar 7. Simulasi Lereng Keseluruhan

Data fisik bahan galian yang diambil sebaiknya dari sampel yang tidak terganggu (*undisturbed soil*). Kadar air tanah (ϕ) diperlukan terutama dalam perhitungan yang menggunakan komputer (terutama bila memerlukan daya Ydry atau bobot satuan isi tanah kering), Uji sifat fisik batuan dilakukan untuk mendapatkan nilai dari S.G dan juga daya absorption dari bahan galian yang dilakukan di laboratorium beton milik universitas trisakti (Berkas Hasil Lab terdapat di lampiran) dan hasil dari pengujian tersebut adalah *spesific gravity* senilai 2.43 gr/cc dan daya absorption sebesar 4,21 %.

Hidrologi dan Hidrogeologi

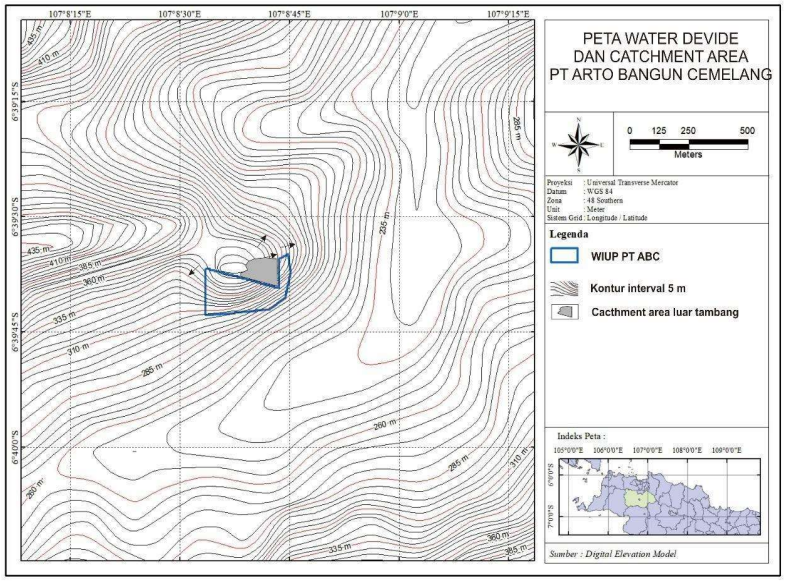
Aspek hidrologi suatu wilayah desa sangat diperlukan dalam pengendalian dan pengaturan tata air wilayah desa. Desa Simarasa, Kecamatan Tanjung Sari dilalui oleh aliran sungai yang melandai ke utara. Sungai Cibeet merupakan pemisah antara Kabupaten Bogor dengan Kabupaten Cianjur, bermuara di sungai Citarum. Pola aliran sungainya memperlihatkan pola "dendritik" sampai pola "subdendritik'." DAS Cibeet merupakan bagian dari 6 Daerah Aliran Sungai (DAS) Yang berada di Bogor. Sungai yang mengalir secara kontinu tidak ditemukan di daerah penyelidikan. Sungai yang ada berupa crack (sungai kecil) yang ada air nya ketika musim hujan dan kalau musim kemarau akan kering. Sungai-sungai kecil dari daerah penyelidikan akan mengalir ke arah selatan akan bermuara ke sungai Cibeet.



Gambar 8. Sungai Cibeet

Di lihat dari kontur pada topografi lokasi tersebut diasumsikan bahwa limpasan air (*run off*) air akan masuk dari sedikit *catchment area* yang berada di luar tambang dan juga ada air yang langsung ke dalam tambang tersebut sehingga nilai dari area *catchment area* yang di luar area tambang sebesar 1,5 Ha di hitungan dari software dan *catchment area* II yang merupakan luasan IUP tambang sebesar 4,8 Ha.

Pada area tambang sirtu milik PT ABC terdapat 2 *catchment area* yang aliran air akibat adanya hujan akan masuk ke tambang dengan 1,5 Ha merupakan *catchment area* yang di luar tambang akan tetapi melepaskan ke dalam tambang dan sebagai antisipasi agar air limpasan yang masuk ke tambang tidak mengalir ke dalam sungai cibeet secara langsung maka di akan dibuatkan paritan sepanjang garis selatan blok penambangan yang akan mengalirkan limpasan air ke *settling pond* yang telah dibuat di lokasi tambang. Dengan data curah hujan dan percobaan permeabilitas sebagai berikut maka didapat perhitungan untuk debit air yang akan masuk ke tambang dan harus dikeluarkan dari tambang seperti dalam tabel dibawah ini :



Gambar 9. Peta *water divide* dan *catchment area*

Tabel 3. Data Curah hujan lokasi Penelitian

Bulan / Tahun	2012		2013		2014		2015		2016	
	CH (mm)	HH (hari)	CH (mm)	HH (hari)	CH (mm)	HH (hari)	CH (mm)	HH (hari)	CH (mm)	HH (hari)
Januari	250,80	17,00	86,80	10,00	280,50	20,00	223,30	23,00	360,90	18,00
Februari	106,85	5,00	514,90	21,00	574,20	18,00	137,40	12,00	412,80	19,00
Maret	125,60	11,00	29,50	7,00	366,25	22,00	135,40	14,00	363,55	21,00
April	191,90	12,00	227,50	18,00	340,30	16,00	198,40	18,00	363,55	24,00
Mei	228,10	13,00	226,70	16,00	78,90	15,00	538,30	20,00	127,60	14,00
Juni	198,30	10,00	51,30	5,00	142,10	9,00	68,40	13,00	84,20	8,00
Juli	69,70	7,00	154,00	14,00	157,50	17,00	107,80	12,00	36,00	2,00
Agustus	74,90	5,00	27,00	3,00	38,20	9,00	202,70	14,00	0,00	0,00
September	64,12	8,00	136,30	10,00	196,00	15,00	27,60	4,00	0,00	0,00
October	586,73	21,00	333,20	22,00	206,97	23,00	138,20	9,00	0,00	0,00
November	409,90	23,00	455,30	20,00	286,90	24,00	466,95	21,00	0,00	0,00
Desember	471,20	24,00	581,70	22,00	534,60	23,00	335,00	23,00	0,00	0,00
Max	586,73	24,00	581,70	22,00	574,20	24,00	538,30	23,00	412,80	24,00
Min	64,12	5,00	27,00	3,00	38,20	9,00	27,60	4,00	0,00	0,00
Average	231,51	13,00	235,35	14,00	266,87	17,58	214,95	15,25	145,72	8,83

Sumber : laporan penelitian daerah kecamatan Tanjungsari

Data curah hujan tersebut nantinya akan diolah secara statistika dengan tujuan untuk mendapatkan nilai maximum dan minimum besaran curah hujan selama 5 tahun dan juga diharapkan dapat mendapatkan nilai rata-rata dari masing-masing curah hujan tahunan. Kemudian data curah hujan tersebut dihitung berdasarkan persamaan gumble untuk mendapat kan curah hujan rencana dalam periode ulang tiap tahun sehingga output dari persamaan tersebut dapat dilanjutkan menjadi penyimpulan nilai intensitas curah hujan per hari selama periode ulang tertentu

Tabel 4. Data Curah hujan lokasi Penelitian per Hari

Bulan / Tahun	2012	2013	2014	2015	2016	Max	Min	Average
	CH (mm/hari)	CH (mm/hari)	CH (mm/hari)	CH (mm/hari)	CH (mm/hari)			
Januari	14,7529	8,6800	14,0250	9,7087	20,0500	20,0500	8,6800	13,4433
Februari	21,3700	24,5190	31,9000	11,4500	21,7263	31,9000	11,4500	22,1931
Maret	11,4182	4,2143	16,6477	9,6714	17,3119	17,3119	4,2143	11,8527
April	15,9917	12,6389	21,2688	11,0222	15,1479	21,2688	11,0222	15,2139
Mei	17,5462	14,1688	5,2600	26,9150	9,1143	26,9150	5,2600	14,6008
Juni	19,8300	10,2600	15,7889	5,2615	10,5250	19,8300	5,2615	12,3331
Juli	9,9571	11,0000	9,2647	8,9833	18,0000	18,0000	8,9833	11,4410
Agustus	14,9800	9,0000	4,2444	14,4786	0,0000	14,9800	0,0000	8,5406
September	8,0150	13,6300	13,0667	6,9000	0,0000	13,6300	0,0000	8,3223
October	27,9395	15,1455	8,9987	15,3556	0,0000	27,9395	0,0000	13,4878
November	17,8217	22,7650	11,9542	22,2357	0,0000	22,7650	0,0000	14,9553
Desember	19,6333	26,4409	23,2435	14,5652	0,0000	26,4409	0,0000	16,7766
Max	27,9395	26,4409	31,9000	26,9150	21,7263			
Min	8,0150	4,2143	4,2444	5,2615	0,0000			
Average	16,6046	14,3719	14,6385	13,0456	9,3230			

Tabel 5. Data Curah Hujan rencana gumble

Curah Hujan Rencana Gumble

Periode Ulang Hujan (Tahun)	Yt	CHR
2	0,37	26,47
3	0,90	29,45
4	1,25	31,35
5	1,50	32,76
10	2,25	36,92

Dari hasil perhitungan curah hujan rencana dengan metode gumble didapat bahwa nilai curah hujan

rencana masing-masing seperti di tabel curah hujan rencana diatas :

Tabel 6. Data persamaan mononobe terhadap curah hujan

persamaan monobe

Durasi	Intensitas Hujan (mm/ jam)				
menit	t = 2 Thn	t = 3 Thn	t = 4 Thn	t = 5 Thn	t = 10 Thn
5,00	0,80	0,89	0,95	0,99	1,12
10,00	0,51	0,56	0,60	0,62	0,70
15,00	0,39	0,43	0,46	0,48	0,54
30,00	0,24	0,27	0,29	0,30	0,34

Setelah melalui tahap perhitungan dengan metoda gumble maka perhitungan dilanjutkan dengan perhitungan persamaan mononobe untuk dapat menghasilkan nilai intensitas curah hujan harian berdasarkan periode ulang 2 tahun, 3 tahun, 4 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun seperti tabel diatas.

Tabel 7. Intensitas curah hujan (mm/jam)

Durasi	Intensitas Hujan (mm/ jam)				
Jam	t = 2 Thn	t = 3 Thn	t = 4 Thn	t = 5 Thn	t = 10 thn
1	9,18	10,21	10,87	11,36	12,80
2	5,78	6,43	6,85	7,15	8,06
3	4,41	4,91	5,22	5,46	6,15
4	3,64	4,05	4,31	4,51	5,08
5	3,14	3,49	3,72	3,88	4,38
6	2,78	3,09	3,29	3,44	3,88
7	2,51	2,79	2,97	3,10	3,50
8	2,29	2,55	2,72	2,84	3,20
9	2,12	2,36	2,51	2,62	2,96
10	1,98	2,20	2,34	2,45	2,76
11	1,86	2,06	2,20	2,30	2,59
12	1,75	1,95	2,07	2,17	2,44
13	1,66	1,85	1,97	2,05	2,31
14	1,58	1,76	1,87	1,96	2,20
15	1,51	1,68	1,79	1,87	2,10
16	1,45	1,61	1,71	1,79	2,02
17	1,39	1,54	1,64	1,72	1,94
18	1,34	1,49	1,58	1,65	1,86
19	1,29	1,43	1,53	1,59	1,80
20	1,25	1,39	1,48	1,54	1,74
21	1,21	1,34	1,43	1,49	1,68
22	1,17	1,30	1,38	1,45	1,63
23	1,13	1,26	1,34	1,40	1,58
24	1,10	1,23	1,31	1,36	1,54

Kemudian hasil periode ulang tersebut diubah menjadi satuan intensitas curah hujan per hari yang kemudian akan diambil 3 sample jam hujan sebagai bahan pertimbangan perhitungan curah hujan yang akan masuk kedalam tambang yang nantinya akan dihitung dengan rumus rasional untuk menentukan debit aliran air yang akan masuk kedalam tambang dari permukaan dan persamaan darcy untuk perhitungan rembesan air melalui akuifer yang akan masuk ke tambang tersebut dan berikut adalah hasil perhitungan debit aliran air yang masuk kedalam tambang baik berupa limpasan ataupun rembesan dari akuifer.

Tabel 8. Perhitungan Debit air

Nama	Kategori	Durasi (jam/hari)	Kategori Lahan	Kategori Kemiringan	C	I (m/jam)	A (m²)	Q (m³/jam)	Q (m³/detik)
In	5 tahun	1	Lahan Terbuka	>15%	0,9	0,011356241	63000	643,89885	0,17886079
		2				0,002166608		122,84670	0,03412408
		3				0,001364878		77,38857	0,02149682

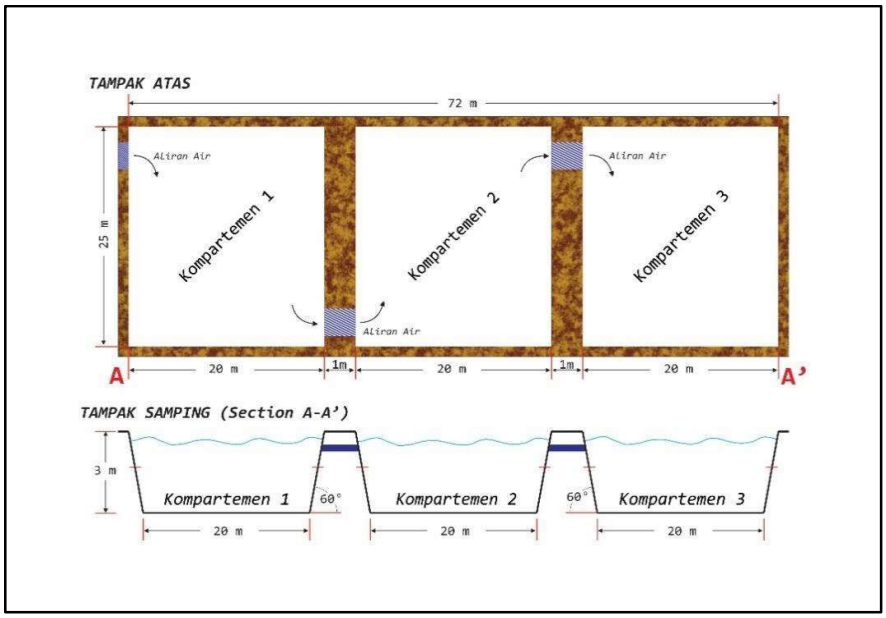
Tabel 9. Perhitungan Debit Air bawah permukaan

Lithology	**K (cm/detik)**	**(m/jam)**	**I**	**Panjang**	**Tebal**	**Q (m³/jam)**
In	0,000033041	0,001189481	0,5	5	0,34	0,0010111

Tabel 10. Total debit per Hari

Total Debit Per Hari	Q (m³/Hari)	total debit /hari
Run Off	15453,57232	15453,57
akuifer	0,024265413	

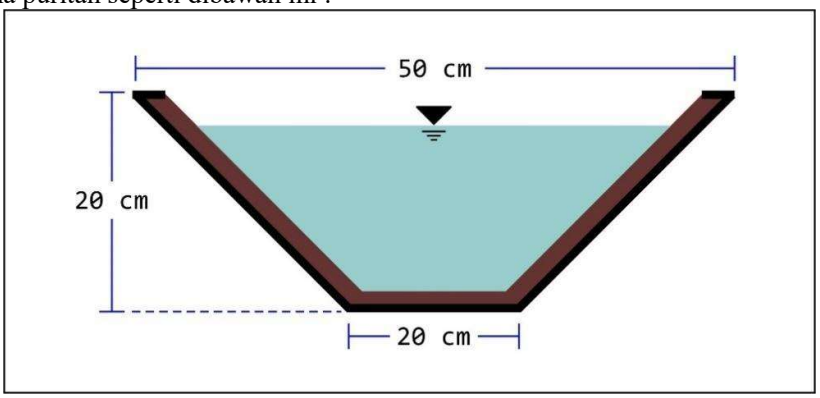
Dengan diketahui nilai debit air yang masuk ke dalam tambang dan yang ditampung oleh tambang sirtu tersebut. Perlu adanya dibuatkan settling pond dengan dimensi seperti dibawah ini agar seluruh air yang masuk dapat ditampung oleh settling pond tersebut.



Gambar 11. Sketsa *Settling pond*

Pembuatan *settling pond* tersebut merupakan suatu usaha untuk pengendalian sedimentasi yang mana Tujuan dari pengendalian erosi dan sedimentasi ini adalah sebagai salah satu kegiatan dalam pengelolaan lingkungan yang direncanakan untuk menjaga kestabilan lereng bukaan tambang, tidak menghambat proses keberhasilan revegetasi pada lahan yang direklamasi, bisa meminimalkan biaya dalam perawatan berupa pengerukan material sedimen di saluran drainase dan kolam sedimen, menurunnya kualitas air limpasan *(run off)* dan juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan di badan air.

Dengan melihat potensi gangguan terhadap beberapa kegiatan penambangan dan berpotensi menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan, dengan perencanaan akan membuat sistem drainase di sekitar lokasi tambang sebagai media dalam mengendalikan potensi aliran air limpasan yang akan masuk kedalam lokasi bukaan tambang. Sistem drainase yang akan dibuat adalah berupa paritan berbentuk trapesium yang akan mengalirkan air limpasan dan material sedimen yang terbawa oleh air untuk kemudian terendapkan di kolam sedimen dengan dimensi rencana puritan seperti dibawah ini :



Gambar 12. Dimensi Penampang Saluran

D. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan baik secara langsung observasi lapangan dan dari literatur yang ada maka dapat disimpulkan:

1. Pada lokasi kegiatan didominasi dengan kemiringan lereng antara 0-30% dengan formasi batuan andesit, breksi dan lempung pasiran dan juga curah hujan yang cukup tinggi sebesar 2.000 mm/tahun – 4.000 mm/tahun maka termasuk kedalam daerah yang memiliki pergerakan tanah yang sedang sampai dengan tinggi;
2. Penyebab terbesar kemungkinan terjadinya longsor pada lokasi kegiatan adalah curah hujan yang cukup tinggi sebesar 2.000 mm/tahun – 4.000 mm/tahun;
3. Untuk mengantisipasi terjadinya longsor pada lokasi kegiatan yaitu dengan kajian geoteknik dengan rekomendasi teknis tinggi lereng 5-10 meter dan kemiringan 65^{o} sehingga memiliki faktor keamanan (FK) yang dihasilkan sebesar 1,35-2,43 (kategori aman). Disisi lain juga harus dibuatnya aliran air untuk mengantisipasi terjadinya curah hujan yang tinggi dengan dimensi drainase tinggi (H) = 20 cm; Lebar atas (La) = 50 cm; dan lebar bawah (Lb) = 20 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Dr. Ir. Masyhuri. (2010): Metodologi Penelitian**,** 45.
Sugiyono. (2014): Metode Penelitian*, 59*.

INOVASI PENGGUNAAN *AADVARK PERMEAMETER* SEBAGAI *QUALITY CONTROL* PENUDUNGAN BATUAN POTENSI ASAM (*PAF*)

Agung Febrianto[2)], Sigit Triwibowo[2)], Nur Anbiyak[3)]

2)Environmental Department, PT Kaltim Prima Coal
3)Direktorat Teknik dan Lingkungan Mineral dan Batubara

ABSTRAK

Air Asam Tambang (AAT) adalah satu dampak lingkungan pertambangan yang terbentuk dari reaksi tiga unsur yakni sulfida asam, oksigen, dan air. Sulfida asam berasal dari material Batuan Penutup Berpotensi Asam (PAF) yang digali dan dipindahkan. AAT merupakan dampak penting yang wajib dikelola dan dipantau agar tidak menjadi limbah ke badan lingkungan. Pengelolaan AAT tidak cukup hanya pengobatan aktif selama operasi tambang, melainkan mitigasi awal sumber, jumlah, dan strategi kapsulasi PAF dengan lapisan penudung sebagai upaya eliminasi resiko di akhir tambang. Aadvark Permeameter adalah alat uji permeabilitas/kekedapan tanah, digunakan oleh PT Kaltim Prima Coal (KPC) untuk meningkatkan kontrol kualitas konstruksi lapisan penudung pada reklamasi timbunan. Mengingat luasnya area, tantangan terbesar selain pembentukan lapisan yang padat (compacted), penting juga untuk memastikan bahwa lapisan penudung telah kedap (impermeable) secara merata. Tingkat kekedapan tanah diukur berdasarkan parameter koefisien permeabilitas (K). Sekalipun telah distandarisasi oleh Casagrande dan Fadum (1940), penentuan ambang nilai K harus dipertimbangkan berdasarkan kondisi spesifik lapangan, seperti: cuaca, ketersediaan jenis material, dan bentuk akhir reklamasi. Hasil studi pengukuran lapangan pada lokasi reklamasi Pit Pedayak RL+15 dan RL+20 menggunakan material tanah kupasan dengan jumlah kompaksi 6 lintasan, didapatkan hasil lapisan penudung masuk kategori kedap dengan nilai K rerata 10^{-5} cm/s.

Kata Kunci: Air asam tambang, DC01, aadvark permeameter, koefisien permeabilitas, impermeable

ABSTRACT

Acid Mine Drainage (AMD) is an environmental impact of mining that is formed from the reaction of three elements: acid sulfide, oxygen, and water. Acid sulfides are derived from potentially acidic overburden (PAF) material that is excavated and removed. AMD is an important impact that must be managed and monitored so that it does not become waste to the environment. AAT management is not enough just active treatment during mining operations, but rather early mitigation of the source, amount, and strategy of PAF capsulation with a dump cover as an effort to eliminate risk at the end of the mine. Aadvark Permeameter is a tool of soil permeability, used by PT Kaltim Prima Coal (KPC) to support quality control construction of the dump cover on the reclamation. Given the large area beside forming a compacted layer, the challenge is also important to ensure that the dump covering is evenly impermeable. The level of soil permeability was measured based on the coefficient of permeability (K). Even though it has been standardized by Casagrande and Fadum (1940), the determination of the K threshold must be considered based on field-specific conditions, such as: weather, availability of material types, and final form of reclamation. The results of the field measurement study at reclamation of Pedayak Pit RL+15 and RL+20 using stripped soil material with a total compaction of 6 passes, obtained that the dump cover was in the impermeable category with an average K value of 10^{-5} cm/s.

***Keywords**: acid mine drainage, DC01, aadvark permeameter, coefficient of permeability, impermeable*

PENDAHULUAN

A.1. Latar belakang

Air Asam Tambang (AAT) terbentuk dari reaksi tiga unsur yakni sulfida asam, oksigen, dan air. Sulfida asam berada di dalam batuan penutup (*overburden*) yang digali dan dipindahkan pada tahap penambangan. *Overburden* ini biasa disebut Batuan Pembentuk Asam atau PAF (*potential acid forming*). Tanpa pengendalian yang tepat, AAT bisa bertahan bertahun-tahun dan menjadi pencemaran lingkungan. Tantangan besar pengelolaan AAT tidak hanya saat penambangan aktif, melainkan setelah tambang selesai dan masuk ke tahap reklamasi. Rekayasa teknik reklamasi menjadi tantangan serius yang harus dilakukan benar sejak awal.

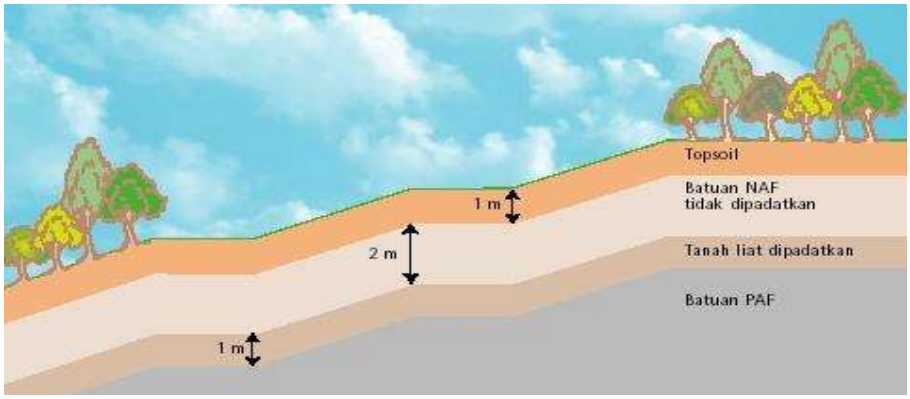
Pengelolaan AAT merupakan salah satu kriteria utama keberhasilan reklamasi dan/atau pascatambang. Keberhasilan pengelolaan AAT akan mengurangi dampak lingkungan serta menunjang usaha pemanfaatan lahan bekas tambang yang berkelanjutan dalam jangka panjang. Pada kegiatan pertambangan yang berpotensi membentuk AAT, pemegang IUP atau IUPK diwajibkan untuk melakukan upaya pencegahannya.

Kewajiban reklamasi tersebut ditegaskan di dalam UU No.4 tahun 2009 Jo No.3 tahun 2020 tentang Pertambangan Minerba pasal 96. Lebih tegas pada pasal 161B juga disebutkan bahwa setiap orang yang IUP atau IUPK dicabut atau berakhir tidak melaksanakan reklamasi dan/atau pascatambang dan/atau tidak menempatkan dana jaminan reklamasi dan/atau pascatambang, akan dikenakan sanksi pidana dan denda paling banyak seratus miliar rupiah, serta pembayaran tambahan dana dalam rangka penyelesaian reklamasi dan/atau pascatambang. Kriteria keberhasilan reklamasi sudah diatur jelas sebagai dasar penilaian bagi perusahaan. Pada akhirnya, perusahaan tidak bisa mengabaikan reklamasi sampai diselesaikan keberhasilannya 100%.

Dalam implementasi reklamasi, KPC telah mengembangkan standar acuan teknis yang dibakukan ke dalam dokumen Spesifikasi Reklamasi KPC. Di dalamnya terdapat 4 tipe penudung (*dump cover*) batuan PAF, yaitu: penudung tanah liat tebal 1 meter dipadatkan (DC01), penudung batuan NAF tebal 2 meter dipadatkan (DC02), penudung batuan NAF tebal 10 meter tidak dipadatkan (DC03), dan penudung kombinasi lapisan *Fly Ash Bottom Ash* dan batuan NAF tidak dipadatkan (DC04). Tujuan utama lapisan penudung adalah membungkus/kapsulasi batuan PAF untuk membatasi masuknya air dan oksigen sehingga AAT tidak terbentuk. Mengingat luasnya area yang harus direklamasi, tantangan utama konstruksi lapisan penudung adalah keseragaman lapisan yang padat (*compacted*) dan kedap (*impermeable*).

Dibahas detail pada makalah ini, DC01 merupakan tipe penudung yang paling rentan. Lapisan penudung hanya berupa tanah berlempung (*clayed soil*) padat setebal 1 meter. Sedangkan untuk mengamankan erosi dan penurunan/*settlement* selama proses revegetasi, ditambahkan batuan NAF (*non acid forming*) setebal 2 meter dan penghamparan akhir tanah zona perakaran setebal 1 meter. Kriteria keberhasilan DC01 sebelumnya diukur berdasarkan tingkat kepadatan tanah dengan standar minimum 95% yang diuji pada setiap 0,5 meter tebal lapisan.

Beberapa kasus di lapangan ditemukan bahwa masih terjadi keluaran AAT dari kaki timbunan reklamasi yang telah selesai dikerjakan. Diagnosa bahwa reaksi oksidasi sulfida asam masih terjadi akibat lapisan penudung yang tidak terbentuk sempurna. Inilah dasar bahwa perlunya dilakukan inovasi untuk menjamin lapisan penudung benar kedap sempurna.



Gambar 1. Spesifikasi lapisan penudung tipe DC01



Gambar 2. Foto keluaran AAT (*kiri*) dan kondisi vegetasi reklamasi (*kanan*) – contoh kasus pada lahan reklamasi

A.2. Tujuan

Inovasi pengukuran kekedapan tanah khususnya tipe DC01 dilakukan melalui uji permeabilitas tanah. Uji ini bertujuan untuk mengukur nilai koefisien permeabilitas tanah yang telah dipadatkan. Uji permeabilitas dilakukan menggunakan *Aadvark Permeameter*, dimana melalui perangkat laptop dapat langsung menghitung nilai koefisien permeabilitas (*K*) tanpa harus menghitung di atas kertas. Dengan keluarnya hasil secara *realtime,* maka sangat mendukung kecepatan kerja pada lapisan berikutnya.

A.3. Landasan Teori

Permeabilitas tanah adalah sifat tanah untuk mengalirkan air atau udara. Tanah dikatakan tembus/*permeable/porous* jika mudah mengalirkan air atau udara. Sebaliknya tanah dikatakan kedap/*impermeable/impervious* jika mampu menahan tampungan air dalam waktu yang lama. Ukuran dan jumlah pori-pori berkaitan erat dengan tekstur dan struktur tanah, serta mempengaruhi permeabilitas tanah.

Tingkat permeabilitas tanah diukur dari kecepatan aliran air di dalam tanah per satuan waktu, biasa diekspresikan dalam koefisien permeabilitas tanah (*K*) dalam satuan centimeter per sekon (cm/s). Casagrande dan Fadum (1940) telah menyederhanakan nilai *K* berdasarkan jenis tanah dan tingkat penyalurannya.

Tabel 1. Nilai koefisien permeabilitas (*K*) Casagrande dan Fadum (1940)

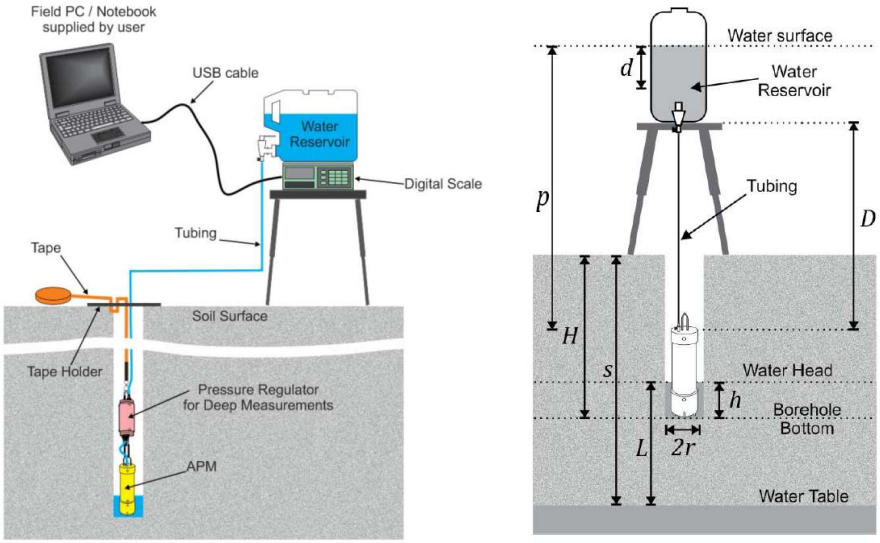
Coefficient of permeability k (cm/s) (log scale)												
	10^{2}	10^{1}	1.0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drainage	Good						Poor		Practically Impervious			
Soil types	Clean gravel	Clean sands, clean sand and gravel mixures				Very fine sands, organic and inorganic silts, mixtures of sand silt and clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.			"Impervious" soils, e.g., homogeneous clays below zone of weathering			
					"Impervious" soils modified by effects of vegetation and weathering							

Perlu menjadi perhatian bahwa lapisan *impermeable/impervious* yang dibentuk dapat menjadi semakin *porous*/*permeable* jika terjadi ekspose terhadap cuaca dan pertumbuhan vegetasi di atasnya.

B. METODOLOGI STUDI

B.1. Prinsip Kerja

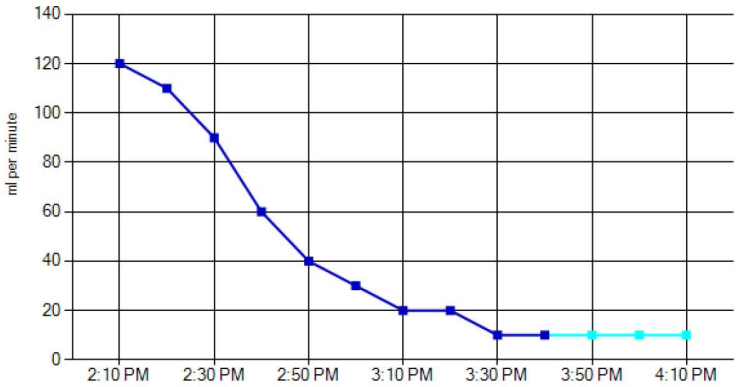
Perangkat Aadvark Permeameter terdiri dari 4 alat utama: Aadvark permeameter kit (*aadvark permeameter module* (APM), *pressure regulator*, *measuring tape, connecting tube*, *digital scale, water reservoir*, dan laptop). Prinsip kerja alat ini adalah mengukur jumlah air yang terinfiltrasi ke dalam tanah yang dihitung berdasarkan satuan waktu menjadi laju infiltrasi. Pengukuran akan selesai ketika debit tidak berubah selama beberapa urutan pembacaan. Selanjutnya dari data tersebut laptop akan menghitung nilai koefisien permeabilitas (K).



Gambar 3. Konfigurasi kerja *Aadvark Permeameter* (*kiri*) dan parameter perhitungan koefisien permeabilitas (*kanan*)

Laju infiltrasi $\boldsymbol{Q_i}$ dihitung dari pengukuran selisih level air sebelumnya $\boldsymbol{d_{(i-1)}}$ terhadap level air saat ini $\boldsymbol{d_i}$ yang dibagi terhadap durasi pengukuran $\boldsymbol{t}$. Laju infiltrasi dihitung berjenjang atau *series* sampai didapat nilai relatif konstan.

$$Q_i = \frac{d_{(i-1)} - d_i}{t} \quad (1)$$



Gambar 4. Hasil pembacaan laju infiltrasi (***Q***)

Pada pembacaan awal karena air baru mulai masuk, laju infiltrasi tinggi dan terus menurun sampai didapatkan *steady flow rate* ***Q*** (warna biru muda). Nilai ***Q*** selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menghitung koefisien permeabilitas ***K*** melalui persamaan berikut:

Kondisi I, ketika L/h > 3

$$K = \frac{Q}{2\pi h^2}\left\{ ln\left[\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right] - \frac{\sqrt{1+\left(\frac{h}{r}\right)^2}}{\frac{h}{r}} + \frac{1}{\frac{h}{r}}\right\} \qquad (2)$$

Kondisi II, ketika $1 \leq L/h \leq 3$

$$K = \frac{Q}{2\pi h^2}\left[\frac{ln\left(\frac{h}{r}\right)}{\frac{1}{6}+\frac{1}{3}\left(\frac{L}{h}\right)}\right] \qquad (3)$$

Kondisi III, ketika L/h < 1

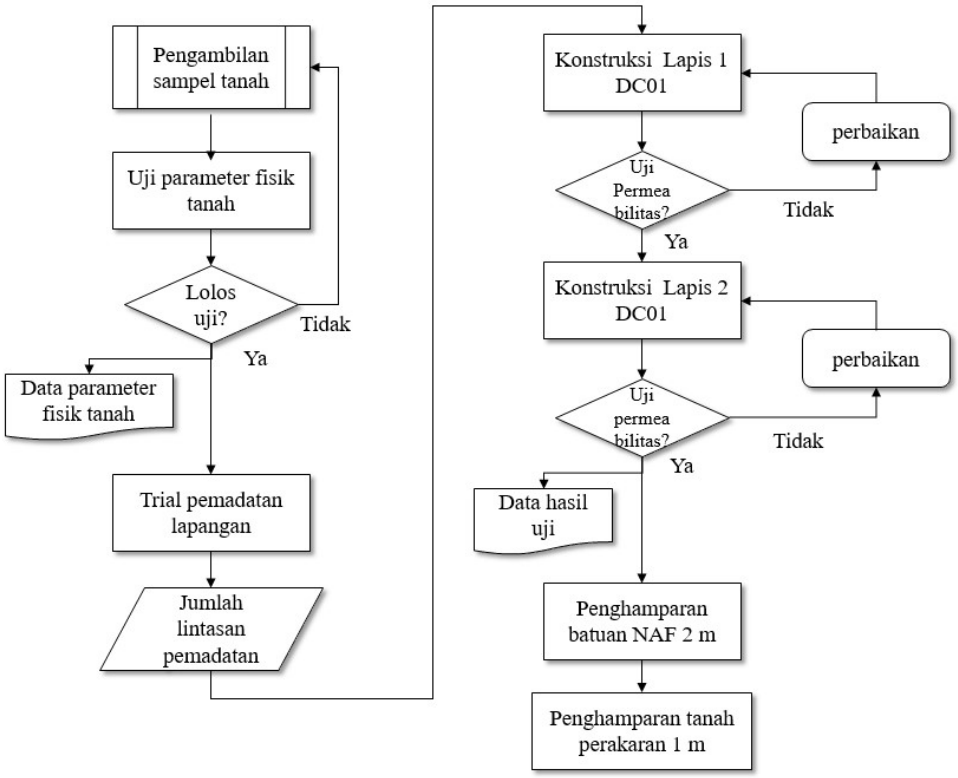
$$K = \frac{Q}{2\pi h^2}\left[\frac{ln\left(\frac{h}{r}\right)}{\frac{L}{h}+\frac{1}{2}\left(\frac{L}{h}\right)^2}\right] \qquad (3)$$

h adalah tinggi konstan air di dalam lubang bor (cm), ***r*** adalah radius lubang bor (cm), dan ***L*** adalah jarak vertikal antara muka air di lubang bor dan kedalaman muka air tanah (cm). Nilai ***K*** dari persamaan di atas dalam satuan cm/s.

B.2. Implementasi

Implementasi lapisan penudung DC01 dilakukan jika penimbunan akhir batuan NAF setinggi 10 meter (tipe DC03) tidak dapat dilakukan. Implementasi penudung DC01 diawali dari penentuan tanah pilihan yang akan digunakan. Sampel tanah biasa diambil dari lokasi timbunan tanah/*stockpile*, kemudian diuji parameter fisik tanah di laboratorium. Setelah kriteria fisik sesuai, tahap selanjutnya dilakukan uji coba lapangan penghamparan dan pemadatan untuk menentukan jumlah lintasan pemadatan. Berdasarkan hasil acuan tersebut kemudian mulai dilakukan implementasi secara masal. Uji permeabilitas lapangan dilakukan sejak tahap uji coba pada setiap 0,5 meter tebal lapisan pemadatan.

Penentuan jenis tanah dilakukan dengan sangat hati-hati mengingat tidak mudah mendapatkan tanah yang homogen dalam jumlah besar. Uji parameter fisik tanah rutin dilakukan pada setiap jenis sampel tanah yang berbeda. Parameter fisik yang diuji mencakup: *plasticity index* (*PI*), kadar pasir (*sand*), dan koefisien permeabilitas (*K*). Selebihnya juga diuji beberapa parameter pendukung seperti: *density*, *specific gravity*, batas *atterberg* limit, *shear strength*, dan *moisture content* (*MC*).



Gambar 5. Bagan alir konstruksi penudung DC01

Tabel 2. Parameter fisik tanah lokasi *soil stockpile*-B Pit Pedayak

No Lab	Samples	NMC (%)	Density		Spesific Gravity	Atterberg Limit				Hydrometer				Classification	Material Type	Direct Shear		Compaction		Permeability	
			Wet Density (gr/cm)	Dry Density (gr/cm)		Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)	Solid Limit (%)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)			Peak (Mpa)	Residual (Mpa)	Moisture Dry Density (gr/cm^3)	Optimum Moisture Content (%)	Test 01 K (cm/s)	Test 02 K (cm/s)
95591	Stockpile B Subsoil	10,8	1,64	1,48	2,58	60,4	20,6	39,7	14,5	0,0	0,9	40,9	58,2	CH	Silty Clay: greyish, brown, high plasticity	0,0189	0,0144	1,58	22,5	1,11E-7	2,10E-7

Sampel lokasi *stockpile-B* Pit Pedayak tergolong sebagai tanah kedap/*impermeable* dimana nilai *K* lebih kecil dari 10^{-6} cm/s. Namun demikian, penentuan tanah pilihan tidak sebatas nilai *K* saja, setidaknya harus dilihat juga nilai indeks plastisitas (*PI*) dan persentase pasir (*sand*) di dalamnya. Kedua parameter ini akan berpengaruh pada kemudahan dalam proses pemadatannya. Nilai PI menunjukkan kondisi tanah pada batas cair dan batas plastis. Semakin tinggi PI maka semakin plastis, terlalu banyak air mudah masuk, mudah berubah bentuk, dan kembang susut tinggi. Sebaliknya semakin rendah PI maka tanah semakin cepat kering, cenderung mudah rekah, sehingga sulit membentuk lapisan kedap. Rentang PI yang diterima untuk ideal pemadatan antara 15% - 30%. Sedangkan persentase pasir dibatas maksimum 10%. Semakin tinggi jumlah pasir dalam tanah maka semakin besar peluang terjadinya rongga-rongga yang tidak tertutup.

Lalu bagaimana jika tidak ditemukan jenis tanah yang ideal? Seperti contoh tanah uji di atas dengan nilai PI tinggi (39,7%) masih dapat digunakan dengan mempertimbangkan persentase pasir sangat kecil yakni 0,9% dan nilai $K \leq 10^{-6}$ cm/s pada kategori kedap/*impermeable*. Tingginya nilai PI menjadi kendala pada saat kadar air terlalu basah. Tanah sangat plastis sehingga sulit dipadatkan. Kondisi ini rentan terjadi pada kondisi curah hujan tinggi.

Setelah tanah dipilih, uji coba lapangan dilakukan untuk menentukan jumlah lintasan pemadatan. Uji coba dilakukan pada lahan berdimensi 20 m x 20 m setebal penghamparan 0,5 m. Jumlah lintasan pemadatan dicatat sampai didapatkan nilai *K* sesuai uji laboratorium.



Gambar 6. Uji coba pemadatan sebelum implementasi masal lapisan penudung DC01



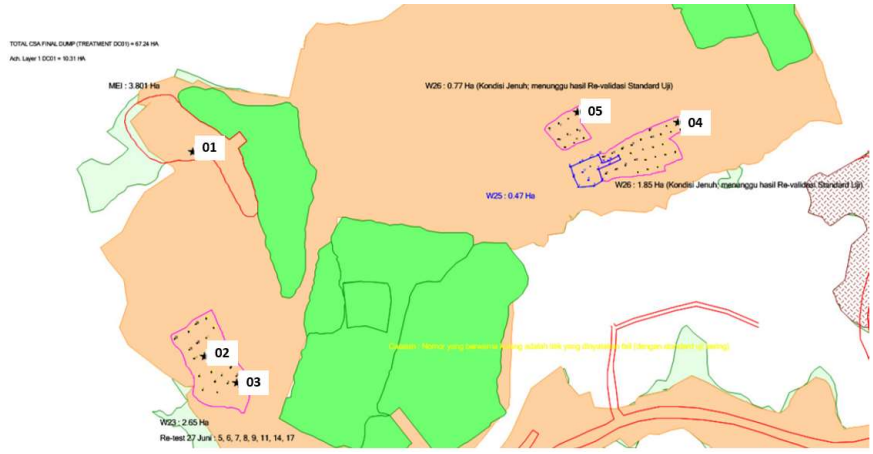
Gambar 7. Kegiatan pemadatan lapisan penudung DC01 timbunan Pit Pedayak RL+20



Gambar 8. Implementasi pengukuran permeabilitas penudung DC01 menggunakan Aadvark Permeameter

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada makalah ini dibahas hasil studi penudung DC01 lokasi reklamasi timbunan Pit Pedayak elevasi RL+15 dan RL+20. Pekerjaan dilaksanakan pada rentang bulan Mei-Juli 2020. Lokasi uji seluruhnya merupakan lapisan 1 (0,5 m pertama). Sumber tanah diambil dari lokasi *soil stockpile-B* Pit Pedayak (tabel 2). Pemadatan dilakukan menggunakan *vibratory compactor* setara 10 Ton dengan jumlah pemadatan rerata 6 lintasan. Pengukuran permeabilitas tanah dilakukan pada 5 titik lokasi.



Gambar 9. Lokasi pengukuran permeabilitas di areal reklamasi timbunan Pit Pedayak RL+15 dan RL+20

Sebelum menyimpulkan apakah pengukuran lapangan berhasil atau tidak, maka perlu hati-hati dalam menentukan ambang batas nilai *K* sebagai indikator keberhasilan. Beberapa yang harus dipertimbangankan pada kondisi lapangan adalah perubahan cuaca seketika dan ketersedian sumber tanah. Mengingat lokasi KPC di equatorial dengan sifat hujan spasial temporal dan terjadi sepanjang tahun, seringkali pasca pemadatan tidak dapat langsung diukur karena hujan. Pengukuran dilakukan setelah kering dan masih harus dilakukan perbaikan permukaan agar rata kembali. Pertimbangan kedua bahwa tidak mudah mendapatkan sumber tanah yang ideal memenuhi kriteria dalam jumlah yang besar, penggunaan tanah seperti contoh pada tabel 2 masih diizinkan karena sekalipun nilai PI melebihi ambang batas, nilai *K* masih terpenuhi. Berdasarkan kedua pertimbangan tersebut maka nilai *K* lapangan dikatakan lolos pada ambang batas $K \leq 10^{-6}$ m/s atau $\leq 10^{-4}$ cm/s.

Tabel 3. Nilai koefisien permeabilitas lapisan penudung DC01 timbunan Pit Pedayak

Lokasi No.	Elevasi Timbunan	Waktu Pelaksanaan	Koef Permeabilitas (cm/s)		Metode Perhitungan
			Ambang maksimum	Lapangan	
1	RL+15	Mei-20	10^{-4}	$1{,}72 \times 10^{-4}$	Reynolds & Elrick Solution
2	RL+15	Juni-20	10^{-4}	$3{,}50 \times 10^{-5}$	Earth Manual
3	RL+15	Juni-20	10^{-4}	$6{,}34 \times 10^{-5}$	Earth Manual
4	RL+15	Juli-20	10^{-4}	$7{,}69 \times 10^{-5}$	Earth Manual
5	RL+20	Juli-20	10^{-4}	$2{,}31 \times 10^{-4}$	Earth Manual

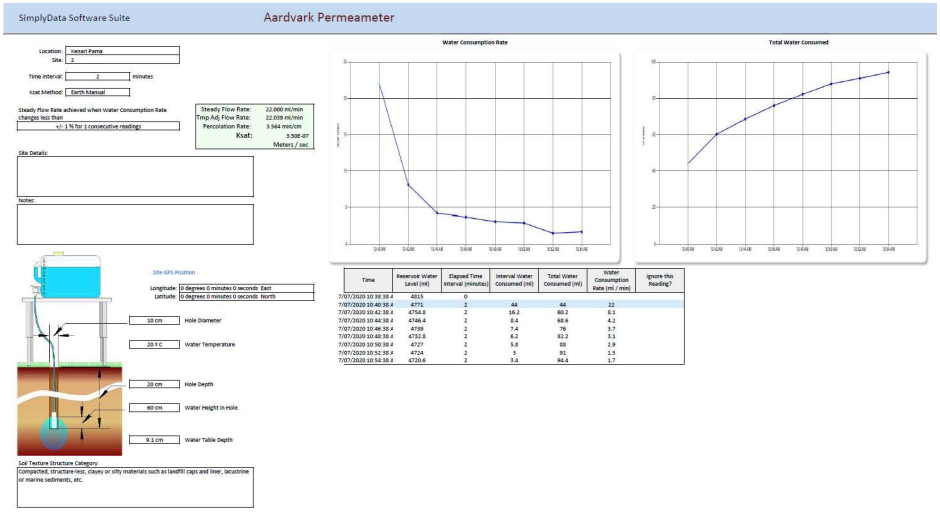
Dari 5 titik ukur, nilai *K* terkecil pada nomor 2 senilai $3{,}5 \times 10^{-5}$ cm/s dan nilai *K* tertinggi pada nomor 1 senilai $1{,}72 \times 10^{-4}$ cm/s. Merujuk pada tabel 1 di atas, hasil pengukuran lapangan seluruhnya tidak lebih tinggi dari ambang batas maksimum.

Perlu diketahui bahwa spesifikasi penudung DC01 tidak berhenti sampai di situ. Setelah 1 meter lapisan padat terbentuk, selanjutnya ditambahkan material batuan NAF setebal 2 meter atau pada kondisi krisis diperbolehkan langsung penghamparan tanah perakaran setebal 1 meter. Tambahan material ini secara langsung akan mengurangi resiko ekspos lapisan penudung terhadap perubahan cuaca, sekaligus juga menambah beban yang akan mempercepat proses konsolidasi tanah sehingga semakin kedap seiring waktu. Sekalipun di awal tingkat kekedapan dalam kategori rendah/*poor*, secara perlahan optimis akan meningkat dan semakin kedap. Dalam komputasi perhitungan nilai *K*, Aadvark Permeameter menawarkan 3 pilihan metode: Earth Manual, Glover Solution, dan Reynolds & Elrick Solution. Perhitungan metode Earth Manual didasarkan pada kondisi jika kedalaman muka air tanah relatif dangkal (kurang dari 3 kali kedalaman lubang bor). Metode Glover Solution digunakan pada jenis tanah yang relatif ringan. Sedangkan Metode Reynolds & Elrick Solution cocok digunakan pada semua jenis

tanah dan semua kondisi lapangan.

Pemilihan ketiga metode tersebut bukan dimaksudkan untuk mencari mana yang lebih benar dan yang salah, namun lebih pada penyesuaian kecocokannya terhadap kondisi lapangan. Nilai *K* hasil perhitungan metode Earth Manual biasa lebih kecil dibandingkan kedua lainnya karena dianggap dangkalnya kedalaman muka air tanah akan memperlambat laju infiltrasi dibandingkan jika lebih dalam. Lalu bagaimana dengan kondisi timbunan batuan penutup?

Pada timbunan batuan penutup terlebih berdimensi tinggi, kedalaman muka air tanah asli sudah dipastikan jauh di bawah. Namun apakah infiltrasi terus berlangsung dan selalu menembus sampai lapisan tersebut, itu belum tentu. Dalam analisa pengaruhnya terhadap permeabilitas, kedalaman muka air yang berarti jenuh air dimaksudkan sebagai batas bahwa air akan berhenti turun pada kedalaman tersebut. Kondisi ini diasumsikan sama pada lapisan timbunan yang padat. Sekalipun tidak menemukan muka air tanah, infiltrasi sangat dimungkinkan tidak menembus sampai bawah, namun akan mulai sangat lambat/berhenti ketika mulai masuk ke dalam lapisan timbunan padat. Pendekatan inilah sebagai dasar bahwa metode perhitungan Earth Manual lebih mewakili kondisi penudung DC01 timbunan batuan penutup.



Gambar 10. Rekapitulasi perhitungan nilai *K* contoh titik ukur nomor 2

D. KESIMPULAN

Kesimpulan dari studi makalah ini adalah:

1. Penggunaan Aadvark Permeameter dalam mengukur tingkat kekedapan lapisan penudung DC01 merupakan inovasi dalam rangka meningkatkan *quality control* konstruksi reklamasi areal timbunan KPC. Kembali pada Spesifikasi Reklamasi KPC, pengujian ini harus tetap dibarengi dengan uji kepadatan tanah.
2. Sekalipun uji sampel tanah di laboratorium didapatkan nilai koefisien permeabilitas 10^{-7} cm/s dan masuk kategori kekedapan tinggi/*impermeable,* namun penentuan ambang batas pengukuran lapangan juga mempertimbangan pengaruhnya implementasi akibat perubahan cuaca (*weathering*) dan juga ketersedian sumber tanah dalam jumlah yang besar. Dalam hal ini KPC menetapkan ambang batas nilai $K \leq 10^{-4}$ cm/s.
3. Didasarkan pada standar koefisien permeabilitas Casagrande dan Fadum (1940), koefisien permeabilitas lapisan penudung DC01 pada studi lokasi reklamasi timbunan Pit Pedayak RL+15 dan RL+50, yakni lapisan 0,5 m pertama telah memenuhi standar lapisan kedap namun pada kategori *poor.* Dari 5 titik pengukuran, nilai *K* terkecil 3,5 x 10^{-5} cm/s dan nilai *K* tertinggi 1,72 x 10^{-4} cm/s.

E. SARAN

Studi ini masih dilanjutkan untuk mengkorelasikan pengukuran permeabilitas terhadap pengukuran tingkat kepadatan lapisan penudung DC01.

DAFTAR PUSTAKA

Bureau of Reclamation (1998): *Earth Manual Part 1*, 3rd edition, United States: Department of The Interior

Bureau of Reclamation (1995): *Groundwater Manual*, 2nd edition (1st printing, 1977: 2nd printing, 1981: 3rd printing, 1985), United States: Department of The Interior

Kaltim Prima Coal (2019): Bab D. Konstruksi Lahan Reklamasi, *Spesifikasi Reklamasi Versi 3.0*, 32 – 51.

Kementerian ESDM (2018): *Kepmen ESDM No.1827/K/30/MEM/2018* tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Jakarta: Sekretariat Negara

Pemerintah Indonesia (2020): *UU No.3 tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.* Lembaran Negara RI Tahun 2020, No.147, Jakarta: Sekretariat Negara

Sidik Waleed, S. Canakci, H. Kilic Ibrahim, H. Celik, Fatih (2014): Applicability of biocementation for organic soil and its effect on permeability, *Geomechanics and Engineering, Vol.7,* data diperoleh melalui situs internet: https://www.researchgate.net/ publication/270959272_Applicability_of_biocementation_for_organic_soil_and_its_effect_on permeability. Diunduh pada tanggal 16 Agustus 2021.

Soil Permeability, data diperoleh melalui situs internet: http://www.fao.org/fishery/static/ FAO_Training/FAO_Training/General/x6706e/x6706e09.htm. Diunduh pada tanggal 16 Agustus 2021.

Soilmoisture (2016): *Operating Instructions Aadvark Permeameter,* U.S.A: Soilmoisture Equipment Corp

BIOAKUMULASI LOGAM PADA TANAMAN HASIL HUTAN BUKAN KAYU DI DAERAH REKLAMASI TIMBUNAN BATUAN PENUTUP TAMBANG BATU HIJAU, SUMBAWA BARAT

Arie Dwika Rahmandhana[1], Annisa Farhiah Wahdah Hamid[1], Rissa Anungstri[2], Mara Maswahenu[2]
Departemen Lingkungan, PT Amman Mineral Nusa Tenggara

ABSTRAK

Kegiatan reklamasi di Tambang Batu Hijau dilakukan bersamaan dengan kemajuan penambangan sesuai dengan kaidah pertambangan yang baik serta untuk memenuhi peraturan perundangan-undangan yang berlaku. Kegiatan revegetasi dilakukan dengan penanaman area reklamasi dengan berbagai jenis tumbuhan asli Batu Hijau sehingga nantinya tersusun komposisi vegetasi dengan jenis yang beragam, baik jenis tumbuhan penghasil kayu (*timber tree*) maupun jenis tumbuhan produk non kayu (*non-timber forest product*). Kandungan logam dalam bahan pangan dikategorikan sebagai cemaran logam. Tingkat cemaran logam dalam bahan pangan dari tanaman diduga dipengaruhi oleh media tanah tempat tumbuh dan jenis tanaman itu sendiri. Tujuan penelitian ini adalah menghitung nilai faktor bioakumulasi atau *Bioaccumulation Concentration Factor* (BCF) pada 3 jenis bahan pangan dari produk non kayu yaitu kemiri, rebung dan rotan. Penelitian ini menggunakan 15 sampel tiap jenis bahan pangan dan 15 sampel tanah yang masing-masing berasal dari daerah reklamasi Batu Hijau dan daerah kontrol. Parameter analisis yaitu total logam yaitu As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se dan Zn. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa terdapat 3 konsentrasi logam tertinggi di reklamasi yaitu Cu, Zn, Cr, sedangkan pada kontrol adalah Zn, Cu, Cr. Pada Kemiri, kandungan Cu dan Zn ditemukan lebih tinggi di area kontrol, pada tanaman rotan kandungan Cu dan Zn terukur lebih rendah di reklamasi, sedangkan pada logam Cu, Mo, Ni, dan Zn terdeteksi lebih rendah pada area reklamasi dibandingkan area kontrol. Logam As, Cd, Pb, dan Hg pada area reklamasi terdeteksi lebih tinggi dibandingkan area kontrol. Hasil perhitungan BCF di daerah reklamasi antara 0,001 – 0,147 yang dikategorikan sebagai akumulasi rendah. BCF paling tinggi di area reklamasi maupun di hutan alam adalah logam Se. Analisis ANOVA *one-way* dilakukan untuk mengetahui perbedaan kandungan logam bahan pangan antara area reklamasi dengan hutan alam. Hasil uji ANOVA *one-way* pada semua logam menghasilkan nilai signifikansi < 0.05 yang berarti terdapat perbedaan kandungan tiap logam yang signifikan di area reklamasi dan kontrol. Ketiga jenis tanaman pangan memiliki kandungan logam Cu dan Zn yang melebihi batas maksimal baik di area reklamasi maupun kontrol.

Kata kunci : reklamasi, bioakumulasi logam, logam berat, BCF

ABSTRACT

Reclamation activities at the Batu Hijau Mine are carried out simultaneously with mining progress in accordance with good mining principles and to comply with applicable laws and regulations. The revegetation activity is carried out by planting a reclamation area with various types of native Batu Hijau plants so that later the composition of the vegetation will be composed of various types, both types of wood-producing plants (timber tree) and types of non-timber forest products. Metal content in foodstuffs is categorized as metal contamination. The level of metal contamination in food from plants is thought to be influenced by the medium in which the soil is grown and the type of plant itself. The purpose of this study was to calculate the value of the bioaccumulation factor or Bioaccumulation Concentration Factor (BCF) in 3 types of food from non-wood products, namely candlenut, bamboo shoots and rattan. This study used 15 samples of each type of food and 15 soil samples, each of which came from the Batu Hijau reclamation area and the control area. Parameters of analysis were total metals, namely As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se and Zn. The results of soil analysis showed that there were 3 highest metal concentrations in the reclamation, namely Cu, Zn, Cr, while in the control were Zn, Cu, Cr. In candlenut, Cu and Zn content was found to be higher in the control area, in rattan plants, the Cu and Zn content

was measured to be lower in reclamation, while Cu, Mo, Ni, and Zn were detected lower in the reclamation area than the control area. On the other hand, As, Cd, Pb, and Hg metals were detected higher in the reclamation area than in the control area. The results of the calculation of BCF in the reclamation area are between 0.001 – 0.147 which is categorized as low accumulation. The highest BCF in the reclamation area as well as in natural forest is Se metal. One-way ANOVA analysis was conducted to determine differences in the metal content of foodstuffs between reclamation areas and natural forests. The results of the one-way ANOVA test on all metals resulted in a significance value of <0.05, which means that there were significant differences in the content of each metal in the reclamation and control areas. The three types of food plants contain Cu and Zn metals that exceed the maximum limit in both the reclamation and control areas.

Keywords: reclamation, metal bioaccumulation, heavy metals, BCF

A. PENDAHULUAN

Kegiatan reklamasi di tambang Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara (PTAMNT) dilakukan bersamaan dengan kemajuan penambangan. Batuan bijih (*ore*) yang mengandung mineral berharga akan diolah lebih lanjut di pabrik pengolahan yang akan menghasilkan produk berupa *concentrat*. Sementara itu, batuan sisa (*waste rock*) yang tidak mengandung mineral berharga akan ditempatkan di area lembah sekitar lubang tambang (pit). Timbunan batuan sisa ini yang kemudian akan direklamasi untuk memulihkan fungsi asasinya sesuai dengan peruntukan akhir. Tahapan kegiatan reklamasi di timbunan penutup diawali dengan pengaturan permukaan lahan (*recontouring*) dan pelapisan/penutupan batuan penutup dengan penyebaran dan pemadatan tanah reklamasi setebal 2.75 meter. Perlapisan batuan penutup dengan tanah bertujuan menghindari munculnya permasalahan air asam tambang yang disebabkan oleh terjadinya kontak batuan penutup yang berpotensi asam dengan oksigen. Material tanah juga berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, mengingat peruntukan akhir di lahan reklamasi timbunan batuan penutup nantinya berupa hutan dengan struktur vegetasi yang menyerupai hutan sebelum dibuka.

Reklamasi timbunan batuan penutup dilakukan untuk mengurangi potensi erosi pada permukaan timbunan, menstabilkan timbunan dan menumbuhkan kembali vegetasi. Penyiapan lahan reklamasi timbunan batuan penutup dilakukan dengan *contouring* dan *resloping* dengan kemiringan 2:1. Subsoil dan topsoil memiliki ketebalan total tanah maksimal 2,75 m. Tanaman yang tumbuh pada lapisan topsoil.



Gambar 1. Daerah reklamasi timbunan batuan penutup Tongoloka

Dalam kegiatan revegetasi, khususnya pada pemilihan jenis tanaman, untuk mencapai tujuan berupa terwujudnya hutan dengan struktur vegetasi yang menyerupai kondisi awal, maka mayoritas jenis pohon yang dipilih adalah jenis lokal penyusun hutan alam di sekitar lokasi tambang. Selain pohon penghasil kayu (timber) juga ditanam beberapa jenis tanaman non-kayu penghasil HHBK seperti rotan, aren, bambu dan kemiri. Dengan ditanamnya tanaman yang menghasilkan HHBK, pada saat

penambangan berakhir dan kawasan reklamasi telah dikembalikan ke pemerintah, masyarakat sekitar tambang dapat memanen HHBK secara lestari dan berkelanjutan.

Terdapat lebih dari 99 jenis tanaman yang ditanam di area reklamasi Batu Hijau, meliputi tanaman berkayu dan non-kayu. Jenis-jenis asli Sumbawa Barat dan beberapa jenis yang diintroduksi dari luar ditanam di area reklamasi timbunan batuan penutup. Beberapa jenis asli Sumbawa yang ditanam di area reklamasi Batu Hijau diantaranya *Albizia chinensis* (besira), *Canarium asperum* (kesiq), *Anthocepalus chinensis* (lempayan), *Instia bijuga* (ipil), *Lagerstroemia speciose* (bungur), *Alstonia scholaris* (kayu batu), *Cryptocarya tomentosa* (Engal), dan *Ficus racemosa* (araq). Sedangkan beberapa jenis tanaman non-kayu yang ditanam di area reklamasi antara lain *Calamus* sp. (rotan), *Dendrocalamus asper* (bambu petung) dan *Sesbania grandifolia* (turi). Bambu petung dan rotan banyak ditemui di area luar reklamasi dalam jumlah yang cukup banyak. Dalam penelitian ini digunakan sampel dari 3 jenis tanaman reklamasi yang buah/biji/batang mudanya sering dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar sebagai makanan yaitu bambu petung, kemiri dan rotan. Ketiga tanaman tersebut di area reklamasi untuk sampel cukup melimpah (Tabel 1), namun faktor lain seperti musim dan keberadaan hewan liar mempengaruhi ketersediaan sampel.

Tabel 1. Jumlah tanaman HHBK di area reklamasi Batu Hijau

Tahun Penanaman	Jumlah ditanam			Total
	Bambu Petung	Kemiri	Rotan	
2008	-	-	662	662
2009	-	-	46	46
2010	-	12	1.191	1.203
2011	-	276	648	924
2012	-	-	888	888
2013	-	-	648	648
2014	878	498	1.008	2.384
2015	105	605	588	1.298
2016	502	6.377	717	7.596
2017	-	1.044	169	1.213
2018	-	3.22	739	3.959
2019	-	3.439	48	3.487
2020	-	6.725	662	7.387
Total	1.485	22.196	8.014	31.695

Konsentrasi dan *bioavailability* logam pada tanah tergantung kepada faktor geologi batuan induk. Namun, jika pH tanah kurang dari 4 maka akan menaikkan potensi terlepasnya logam ke lingkungan. Kondisi tanah reklamasi yang umumnya telah mengalami perubahan seperti pemadatan, kurangnya bahan organik, nilai kapastias tukar kation yang rendah mengakibatkan *bioavailability* logam yang lebih besar pada area *rhizopheric* tanaman. Beberapa kajian menemukan akumulasi trace metal pada tanaman yang tumbuh di tanah reklamasi maupun tanah asal non reklamasi memiliki konsentrasi Mn, Fe, Cu, Zn, Al dan Mo yang tinggi. Penelitian Egbenda *et al*. (2015) di Mokaba *rehabilitated site* di Sierra Rutile menunjukkan adanya konsentrasi tinggi Pb dan Cu di tanah maupun pada buah Mangga dan Jambu Mete yang ditanam di sekitar area tersebut, bahkan lebih tinggi dari rata-rata nilai kesehatan dunia.

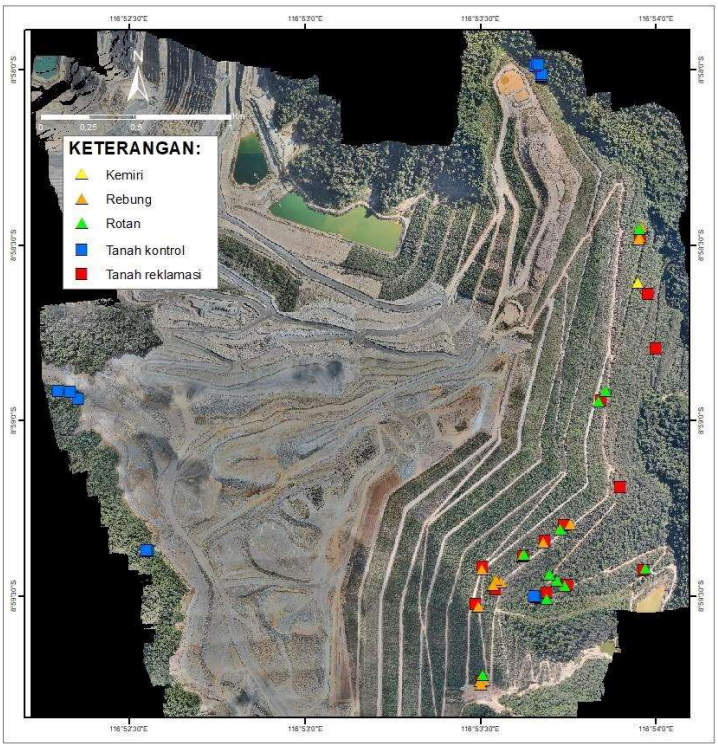
Bambu petung (*Dendrocalamus asper*. Backer), rotan (*Calamus* sp.), dan kemiri (*Aleurites moluccana*), merupakan sedikit dari beberapa sumber makanan yang dapat dikonsumsi manusia di area reklamasi Batu Hijau. Ketiga tanaman tersebut biasa dikonsumsi oleh masyarakat. Tunas muda bambu petung (rebung), dan batang muda rotan, serta biji buah kemiri merupakan bahan sayuran dan rempah yang familiar. Lokasi penanaman jenis-jenis tersebut memiliki potensi mengandung

logam dengan konsentrasi tinggi sehingga menyebabkan tanaman pun-mengandung logam lebih tinggi pula. Tujuan penelitian ini adalah menghitung bioakumulasi logam pada bagian tanaman daun dan biji pada beberapa tanaman yang tumbuh di area reklamasi timbunan batuan penutup dan membandingkan nilainya dengan tanaman di luar area reklamasi. Hasil penelitian digunakan sebagai dasar rekomendasi pemilihan jenis tanaman yang aman dikonsumsi di daerah reklamasi timbunan batuan penutup.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B. 1. LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di area proyek PT AMNT yang terletak di Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, NTB. Pengambilan sampel tanah dan bahan produk non kayu dilakukan di daerah timbunan batuan yang sudah direklamasi di daerah Tongoloka (Tongoloka *Waste Rock Dump*) , Kanloka (Kanloka *Waste Rock Dump*) dan Ujat (Ujat *Waste Rock Dump*) sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik Pengambilan Sampel Tanah dan Produk Non Kayu (Kemiri, Rebung dan Rotan)

B. 2. TEKNIK PENGAMBILAN SAMPEL TANAH

Sampel tanah diambil pada lapisan topsoil pada kedalaman 50 cm dari permukaan tanah menggunakan cangkul dan sekop. Sampel tanah dimasukkan ke dalam tabung plastik untuk menjaga kondisi dan kelembabannya. Jumlah sampel tanah yang diambil pada tiap lokasi reklamasi dan kontrol masing-masing sebanyak 15. Sampel tanah kemudian dikirim ke laboratorium untuk analisis.

B. 3. TEKNIK PENGAMBILAN SAMPEL TANAMAN

Sampel tanaman diambil secara random sampling dan ditambah dengan titik-titik tambahan untuk sampel yang jumlahnya sedikit. Teknis pengambilan sampel dilakukan menggunakan pisau ataupun alat untuk memotong lainnya. Pemotongan sampel buah/biji (kemiri) dilakukan pada ranting dengan menyisakan beberapa helai daun agar tidak layu ketika dibawa dalam perjalanan ke lab untuk analisis. Sampel batang (rebung dan rotan) dapat diambil menggunakan

parang ataupun alat potong lainnya. Sedangkan untuk sampel pembanding atau kontrol didapatkan dari pasar atau membeli dari masyarakat sekitar. Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan kebutuhan tiap satu contoh uji. Setiap jenis tanaman diambil 15 ulangan baik sampel reklamasi ataupun kontrol.

Tabel 2. Jumlah sampel tanaman

Lokasi Tanaman	Jenis Tanaman	Bagian Tanaman	Jumlah Sampel
Area Reklamasi	Rebung	Batang (rebung)	15
	Rotan	Batang muda	15
	Kemiri	Biji	15
Kontrol	Rebung	Batang (rebung)	15
	Rotan	Batang muda	15
	Kemiri	Biji	15

B. 4. ANALISIS KONSENTRASI LOGAM PADA SAMPEL TANAH

Sampel tanah yang diterima di laboratorium kemudian adakan dipreparasi menggunakan metode USEPA 3050 B (1996) secara digestion menggunakan asam HNO_3 dan H_2O_2. Selama proses *digestion*, volume contoh uji akan berkurang, sehingga perlu diencerkan hingga volume akhir 100 mL. Analisis total logam kemudian dilanjutkan dengan menggunakan metode ICP-MS APHA 3125 B (2017) dan logam Hg menggunakan USEPA 345.7 (2015).

B. 5. ANALISIS KONSENTRASI LOGAM PADA SAMPEL TANAMAN

Sampel tanaman yang diterima laboratorium dipreparasi terlebih dahulu dengan proses *cold digestion* lalu diteruskan dengan *digestion* dan oksidasi pada suhu ± 85°C dengan asam kuat HNO_3 dan peroksida H_2O_2. Setelah proses preparasi, contoh uji dapat langsung dianalisis menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES).

B. 6. ANALISIS BIOLOGICAL CONCENTRATION FACTOR (BCF)

Nilai bioakumulasi logam pada tanaman diketahui dengan menghitung rasio antara konsentrasi logam tanaman dengan konsentrasi logam pada tanah. Nilai BCF merupakan parameter penting yang digunakan untuk studi kelayakan potensi remediasi tanaman logam berat (Usman et al, 2019). Rumus BCF ditunjukkan pada persamaan (1).

$$BCF = \frac{Konsentrasi\ logam\ total\ pada\ bagian\ tanaman\ (\ mg\ kg^{-1})}{Konsentrasi\ logam\ tersedia\ pada\ tanah\ \ (\ mg\ kg^{-1})} \quad (1)$$

BCF dikategorikan dalam 3 kelompok berdasarkan sifat polutannya menurut Van Esch (1997) dalam Suprapti (2008), yaitu sangat akumulatif (BCF>1000), akumulatif sedang (BCF 100-1000) dan akumulatif rendah (BCF < 100). Semakin tinggi nilai BCF suatu individu tanaman menunjukkan semakin tingginya individu tanaman tersebut mengakumulasi logam.

B. 7. ANALISIS STATISTIK

Analisis statistik dilakukan untuk melihat perbedaan mean (rata-rata) kandungan tiap unsur logam pada tiap jenis tanaman menggunakan uji *one-way* ANOVA. Digunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), sehingga apabila nilai signifikansi < 0,05 maka terdapat perbedaan signifikan. Perangkat lunak IBM SPSS version 24 digunakan untuk analisis *one-way* ANOVA.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C. 1. SIFAT FISIK TANAH

Area reklamasi Batu Hijau terbagi dalam beberapa blok yang memiliki karakteristik struktur dan fisikokimia tanah yang berbeda-beda. Area Tongoloka memiliki warna tanah coklat hingga kehitaman, klasifikasi dominan berupa tanah liat atau lumpur berpasir dengan rerata persentase kerikil 8,8% dan tanah liat/lumpur 25,2%. Rerata pH tanah 6,2. Kanloka memiliki warna tanah sama seperti tongoloka yaitu cokelat hingga cokelat kehitaman, klasifikasi dominan berupa tanah liat atau lumpur berpasir dengan rerata persentase kerikil 7% dan tanah liat/lumpur 22,4% serta rerata pH tanah 6,1. Ujat memiliki warna dan klasifikasi tanah yang sama dengan Tongoloka dan Kanloka, rerata persentase kerikil 8 % dan tanah liat/lumpur 25% serta rerata pH tanah 6,1. Secara umum struktur ketiga blok penelitian memiliki warna, klasifikasi tanah dan komposisi partikel yang mirip, serta kondisi tanah yang bersifat agak masam. Tabel 3 menyajikan struktur dan pH tanah pada ketiga blok.

Tabel 3. Struktur dan pH tanah blok reklamasi Batu Hijau

Parameter	Tongoloka Dump	Kanloka Dump	Ujat Dump
Warna	Cokelat – kehitaman	Cokelat – kehitaman	Cokelat – kehitaman
Klasifikasi	Liat/lumpur berpasir	Liat/lumpur berpasir	Liat/lumpur berpasir
Partikel kerikil (%)	8,8	7	8
Partikel tanah liat (%)	25,2	22,4	25
pH	6,2	6,1	6,1

C. 2. KONSENTRASI LOGAM PADA TANAH

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis sepuluh parameter logam pada tanah area reklamasi dan kontrol. Setiap area diambil contoh uji sebanyak 15 titik. Hasil dari 15 contoh uji tersebut memiliki kandungan logam yang fluktuatif, sehingga hasil yang ditampilkan dalam bentuk rentang. Secara umum, contoh uji tanah area reklamasi memiliki kandungan logam yang lebih tinggi dan rentangnya pun lebih besar dibandingkan dengan area kontrol.

Tabel 4. Kandungan logam pada tanah area reklamasi dan kontrol

Parameter Logam	Reklamasi				Kontrol			
	Min	Median	Max	Rerata	Min	Median	Max	Rerata
Arsenic (As)	6.1	19.3	37	18.4	1.3	1.7	13	4.1
Cadmium (Cd)	0.2	0.51	0.8	0.5	0.1	0.27	0.6	0.3
Chromium (Cr)	16	33.2	68	35.6	21	27.9	52	32.0
Copper (Cu)	129	200	355	195.3	49	102	133	97.8
Molybdenum (Mo)	0.5	2	10	2.6	0.9	0.9	2	1.1
Nickel (Ni)	11	20	34	21.6	12	17.8	37	21.0
Lead (Pb)	14	33.2	47	33.2	4.2	11	50	16.4
Selenium (Se)	0.7	1.6	2.4	1.6	0.5	0.8	1.7	0.9
Zinc (Zn)	77	183	251	180.3	62	97	142	98.7
Mercury (Hg)	0	0.02	0.08	0.2	0	0.03	0.04	0.02

Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan komponen logam utama antara reklamasi dan tanah kontrol dengan 5 konsentrasi logam tertinggi adalah Cu, Zn, Cr, Pb, dan As sedangkan pada kontrol adalah Zn, Cu, Cr, Pb, Ni. Logam Cu dan Zn di area reklamasi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan area kontrol dikarenakan karakteristik batuan timbunan penutup tanah pertambangan memiliki karakteristik Cu yang tinggi. Penelitian Chileshe *et al*. (2020) di tanah tambang tembaga distrik Chingola, Zambia, menunjukkan bahwa logam Br, Pb, Co, Cu, Ni dan

Zn memiliki derajat kontaminan sangat tinggi.

C. 2. KONSENTRASI LOGAM PADA TANAMAN

Secara umum, analisis logam pada ketiga jenis tanaman pangan menunjukkan bahwa kandungan logam di area reklamasi secara umum terdeteksi lebih rendah daripada kontrol dengan nilai *relative percent difference* (RPD) sebesar 0-197% (Tabel 5).

Tabel 5. Persentase perbedaan antara konsentrasi logam pada tiga jenis tanaman di area reklamasi dan kontrol

Parameter	Rebung			Rotan			Kemiri		
	Reklamasi	kontrol	RPD	Reklamasi	kontrol	RPD	Reklamasi	kontrol	RPD
Arsenic (As)	0.25	0.33	28%	0.25	0.83	107%	0.25	0.25	0%
Cadmium (Cd)	0.05	0.03	55%	0.09	0.08	13%	0.01	0.03	90%
Chromium (Cr)	0.05	0.05	0%	0.05	0.08	50%	0.05	0.05	0%
Copper (Cu)	1.55	0.64	83%	2.99	4.27	35%	5.15	21.55	123%
Molybdenum (Mo)	0.08	0.05	40%	0.05	0.05	0%	0.09	1.31	173%
Nickel (Ni)	0.29	0.06	128%	0.24	0.06	120%	2.62	0.79	107%
Lead (Pb)	0.26	1.29	133%	0.23	2.02	159%	0.27	0.06	128%
Selenium (Se)	0.25	0.25	0%	0.29	0.25	15%	0.25	1.80	151%
Zinc (Zn)	9.95	4.97	67%	12.52	13.92	11%	8.42	43.19	135%
Mercury (Hg)	0.00	0.08	197%	0.00	0.07	197%	0.00	0.00	48%

Keterangan: Dalam perhitungan RPD, nilai rerata konsentrasi yang terukur kurang dari batas deteksi, dihitung sebagai 0,5 kalinya. Jika keduanya menunjukkan <DL, maka nilai RPD = 0%. RPD = (selisih kedua nilai/jumlah kedua nilai) x 200.

Jika dilihat dari Gambar 3, kandungan logam terbesar pada ketiga jenis tanaman tersebut adalah Zn dan Cu. Sedangkan parameter Ni, Pb, As, Se, Mo, Cd, Cr dan Hg nilainya mendekati batas deteksi analisis. Logam Zn memang merupakan salah satu logam esensial dalam jumlah kecil yang dibutuhkan manusia dan makhluk hidup lainnya bagi berlangsungnya metabolisme tubuh. Kandungan As Cd, Pb dan Hg menjadi perhatian karena masuk ke dalam batasan cemaran logam yang ditetapkan oleh BPOM RI.

Kemiri

Kemiri memiliki kandungan Zn dan Cu paling tinggi jika dibandingkan rotan dan rebung, dan kemiri yang berasal dari daerah kontrol memiliki konsentrasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kemiri dari daerah reklamasi. (Tabel 3 dan Gambar 3). Kandungan Zn kemiri daerah reklamasi sebesar 13 mg/kg dan kontrol sebesar 43 mg/kg. Hal ini sejalan dengan penelitian Mulyaningsih (2009) bahwa kandungan Zn pada beberapa jenis sayur dan rempah berkisar antara 11 – 119 mg/kg dan kandungan Zn pada kemiri sebesar 32 mg/kg.

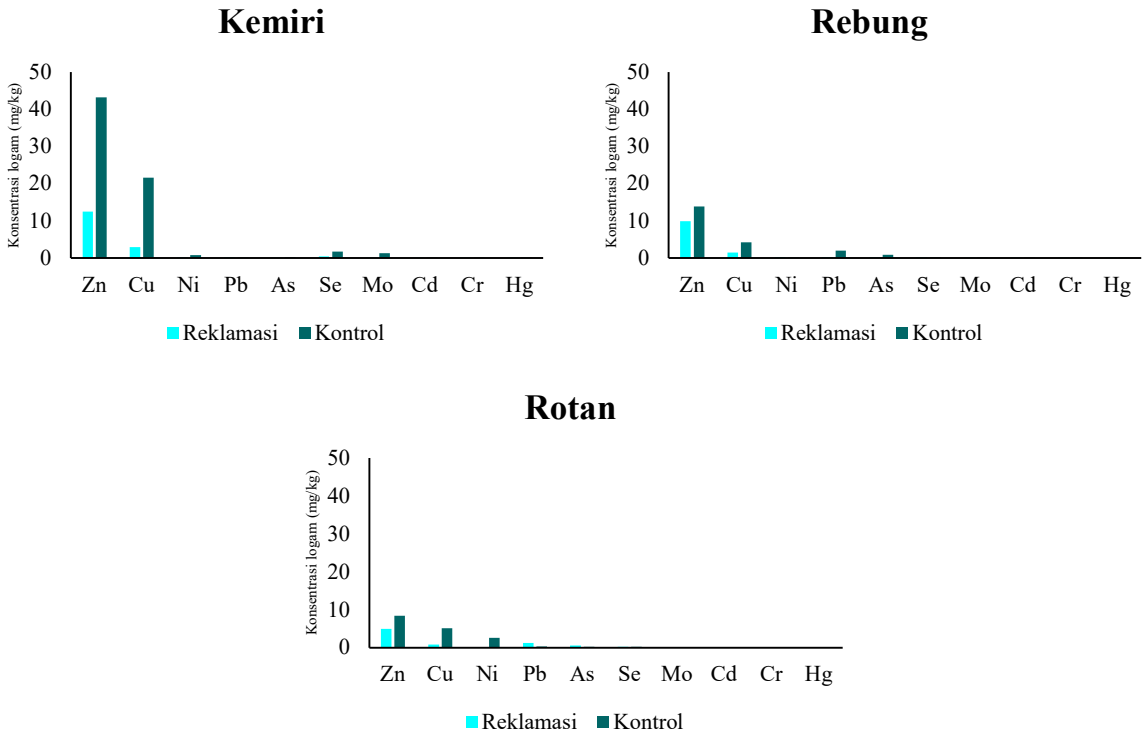
Rebung

Rebung di daerah reklamasi memiliki kandungan Cu dan Zn sebesar 2 dan 10 mg/kg, dan nilainya tidak jauh berbeda jika dibandingkan kontrol sebesar 4 dan 14 mg/kg. Hasil tersebut sedikit berbeda dengan kandungan Cu pada rebung dari pasar Zhejiang dan Jiangxi China, sebesar 0,12 mg/kg (Ren et al. 2017). Hal ini dikarenakan karakteristik tanah daerah tambang yang memiliki kandungan logam Cu cukup tinggi dimana kandungan Cu pada *top soil* <500 mg/kg dan *subsoil* <900 mg/kg, sehingga serapan logam pada tanaman juga tinggi.

Rotan

Kandungan Zn dan Cu terdeteksi paling rendah jika dibandingkan pada buah kemiri dan rebung

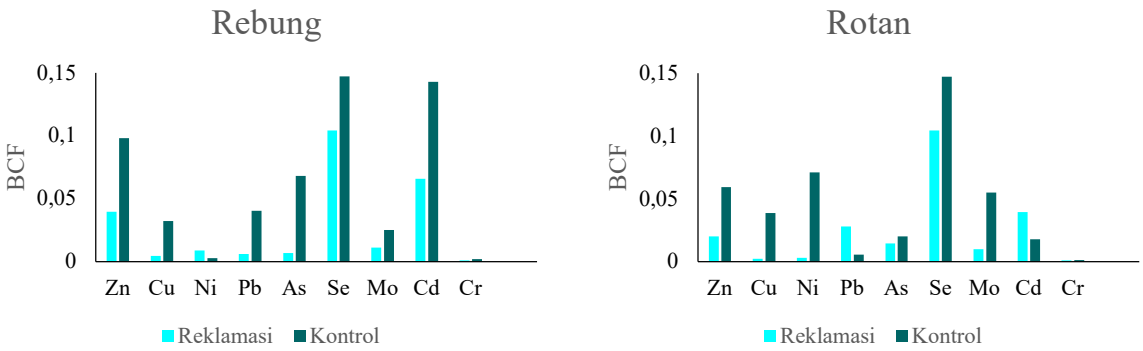
dengan nilai <10 mg/kg dengan kandungan di daerah kontrol lebih tinggi daripada di reklamasi. Namun kandungan Pb dan Hg pada area reklamasi terukur sedikit lebih tinggi dibandingkan area kontrol. Logam lainnya seperti As (<0.5 mg/kg), Mo, Ni, Pb, Se, Cr, dan Cd terukur pada konsentrasi mendekati atau kurang dari batas deteksinya.

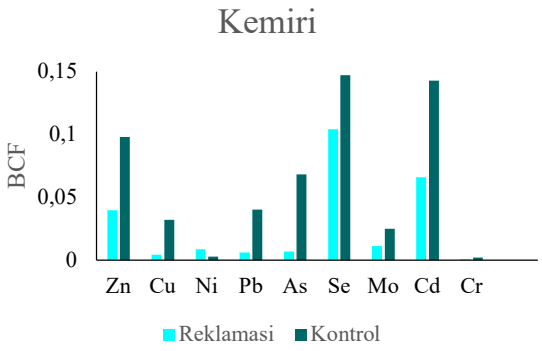


Gambar 3. Perbandingan kandungan logam area reklamasi dan kontrol tiap jenis tanaman

C. 3. BIOCONCENTRATION FACTOR (BCF) LOGAM

Perbedaan nilai BCF dapat disebabkan karakteristik wilayah yang berbeda antara area reklamasi dan area kontrol yang menyebabkan kandungan logam pada tanah/substrat berbeda sehingga mempengaruhi kandungan logam pada tanaman. Nilai BCF didapatkan dengan menghitung rasio antara kandungan logam pada bahan pangan dengan tanah. Hasil perbandingan antara BCF reklamasi dan kontrol disajikan dalam Gambar 4.





Gambar 4. Perbandingan *bioconcentration factor* (BCF) logam pada area reklamasi timbunan batuan penutup dan hutan alam (kontrol)

Secara umum, BCF tertinggi pada ketiga jenis tanaman di area reklamasi dan kontrol adalah pada logam Se. Hal ini menunjukkan kandungan Se pada tanaman lebih besar daripada kandungan logam pada tanah. Sementara itu, BCF paling rendah secara umum ditunjukkan oleh logam Cr. Rentang nilai BCF pada tanaman yang berada dalam area reklamasi maupun kontrol berkisar antara 0,001 – 0,147. Nilai tersebut berdasarkan klasifikasi BCF menurut Van Esch (1997) dalam Suprapti (2008), bersifat akumulatif rendah (BCF < 100). BCF unsur Hg tidak dibandingkan dengan unsur lain karena memiliki batas deteksi analisis (*detection limit*) yang berbeda antara bahan pangan dengan tanah, sehingga menyebabkan nilai BCF tinggi dan tidak dapat dibandingkan dengan BCF logam lain. Tingginya nilai BCF mengindikasikan *in take* tanaman yang besar terhadap suatu unsur logam. Nilai BCF dari yang paling tinggi hingga paling rendah untuk semua logam yang terkandung dalam tanaman adalah sebagai berikut.

Reklamasi

Rebung : Se > Cd > Zn > Mo > Ni > As > Pb > Cu > Cr
Rotan : Se > Cd > Pb > Zn > As > Mo > Ni > Cu > Cr
Kemiri : Se > Cd > Zn > Cu > Ni > Pb > Mo > Cr > As

Kontrol

Rebung : Se > Cd > Zn > As > Pb > Cu > Mo > Ni > Cr
Rotan : Se > Ni > Zn > Mo > Cu > As > Cd > Pb > Cr
Kemiri : Se > Mo > Zn > Cu > Cd > Ni > As > Pb > Cr

C. 3. ANALISIS ANOVA ONE-WAY

Perbandingan kandungan logam pada area reklamasi timbunan batuan penutup dan hutan alam ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis *one-way* ANOVA menunjukkan nilai signifikansi yang berbeda-beda pada tiap jenis logam ketiga tanaman. Nilai signifikansi < 0,05 menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna. Kandungan logam tanaman reklamasi dan kontrol dianalisis tiap logam. Signifikansi tiap logam memiliki nilai < 0,05 yang menunjukkan tiap jenis tanaman baik pada area reklamasi atau kontrol memiliki perbedaan kandungan logam yang bermakna. Perbedaan kandungan logam pada tiap jenis tanaman dapat disebabkan kemampuan tiap jenis yang berbeda-beda dalam menyerap logam. Sedangkan perbedaan kandungan logam kedua lokasi dapat disebabkan variasi kandungan logam dalam tanah sehingga mempengaruhi kandungan logam pada tanaman. Nilai signifikansi hasil uji ANOVA *one-way* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai signifikansi logam hasil analisis ANOVA *one-way*

Parameter Logam	Signifikansi

Arsenic (As)	.000
Cadmium (Cd)	.000
Chromium (Cr)	.020
Copper (Cu)	.000
Molybdenum (Mo)	.000
Nickel (Ni)	.000
Lead (Pb)	.000
Selenium (Se)	.000
Zinc (Zn)	.000
Mercury (Hg)	.000

C. 4. BATAS MAKSIMUM KEAMANAN PANGAN

Tanaman aman dikonsumsi apabila logam yang dikandung tidak melebihi batas maksimum yang ditentukan. Batasan cemaran logam dalam pangan mengacu kepada tanaman hasil analisis (BPOM, 2018) yaitu As, Pb, Hg dan Cd. Tabel 7 menunjukkan perbandingan antara rata-rata logam yang diperoleh dari hasil ketiga jenis tanaman dengan batas cemaran logam maksimum.

Tabel 7. Perbandingan rata-rata konsentrasi logam pada tanaman uji dibandingkan baku mutu

No	Logam	Batas Maksimum Cemaran Logam	Konsentrasi rata-rata logam (mg/kg)					
			Rebung		Rotan		Kemiri	
			Rek	Kon	Rek	Kon	Rek	Kon
1	Arsenic (As)	0.15*	< 0.5	0.54	< 0.5	0.85	< 0.5	< 0.5
2	Cadmium (Cd)	0.05*	0.05	0.03	0.09	0.08	0.01	0.03
3	Chromium (Cr)		< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.11	< 0.1	< 0.1
4	Copper (Cu)		1.55	0.77	2.99	4.27	5.15	21.55
5	Molybdenum (Mo)	-	0.11	0.10	< 0.1	< 0.1	0.11	1.31
6	Nickel (Ni)	-	0.29	0.10	0.31	0.10	2.62	0.79
7	Lead (Pb)	0.2*	0.28	1.30	0.25	2.02	0.28	0.10
8	Selenium (Se)	-	< 0.5	< 0.5	0.40	< 0.5	< 0.5	1.80
9	Zinc (Zn)	-	9.95	4.99	12.52	13.92	8.42	43.19
10	Mercury (Hg)	0.03*	< 0.001	0.08	< 0.001	0.07	0.01	0.01

Keterangan : *BPOM RI (2018)

Konsentrasi Hg, Pb, Cd dan As yang diatur dalam batasan maksimum cemaran logam pada bahan pangan menunjukkan bahwa konsentrasi logam As, Cd dan Hg aman masih memenuhi batasan cemaran logam, sedangkan konsentrasi Pb sedikit diatas batasan untuk daerah reklamasi (0.25-0.28 mg/kg) sedangkan di kontrol jauh lebih tinggi dari batasan cemaran (0.1 – 2.02 mg/kg).

C. KESIMPULAN

Secara umum, konsentrasi logam-logam di tanah reklamasi lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Nilai konsentrasi logam tertinggi pada tanah reklamasi adalah Cu (355 mg/kg) dan pada hutan alam adalah Zn (142 mg/kg). Secara umum konsentrasi logam di bahan pangan di tanah

reklamasi lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Konsentrasi logam pada bahan pangan tertinggi di area reklamasi maupun hutan alami adalah Zn yang terdapat pada kemiri sebesar 43,19 mg/kg (kontrol) dan 12,52 mg/kg (reklamasi). Analisis ANOVA one-way menghasilkan nilai < 0,05 untuk semua logam pada tanaman, berarti terdapat perbedaan kandungan logam yang signifikan antara area reklamasi dan kontrol. Hasil perhitungan BCF baik di daerah reklamasi maupun hutan alam memiliki rentang nilai antara 0,001 – 0,147 yang dikategorikan sebagai akumulasi rendah. Diantara logam As, Cd, Pb dan Hg yang diatur dalam BPOM, kandungan logam tersebut pada Rotan yang diperoleh yang dari hutan alam melebihi batas maksimum lebih tinggi dibandingkan jenis lain maupun di area reklamasi.

D. REKOMENDASI DAN SARAN

Penanaman bambu dan kemiri dapat dilakukan secara lestari, sedangkan penanaman rotan dipilih jenis asli Batu Hijau yang batang mudanya tidak dapat dikonsumsi. Konsumsi tanaman rotan di daerah reklamasi maupun kontrol perlu dibatasi karena mengandung logam yang melebihi batas maksimum cemaran logam pada makanan. Pemantauan logam pada tanah dan tanaman perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui tingkat akumulasi logam dari waktu ke waktu khususnya pada tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

BPOM. (2018). Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 5/2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Pangan Olahan Biji-bijian.

Chileshe, M. N., Syampungani, S., Festin, E. S., Tigabu, M., Daneshvar, A., & Odén, P. C. (2020). Physico-chemical characteristics and heavy metal concentrations of copper mine wastes in Zambia: implications for pollution risk and restoration. Journal of Forestry Research, 31(4), 1283–1293. https://doi.org/10.1007/s11676-019-00921-0

Devi NWBS, Siaka IM, Putra KGD. 2019. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Berat Cu dan Zn dalam Tanah Pertanian Organik dan Anorganik. *Journal of Chemistry*. 13(2): 213-220. DOI: https://doi.org/10.24843/JCHEM.2019.v13.i02.p15.

Maiti, S. K., Kumar, A., & Ahirwal, J. (2016). Bioaccumulation of metals in timber and edible fruit trees growing on reclaimed coal mine overburden dumps. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *30*(3), 231–244. https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1038864

Mulyaningsih TR. 2009. Kandungan Unsur Fe dan Zn dalam Bahan Pangan Produk Peranian, Peternakan dan Perikanan dengan Metode K_0-AANI. *J. Sains dan Tek Nuklir Ind*. 10(2): 71-80.

P, O. Egbenda., F, Thullah., & I, Kamara. (2015). A physico-chemical analysis of soil and selected fruits in one rehabilitated mined out site in the Sierra Rutile environs for the presence of heavy metals: Lead, Copper, Zinc, Chromium and Arsenic. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, *9*(2), 27–32. https://doi.org/10.5897/ajpac2015.0606

Perangin angin ES. 2018. Penentuan Kandungan Logam Tembaga dan Seng pada Tanah Berdasarkan Posisi dan Kedalaman Tanah di Lahan Aplikasi Kelapa Sawit Kawasan Kebun Rambutan [Skripsi]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.

Ren C, Zhang Y, Ni Z, Tang F, Liu Y. (2017). Health Risk Assessment of Heavy Metal in Moso Bamboo Shoots from Farm Markets, China. Food Sci Tech Res. 23(4) : 511-515.

Sembel DT. 2015. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Penerbit ANDI.

Suprapti, N.H., (2008). Kandungan Chromium pada Perairan, Sedimen dan Kerang Darah (Anadara granosa) di Wilayah Pantai Sekitar Muara Sayung Desa Morosari Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Bioma Vol. 10 No. 2 Hal. 36-40. ISSN : 1410- 8801.

Usman, K., Al-Ghouti, M. A., & Abu-Dieyeh, M. H. (2019). The assessment of cadmium, chromium, copper, and nickel tolerance and bioaccumulation by shrub plant Tetraena qatarense. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42029-9

PEMANFAATAN LAHAN REKLAMASI SEBAGAI LAHAN PENGGEMBALAAN SAPI DI PT. KALTIM PRIMA COAL

Niko Gusprastomo[1], Dewanto Nugroho[2]

[1]Supervisor Reclamation Planning, [2]Specialist Comdev

ABSTRAK

Menjadikan lahan pascatambang sebagai lahan yang produktif, stabil, dan sesuai standar lingkungan adalah komitmen PT Kaltim Prima Coal (KPC) dalam melaksankan reklamasi pascatambang. Studi ini, bertujuan untuk mengetahui produktivitas dan daya dukung lahan reklamasi sebagai lahan penggembalaan sapi. Ruang lingkup studi, meliputi tahapan persiapan lahan, analisa vegetasi, penyiapan prasarana, pemeriksaan kesehatan, analisa pertambahan populasi sapi sebagai parameter keberhasilan. Studi ini, menggunakan desain penelitian studi kasus selama ± 4 tahun penggembalaan, dengan cara membandingkan kondisi rumput, kesehatan dan pertambahan populasi sapi. Analisa vegetasi meliputi analisa jenis dan jumlah, serta identifikasi kandungan logam berat. Sedangkan analisis kesiapan prasarana meliputi kesedian shelter, cattle yard, pondok, pagar, dan akses jalan.Parameter kesehatan meliputi identifikasi penyakit, cacat fisik, libidio dan organ reproduksi. Hasil studi, adalah sebagai berikut: rumputan padang gembalan aman dikonsumsi sapi, karena memiliki kandungan logam berat, seperti Timbal (Pb), Cadmium (Cd), Tembaga (Cu), Seng (Zn) dalam batas toleransi. Produksi rumput segar dan kering berlimpah, yakni 14.80 ton ha^{-1} dan 3.44 ton ha^{-1}. Rumput berkualitas sebagai pakan, yakni dari jenis Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria sphacelata, dan Paspalum conjugatum. Kondisi kesehatan sapi baik, tidak ditemukan penyakit, cacat fisik, gangguan libido dan organ reproduksi. Populasi sapi bertambah ± 160 % selama 4 tahun. Dengan demikian, lahan reklamasi memiliki produktivitas dan daya dukung yang sesuai dalam usaha pengembalan sapi.

Kata Kunci: Reklamasi, Padang gembala, Sapi.

ABSTRACT

Making post-mining land productive, stable, and in accordance with environmental standards is the commitment of PT Kaltim Prima Coal (KPC) in carrying out post-mining reclamation. This study aims to determine the productivity and carrying capacity of reclaimed land as cattle grazing land. The scope of the study includes the stages of land preparation, vegetation analysis, infrastructure preparation, health checks, and analysis of cattle population growth as a parameter of success. This study uses a case study research design for ± 4 years of grazing, by comparing grass conditions, health and population growth of cattle. Vegetation analysis includes analysis of type and amount, as well as identification of heavy metal content. Meanwhile, the analysis of infrastructure readiness includes the availability of shelters, cattle yards, huts, fences, and road access. Health parameters include identification of diseases, physical disabilities, libido and reproductive organs. The results of the study are as follows: pasture grasses are safe for cattle to consume, because they contain heavy metals, such as Lead (Pb), Cadmium (Cd), Copper (Cu), Zinc (Zn) within tolerance limits. The production of fresh and dry grass is abundant, namely 14.80 tons ha^{-1} and 3.44 tons ha^{-1}. Quality grass as feed, namely Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria sphacelata, and Paspalum conjugatum types. The cow's health condition is good, no disease, physical disability, libido and reproductive organ disorders are found. The cattle population increased by ± 160 % for 4 years. Thus, the reclaimed land has the appropriate productivity and carrying capacity in the cattle herding business.

***Keywords**: Reclamation, Pasture, Cow.*

A. PENDAHULUAN

Reklamasi merupakan sebuah keniscayaan dalam usaha mengubah bentang alam agar kembali sama dengan rona awal. Reklamasi tidak hanya dengan memperbaiki kesuburan tanah dan menanam, namun perlu memperhatikan keberlanjutan fungsi ekosistem, yang memungkinkan flora fauna tumbuh dengan baik. Reklamasi hendaknya juga dilakukan dengan menyusun jenis-jenis tanaman yang tepat dan pengaturan zonasi di area pascatambang agar menghasilkan peluang-peluang usaha untuk masyarakat selanjutnya (Puslitbanghut 2017).

A.1. Latar Belakang

Prinsip kegiatan reklamasi haruslah menciptakan usaha industri baru menggantikan industri tambang yang ditutup, sehingga perekonomian daerah setempat tidak mengalami stagnasi, dan tidak terjadi banyak pengangguran akibat penutupan tambang (Puslitbanghut 2017). Reklamasi pastura adalah salah satu kegiatan reklamasi yang tidak hanya memperbaiki kesuburan tanah dengan penataan tanah dan penanaman pohon, namun, mampu menciptakan usaha industri baru. Untuk itu, diperlukan studi, terkait proses penggembalan dan evaluasi kegiatan terhadap kriteria keberhasilan yang ditetapkan.

A.2. Tujuan

Studi ini, bertujuan untuk :

1. Mengetahui daya dukung lahan reklamasi dalam usaha penggembalaan sapi
2. Mengevaluasi kegiatan penggembalaan sapi di areal reklamasi berdasarkan kriteria yang ditetapkan.

A.3. Pendekatan Pemecahan Masalah

Studi ini, menggunakan pendekatan kuantitatif, yakni mengukur parameter keberhasilan lahan pastura dan populasi sapi, selanjutnya dianalisis secara kuantitatif. Berikut adalah tahapan pendekatan pemecahan masalah dari studi ini:

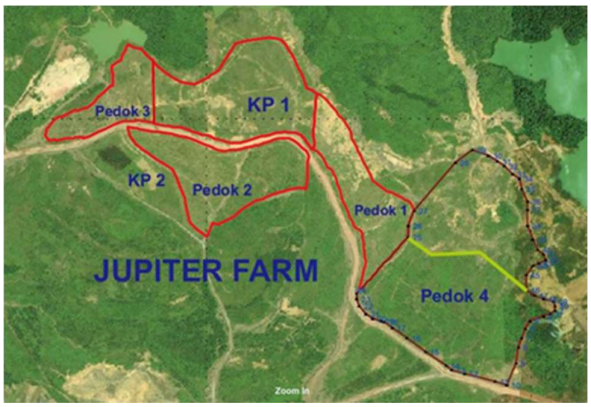
1. Penetapan parameter keberhasilan
2. Penilaian parameter keberhasilan
3. Evaluasi parameter keberhasilan berdasarkan kriteria keberhasilan yang ditetapkan.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini, menggunakan metode penelitian survey, yakni mengukur parameter penataan lahan, revegetasi, saran dan prasarana, dan perkembangan populasi sapi. Studi, bermaksud menguji hipotesis, bahwa area reklamasi pascatambang merupakan area yang tidak produktif.

B.1. Lokasi

Lokasi studi di *Pit Jupiter* , dengan luasan ± 139.97 ha, terdiri areal reklamasi tahun 2013, 2014 dan 2015.



Gambar 1. Lokasi pastura Pit J dan South Pinang.

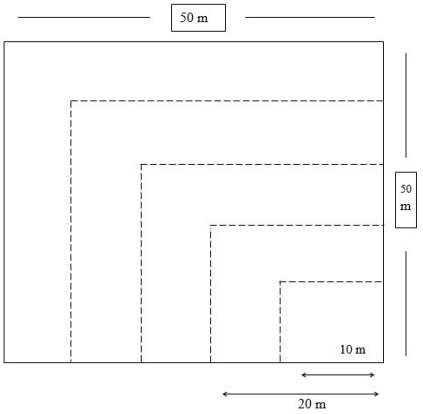
B.1. Penetapan parameter keberhasilan

Parameter keberhasilan, meliputi kondisi penataan lahan, , kondisi revegetasi, sarana dan prasarana,

kondisi kesehatan, dan populasi perkembangan sapi.

B.1.1. Penataan lahan
Parameter penataan lahan, meliputi penimbunan batuan penutup *PAF* (Potentially Acid Forming), pembentukan permukaan lahan, penataan sistem drainase, serta penghamparan dan pengerukan tanah. Pemantauan berdasarkan secara visual dan menggunakan data.

B.1.2. Revegetasi
Pemantauan vegetasi dilakukan secara visual, mencatat jenis dan jumlah vegetasi. Pemantauan menggunakan petak ukur berukuran 50 m x 50 m, dengan 4 sub petak ukur.



Gambar 2. Plot pemantauan vegetasi.

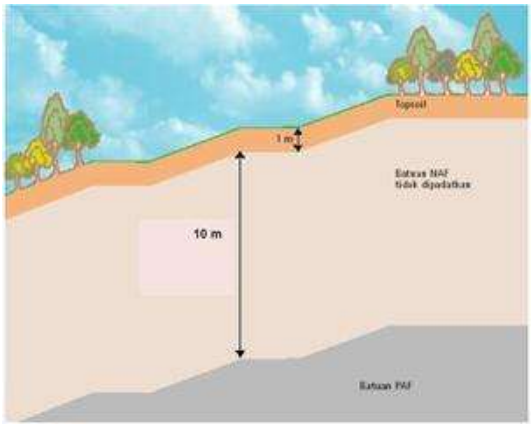
B.1.3. Sarana dan prasarana
Penilaian sarana dan prasarana dilakukan secara visual, penilaiannya mengacu pada ketersedian dan kelayakan sarana dan prasarana. Sarana dan prasarana, meliputi ketersediaan embung, *cattle yard,* pondok, jalan, dan pagar.

B.1.4. Populasi perkembangan sapi
Keberhasilan pastura ditentukan seberapa besar pertumbuhan populasi sapi dan sebaik apa kualitas yang dihasilkan. Pengamatannya dilakukan secara visual di *cattle yard.*

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Penataan lahan

Penataan lahan *pastura* sapi mengacu pada standar Spesifikasi Reklamasi PT KPC. Perbedaan utama bentuk reklamasi ini adalah tutupan vegetasi bukan pohon melainkan padang rumput pakan sapi. Penatagunaan lahan sama dengan reklamasi-revegetasi normal, mulai dari proses penimbunan batuan penutup dengan prinsip penyelesaian PAF-NAF, pembentukan permukaan lahan, penataan sistem drainase, serta penghamparan dan penggaruan tanah. Proses penimbunan batuan penutup areal pastura menggunakan konstruksi lapisan pelindung DC 03. Spesifikasi konstruksi sebagaimana gambar berikut ini:



Gambar 3. Konstruksi lapisan pelindung DC 03.

Pembentukan permukaan lahan pastura *Pit Jupiter* menggunakan standar dimensi untuk tujuan pengendalian air asam tambang dan erosi permukaan. Berikut adalah dimensi pembentukan lahan pastura *Pit Jupiter* :

Parameter	Spesifikasi dimensi
Sudut kemiringan maks. setiap jenjang 10m	4 : 1
Panjang lereng maks. (antara tanggul-tanggul drainase)	40 m
Lebar *berm* drainase minimum (termasuk tanggul)	15 m
Crossfall dari *berm* drainase	1-2%
Backslope	2%
Tanggul drainase/*bund* (T x L)*	1 x 4 m
Jarak maksimum ke *drop structure* sepanjang *berm***	± 200 m atau sesuai DDR
Acuan perhitungan dimensi *drop structure*	Hujan kala ulang 20 tahunan

** Tanggul drainase/bund sekaligus difungsikan sebagai jalan reklamasi di tiap jenjang timbunan.*
***Jika timbunan akhir tidak membentuk grade arah samping.*

Gambar 4. Dimensi pembentukan permukaan lahan pastura *Pit Jupiter*.

C.1. Revegetasi awal

Identifikasi jenis dan jumlah vegetasi pakan, tujuannya memastikan kondisi daya dukung lahan. Hal ini, menentukan perlu tidaknya kegiatan pengkayaan, dan pemberian pakan tambahan berupa konsentrat. Berikut adalah hasil identifikasi jenis dan jumlah vegetasi pastura *Pit Jupiter*.

Tabel 1. Jenis dan jumlah vegetasi areal pastura *Pit Jupiter*.

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Jumlah Individu	KR %	FR %	DR %	INP %
1	Jakut pait	*Paspalum conjugatum*	1.203	45,44	22,62	1,23	69,29
2	Mantangan	*Meremmia peltata*	79	2,98	22,62	1,23	26,83
3	Banta	*Leersia hexandra*	524	19,79	2,91	1,65	24,35
4	Kacang asu	*Calopogonium mucunoides*	161	6,08	13,62	0,74	20,44
5	Torpedo	*Panicum repens*	206	7,78	9,00	0,49	17,27
6	Mendong	*Fimbristylis ferrugenia*	233	8,80	4,37	0,24	13,41
7	Plicatulum	*Paspalum plicatulum*	48	1,81	2,91	1,65	6,37
8	Centro	*Centrosema pubescens*	28	1,05	4,37	0,24	5,66
9	Sembung rambat	*Mikania cordata*	12	0,45	4,37	0,24	5,06
10	Kinangan	*Paspalum scrobiculatum*	88	3,32	1,45	0,08	4,85
11	Kangkung hutan	*Ipomea sp*	6	0,22	2,91	1,65	4,78
12	Rumput jarum	*Chrisopogon ariculatus*	25	0,94	1,45	0,08	2,47
13	Karamunting	*Melastoma*	15	0,56	1,45	0,08	2,09

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Jumlah Individu	KR %	FR %	DR %	INP %
		malabathricum					
14	Alang-alang	*Imperata cylinrica*	9	0,34	1,45	0,08	1,87
15	Mara	*Macaranga tanarius*	8	0,30	1,45	0,08	1,85
16	Kirinyuh	*Eupatorium odorata, L*	1	0,03	1,45	0,08	1,56
17	Teki ladang	*Cyperus rotundus*	1	0,03	1,45	0,08	1,56

Sumber: Fauziah (2017).

Hasil pengamatan, areal pastura *Pit Jupiter* didominasi oleh famili *Pocaceae* (rumput-rumputan). Dari 6 jenis rumput-rumputan, *Paspalum conjugatum* adalah jenis yang dominan, dengan indeks nilai penting (INP) 69.29%. *Paspalum conjugatum* dominan, karean *Paspalum conjugatum* mampu menghasilkan 1.500 biji yang mudah menyebar di udara, hewan, dan air pada saat hujan, (Isda *et al.,* 2013). Rumput lapangan, seperti *Paspalum conjugatum* merupakan pakan alami bagi sapi. Namun demikian, Rumput lapangan di Indonesia dalam keadaan segar rata-rata hanya mengandung 1,5% protein dari berat segar atau 7% dari bahan keringnya (Shantosi, 2015). Sehingga, perlu dilakukan pengkayaan untuk kualitas pakan.



Gambar 5. Kondisi rumput di pastura *Pit Jupiter.*

C.2. Pengkayaan pakan hijauan

Pengkayaan dilakukan dengan menanam jenis – jenis vegetasi pakan berkualitas, seperti : *Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria sphacelata.* Tujuannya untuk meningkatkan kecukupan dan pemenuhan gizi sapi. Jumlah produksi hijauan segar dan daya tampung pastura *Pit Jupiter* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Produksi hijauan dan daya tampung lahan.

No	Tanaman	Bahan Segar (kg ha^{-1})	Bahan Kering (kg ha^{-1})	Kapasitas Tampung (ST.ha^{-1} $tahun^{-1}$)
1	*Indigofera zollingeriana*	675,89	211,22	-
2	*Brachiaria humidicola*	4.013,12	1.739,3	0,45
3	*Setaria spachelata*	6.250	233,75	0,75
4	Rumput Lapangan	3.857,5	1.251,8	0,43

Sumber: Fauziah (2017).

Total produksi hijauan pastura *Pit Jupiter* adalah 14.80 ton ha^{-1}. Komposisinya terdiri dari *Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria sphacelata,* dan rumput lapangan. Berdasarkan data sekunder, kemampuan daya tampung lahan secara rata-rata adalah 0,54 ST.ha^{-1} $tahun^{-1}$. Namun demikian, untuk memastikan keberlangsungan usaha. Pastura Pit Jupiter menggunakan rasio 1 ekor sapi untuk 1.5 ha lahan. Dengan demikian, areal pasture *Pit Jupiter* diperuntukan ± 93 sapi dewasa.



Gambar 6. Kegiatan pemberian pakan tambahan.

Untuk memastikan kecukupan dan pemenuhan gizi sapi, selain pengkayaan dilakukan pemberian pakan tambahan berupa hijauan dan konsentrat. Jumlah pakan tambahan dapat dilihat pada tabel 3, berikut ini:

Tabel 3. Jumlah pakan tambahan per tahun.

Tahun	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021 (Smt I)**	**Keterangan**
Pakan Tambahan (kg)	36.000	24.000	9.600	2.400	-	-	Hijauan & konsentrat
Total Kebutuhan Pakan (kg)	257.325	379.600	503.700	649.700	613.200	657.000	
% Pakan Tambahan	13,99%	6,32%	1,91%	0,37%	0,00%	0,00%	

Pemberian pakan tambahan minim, bahkan untuk tahun pertama ± 13.99%, menurun drastis pada tahun kedua ± 6.32%, dan pada tahun ketiga menjadi tidak signifikan, yakni 1.91%, dan sejak tahun 2020, tidak dilakukan penambahan pakan tambahan. Hal ini, dikarenakan sumber pakan alami melimpah sejak awal lihat tabel 1. Serta kegiatan pengkayaan dengan jenis *Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria spachelata,* telah mencukupi kebutuhan atas pakan.

C.3. Analisis logam berat

Tujuan analisa logam adalah untuk memastikan sapi yang dihasilkan aman dikonsumsi. Analisis logam berat pada studi ini menggunakan data sekunder. Metode analisis menggunakan *Atomic Absorpsion spectrophotometry* (AAS).

Tabel 4. Kandungan logam pada tanaman pakan sapi.

Jenis Logam	Kandungan Logam Berat (mg kg^{-1}) Pada Tanaman Pakan di Lahan Pasca Tambang Batubara PT. Kaltim Prima Coal				Maks. Toleransi Logam Berat Pada Pakan (mg kg^{-1})[a]
	Indigofera zollingeriana	*Brachiaria humidicola*	*Setaria spachelata*	*Paspalum conjugatum*	
Timbal (Pb)	1,41	0,69	1,99	0,29	100
Cadmium (Cd)	0,85	0,48	0,43	0,35	10
Tembaga (Cu)	16,35	9,02	7,00	18,58	100
Seng (Zn)	49,20	43,70	26,15	16,79	500

Sumber: Fauziah (2017). [a] NRC, 2000 (Perkiraan untuk sapi dewasa).

Timbal adalah unsur kimia dengan lambang Pb dan nomor atom 82. Unsur ini, merupakan logam berat, dengan massa jenis yang lebih tinggi daripada banyak bahan yang ditemui sehari-hari. Timbal dapat masuk kedalam tubuh manusia dan hewan melalui makanan, minuman, serta udara yang tercemar. Unsur

ini, merusak sistem saraf dan mengganggu fungsi enzim dalam tubuh. Timbal sangat berbahaya terutama untuk anak-anak, karena dapat mengganggu pertumbuhan otak (Wikipedia, diakses tanggal 29 Agustus 2021). Saat ini, kandungan Pb pada tanaman pakan berkisar 1% dari batas 100 (mg kg^{-1}). Dipastikan *Indigofera zollingeriana, Brachiaria humidicola, Setaria spachelata, dan Paspalum conjugatum*, aman dikonsumsi sapi.

Cadmium (Cd) adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Logam lunak dan putih kebiruan ini secara kimiawi serupa dengan dua logam stabil lainnya pada golongan 12, seng dan raksa (Wikipedia, diakses tanggal 29 Agustus 2021). Pengaruh negatif kadmium yang utama terhadap manusia maupun hewan adalah terganggunya fungsi ginjal yang dapat mengakibatkan gejala *glikosuria, proteinuria, aciduria* dan *hiperkalsiuria*. Gejala tersebut bila berlanjut akan menyebabkan gagalnya fungsi ginjal dan mengakibatkan kematian (Kobayashi 1978). Kandungan *cadmium* pada seluruh tanaman berkisar 5% dari batas maksimal 10 (mg kg^{-1}). Dengan demikian pakan hijau aman dikonsumsi sapi.

Tembaga (Cu) adalah salah satu unsur mineral yang sangat dibutuhkan oleh tanaman maupun hewan. Tembaga juga dibutuhkan pada hewan ternak dalam proses metabolisme, pembentukan hemoglobin dan fisiologi dalam tubuh hewan, walaupun dibutuhkan dalam jumlah sedikit di dalam tubuh, bila kelebihan dan kekurangan akan dapat mengganggu kesehatan sehingga mengakibatkan keracunan. Kekurangan tembaga maka ternak akan mengalami defisiensi (Arifin, 2007).

Dampak gangguan yang ditimbulkan pada sapi yang mengalami defisiensi Cu yaitu *malnutrisi*, anemia, gangguan pada tulang, kemandulan, *depigmentasi* pada rambut dan bulu, gangguan saluran pencernaan, serta lesi pada saraf otak dan tulang belakang, selain itu juga penyakit kekurangan Cu *enzootic ataksia* dan *falling disease* yaitu penyakit yang menahun karena ternak mengkonsumsi hijauan pakan yang kadar tembaganya rendah (Arifin, 2008). Sehingga kandungan Tembaga, harus mencukupi dan tidak boleh lebih dari batas maksimal 100 (mg kg-1). Kandungan tembaga (Cu) pada pakan hijauan adalah 13% dari batas toleransi, aman dikonsumsi. Kandungan tembaga pada pakan dalam batas cukup, sehingga tidak menyebabkan defisiensi Cu, lihat tabel berikut ini:

Tabel 5. Kebutuhan Harian Logam Tembaga (Cu) Pada Sapi.

Logam Berat (Essensial)	Kebutuhan (mg kg^{-1})		
	Sapi Masa Pertumbuhan dan Perkembangan	Sapi Masa Kebuntingan	Sapi Masa Laktasi
Tembaga (Cu)	10	10	10

Sumber: NRC, (2000).

Seng (Zn) merupakan salah satu unsur mineral yang sangat dibutuhkan oleh tanaman maupun hewan. Unsur seng bagi tubuh ternak berguna untuk pertumbuhan normal, reproduksi dan mempunyai pengaruh yang berguna terhadap proses-proses perbaikan jaringan dan penyembuhan luka. Seng juga diperlukan untuk mempertahankan konsentrasi normal vitamin A dalam plasma, seng mungkin diperlukan untuk mobilisasi vitamin A dari hati (Tarmidi, 2016). Defisiensi seng Zn pada ternak ruminansia yaitu terganggunya fungsi reproduksi khususnya terjadi pada jantan, terbakarnya membrane mukosa pada hidung dan mulut, haemorrhages, penebalan kulit dan pengasaran rambut tubuh. Tulang sendi menjadi kaku, kaki membengkak, gigi yang menggeretak salivasi yang berlebihan serta aktivitas alkalin phosphatase dalam darah dan tulang menurun. Gejala yang ditimbulkan akibat keracunan Zn yaitu ternak menjadi lembam, kehilangan nafsu makan dan menderita diare (memperlihatkan gangguan metabolisme tembaga) (Tarmidi 2016).

Kandungan logam seng pada pakan hijauan adalah 7% dari batas toleransi maksimal 500 mg kg^{-1}. Sedangkan rataan kandungan seng pada keempat jenis pakan adalah 33.96 mg kg^{-1}. Hal ini, berarti kebutuhan harian sapi akan logam seng terpenuhi.

Tabel 6. Kebutuhan harian logam seng (Zn) pada sapi.

Logam Berat (Essensial)	Kebutuhan (mg kg^{-1})		
	Sapi Masa Pertumbuhan dan Perkembangan	Sapi Masa Kebuntingan	Sapi Masa Laktasi
Tembaga (Zn)	30	30	30

Sumber: NRC, (2000)

C.5. Fasilitas sarana dan prasarana

Prasarana pendukung kegiatan penggembalaan sapi mencakup: *shelter*, *cattle yard*, pondok, pagar, dan akses jalan.

Embung

Prinsip pengadaan embung pada lahan pastura adalah untuk menjamin ketersedian air dalam kondisi apapun, baik dari sisi kuantitas dan kualitas. Embung dibangun dengan dimensi panjang 30 m, lebar, 30 m, dan kedalaman 1 m. Setiap embung mewakili area seluas 15 ha. Untuk menjamin ketersedian airnya, embung diposisikan pada elevasi yang lebih rendah dari sekitarnya. Berikut adalah contoh salah satu embung di pastura *Pit Jupiter*.



Gambar 7. Embung no 2.

Cattle yard

Cattle yard atau tempat penampungan sapi. *Cattle yard* dimaksudkan sebagai tempat pemeriksaan rutin kesehatan, pengukuran fisik, pencatatan jumlah, vaksinasi dan inseminasi.



Gambar 8. *Cattle yard* pastura *Pit Jupiter*.

Shelter

Shelter difungsikan sebagai tempat berlindung sapi. Pembangunan fisik *shelter* belum dilakukan, areal pastura *Pit Jupiter* menggunakan shelter alami jenis *Cassia siamea.*

Pondok

pondok difungsikan sebagai tempat berteduh dan istirahat karyawan. Pondok dilengkapi dengan fasilitas kamar mandi, ruang penyimpanan, dan tempat pemantauan.



Gambar 9. Pondok pastura *Pit Jupiter.*

Pagar

Lokasi padang pastura berada di lalu lintas kendaraan tambang. Untuk menjamin tidak menjadi gangguan terhadap aktivitas tambang sekaligus mengamankan sapi, maka, dibangun pagar keliling. Pagar dibuat menggunakan kawat duri galvanis dengan penyangga berupa balok ulin. Balok ulin ukuran 10 cm x 10 cm, dengan panjang 2 m, dipasang per 2 m.



Gambar 10. Pagar pastura Pit Jupiter.

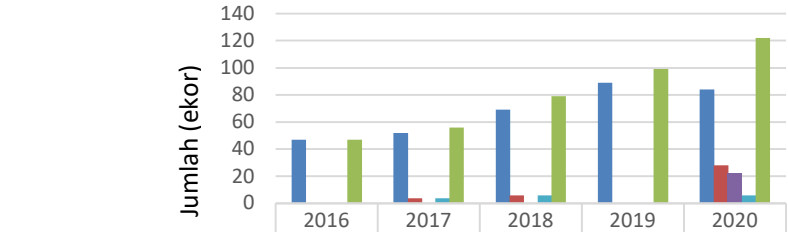
C.5. Perawatan sapi

Perawatan sapi dilakukan tiga bulan sekali oleh dokter hewan yayasan swarga bara (YSB). Perawatan sapi, meliputi pemeriksaan kesehatan sapi (pengobatan luka luar, pemeriksaan kehamilan, pengecekan umur, pemberian obat cacing dan pemberian vitamin), pengukuran fisik sapi, pemberian vaksinasi dan melakukan inseminasi.



Gambar 11. Kegiatan perawatan sapi oleh dokter hewan dan karyawan.

C.6. Perkembangan populasi sapi



	2016	2017	2018	2019	2020
Populasi akhir tahun	47	52	69	89	84
Sapi keluar	0	4	6	0	28
Serah terima ke Kelompok Tani	0	0	0	0	22
Penjualan sapi	0	4	6	0	6
Total jumlah sapi	47	56	79	99	122

Gambar 12. Pertambahan populasi sapi pastura Pit Jupiter.

Secara tahunan pertambahan populasi sapi pastura *Pit Jupiter* adalah 27%. Pertambahan populasi sampai dengan akhir tahun 2020 adalah 75 ekor atau 160 % dari populasi penebaran. Sebagian besar sapi hasil pengembangan diserahkan ke kelompok tani. Harapannya dapat berkembang dan menjadi mata pencaharian bagi masyarakat.

D. KESIMPULAN

1. Jawaban hipotesa bahwa "bahwa area reklamasi pascatambang merupakan area yang tidak produktif" sepenuhnya adalah tidak benar. Studi ini, membuktikan bahwa area reklamasi adalah area potensial untuk usaha – usaha produktif, seperti pastura. Hal ini, dibuktikan dengan pertambahan populasi sapi selama 4 tahun penggembalaan sebesar 2.6 kali;
2. Lahan pastura pit J merupakan area yang produktif, stabil dan sesuai dengan standar lingkungan, lahan mampu mendukung untuk usaha penggembalaan sapi.

E. DAFTAR PUSTAKA

Arifin, Z. (2007): Pentingnya mineral tembaga (Cu) dalam tubuh hewan dalam hubungannya dengan penyakit. *Wartozoa*. Vol. 17(2).

Arifin, Z. (2008): Beberapa unsur mineral esensial mikro dalam sistem biologi dan metode analisisnya. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 27(3).

Fauziah. (2017): Kandungan beberapa logam berat pada tanaman pakan di lahan pascatambang batu bara PT. Kaltim Prima Coal. Samarinda.

Herdiawan I. (2013): Pertumbuhan tanaman pakan ternak legum pohon Indigofera sp. zollingeriana pada berbagai taraf perlakuan cekaman kekeringan. JITV. 18 (4): 258-264.

Isda, M. N., S. Fatonah dan R. Fitri. (2013): Potensi Ekstrak Daun Gulma Babadotan (Ageratum conyzoides L.) Terhadap Perkecambahan dan Pertumbuhan Paspalum conjugatum Berg. J. Biol, 6 (2): 120-125

Kadmium - Wikipedia bahasa Indonesia, diperoleh melalui situs internet: https://id.wikipedia.org/wiki/Kadmium. Diunduh tanggal 29 Agustus 2021.

Kobayashi, S., Shah, S, N., (1978): The Matrix Method for the Analysis of Metal-FORMING Processes, Advances in Deformation Processing, Plenum.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan (Puslitbanghut). (2017): Laporan Final Evaluasi Nilai Konservasi Restorasi Ekosistem Areal Pascatambang PT Kaltim Prima Coal Berbasis Zonasi. Bogor. KLHK.

Shantosi, A. (2015): 43 Bahan Baku Pakan Untuk Sapi Potong dan Perah. Media Agribisnis Peternakan Indonesia. http://www.agrinak.com/2015/12/43-bahan-baku-pakan-untuk-sapi-potong.html. Diakses pada tanggal 14 Desember 2016.

Tarmidi, A. R. (2016): Kajian Fungsi Mineral Seng (Zn) Bagi Ternak. Unpad Repository. http://repository.unpad.ac.id/978/. Diakses pada tanggal 23 Juli 2017.

Timbal - Wikipedia bahasa Indonesia, diperoleh melalui situs internet: https://id.wikipedia.org/wiki/Kadmium. Diunduh tanggal 29 Agustus 2021.

KEANEKARAGAMAN HAYATI KAWASAN NIKEL LATERIT STUDI: PERTAMBANGAN NIKEL PULAU OBI, MALUKU UTARA

[1)]Retno Dewi Handayani S*, [2)]Primus Priyanto dan [3)]Tonny Gultom

[1)]Mahasiswa S3, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia,
[2)]Manager Lingkungan, Harita Nickel Group,
[3)]Ketua FKPLPI

**E-mail: retno.dewi@haritanickel.com*

ABSTRAK

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas (*biological diversity/biodiversity*) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan berbagai kehidupan di bumi yang mengacu pada berbagai ekosistem dan organisme hidup hewan, tumbuhan, habitat, komunitas, dan genetika. Kegiatan pertambangan akan memberikan gangguan lingkungan selama dalam operasi dan akan dikembalikan fungsi lingkungan setelah penambangan selesai sesuai dengan rona akhir penambangan. Aktivitas pembukaan lahan menyebabkan keterisolasian dan fragmentasi habitat yang beragam dan kepunahan spesies serta tekanan pertumbuhan populasi. PT. Trimegah Bangun Persada (PT. TBP) dan PT. Gane Permai Sentosa (PT.GPS) adalah anak perusahaan Harita Group yang bergerak dalam bidang tambang nikel yang berlokasi di Pulau Obi, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Pulau Obi sebagai bagian dari kawasan biogeografi *Wallacea* memiliki keragaman flora dan fauna yang menarik dengan tingkat endemisitas yang tinggi khususnya kelompok avivauna (burung). PT. TBP dan PT.GPS telah melakukan monitoring keanekaragaman hayati sebagai dasar pengelolaan lingkungan dengan tujuan mengidentifikasi jenis-jenis tumbuhan, mamalia, herpetofauna, burung dan serangga di areal PT.TBP dan PT.GPS dan sekitarnya. Metode yang dipilih disesuaikan dengan komunitas dan taksa dari masing-masing flora dan fauna. Ekosistem di dalam areal PT. TBP dan PT.GPS adalah bagian dari ekosistem Pulau Obi yang sudah jauh berbeda dengan kondisi ekosistem alaminya. Pada tahun 2007 terjadi kebakaran hutan yang menghabiskan hampir seluruh tegakan hutan di Pulau Obi termasuk hampir seluruh areal PT.TBP dan PT.GPS. Saat ini masih terjadi proses suksesi dengan jenis tumbuhan yang mendominasi adalah kayu marufu/rufu ((*Alphitonia incana*) dan/atau papua (*Leptospermum amboinense*). Permasalahan pada tanah nikel laterit umumnya kondisi tanah yang kurang subur karena minimnya unsur hara dan terbatasnya *top soil* tanah yang mengakibatkan proses suksesi berjalan cukup lama. Beberapa jenis fauna yang dijumpai di areal studi PT.TBP dan PT.GPS, seperti kuskus obi (*Phalanger rothschildi*), Nuri Kalung Ungu (*Eos squamata obiensis*), serta soa-soa (*Hydrosaurus amboinensis*) dan Jamides celeno. Hasil monitoring dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan kebijakan pengelolaan dalam rangka program rehabilitasi dan penyelamatan flora dan fauna di areal kerja PT.TBP dan PT.GPS dan sekitarnya.

Kata kunci: keanekaragaman hayati, flora dan fauna, ekosistem

ABSTRACT

Biodiversity is a phrase that refers to the variety of life on Earth. It encompasses many ecosystems and living beings, including animals and plants, habitats, communities, and genetics. Environmental disturbances will occur during mining operations, but environmental functions will be restored once mining is concluded in compliance with Mining Final Conditions. Land clearing isolates and fragments various habitats, raising the danger of species extinction and population expansion pressures.
PT. Trimegah Bangun Persada (PT. TBP) and PT. Gane Permai Sentosa (PT.GPS) are a subsidiary of the Harita Group involved in nickel mining on Obi Island in the South Halmahera Regency of North Maluku Province. Obi Island, as part of the Wallacea biogeographic area, has an unusual diversity of

flora and fauna with a high degree of endemicity, particularly in the avivauna (bird) group. PT. TBP and PT.GPS had conducted biodiversity monitoring as a foundation for environmental management with the goal of identifying the species of plants, animals, herpetofauna, birds, and insects found within the PT. TBP and PT.GPS region and its environs. The approach adopted was customized for each flora and animal community and taxonomic group. The environment within PT. TBP and PT.GPS are part of the Obi Island ecosystem, which is markedly changed from its native state. In 2007, forest fires destroyed nearly the entire forest stand on Obi Island, including nearly all of PT. TBP and PT.GPS. There is currently a succession process, with marufu/rufu (Alphitonia incana) and/or papua as the dominating plant species (Leptospermum amboinense). The issues with nickel laterite soils are that they are often sterile due to nutrient deficiency and a scarcity of topsoil. As a result, the succession process dragged on for an extended period of time. Numerous faunal species have been discovered in the PT. TBP and PT.GPS study region, including cuscus obi (Phalanger rothschildi), Nuri Kalung Ungu (Eos squamata obiensis), serta soa-soa (Hydrosaurus amboinensis) dan Jamides celeno. Monitoring data can be utilized to develop management strategies for the PT. TBP and PT.GPS work area and its environs' rehabilitation and rescue program for flora and fauna.
***Keywords**: biodiversity, flora and fauna, ecosystem*

A. PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan salah satu sektor yang memiliki peranan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional dan daerah. Nikel merupakan komoditas tambang mineral logam yang menjadi komoditas yang diunggulkan. PT Trimegah Bangun Persada (PT. TBP) dan PT Gane Permai Sentosa (PT.GPS) adalah anak perusahaan Harita Group yang bergerak dalam bidang pertambangan nikel. Kawasan tambang terletak di Pulau Obi Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Pulau Obi merupakan salah satu pulau di wilayah Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara yang secara biogeografi pulau ini masuk dalam kelompok Kepulauan Maluku Utara. Pulau ini berada di perbatasan simpang empat wilayah biogeografi, yaitu Maluku bagian utara di utara, Maluku bagian selatan di selatan, Sulawesi di barat (berbatasan dengan Kepulauan Sula), dan Papua di bagian timur (berbatasan dengan Kepulauan Misool). Obi terbentang sekitar 85 km dari timur ke barat, dan 45 km dari utara ke selatan pada daerah paling lebar, memiliki luas sekitar 2.542 km2. Pulau Obi sebagai bagian dari kawasan biogeografi *Wallacea* memiliki keragaman flora fauna yang menarik, dengan tingkat endemisitas yang tinggi khususnya kelompok avifauna (burung) (Yusuf, *et al.,* 2019).

Kegiatan pertambangan akan memberikan gangguan yang ditimbulkan dari aktivitas operasionalnya terhadap lingkungan dan keanekaragaman hayati sekitarnya. Aktivitas pembukaan lahan menyebabkan keterisolasian dan fragmentasi habitat yang beragam dan kepunahan spesies serta tekanan pertumbuhan populasi. Fungsi lingkungan akan dikembalikan sesuai rona akhir setelah kegiatan penambangan selesai. Aspek lingkungan menjadi pertimbangan penting dalam setiap kegiatan penambangan di PT.TBP dan PT.GPS termasuk yang berkaitan dengan keanekaragaman hayati. Salah satunya adalah monitoring keanekaragaman hayati flora dan fauna di kawasan pertambangan. Keanekaragaman hayati (*biological-diversity* atau *biodiversity*) adalah semua makhluk hidup di bumi (tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme) termasuk keanekaragaman genetik yang dikandungnya dan keanekaragaman ekosistem yang dibentuknya (Kusmana, 2015). Data flora dan fauna ini akan digunakan sebagai data untuk memonitor flora dan fauna yang digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan tambangnya.

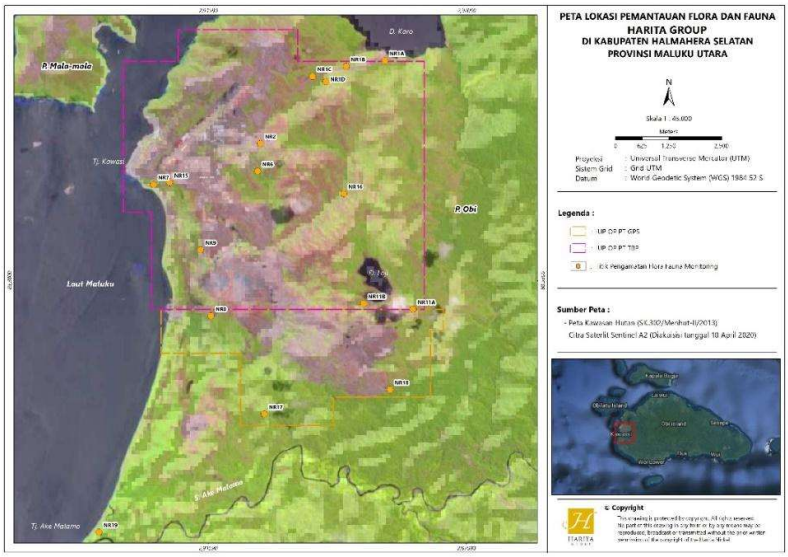
Tujuan dari kegiatan monitoring ini adalah untuk mengidentifikasi jenis-jenis tumbuhan, mamalia, herpetofauna, burung dan serangga yang terdapat di kawasan pertambangan Harita Group. Permasalahan pada tanah tambang nikel laterit umumnya terkait dengan kesuburan tanah karena minimnya unsur hara dan terbatasnya *top soil* tanah yang mengakibatkan proses suksesi berjalan cukup lama. Tanah nikel laterit terbentuk dari bahan induk batuan beku basa dan ultrabasa yang memiliki kandungan unsur hara tanaman yang rendah (Ikbal *et al*., 2016). Pertambangan nikel diasosiasikan dengan tanah yang tidak subur karena berada pada tanah laterit. Tanah laterit pada suatu masa adalah tanah yang subur, tetapi pada tahap pelapukan tingkat lanjut unsur hara banyak tercuci oleh curah hujan

yang tinggi sehingga menjadi tidak subur (Mansur, 2013). Hasil monitoring ini dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan kebijakan pengelolaan dalam rangka program rehabilitasi serta penyelamatan keanekaragaman hayati flora dan fauna yang berada di sekitar wilayah kerja.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2020 – Januari 2021 di sekitar wilayah PT. TBP dan PT.GPS yang secara administrasi berada di Pulau Obi Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara (Gambar 1). Kondisi penutupan lahan pada lokasi studi terdiri atas pertanian lahan kering bercampur semak, semak/belukar, hutan lahan kering sekunder, lahan terbuka, dan belukar rawa.



Gambar 1. Peta lokasi pemantauan flora dan fauna

B.2. Persiapan Studi

Pengumpulan informasi dasar (informasi spasial maupun non-spasial), baik berupa data yang bersumber dari publikasi (laporan studi, jurnal, buku, data statistik, peta-peta dasar, dan lain-lain) yang digunakan untuk melakukan kajian awal (*preliminary assessment*).

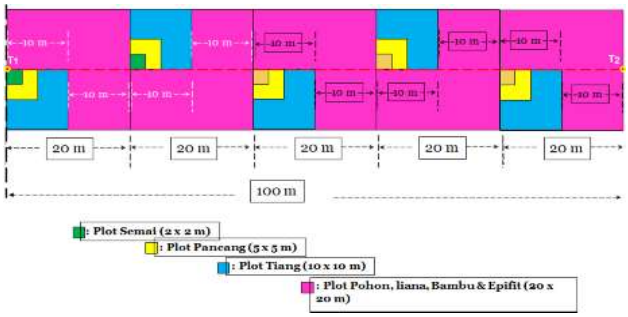
B.3. Metode Pengambilan Data

Rapid Biodiversity Assessment atau penilaian survei cepat keanekaragaman hayati dilakukan dengan menggunakan indikator taxa (vegetasi, mamalia, burung, herpetofauna, dan serangga). Penilaian keberadaan fauna dilakukan dengan metode transek dan penjelajahan (*checklist*). Pengambilan data avifauna, mamalia, dan herpetofauna dilakukan bersamaan, yaitu pada pagi, sore dan malam hari. Pengamatan serangga dilakukan pada pagi dan sore hari. Penilaian terhadap aspek flora menggunakan metode garis berpetak.

B.3.1. Vegetasi

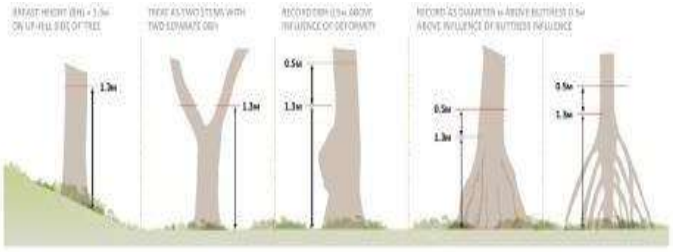
Pengambilan data analisis vegetasi dilakukan dengan survei langsung menggunakan metode garis berpetak pada areal dengan kondisi berhutan/bervegetasi. Analisis vegetasi bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif dari jenis atau komposisi dan struktur vegetasi dan mendapatkan data kualitatif mengenai peranan jenis dalam ekosistem. Jumlah nilai relatif dari ketiga parameter (Frequensi Relatif, Densitas/Kerapatan Relatif dan Dominansi Relatif) dari setiap jenis merupakan Indek Nilai Penting (*Importance Value Index*) dari jenis-jenis bersangkutan. Pengambilan data analisis vegetasi menggunakan metode jalur berpetak untuk mendata vegetasi pada setiap transek/petak contohnya. Pada

tingkat strata pertumbuhan dilakukan pengukuran yaitu: semai ukuran petak 2x2 m, pancang ukuran petak 5x5 m, tiang ukuran petak 10 x 10 m dan pohon ukuran petak 20x20m (Gambar 2).



Gambar 2. Desain plot inventarisasi vegetasi

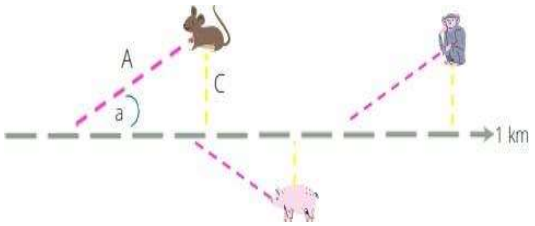
Pengukuran diameter batang pohon dilakukan dengan standar ukuran 130 cm atau dikenal dengan diameter setinggi dada (Gambar 3).



Gambar 3. Ilustrasi pengukuran diameter batang

B.3.2. Mamalia

Pengumpulan data mamalia terestrial maupun arboreal dilakukan pada unit contoh berbentuk garis, yakni metode transek garis (*line transect*) sepanjang 1 km untuk setiap unit contoh (Gambar 4). Periode pengamatan harian mamalia dilakukan pada pagi hari (06:00-09:00 WIT), sore hari (15:00-18:00 WIT) dan malam hari (19.00-21.00 WIT). Periode pengamatan ini disesuaikan dengan aktivitas pergerakan mamalia yang bersifat diurnal dan nocturnal. Pengambilan data mamalia juga dilakukan dengan metode perangkap (*trap*). Alat yang digunakan berupa kamera trap, perangkap mamalia kecil, dan jala kabut. Penggunaan metode ini digunakan untuk memperoleh data tambahan dari jenis-jenis mamalia yang sensitif atau relatif sulit dijumpai secara langsung.

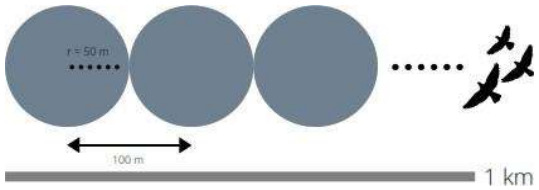


Gambar 4. Simulasi jalur pengamatan mamalia

B.3.3. Burung

Pengambilan data burung menggunakan unit contoh kombinasi transek garis dan lingkaran yaitu *Variable Circular Plot* (VCP). Jarak antar titik pusat plot yang satu dengan lainnya adalah 100 m dengan panjang transek 1 km (Gambar 5). Pengamatan harian burung dilakukan pada pagi hari (06:00-09:00

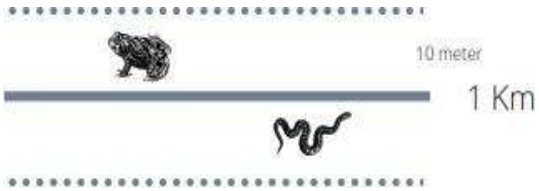
WIT), sore hari (15:00-18:00 WIT) dan malam hari (19.00-21.00 WIT). Pengamatan ini disesuaikan dengan aktivitas pergerakan burung yang bersifat diurnal dan nokturnal guna memperoleh peluang perjumpaan langsung. Parameter pengambilan data jenis burung berupa jenis dan jumlah. Pencatatan data dilakukan dengan mengamati burung pada seluruh luas lingkaran pengamatan yang dicatat dalam interval waktu 5 menit selama 15 menit untuk setiap titik pengamatan. Pengamatan dilaksanakan dengan dua kali ulangan pada setiap jalurnya.



Gambar 6. Desain inventarisasi burung dengan metode VCP

B.3.4. Herpetofauna

Pengumpulan data amfibi dan reptil menggunakan metode penghitungan secara visual (*visual encounter survey* = VES) pada transek pengamatan sepanjang 1 km lebar 20 m (Gambar 7). Pengumpulan data dilakukan pada malam hari (19:00-23:00 WIT). Periode waktu pengamatan ini disesuaikan dengan aktivitas pergerakan herpetofauna yang kebanyakan bersifat nokturnal.



Gambar 7. Desain inventarisasi herpetofauna

B.3.5. Serangga

Pengamatan serangga menggunakan metode *point transect*. Panjang jalur yang digunakan sejauh 800-1000 m dengan jarak antar titik pengamatan sejauh 200 m. Pada setiap titik dilakukan pengamatan selama 10-15 menit. Radius yang digunakan pada saat pencatatan serangga adalah 100 m dari titik tengah. Data yang dicatat adalah jenis serangga serta jumlah individunya. Pengamatan dilakukan pada pagi hari (06.00-11.00 WIT) dan sore hari (15.00-17.30 WIT). Pengamatan serangga juga dilakukan dengan bantuan *sweep-net* untuk menangkap Kupu-kupu dan Capung untuk dikoleksi serta kamera. Serangga yang dikoleksi kemudian diidentifikasi dengan menggunakan buku identifikasi serangga. Jenis yang belum teridentifikasi diambil kemudian diawetkan untuk keperluan identifikasi di laboratorium.

B.4. Analisis Data

Keanekaragaman spesies fauna berdasarkan tipe penutupan lahan dianalisis dengan menggunakan Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener*, (Krebs, 1989) dengan persamaan sebagai berikut:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} \quad pi.ln\,(pi) \qquad (1)$$

$$pi = \frac{ni}{N} = \frac{ni}{\sum_{i=1}^{S} \quad ni} \qquad (2)$$

Keterangan:

H' : Indeks Keanekaragaman *Shannon-Wiener*

N : total jumlah individu semua jenis yang

ditemukan
Ni : jumlah individu spesies ke-i
S : jumlah spesies ditemukan
Pi : proporsi individu spesies ke-i

Hasil perhitungan keanekaragaman fauna menggunakan indeks *Shannon-Wiener* diklasifikasikan dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi dengan kriteria nilai indeks yaitu:

H' <1 : Keanekaragaman Rendah
H' = 1 – 3 : Keanekaragaman Sedang
H' = 3 - 4,5 : Keanekaragaman Tinggi

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Flora (Tumbuhan)

Berdasarkan analisis penutupan lahan tumbuhan alami pada sebagian besar areal pengamatan merupakan semak belukar. Areal ini memiliki sejarah pernah mengalami kebakaran lahan yaitu pada tahun 2007 yang menyebabkan hilangnya sebagian tegakan hutan dan keanekaragaman yang relatif sangat rendah sehingga proses suksesi berjalan cukup lama. Keanekaragaman jenis dipengaruhi yaitu jumlah jenis yang menyusun dalam areal, kondisi tanah, ketinggian tempat tumbuh, kondisi lingkungan khususnya iklim yang sangat sesuai untuk pertumbuhan dan reproduksi dalam setiap musim (Widodo, 2011 *dalam* Riswan, 2015). Permasalahan pada tanah nikel laterit yaitu memiliki tingkat kesuburan aktual yang rendah. Tanah nikel daerah virgin memiliki tingkat kesuburan yang rendah dicirikan oleh kadar bahan organik rendah, kadar P ttersedia sangat rendah, kapasitas tukar rendah. Ketidaksuburan tanah ini terlihat pula dari kondisi vegetasi di daerah bekas tambang yang relatif kecil (Widiatmaka, 2010).

Kondisi masih baik ditemukan pada tutupan lahan berupa hutan sekunder dengan jenis-jenis umumnya adalah Kayu Maruku/Rufu (*Alphitonia incana*), Kayu Papua (*leptospermum amboinense*), Same (*Macaranga involucrate*), Wewe (*Commersonia batramia*), Halemoli (*Gmelina lepidota*), dan Kayu Nani (*xanthostemon paradoxus*) (Gambar 8).



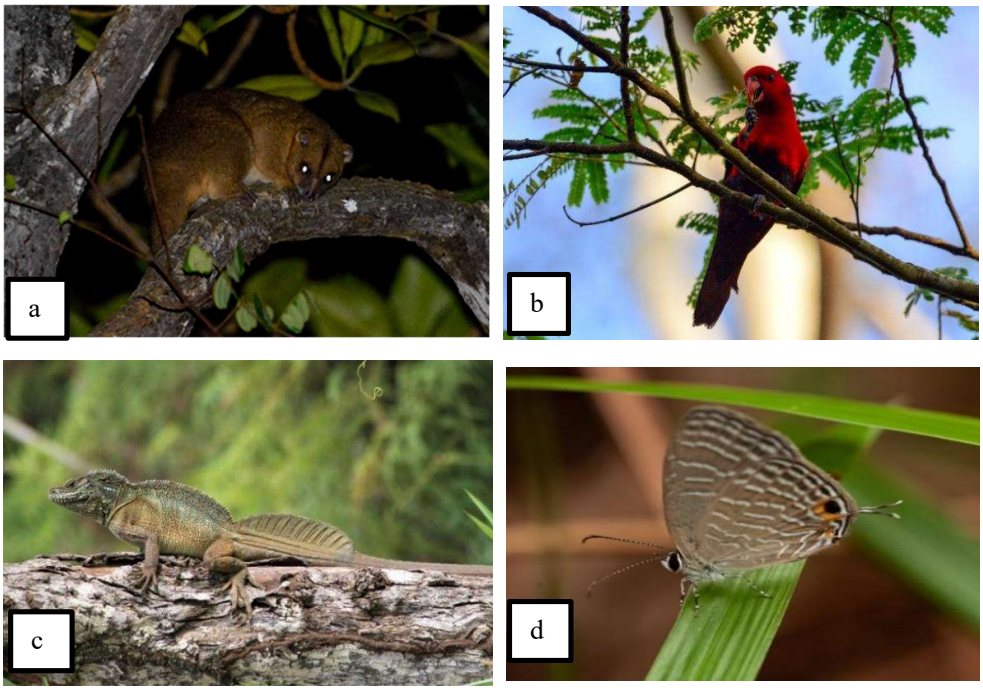




Gambar 8. Jenis-jenis tumbuhan yang dijumpai:
a. Kayu Papua (*Leptospermum amboinense*), b. Kayu Nani (*Xanthostemon paradoxus*),
c. Wewe (*Commersonia bartramia*), dan d. Halemoli (*Gmelina lepidota*)

C.2. Fauna (Satwa)

Kegiatan pengamatan fauna teridentifikasi jenis mamalia pada areal tumbuhan alami sebanyak 10 jenis. Jumlah jenis burung yang teridentifikasi sebanyak 52 jenis. Jumlah jenis herpetofauna sebanyak 21 jenis. Pada herpetofauna penutupan lahan berupa hutan sekunder menjadi areal dengan jumlah jenis dan individu terbanyak (14 jenis dan 94 individu) dikarenakan kondisi tutupan vegetasi dan keragaman mikrohabitat yang cukup baik. Jumlah jenis serangga sebanyak 70 jenis. Jenis-jenis satwa yang dijumpai mamalia (babi hutan, tikus belukar, kuskus obi, kalong manu, dan lain-lain); burung (nuri kalung ungu, srigunting obi, cendrawasih gagak, nuri pipi merah, julang irian, dan lain-lain); herpetofauna (*Papurana papua, Bronchocela cristatella, Hydrosaurus amboinensis/Soa layer*, *Crocodylus porosus*, dan lain-lain); Serangga (*Jamides celeno*, *Agriocnemis femina, Rhyothemis resplenden, Teinobasis rufithorax,* dan lain-lain) (Gambar 9).



Gambar 9. Jenis-jenis satwa yang ditemukan:

a. Kuskus Obi b. Nuri Kalung Ungu c. Soa Layar d. Jamides celeno

C.3. Indeks Keanekaragaman

C.3.1. Vegetasi

Nilai indeks keanekaragaman vegetasi pada areal pengamatan secara umum memperlihatkan pada setiap komunitas termasuk kategori rendah hingga sedang. Nilai keanekaragaman (H') tertinggi pada kategori pohon dijumpai pada transek hutan sekunder dengan H' = 2,33 dan terendah pada lahan terbuka dan pertanian campuran dengan H' = 0. Pada kategori tiang didapatkan nilai tertinggi pada plot hutan sekunder dengan nilai H' = 2,25. Pada kategori pancang didapatkan nilai tertinggi pada hutan sekunder dengan nilai H' = 2,40. Pada anakan pohon nilai tertinggi terdapat pada hutan sekunder dengan H' = 2.06.

Dominansi nilai indeks keragaman di hutan sekunder mempunyai pengaruh paling dominan terhadap perubahan kondisi lingkungan maupun keberadaan jenis lainnya dalam kawasan tersebut (Abdiyani, 2008). Indeks keragaman pada lokasi lainnya tergolong rendah disebabkan adanya variasi faktor lingkungan yang berbeda. Faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap vegetasi diantaranya adalah ketinggian tempat, kelembaban udara, suhu udara serta intensitas cahaya matahari (Kartasapoetra, 1992). Faktor lingkungan tersebut berpengaruh terhadap penyebaran jenis tumbuhan dan pertumbuhannya.

C.3.2. Mamalia

Jenis mamalia yang teridentifikasi sebanyak 9 jenis dari 4 famili. Famili yang mendominasi yaitu dari kelompok *Pterepodidae* sebanyak 6 jenis (cecadu pisang besar, cecadu pisang kecil, kalong kecil, kalong manu, paniki biasa, dan paniki pallas) kemudian dilanjutkan famili Muridae 2 jenis (tikus dan tikus belukar), Suidae 1 jenis (babi hutan), dan Phalangeridae 1 jenis (kuskus obi). Berdasarkan hasil analisis, Indeks Keanekaragaman (H') jenis mamalia yang terdapat pada beberapa lokasi pengamatan tergolong rendah hingga sedang. Indeks Keanekaragaman rendah dengan nilai 0, indeks sedang dengan nilai 1.04 dan indeks tertinggi dengan nilai 1,28. Keanekaragaman jenis mamalia di kepulauan Obi tergolong rendah. Hal ini disebabkan oleh karakteristik ekoregion kepulauan *Wallacea*, yang ditunjukkan dengan adanya spesies campuran antara Asia dan Australia.

C.3.3. Burung

Jenis burung yang teridentifikasi sebanyak 52 jenis dari 33 famili. Famili yang mendominasi yaitu dari kelompok Columbidae sebanyak 5 jenis dan famili Accipitridae sebanyak 4 jenis. Berdasarkan hasil analisis, Indeks Keanekaragaman (H') jenis burung yang terdapat pada beberapa lokasi pengamatan tergolong rendah hingga sedang dengan nilai berkisar antara 0,80 - 2,97. Kelompok *Columbidae* merupakan jenis dari kelompok merpati-merpatian pemakan buah, sedangkan kelompok Accipitridae merupakan jenis burung pemangsa atau raptor yang umumnya bersifat karnivora. Wilayah Indonesia merupakan tempat singgah burung migran termasuk di dalamnya Pulau Obi.

C.3.4. Herpetofauna

Jenis herpetofauna teridentifikasi sebanyak 6 jenis amfibi dari 3 famili dan 15 jenis reptil dari 5 famili. Hutan sekunder merupakan lokasi dengan jumlah jenis amfibi dan reptil paling beragam (14 spesies). Hal ini diduga karena hutan memiliki mikrohabitat yang lebih beragam dan memilki kondisi mikrohabitat yang jauh lebih baik. Jenis amfibi paling melimpah yaitu *Papurana papua* dengan total 36 individu, sedangkan jenis reptil yaitu *Carlia sp.* dengan total 37 individu. Kelimpahan jenis-jenis amfibi dan reptil yang paling banyak salah satunya menandakan bahwa jenis tersebut umum atau tersebar luas serta dapat bertahan hidup di berbagai habitat. Jenis-jenis amfibi dan reptil dapat dijadikan sebagai bioindikator dan menjadi ukuran kesehatan lingkungan (Wilson & McCranie, 2004). Secara keseluruhan, nilai Indeks Shannon-Wiener cukup rendah untuk semua habitat (H'= 0,00 – 1,37 untuk amfibi dan H'= 0,00 – 1,89 untuk reptil).

C.3.5 Serangga

Jenis serangga sebanyak 70 jenis yang terdiri dari 11 famili yang terdiri dari 43 jenis kupu-kupu dan 27 jenis capung. Famili yang memiliki jumlah jenis terbanyak yaitu *Nymphalida*e (22 Jenis), *Libellulidae* (18 jenis), *Lycanidae* (8 jenis), *Papilionidae* (7 jenis) dan *Coenagrionidae* (5 jenis). Famili dengan jumlah jenis paling sedikit yaitu *Pieridae, Hesperidae, Aeschnidae, Cordulidae, Chlorocyphidae dan Platycnemididae. Nymphalidae* dan *Libelulidae* merupakan famili yang memiliki jumlah jenis yang terbanyak di dunia. Persebaran kedua famili meluas di seluruh dunia dan semua ekosistem.

Indeks Keanekaragaman serangga di areal pengamatan mulai dari sedang sampai tinggi. Keanekaragaman tinggi serangga ada di habitat hutan sekunder dengan nilai indeks 3.29. Indeks Kemerataan jenis serangga pada tiap penutupan lahan hampir sama yaitu 0,8 - 0,9. Nilai ini menunjukkan tidak ada jenis yang terlalu mendominasi dalam suatu habitat. Jenis *Catopsilia Pomona* memiliki jumlah individu dominan tapi tersebar merata pada tiap penutupan lahan.

Kekayaan jenis serangga bervariasi mulai rendah hingga tinggi. Hutan sekunder memiliki kondisi vegetasi baik dan ketersediaan makanan yang cukup melimpah bagi kupu-kupu yang sangat tergantung dengan tanaman pakan dan inang. Jenis capung yang spesifik adalah *Hemicordulia toxopei* atau *Teinobasis superba*. Kedua jenis tersebut hanya dapat hidup di daerah aliran sungai yang masih bagus habitatnya. Faktor reproduksi dan kemampuan beradaptasi dari jenis serangga juga mempengaruhi kekayaan jenis.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Kondisi tutupan lahan pada areal sekitar PT.TBP dan PT.GPS merupakan lahan terbuka dan tidak subur yang umumnya pada tanah nikel sehingga menyebabkan proses suksesi berjalan cukup lama.
2. Nilai indeks keanekaragaman vegetasi secara umum memperlihatkan pada setiap komunitas termasuk kategori rendah hingga sedang.
3. Tingkat Jenis-jenis tumbuhan yang umum dijumpai adalah tipe tumbuhan pionir seperti kayu maruku/rufu (*Alphitonia incana*), kayu papua (*Leptospermum amboinense*), same (*Macaranga involucrata*), wewe (*Commersonia batramia*), halemoli (*Gmelina lepidota*), dan kayu nani (*Xanthostemon paradoxus*)
4. Tingkat keanekaragaman jenis dalam kategori fauna umumnya tergolong sedang hingga tinggi.
5. Jenis-jenis fauna yang dijumpai diantaranya adalah kuskus obi (*Phalanger rothschildi*) untuk mamalia, nuri kalung ungu (*Eos squamata obiensis*) untuk burung, soa layar (*Hydrosaurus amboinensis*) untuk herpetofauna, dan kupu-kupu (Jamides celeno) untuk serangga.

DAFTAR PUSTAKA

Ikbal, Iskandar, Sri, W.B. R., (2016): Peningkatan kualitas tanah bekas tambang nikel untuk media pertumbuhan tanaman revegetasi melalui pemanfaatan bahan humat dan kompos, Jurnal Silvikultur Tropika, Vol. 07 No. 3 Hal. 153-158.

Krebs, C. J. (1989): Ecology the experiment analysis of distribution and abundance*, Harper and Row Publisher*, New York.

Kusmana, C. (2015). Makalah utama: Keanekaragaman hayati (biodiversitas) sebagai eleman kunci ekosistem kota hijau. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon. Volume 1, Nomor 8, Desember 2015. Halaman: 1747 – 1755.

Mansur, I. (2013): Teknik silvikultur untuk reklamasi lahan bekas tambang. SEAMEO BIOTROP.

Riswan, Harun, U., Irsan, C. (2015); Keragaman flora di lahan reklamasi pasca tambang batubara PT. BA Sumatera Selatan, J. *Manusia dan Lingkungan*, Vol. 22, No.2, Juli 2015:160-168.

Yusuf, M.S., Amin, S., Bashari, H. (2019): Burung-burung di kawasan barat pulau Obi, *Ecoline-Pusat Kajian dan Pengembangan Sumber Daya.*

Widiatmaka, Suwarno, Nandi, K. (2010): Karakteristik pedologi dan pengelolaan revegetasi lahan bekas tambang nikel: studi kasus lahan bekas tambang nikel Pomalaa, Sulawesi Tenggara, J. Tanah Link., 12 (2) : 1-10.

Wilson, L.R., McCranie, J.R. (2004): The conservation status of the herpetofauna of Honduras, *amphibian and reptile conservation* 3(1):6-33.

.

STUDI PENEMPATAN MINERAL KADAR RENDAH DI *STOCKPILE* SEJORONG DALAM RANGKA PENINGKATAN *RECOVERY REHANDLE* BIJIH DAN PEMENUHAN ASPEK KONSERVASI MINERAL

[1)]Arruya Ashadiqa*, [2)]Golda C. Pardede dan [3)]Mastoni Damanik

[1)]Departemen Long Term Planning, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara, [2)]Departemen Long Term Planning, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara, [3)]Departemen Long Term Planning, PT. Amman Mineral Nusa Tenggara

**E-mail: arruya.ashadiqa@amman.co.id*

ABSTRAK

Konservasi mineral menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.1827/2018 adalah upaya dalam rangka optimalisasi pengelolaan, pemanfaatan dan pendataan sumber daya mineral secara terukur, efisien, bertanggung jawab dan berkelanjutan. Sejalan dengan tahap penambangan pit Batu Hijau yang akan memasuki *Phase 7 Additional Cutback (7AC)* maka dibuatlah studi untuk menempatkan mineral kadar rendah di area *stockpile* yang kontak dengan topo *in-situ* dibandingkan jika harus dibuang ke penimbunan batuan penutup. Diharapkan dengan adanya studi ini, perolehan (*recovery)* tonase bijih yang akan di-*rehandle* dapat ditingkatkan secara optimal karena potensi dilusi material bijih yang kontak dengan topo *in-situ* akan lebih kecil, sehingga dapat memaksimalkan produksi logam yang dihasilkan di pabrik pengolahan. Berdasarkan studi ini, estimasi peningkatan nilai perolehan *rehandle* material bijih sebesar 2,5 % dan perolehan produksi logam sekitar 18,8 Mlbs Cu, 15,6 Koz Au dan 61,7 Koz Ag. Selain itu, dengan melihat tren peningkatan harga logam dunia, maka ada peluang untuk memanfaatkan kembali mineral kadar rendah ini di kemudian hari dalam upaya menciptakan warisan terbaik bagi semua pemangku kepentingan sesuai dengan Visi dan Misi PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMMAN).

Kata kunci: konservasi mineral, mineral kadar rendah, perolehan, pengambilan kembali, dilusi

ABSTRACT

According to the Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation No. 1827/2018, mineral conservation is an endeavor to optimize the management, utilization and collection of mineral resources in a measurable, efficient, responsible and sustainable manner. In accordance with the Batu Hijau pit mining stage entering the 7AC phase, studies were made to place sub-grade minerals in stockpile areas that come into contact with in-situ topo, rather than dumping them into the waste rock dump area. The objective of this study was to ensure that the recovery of rehandled ore can be optimized, given that the dilution of ore materials that come in contact with the in-situ topo will decrease; thus, maximizing the metals production from the processing plants. Based on this study, the estimation of increasing ore recovery re-handles around 2,5% with metal production around 18,8 Mlbs Cu, 15,6 Koz Au and 61,7 Koz Ag. In addition, with the upward trend of the world metal prices, the utilization of this sub-grade mineral at a later date can be considered as economical ; thus, corresponding to the vision and mission of PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMMAN) that is to create the best legacy for all stakeholders.

***Keywords**: mineral conservation, sub-grade mineral, recovery, re-handle, dilution*

A. PENDAHULUAN

PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMMAN) merupakan salah satu perusahaan pertambangan Indonesia kelas dunia yang mengoperasikan tambang tembaga dan emas di Indonesia dengan kemampuan eksekusi yang kuat, sumber daya mineral yang signifikan dan berbasis biaya rendah. AMMAN merupakan pemegang izin usaha pertambangan khusus operasi produksi (IUPK - OP) dengan luas area konsesi sebesar 25.000 hektar di mana salah satu area tambang yang sedang beroperasi adalah tambang Batu Hijau, yang terletak di wilayah Desa Tongo, Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat, Indonesia (Gambar 1). Tambang Batu Hijau menerapkan sistem penambangan terbuka dengan metode *open* pit sehubungan dengan endapan yang terbentuk di pit adalah berbentuk endapan porfiri dan menyebar secara radial.

Sehubungan dengan ekspansi pit Batu Hijau yang pada saat ini telah memasuki tahap penambangan *Phase-7 Additional Cutback (7AC)*, ada beberapa perubahan signifikan yang harus dilakukan untuk dapat menunjang operasi penambangan sehingga dapat berjalan dengan baik. Perubahan tersebut salah satunya terkait dengan luas area tempat penimbunan sementara material bijih yang disebut dengan *stockpile*. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut mengenai rencana penambahan kapasitas di area *stockpile* tersebut.

Berdasarkan perencanaan tambang yang telah dibuat sampai *Life of Mine* (*LOM*), terdapat cukup banyak cadangan yang akan ditambang di atas *Cut Off Grade* (*COG*) yang selanjutnya disebut *fresh ore* dari *pit* yang akan ditempatkan di *stockpile* karena kapasitas pabrik pengolahan lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas penambangannya. Oleh sebab itu, kapasitas *stockpile* yang ada saat ini harus ditingkatkan dengan penambahan bukaan pada area topo *in-situ* di *stockpile*.

Pada praktik sebelumnya, belum ada studi khusus terkait dengan jenis material yang harus digunakan pada area *stockpile* yang kontak dengan topo *in-situ,* umumnya diisi dengan material batuan penutup yang selanjutnya disebut *waste*. Selanjutnya sebagai upaya dalam memenuhi Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral dan Batubara No. 1827 Tahun 2018 Lampiran VII tentang "Pedoman Pelaksanaan Konservasi Mineral" maka dibuatlah studi untuk menempatkan material yang masuk dalam kategori mineral kadar rendah di area *stockpile* yang kontak dengan topo *in-situ* sebagai *base* dari material bijih sehingga nantinya *recovery* tonase bijih pada saat r*ehandle* dapat optimal dan potensi dilusi yang minimum antara material bijih yang kontak dengan topo *in-situ.*

Seiring dengan perkembangan harga komoditas logam dan mineral dunia yang berpotensi untuk terus meningkat di beberapa waktu mendatang, maka terdapat juga peluang yang sejalan dengan tujuan studi yaitu untuk memanfaatkan kembali mineral kadar rendah yang ditempatkan tersebut sebagai umpan pabrik pengolahan.



Gambar 1. Lokasi Tambang Batu Hijau

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Metode Studi

Metode studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Studi desain dilakukan dengan menggunakan *software Minesight 3D*
- Total kebutuhan kapasitas area *stockpile* berdasarkan perhitungan perencanaan tambang dari tahun 2021 hingga *Life of Mine* (LOM)
- Klasifikasi material bijih di AMMAN ada 3 jenis yaitu *Low-Grade* dengan *Cut Off Grade (COG)* *$*13,37-*$*16,26, *Medium-Grade* dengan *COG $*16,26-*$*24 dan *High*-Grade dengan *COG >$*24. Material yang rencananya akan digunakan sebagai pembatas antara topo *in-situ* dengan *fresh ore* dari pit pada studi ini yaitu mineral kadar rendah dengan *COG* $10,66-$13,37 yang selanjutnya disebut material bijih *Very Low Grade* (*VLG*).
- Perhitungan nilai *Cut Off Grade (COG)* menggunakan rumus *Dollar Index*. Ada tiga jenis logam yang ekonomis untuk diolah berdasarkan kondisi ekonomi dan teknologi saat ini yaitu Tembaga (*Cu*), Emas (*Au*) dan Perak (*Ag*). Persamaan (1) merupakan formula yang digunakan dalam menghitung *Dollar Index*.

$$Dollar\ Index = (CuR * c1) + (AuR * c2) - (ct * c3) + (AgR * c4) \quad (1)$$

Dimana:
CuR : recoverable copper (%)
AuR : recoverable gold (gpt)
AgR : recoverable silver (gpt)
ct : concentrate ratio

$$c1 = (Cu\ smelting\ recovery * (Cu\ price - TCRC) - Cu\ price * Cu\ royalty) * 22.0462$$

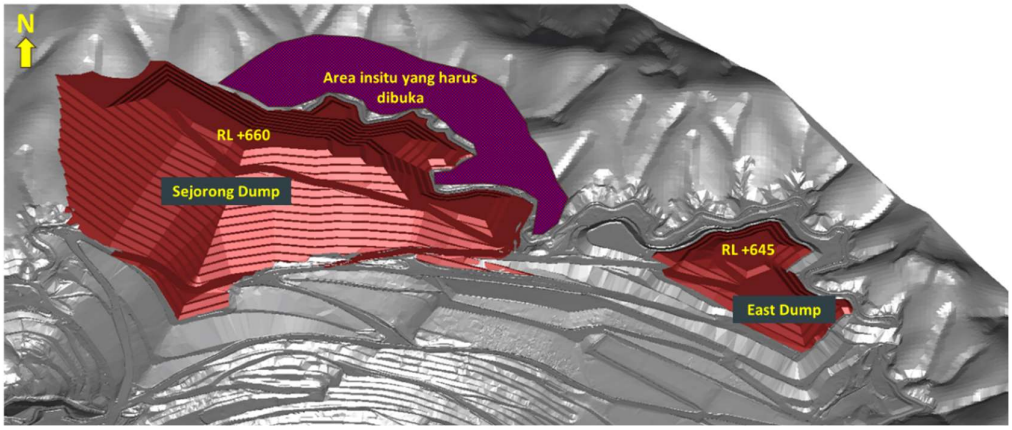
$$c2 = \frac{Ag\ smelting\ recovery * (Ag\ price - Ag\ refining\ cost) - Ag\ price * Ag\ royalty)}{31.10348}$$

$$c3 = freight\ cost\ (\frac{\$}{ton})$$

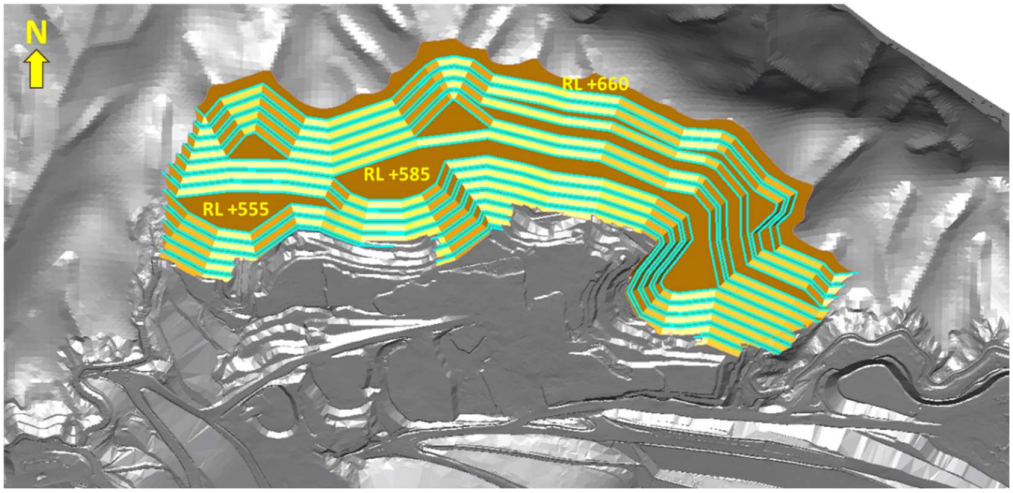
$$c4 = \frac{Ag\ smelting\ recovery * (Ag\ price - Ag\ refining\ cost) - Ag\ price * Ag\ royalty)}{31.10348}$$

- Pembuatan desain *stockpile*, geometri desain yang digunakan telah disesuaikan dengan rekomendasi dari geoteknik yang sesuai dengan dokumen Studi Kelayakan yaitu sudut muka lereng (*Back Face Angle)* 37 derajat, tinggi jenjang (*bench)* 15 meter dan lebar jenjang (*bench*) 10,5 meter.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan parameter tersebut, total tonase mineral kadar rendah yang dibutuhkan adalah sekitar 41 juta ton. Gambar 2 menunjukkan lokasi *stockpile* Sejorong sebagai tempat untuk penimbunan sementara material bijih dari *pit*. Gambar 3 menunjukkan desain dan lokasi penempatan mineral kadar rendah di area *stockpile* Sejorong.



Gambar 2. Lokasi *stockpile* Sejorong



Gambar 3. Lokasi rencana penempatan mineral kadar rendah di *stockpile* Sejorong

B.2. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam studi ini dilakukan dengan parameter sebagai berikut:

- Studi ini dilakukan untuk skenario pengolahan material bijih menggunakan *mill* dengan kapasitas yang ada saat ini.
- Studi ini dilakukan dengan skenario perencanaan penambangan sesuai angka *budget plan 2021BP_No_Extramill.*
- Studi ini dilakukan tanpa memasukkan faktor oksidasi material bijih pada saat *rehandle*
- Lokasi perluasan area tempat penimbunan material bijih sementara (*stockpile*) hanya berfokus pada *stockpile* Sejorong di mana total kapasitas area saat ini sebesar 195 juta ton.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1 Material Bijih *Stockpile*

Rencana penambangan berdasarkan *mine plan budget* 2021BP, mulai tahun 2027 sampai 2030 akan terdapat material bijih *fresh ore* dari *phase-7AC* ditempatkan di *stockpile* dengan jumlah yang cukup banyak sehingga desain *stockpile* saat ini harus dilakukan penambahan (*extend*) hingga ke area topo *in-situ*. Jumlah bijih yang akan dikirim ke *stockpile* selama periode tahun 2027-2030 ditunjukkan

dalam Tabel 1 sesuai dengan kandungan bijih yaitu *High Grade*, *Medium Grade* dan *Low Grade*.

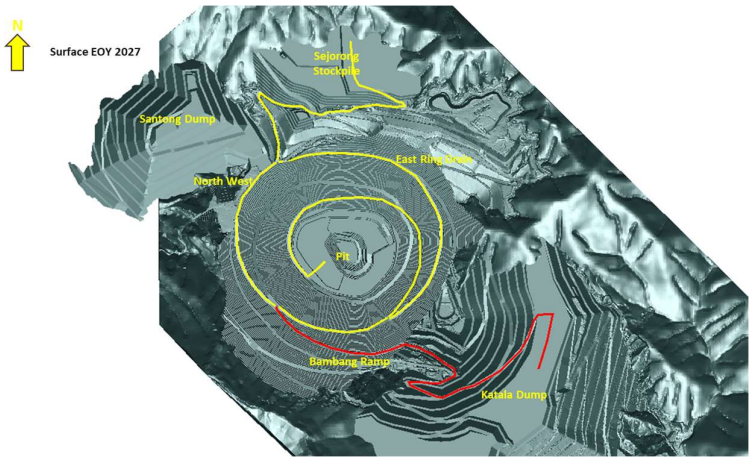
Tabel 1. Total tonase material bijih tertambang yang dikirim ke *stockpile* Sejorong

Year		2027	2028	2029	2030
Start Date		1-Jan-27	1-Jan-28	1-Jan-29	1-Jan-30
Days in Period		365	366	365	365
Ore Expit to Stockpile	(kt)	**79,852**	**82,106**	**50,477**	**34,747**
HG Ore to Stockpile	(kt)	8,053	16,484	7,825	4,388
MG Ore to Stockpile	(kt)	36,800	41,439	29,897	22,321
LG Ore to Stockpile	(kt)	35,000	24,183	12,754	8,038

Material yang digunakan untuk ditempatkan pada area yang kontak dengan topo *in-situ* adalah material *Very Low-Grade* (*VLG*) yang akan ditambang dari *pit* sekitar tahun 2026 – 2027 dengan total sekitar 41 juta ton. Material *VLG* atau mineral kadar rendah ini akan ditempatkan di *stockpile* Sejorong sementara material batuan penutup pada periode itu akan ditempatkan di Katala Dump.

C.2 Jarak Angkut Material Bijih

Jarak angkut merupakan salah faktor yang mempengaruhi produktivitas alat angkut. Gambar 4 di bawah ini menunjukkan jalur yang dapat dilalui alat angkut truk (*haul truck*) untuk mengangkut material *VLG* dari *pit* menuju destinasi akhir di *stockpile* atau di *waste dump.* Terdapat tiga jalur utama yang bisa dilalui alat angkut truk menuju area penimbunan yaitu, jalur Barat utara (*Northwest*), jalur Timur (*East ring drain*) dan jalur Bambang Ramp.



Gambar 4. Jalur alat angkut truk menuju *stockpile* dan *waste dump*

Berdasarkan hasil perhitungan jarak angkut, tidak terdapat perbedaan yang signifikan apabila material *VLG* ditempatkan di *stockpile* ataupun dibuang ke area *waste dump*, sehingga produktivitas alat angkut ketika penimbunan material VLG ke *stockpile* tidak jauh berbeda dibandingkan dengan ditimbun ke Katala Dump. Tabel 2 menunjukkan jarak angkut dari *pit* menuju area penimbunan *stockpile* dan Katala *waste dump*.

Tabel 2. Jarak angkut menuju area penimbunan *stockpile* dan *waste dump*

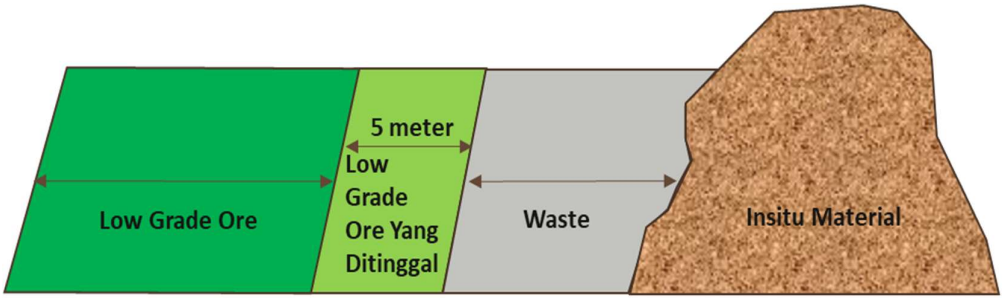
No	Jalur Angkut	Jarak Angkut (meter)
1	Dari *Pit* ke *Stockpile* melalui *North Ramp*	11.028
2	Dari *Pit* ke *Stockpile* melalui *East Ramp*	11.286
3	Dari *Pit* ke *Waste Dump* melalui Bambang *Ramp*	11.109

C.3 Penempatan Mineral Kadar Rendah di Stockpile

Saat ini material yang digunakan sebagai *base stockpile* sebagai pembatas dengan material *in-situ* adalah material *waste*. Penggunaan material *waste* sebagai *base stockpile* ini menimbulkan potensi terjadinya dilusi ketika dilakukan pengambilan kembali material bijih yang berada diatasnya dengan material *waste* tersebut. Guna menghindari terjadinya dilusi pada saat *rehandle* material bijih *stockpile* maka proses *rehandle* dilakukan dengan menggali material bijih dengan jarak kurang lebih 5 meter dari muka material *waste* sehingga berpotensi tertinggal. Hal ini akan mempengaruhi *recovery rehandle* material bijih dari *stockpile*.

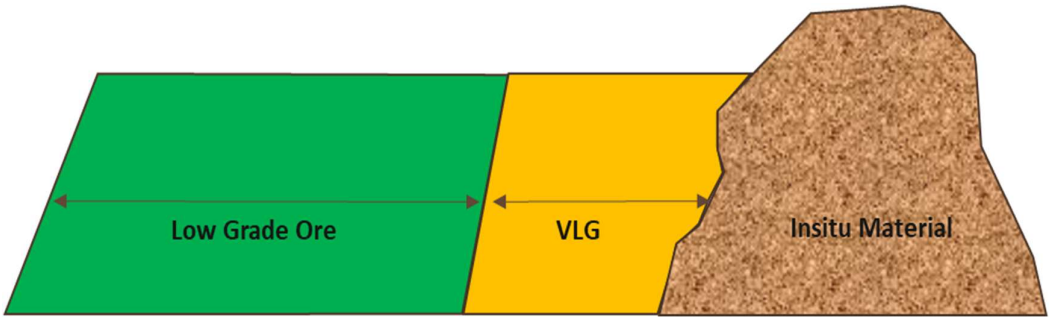
Sesuai dengan *budget mine plan* 2021BP, sebagian besar material bijih yang dikirim dari *pit* ke *stockpile* merupakan bijih *Low-Grade (COG $13,37-$16,26)*, sehingga pada studi ini bijih *Low-Grade* yang akan dijadikan pembanding. Studi penempatan material mineral kadar rendah ke *stockpile* sebagai *base* dari bijih ditunjukkan dalam ilustrasi Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan praktik penempatan material *waste* sebagai *base* yang kontak dengan material *in-situ*. Praktik ini berpotensi adanya bijih yang tertinggal ketika dilakukan pengambilan kembali bijih LG untuk menghindari adanya dilusi ke pengolahan.



Gambar 5. Penempatan material bijih *low-grade* sebelum studi dilakukan

Gambar 6 menunjukkan penempatan material Mineral Kadar Rendah (VLG) sebagai *base* dari *stockpile*. Praktik ini akan mengurangi potensi dilusi saat pengambilan kembali bijih *Low Grade* dari *stockpile* sehingga *recovery rehandle* dapat optimal.



Gambar 6. Penempatan material bijih *low-grade* setelah studi dilakukan

Berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan dengan asumsi tersebut di atas didapatkan bahwa total *recovery rehandle* material bijih dalam studi ini yaitu material bijih *Low-Grade* yang dapat diperoleh sekitar 2,5% dari total tonase yang dikirim ke *stockpile*. Perolehan ini didapatkan jika material yang dijadikan sebagai pembatas terhadap area topo *in-situ* adalah bijih kadar rendah (*VLG*). Selain nilai *recovery rehandle* material bijih yang meningkat, terdapat juga perolehan tambahan pada nilai *metal production* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Angka perolehan *metal production*

No	Hasil Analisa	Total
1	*Recovery* tonase LG saat *rehandle* (ton)	3.600.511
2	Total bijih LG yang dikirim ke *stockpile* (ton)	142.252.860
3	Persentase *rehandle recovery* (%)	2,5
4	CuR (%)	0,237
5	AuR (%)	0,135
6	AgR (%)	0,534
7	Cu (Mlbs)	18,82
8	Au (KoZ)	15,63
9	Ag (KoZ)	61,77

Dari perolehan angka tersebut di atas, metode yang digunakan dalam studi ini menunjukkan bahwa penempatan mineral kadar rendah yang menggantikan material *waste* sebagai pembatas dengan area topo *in-situ* sangat berpengaruh dalam menghindari potensi dilusi serta meningkatkan *recovery rehandle* (pengambilan kembali material bijih dari *stockpile*). Peningkatan *recovery rehandle* dengan mengirimkan material bijih *low grade* ke pengolahan secara optimal maka akan diperoleh peningkatan produksi logam. Hal ini sesuai dengan yang diamanatkan oleh undang-undang terkait aspek konservasi mineral yang optimal serta sejalan dengan visi dan misi AMMAN guna menciptakan warisan terbaik bagi semua pemangku kepentingan.

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari studi atau penelitian ini antara lain:

1. Studi penempatan mineral kadar rendah di *stockpile* Sejorong dilakukan sejalan dengan amanat undang – undang dalam melaksanakan kaidah pertambangan yang baik dalam hal aspek konservasi mineral serta menjalankan visi AMMAN dalam menciptakan warisan terbaik bagi semua pemangku kepentingan.
2. Proses penempatan timbunan material *waste* di *stockpile* yang dijadikan sebagai pembatas/base dengan area topo *in-situ* dapat digantikan dengan material bijih kadar rendah (VLG) akan mengurangi potensi dilusi bijih yang diambil dari *stockpile*.
3. Studi penempatan material mineral kadar rendah ke stockpile ini menghasilkan jarak yang relatif sama dibandingkan dengan ke *waste dump* sehingga tidak mempengaruhi produktivitas alat angkut.
4. Studi menunjukkan bahwa tidak perlu adanya material bijih *Low-Grade* yang harus ditinggalkan pada saat proses *rehandle* dilakukan dengan estimasi peningkatan nilai *recovery rehandle* material bijih sebesar 2,5 %. Optimalisasi pengambilan bijih stockpile ini akan menambah perolehan *metal production* sekitar 18,8 *Mlbs* Cu, 15,6 *Koz* Au dan 61,7 *Koz* Ag.
5. Melihat perkembangan harga komoditas logam dan mineral dunia di masa mendatang maka material mineral kadar rendah yang ditempatkan di *stockpile* ini berpotensi atau memiliki peluang untuk diambil kembali dan dikirim ke pabrik pengolahan.
6. Studi lebih lanjut terkait dengan material mineral kadar rendah yang memperhitungkan nilai *recovery* akibat adanya proses oksidasi perlu dilakukan sehingga menghasilkan rekomendasi nilai keekonomian mineral kadar rendah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. PERHAPI karena telah menyelenggarakan acara TPT XXX PERHAPI 2021 sehingga bisa menjadi wadah yang baik untuk berbagi studi atau penelitian.
2. PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMMAN), yang telah memberikan kesempatan sehingga kami dapat menyusun makalah ini.
3. Departemen *Corporate Communications* yang telah bersedia untuk me-*review* studi ini terkait dengan penulisan makalah sehingga dapat dipublikasikan dan bermanfaat sesuai peruntukannya.
4. Departemen terkait lainnya di AMMAN yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah mendukung penuh agar makalah ini dapat dipublikasikan dan menjadi manfaat atau menjadi referensi bagi perusahaan maupun individu lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Gambar lokasi tambang Batu Hijau Nusa Tenggara Barat, data diperoleh melalui situs internet: https://www.amman.co.id/. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2021.

Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.

Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No.182K Tahun 2020 tentang Petunjuk Teknis Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara.

Setiawan, A. (2016): Penggunaan Dollar Indeks Model Dalam Penentuan Cut-Off Grade Untuk Polymetallic Deposit Di Batu Hijau Project, *Prosiding TPT XXV dan KONGRES VII PERHAPI 2016,* PERHAPI, Bandung, 183 – 190.

PENGELOLAAN MINERAL IKUTAN TIMAH DALAM RANGKA UPAYA PELAKSANAAN KONSERVASI MINERAL

Iskak Aji

Direktorat Jenderal Minerba, Kementerian ESDM

E-mail: jibon234@yahoo.co.id / Iskak291084@gmail.com

ABSTRAK

Konservasi mineral dan batubara merupakan upaya optimalisasi pengelolaan atau pemanfaatan sumber daya mineral dan batubara secara terukur, efisien, bertanggung jawab, dan berkelanjutan. Di dalam Undang-undang No. 3 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang No. 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara bahwa IUP atau IUPK wajib melaksanakan kaidah Teknik pertambangan yang baik. Salah satu kewajiban dalam penerapan kaidah Teknik pertambangan yang baik adalah upaya konservasi mineral dan batubara. Objek-objek yang menjadi target upaya pelaksanaan konservasi mineral dan batubara sesuai Lampiran VII Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 meliputi recovery penambangan, recovery pengolahan, batubara kualitas rendah, mineral kadar rendah, mineral Ikutan, sisa hasil pengolahan dan pemurnian, serta cadangan marginal. Pada tahun 2020 Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara telah menerbitkan Petunjuk Teknis terkait dengan pelaksanaan konservasi mineral dan batubara dalam rangka pelaksanaan kaidah Teknik pertambangan yang baik yang tercantum dalam Keputusan Dirjen Mineral dan Batubara No. 182.K/30/DJB/2020 yang salah satu lampirannya memuat tentang petunjuk teknis pengelolaan mineral ikutan timah dan nikel. Maksud dan tujuan diterbitkannya petunjuk teknis tersebut adalah agar menjadi acuan bagi seluruh stakeholder dalam mengelola mineral ikutan timah dan nikel. Mineral ikutan saat ini juga menjadi salah satu isu strategis yang menjadi prioritas agar dapat diusahakan sehingga memberikan kontribusi dan nilai manfaat terhadap negara. PT Timah Tbk sebagai pemegang izin usaha pertambangan yang juga merupakan Badan Usaha Milik Negara telah melakukan pengelolaan terhadap mineral ikutan timah. Pengelolaan mineral ikutan difokuskan pada pendataan dan penempatan khusus apabila mineral ikutan dapat dipisahkan pada proses pengolahan. Mineral ikutan yang terkandung dalam timah pada saat ini yang dapat dikelola dan ditempatkan khusus yaitu ilmenite dan zircon dimana proses pemisahan tersebut dilakukan oleh Unit Metalurgi Muntok dan Kondur. Pendataan ilmenite dan zircon yang dilakukan secara berkala oleh PT Timah Tbk. dilaporkan di dalam laporan berkala konservasi mineral dan batubara dan menjadi data dari hasil penelitian makalah yang disampaikan. PT Timah Tbk, saat ini juga sedang dalam proses studi dan penelitian di project tanjung ular untuk mengupayakan ilmenite yang juga mengandung logam tanah jarang. Upaya-upaya pemanfaatan ilmenite dan zircon saat ini juga masuk dalam program strategis oleh Direktorat Jenderal Minerba sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan nilai manfaat dan kontribusi terhadap negara. Sebagai bagian dari pelaksanaan prinsip-prinsip teknik pertambangan yang baik, terutama penerapan aspek konservasi, sasaran konservasi, terutama pengelolaan mineral ikutan, termasuk keharusan pengelolaannya, harus dipahami dan diperhitungkan dalam melakukan kegiatan Pertambangan. Sehingga hal-hal yang menjadi tantangan di masa depan seperti upaya pemanfaatan mineral ikutan timah termasuk mineral yang mengandung radioaktif yang pada masa sekarang belum memiliki nilai ekonomis atau ketidaksiapan teknologi pengolahan lebih lanjut dapat terlebih dahulu didata, dikelola secara khusus sehingga suatu saat apabila sudah ada teknologi dan bernilai ekonomis dapat upayakan lebih lanjut dan dapat memberikan manfaat bagi industri pertambangan di Indonesia.

Kata kunci: konservasi mineral, timah, mineral ikutan, pengelolaan

ABSTRACT

Mineral and coal conservation is an effort to optimize the management or utilization of mineral and coal resources in a measurable, efficient, responsible and sustainable manner. In Law No. 3 of 2020 concerning Amendments to Law No. 4 of 2009 concerning Mineral and Coal Mining that IUP or IUPK are required to implement good mining engineering principles. One of the obligations in applying the principles of good mining engineering is the conservation of minerals and coal. The objects that are the targets of efforts to implement mineral and coal conservation are in accordance with Attachment VII of the Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 includes mining recovery, processing recovery, low quality coal, low grade minerals, by-products, processing and refining residues, and marginal reserves. In 2020 the Directorate General of Mineral and Coal has issued Technical Instructions related to the implementation of mineral and coal conservation in the context of implementing the rules of good mining technique as stated in the Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020 which one of the attachments contains technical instructions for the management of tin and nickel associated minerals. The purpose and objective of the issuance of these technical guidelines is to serve as a reference for all stakeholders in managing the associated minerals of tin and nickel. Associated minerals are currently also one of the strategic issues that are a priority so that they can be exploited so that they can contribute and value benefits to the country. PT Timah Tbk as the holder of a mining business license which is also a State-Owned Enterprise has managed the associated mineral tin. The management of associated minerals is focused on data collection and special placement if associated minerals can be separated during the processing. Associated minerals contained in tin at present that can be managed and placed specifically are ilmenite and zircon where the separation process is carried out by the Muntok and Kondur Metallurgical Units. Data collection on ilmenite and zircon which is conducted periodically by PT Timah Tbk. reported in mineral and coal conservation periodical reports and become data from the results of research papers submitted. PT Timah Tbk, is currently in the process of studying and researching the Tanjung Snake project to seek ilmenite which also contains rare earth metals. Efforts to utilize ilmenite and zircon are currently also included in a strategic program by the Directorate General of Mineral and Coal so that later it is expected to provide value for benefits and contributions to the country. In the context of implementing good mining engineering principles, especially the application of conservation aspects, conservation objects, especially the management of associated minerals, including their management obligations, must be understood and considered in the implementation of mining activities. So that things that become challenges in the future, such as efforts to utilize tin-associated minerals, including minerals containing radioactive which currently have no economic value or no further processing technology, can be recorded first, managed specifically so that one day if there is technology and economic value can be pursued further and can have a positive impact on mining in Indonesia.

Keywords*: mineral conservation, tin, associated minerals, the management*

A. PENDAHULUAN

A.1. Latar Belakang

Konservasi mineral dan batubara merupakan salah satu aspek kaidah teknik pertambangan yang baik yang wajib dilaksanakan oleh seluruh pelaku usaha pertambangan khususnya pemegang izin usaha pertambangan dimana sudah diamanatkan di dalam Permen ESDM No. 26 Tahun 2018. Pengertian konservasi mineral dan batubara sering diartikan sama dengan konservasi hayati, yang sebenarnya secara definisi sangat berbeda dimana konservasi minerba merupakan upaya dalam rangka optimalisasi pengelolaan, pemanfaatan, dan pendataan sumberdaya mineral dan batubara secara terukur, efisien, bertanggung jawab dan berkelanjutan. Salah satu objek konservasi mineral adalah mineral ikutan, yang mana amanat terhadap objek tersebut adalah dilakukannya pengelolaan dan pemanfaatan. Dilihat dari data pelaporan baik dari kewajiban laporan berkala maupun dari dokumen studi kelayakan, masih sangat

minim upaya pendataan maupun pengelolaan terhadap objek mineral ikutan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemahaman terkait dengan pengelolaan mineral ikutan oleh pemegang izin pertambangan sebagai salah satu upaya penerapan konservasi mineral masih sangatlah kurang.

A.2. Tujuan

Maksud dari penyusunan makalah ini yaitu sebagai salah satu referensi sebagai pedoman bagi pemegang izin usaha pertambangan dalam melakukan pengelolaan mineral ikutan yang merupakan bagian dari penerapan konservasi mineral, sedangkan tujuannya agar pemahaman terhadap pengelolaan ikutan menjadi meningkat dan dapat juga menjadi salah satu acuan bagi pelaku usaha maupun Pemerintah dalam mengelola mineral ikutan sebagai bentuk pembinaan dan pengawasan kegiatan pertambangan, dengan harapan nantinya dapat mengoptimalkan mineral ikutan termasuk upaya pemanfaatan dengan pertimbangan keekonomian maupun ketersedian teknologi. PT Timah Tbk sebagai salah satu pemegang izin usaha pertambangan, saat ini sudah mengupayakan pengelolaan mineral ikutan timah, sehingga dari hasil penulisan ini dapat dijadikan juga pendorong terhadap pemegang izin usaha pertambangan lainnya khususnya untuk komoditas timah untuk melakukan pengelolaan terhadap mineral ikutan timah sehingga mineral ikutan dapat dikelola dengan baik yang selama ini mungkin hanya dianggap sebagai sisa hasil pengolahan. Merujuk pada Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020, pengelolaan mineral ikutan sendiri saat ini tidak hanya untuk komoditas untuk timah, namun juga untuk komoditas nikel.

A.3. Pendekatan Pemecahan Masalah

Setiap objek konservasi memiliki tantangan yang berbeda-beda dalam perencanaan, pelaksanaan, pengelolaan, pemanfaatan, maupun pendataan. Pemahaman terhadap pengelolaan ikutan khususnya untuk komoditas timah masih banyak perbedaan persepsi, sehingga melalui tulisan makalah ini dengan menampilkan referensi pengelolaan mineral ikutan timah oleh PT Timah Tbk. diharapkan menjadikan stimulus dan acuan terhadap pemegang izin usaha pertambangan lainnya termasuk juga pemerintah sebagai Pembina dan pengawas kegiatan usaha pertambangan. Laporan-laporan pendataan baik yang disampaikan dalam laporan berkala maupun dalam dokumen studi kelayakan menjadi pendekatan permasalahan terhadap pemahaman pengelolaan mineral ikutan khususnya untuk komoditas timah. Hal-hal terkait teknologi-teknologi pengelolaan ikutan timah juga akan dikupas secara singkat pada tulisan makalah ini.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1 Desain Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif, dimana penelitian ini akan menjelaskan tentang pelaksanaan konservasi bahan galian khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan mineral ikutan timah. Studi ini juga membandingkan apa yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi solusi penerapan aspek konservasi pertambangan dalam menghadapi kendala kinerja, terutama kurangnya pemahaman tentang bagaimana mineral timah dikelola yang sesuai dengan amanat undang-undang. sebagaimana peraturan dan petunjuk teknis telah dikeluarkan oleh pemerintah.
Identifikasi akan dilakukan pada deskripsi pengaturan terhadap salah satu objek konservasi mineral yaitu pengelolaan ikutan timah terhadap bagaimana tercapainya pelaksanaanya di lapangan melalui kegiatan evaluasi administratif maupun hasil kegiatan observasi langsung terhadap data-data yang didapatkan dari perusahaan pertambangan mineral dan batubara khususnya dari PT Timah Tbk.

B.2 Lokasi Penelitian

Peneliti melakukan observasi pada data-data pelaporan aspek konservasi minerba yang disampaikan oleh perusahaan sekaligus terhadap data-data objek konservasi yang diperoleh melalui kegiatan pembinaan maupun pengawasan yang dilaksanakan di PT Timah Tbk.

B.3 Waktu Penelitian

Penelitian terhadap penulisan makalah Pengelolaan Mineral Ikutan Timah Dalam Rangka Upaya Pelaksanaan Konservasi Mineral dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Agustus 2021, dengan

disertai juga data-data yang digunakan maupun dikumpulkan dari kegiatan pembinaan dan pengawasan pada awal tahun 2020 sebelum masa pandemi.

B.4 Data Penelitian

Dalam penelitian ini diambil dua sumber data antara lain meliputi:

a. Sumber Data Primer
   Data yang dihasilkan bersumber dari diskusi, paparan pada saat kegiatan pembinaan dan pengawasan maupun dari forum group discussion sekaligus hasil korespondensi pada kegiatan rapat dan seminar yang dihadiri oleh peneliti yang kemudian diambil kesimpulanya.
b. Sumber Data Sekunder
   Data-data yang berasal dari peraturan yang diterbitkan oleh pemerintah baik Peraturan Menteri, Ketetapan Menteri, Petunjuk Teknis dan Pedoman Teknis Aspek Konservasi, data pelaporan berkala yang disampaikan oleh perusahaan, maupun literatur. Untuk kebutuhan ilustrasi beberapa objek konservasi minerba khususnya mineral ikutan komoditas timah, peneliti juga menggunakan *raw* data perusahaan PT Timah tbk.

B.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penulisan makalah pengelolaan mineral ikutan timah dalam rangka upaya pelaksanaan konservasi mineral yang digunakan dalam antara lain:

a. Literasi Literatur
   Peneliti melakukan evaluasi dan analisis terhadap regulasi yang telah diterbitkan oleh pemerintah dimana terdapat informasi dan pengaturan yang menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini khususnya Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020, selain itu beberapa literatur seperti pelaporan berkala konservasi, dokumen studi kelayakan, buku, standar, jurnal-jurnal ilmiah, dan referensi-referensi lainnya terkait dengan teknis pertambangan untuk komoditas timah.
b. Observasi
   Observasi dan evaluasi objek konservasi mineral ikutan timah dilakukan peneliti pada saat kegiatan kunjungan ke lapangan dalam rangka kegiatan pembinaan dan pengawasan terhadap PT timah Tbk.
c. Dokumentasi
   Metode ini digunakan untuk melengkapi data yang diperoleh melalui wawancara dan observasi digunakan dokumentasi berupa catatan, foto, video ataupun gambar.

B.6 Analisa Data

Analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, dimana peneliti mendeskripsikan pengelolaan mineral ikutan timah sebagai bentuk penerapan dan pelaksanaan konservasi mineral dengan variable data-data yang telah dikumpulkan baik dari data primer maupun data sekunder. Dalam penelitian ini, disajikan evaluasi terhadap kendala-kendala yang muncul dalam penerapan konservasi minerba khususnya pengelolaan mineral ikutan untuk komoditas timah dan disampaikan juga solusi penyelesaian dari identifikasi permasalahan yang ada sampai dengan bagaimana bentuk-bentuk pengelolaan mineral ikutan dari pendataan, penempatan khusus sampai dengan upaya pemanfaatan sesuai dengan ketersedian teknologi yang ada saat ini.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Merujuk pada Permen ESDM No. 26 tahun 2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan Yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan batubara khususnya pada pasal 24 bahwa pemegang izin usaha pertambangan wajib melakukan upaya konservasi mineral dan batubara, yang mana salah satu bentuk upaya yang dilakukan adalah pengelolaan dan pemanfaatan terhadap mineral ikutan. Pemerintah dalam hal untuk memberikan pedoman pelaksanaan kaidah Teknik pertambangan yang baik telah menerbitkan pedoman pelaksanaan konservasi mineral dan batubara yang terdapat pada Lampiran VII Kepmen ESDM No 1827 .K/30/MEM/2018 Tahun 2018, dan pada tahun 2020 juga telah terbit Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020 sebagai petunjuk teknis pelaksanaan konservasi mineral dan batubara dalam rangka pelaksanaan kaidah Teknik pertambangan yang baik dan terkhusus petunjuk

teknis pengelolaan mineral ikutan nikel dan timah tercantum dalam Lampiran V.

Mineral ikutan secara definisi merupakan mineral lain yang berdasarkan genesa terbentuknya terjadi bersamaan dengan mineral utama. Mineral ikutan sejatinya bukan mineral utama yang diupayakan secara ekonomis namun di beberapa kasus komoditas, mineral ikutan dapat diusahakan bersama-sama dengan mineral utama, hal ini didasari ketersediaan teknologinya.

Mineral ikutan timah yang sering dijumpai antara lain ilmenite ($FeTiO_3$), tourmaline $Na(Mg,Fe)Al_6(BO_3)Si_6)_{18}(OH)_{14}$, pyrit ($FeS_2$), xenotime ($YPO_4$), monazite $(CeLaYTh)PO_4$, anatase (TiO_2), zircon ($ZrSiO_4$), dan beberapa mineral lainnya. Salah satu mineral ikutan timah yaitu monazite merupakan mineral strategis lembaga logam tanah jarang yang merupakan material masa depan dan banyak dibutuhkan untuk industri baterai. Selain monazite, zircon yang merupakan mineral ikutan timah juga memiliki aspek ekonomi di dalam dunia industri, oleh sebab itu sangat diperlukan pengelolaan mineral-mineral ikutan timah yang akan sangat bernilai ekonomis di masa akan dating. Bentuk pengelolaan mineral ikutan dapat dilakukan dengan pendataan baik untuk mineral ikutan timah yang belum tertambang maupun yang sudah tertambang dan penempatan khusus untuk yang tertambang dan dapat dipisahkan pada proses pengolahan serta upaya-upaya untuk memanfaatkan mineral ikutan dimana tergantung pada keekonomian maupun ketersedian teknologi yang ada pada saat ini.

Tabel 1. Mineral – Mineral Ikutan Timah

No.	Nama Mineral	Komposisi Kimia
1	Cassiterite	SnO_2
2	Kuarsa	SiO_2
3	Markasit	FeS_2
4	Pyrit	FeS_2
5	Ilmenit	$FeTiO_2$
6	Rutil	TiO_2
7	Hematit	Fe_2O_3
8	Magnetit	Fe_3O_4
9	Siderit	$FeCO_3$
10	Monazit	$(CeLaYTh)PO_4$
11	Xenotime	YPO_4
12	Zircon	$ZrSiO_4$
13	Tourmaline	$Na(Mg,Fe)Al_6(BO_3)Si_6)_{18}(OH)_{14}$
14	Galena	PbS
15	Topaz	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$
16	Arsenopyrit	$FeAsS$
17	Columbit	$(Fe,Mn,Mg)\ (Nb,Ta)_2O_6$
18	Tantalit	$(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$
19	Ferberit	$FeWO_4$
20	Limonit	$NFeO_2H_2O$
21	Anatase	TiO_2
22	Leusit	$KAlSi_2O_6$

Sumber: PT. Timah, Tbk

C.1 Pendataan Mineral Ikutan Timah

Proses pendataan mineral ikutan timah dilakukan oleh pemegang izin usaha pertambangan pada tahap eksplorasi maupun tahap Operasi produksi. Dari hasil kegiatan eksplorasi akan didapatkan data-data mineral utama maupun mineral ikutan pada komoditas timah, sehingga jenis-jenis mineral ikutan timah akan teridentifikasi baik jenis, kadar, estimasi kuantitas dan lokasi-lokasi keterdapatan mineral ikutan timah. Pendataan mineral ikutan timah yang belum dilakukan penambangan atau masih dalam tahap eksplorasi difokuskan pendataan pada:

1. Jenis Mineral Ikutan

   Pendataan jenis mineral ikutan timah berdasarkan hasil analisis laboratorium dari data-data

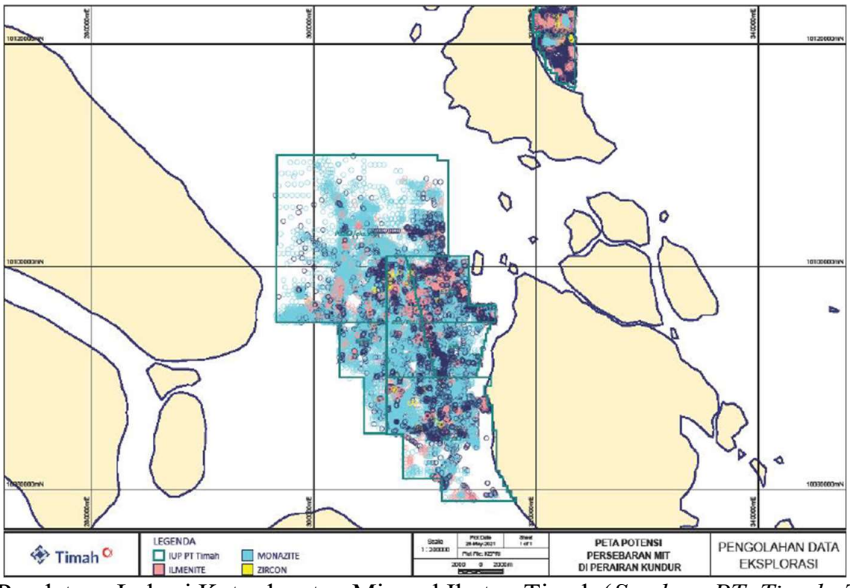
eksplorasi yang dilakukan penyesuaian dengan tipe endapan dan juga dilengkapi sedikitnya dengan informasi struktur geologi dan mineralisasi terkait.

2. Lokasi Keterdapatan Mineral Ikutan
   Untuk pendataan lokasi keterdapatan mineral ikutan paling sedikit memuat keterangan nama blok, koordinat sebaran, kedalaman serta luasan penyebaran keterdapatan mineral ikutan timah yang dapat disajikan dalam tebel eksplorasi dan peta.
   Peta disajikan dengan kaidah kartografi yang benar meliputi sistem koordinat, dan informasi tepi yang terdiri atas judul, arah mata angin, skala, legenda, penerbit/pembuat, dan meta data dan dibuat oleh tenaga teknis pertambangan yang berkompeten serta dikelola dan dipelihara dalam sistem basis data.

Tabel 2. Potensi Keterdapatan Mineral Ikutan Timah

Mineral	Potensi Mineral Ikutan Timah Bernilai Ekonomis (Ton)					
	Bangka Island	Bangka Offshore	Belitung Island	Belitung Offshore	Kundur-Karimun Offshore	Total Mineral
Monazite	6,285	7,125	300	610	1,509	15,829
Xenotime	1,104	6,255	251	0	0	7,609
Rutile	0	2,247	100	439	970	3,755
Ilminite	72,784	26,663	6,668	8,168	35,559	149,842
Zircon	33,249	21,964	2,652	10,669	7,996	76,530
Spinel	6,285	2,596	67	0	437	9,385
Anatase	1,583	2,054	31	195	53	3,917
Magnetite	4,318	34,434	268	8,120	14,059	61,199
Psilomelane	0	2,154	0	0	1,289	3,443

Sumber: PT. Timah, Tbk



Gambar 1. Pendataan Lokasi Keterdapatan Mineral Ikutan Timah (*Sumber: PT. Timah, Tbk)*

Mineral ikutan timah saat ini sudah dapat dilakukan pemisahan pada saat proses pengolahan. Proses pengkayaan mineral ilmenite / TiO2 mineral yang ada dapat dilakukan dengan menggunakan *electrostatic separator* untuk memisahkan mineral yang bersifat konduktor (TiO2 dan FeO.TiO2) dan mineral yang bersifat non konduktor (zircon, monazite, dll.) Mineral-mineral ikutan timah yang dapat dipisahkan tersebut pada saat kegiatan operasi produksi juga wajib dilakukan pendataan dimana paling sedikit meliputi pendataan jenis, tonase, serta kadar mineral atau logam yang terkandung di dalamnya dan juga dilaporkan dalam laporan berkala konservasi setiap triwulan.

Tabel 3. Pendataan Pengelolaan Mineral Ikutan Timah yang Tertambang

Lokasi	Jenis Mineral Ikutan					
	Ilmenite	Kadar	Zircon	Kadar	Pyrit	Kadar
	(ton)	(%)	(ton)	(%)	(ton)	(%)
Unit Metalurgi Muntok	199.180	90,69	14.536	87,93	-	-
Unit Metalurgi Kundur	3.998	89,92	-	-	39	40,43

Sumber: Laporan Berkala Konservasi Tahun 2021 PT. Timah, Tbk

Data-data mineral ikutan timah sangat diperlukan oleh Pemerintah, dikarenakan kegiatan eksplorasi khususnya untuk komoditas timah secara garis besar dilakukan oleh pemilik izin usaha pertambangan, sehingga selain harus disimpan dalam basis data, Pemerintah juga perlu mendapatkan laporan dan menyimpan seluruh data-data mineral ikutan yang ada agar kedepan dapat menentukan arah kebijakan terkait pengembangan dan pemanfaatan mineral ikutan timah.

C.2 Pengelolaan Mineral Ikutan Timah

Bentuk-bentuk pengelolaan mineral ikutan timah sebagai upaya penerapan konservasi mineral terhadap mineral ikutan timah yang belum tertambang adalah dilakukan upaya estimasi pada neraca sumberdaya dengan kriteria sebagai berikut:

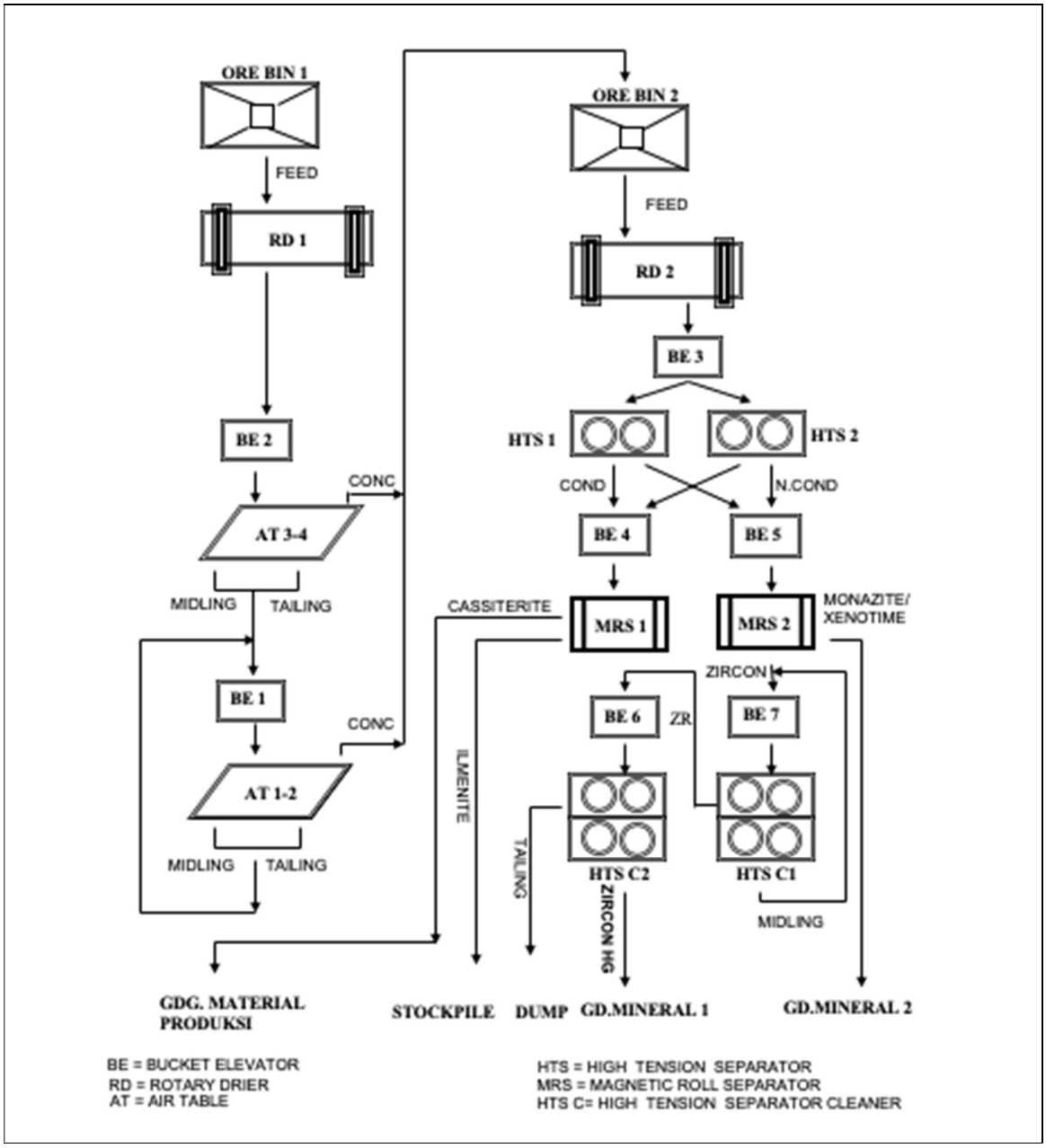
1. estimasi mineral ikutan pada neraca sumberdaya mengacu pada SNI yang berlaku;
2. penjelasan parameter estimasi sumberdaya (nama blok/prospek, metoda estimasi, kerapatan data, *cut off grade*, dan sebagainya), domain atau zonasi mineralisasi, model mineralisasi, perangkat lunak yang digunakan, tabel estimasi, serta pernyataan *Competent Person*; dan
3. klasifikasi mineral ikutan termasuk ke dalam sumberdaya tereka, terunjuk atau terukur.

Hasil upaya untuk diestimasi ke dalam neraca sumberdaya terhadap mineral ikutan tentunya harus disampaikan juga kepada Pemerintah ke dalam Laporan Lengkap Eksplorasi.
Sedangkan dalam hal pengelolaan mineral ikutan yang disiapkan untuk laporan dalam Studi Kelayakan perlu dilengkapi dengan kajian teknis yang sekurang-kurangnya paling sedikit memuat hal-hal sebagai berikut:

1. penjelasan jenis, jumlah, lokasi dan sebaran mineral ikutan pada bagian Geologi dan Keadaan Endapan;
2. penjelasan penanganan mineral ikutan yang masuk ke proses pengolahan pada bagian Rencana Pengolahan dan Pemurnian; dan
3. potensi dan rencana perlakuan mineral ikutan yang belum dapat dipasarkan.

Upaya-upaya untuk mendapatkan pengolahan mineral ikutan timah yang optimal dalam perencanaan kegiatan pengolahan pada saat penyusunan dokumen studi kelayakan, maka perlu memperhatikan hal-hal yang dapat mengoptimalkan mineral ikutan timah yaitu:

1. distribusi mineral pada umpan bijih timah;
2. perbedaan berat jenis antara mineral pembawa timah (cassiterite) dengan mineral ikutan timah cukup signifikan sehingga mineral ikutan timah pada saat pengolahan bijih timah akan ikut dalam material sisa hasil pengolahan;
3. perbedaan ukuran butir material feed bijih timah (apabila butiran mineral ikutan terlalu kecil maka akan terbawa sebagai sisa hasil pengolahan);
4. peluang pasar domestik untuk mulai melakukan komersialisasi mineral zirkon, ilmenit dan sejumlah mineral lain selain REE; dan
5. penelitian lebih lanjut dalam rangka pemanfaatan mineral ikutan dari sisa hasil pengolahan sesuai dengan ketersedian teknologi.



Gambar 2. Diagram Proses Pemisahan Mineral Ikutan Timah (*Sumber: PT. Timah, Tbk)*

Sebagai bentuk upaya penerapan konservasi mineral, mineral ikutan timah yang dapat dipisahkan tentunya wajib dikelola dengan cara disimpan dan ditempatkan pada lokasi khusus dengan mempertimbangkan manajemen pengelolaannya. Lokasi khusus untuk penyimpanan atau penempatan mineral ikutan dapat berbentuk timbunan atau juga dapat disimpan dalam bangunan atau gudang dan kemasan tertutup.

Di dalam Lampiran IV Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020 tentang Petunjuk Teknis Pengelolaan Mineral Ikutan Timah dan Nikel telah tercantum kriteria-kriteria terhadap lokasi penyimpanan mineral ikutan timah yaitu sebagai berikut:

1. Penyimpanan Berupa Timbunan
   a. memiliki daya dukung timbunan dan alat yang digunakan;
   b. memiliki perhitungan kapasitas maksimum lokasi penyimpanan mineral ikutan;
   c. memiliki perencanaan dan sistem penyaliran yang memadai;

d. memperhitungkan ketebalan material *bedding*;
e. memasang papan nama yang berisi informasi lokasi, jenis mineral ikutan dan kuantitasnya;
f. memiliki tanggul pengaman minimal tinggi 1 meter di sekeliling area tumpukan;
g. melakukan upaya penurunan tonase dan kadar terhadap mineral ikutan yang disimpan di lokasi penempatan khusus;
h. memiliki sistem pendataan kualitas dan kuantitas mineral ikutan yang teratur;
i. memiliki prosedur/tata cara baku penumpukan dan pengambilan mineral ikutan;
j. terdapat penanggung jawab untuk area timbunan mineral ikutan; dan
k. memiliki tata cara baku pengelolaan mineral ikutan dalam rangka upaya penerapan aspek konservasi minerba.



Gambar 3. Penyimpanan Mineral Ikutan Timah Berupa Timbunan (*Sumber: PT. Timah, Tbk)*

2. Penyimpanan Berupa Gudang atau Kemasan tertutup
   a. memiliki perhitungan kapasitas maksimum lokasi penyimpanan mineral ikutan;
   b. memiliki perencanaan dan sistem penyaliran yang memadai;
   c. memasang papan nama yang berisi informasi lokasi, jenis mineral ikutan dan kuantitasnya pada gudang/kemasan;
   d. memiliki sistem pendataan kualitas dan kuantitas mineral ikutan yang teratur;
   e. melakukan upaya pengendalian penurunan tonase dan kadar terhadap mineral ikutan yang disimpan di lokasi penempatan khusus;
   f. memiliki prosedur penumpukan dan pengambilan mineral ikutan;
   g. terdapat penanggung jawab untuk area gudang/penyimpanan mineral ikutan; dan
   h. memiliki tata cara baku pengelolaan mineral ikutan dalam rangka upaya penerapan aspek konservasi minerba.



Gambar 4. Penyimpanan Mineral Ikutan Timah dalam Bangunan dan Kemasan (*Sumber: PT. Timah, Tbk*)

Dengan adanya kriteria dan petunjuk terhadap metode penyimpanan atau penempatan mineral ikutan timah yang tertambang dan dapat dipisahkan pada proses pengolahan diharapkan dapat meminimalkan *losses* ataupun dilusi mineral-mineral ikutan timah yang disimpan. Oleh sebab itu perlu adanya

persamaan persepsi bagaimana management perlakukan khusus terhadap mineral-mineral ikutan timah tersebut.

C.3 Pemanfaatan Mineral Ikutan Timah

Sampai dengan saat ini, belum ada pemegang izin usaha peertambangan di Indonesia termasuk PT Timah Tbk yang telah mendata, mengelola dengan memisahkan dari mineral utama dan menyimpan secara khusus yang telah memanfaatkan mineral ikutan tersebut secara komersial. PT Timah Tbk. pada saat ini sedang melakukan upaya peningkatan nilai tambah terhadap mineral ikutannya dengan melakukan pengolahan mineral ikutan timah di central Mineral Processing plant menjadi mineral individu yaitu monasit dan zircon. Mineral monasit selanjutnya akan digunakan sebagai umpan pabrik industrialisasi logam tanah jarang yaitu pembuatan *mixture of RE Carbonate*, sedangkan zircon dilakukan peningkatan kadar.

Pemegang izin usaha pertambangan yang akan memanfaatkan mineral ikutan yang termasuk dalam kriteria sebagai berikut:

a. memiliki mineral ikutan tertambang dan belum dapat melakukan pemanfaatan;
b. memiliki mineral ikutan tertambang dan akan melakukan pemanfaatan; dan
c. pemanfaatan mineral ikutan dari sisa hasil pengolahan

wajib membuat kajian teknis aspek konservasi yang nantinya dilaporkan dalam bentuk laporan khusus dengan isi kajian teknis paling sedikit memuat:

a. latar belakang yang menjelaskan kondisi lapangan, yang terdiri dari:
    1) kendala teknis pemanfaatan mineral ikutan tertambang jika belum dapat melakukan pemanfaatan mineral ikutan tertambang; dan
    2) rencana pemanfaatan jika akan melakukan pemanfaatan mineral ikutan tertambang atau mineral ikutan dari sisa hasil pengolahan;
b. maksud dan tujuan yang menjelaskan tentang kajian teknis konservasi, yaitu penjelasan maksud dan tujuan dibuatnya kajian teknis konservasi terkait kendala pengelolaan atau rencana pemanfaatan mineral ikutan baik yang tertambang maupun dari sisa hasil pengolahan;
c. gambaran terkait penyusunan kajian teknis aspek konservasi, terdiri atas, yang terdiri dari:
    1) pelaksana kajian (dapat dilakukan oleh tenaga teknis yang berkompeten yang dimiliki perusahaan atau menggunakan konsultan) disertai informasi kompetensi yang dimiliki tenaga teknis yang berkompeten yang melakukan kajian;
    2) waktu pelaksanaan, yang menjelaskan waktu pelaksanaan kajian disertai matrik/tabel yang berisi daftar kegiatan dan waktu pelaksanaannya;
d. tahapan kegiatan dalam pelaksanaan kajian teknis konservasi, sekurang-kurangnya:
    1) persiapan;
    2) pengumpulan data;
    3) analisis;
    4) kesimpulan dan rekomendasi;
e. metode dan peralatan dalam pelaksanaan pengumpulan data untuk mendukung kajian teknis konservasi;
f. hasil analisis terhadap pengolahan data, perhitungan teknis dan *benefit and cost analysis* terkait aspek konservasi yang dikaji;
g. hasil analisis risiko baik terkait aspek konservasi, keselamatan pertambangan dan lingkungan;
h. kesimpulan dan rekomendasi hasil kajian teknis aspek konservasi.

Adapun format Kajian Teknis dapat di lihat di dalam Lampiran XVIF Kepmen ESDM Nomor 1806.K/30/MEM/ESDM/2018 tentang Laporan Khusus Kajian Teknis Pertambangan. Pemerintah saat ini juga sedang membuat grand strategi terhadap aspek pengusahaan mineral ikutan timah, terutama dari sisi skema harga dan mekanisme penjualannya. Dengan demikian apabila mineral ikutan timah sudah didata, dikelola dengan dipisahkan dari mineral utamanya dan disimpan secara khusus, serta dapat diupayakan makan ke depan pengelolaan mineral ikutan akan memberikan kontribusi yang positif terhadap negara terutama untuk peningkatan penerimaan negara.

D. KESIMPULAN

Konservasi mineral dan batubara merupakan bentuk upaya optimalisasi pengelolaan atau pemanfaatan sumber daya mineral dan batubara secara terukur, efisien, bertanggung jawab, dan berkelanjutan. Di Dalam Permen ESDM No. 26 Tahun 2018, telah diamanatkan bagi pemegang izin usaha pertambangan untuk melaksanakan kaidah teknik pertambangan yang baik, dimana salah satu aspek nya adalah konservasi mineral dan batubara. Konservasi mineral dan batubara merupakan suatu hal yang baru bagi stakeholder kegiatan pertambangan, oleh karena itu berdasarkan hasil evaluasi penerapan aspek konservasi minerba selama ini masih ditemukan adanya beberapa kendala-kendala, sehingga pelaksanaannya menjadi belum optimal. Pemerintah juga berupaya memberikan pedoman bagi pelaksanaan konservasi mineral dan batubara melalui terbitnya Kepmen ESDM No. 1827.K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan khusus terkait dengan Pedoman Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara tercantum dalam Lampiran VII. Mineral ikutan secara definisi merupakan mineral lain yang menurut genesanya terjadi bersama-sama dengan mineral utama. Mineral ikutan secara definisi merupakan mineral lain yang berdasarkan genesa terbentuknya terjadi bersamaan dengan mineral utama. Mineral ikutan sejatinya bukan mineral utama yang diupayakan secara ekonomis namun di beberapa kasus komoditas, mineral ikutan dapat diusahakan bersama-sama dengan mineral utama, hal ini didasari ketersediaan teknologinya.

Mineral ikutan timah yang sering dijumpai antara lain ilmenite ($FeTiO_3$), tourmaline $Na(Mg,Fe)Al_6(BO_3)Si_6)_{18}(OH)_{14}$, pyrit ($FeS_2$), xenotime ($YPO_4$), monazite $(CeLaYTh)PO_4$, anatase (TiO_2), zircon ($ZrSiO_4$), dan beberapa mineral lainnya. Salah satu mineral ikutan timah yaitu monazite merupakan mineral strategis logam tanah jarang yang merupakan material masa depan dan banyak dibutuhkan untuk industri baterai. Selain monazite, zircon yang merupakan mineral ikutan timah juga memiliki aspek ekonomi di dalam dunia industri, oleh sebab itu sangat diperlukan pengelolaan mineral-mineral ikutan timah yang akan sangat bernilai ekonomis di masa akan datang dan dapat memberikan dampak positif terhadap negara khususnya terkait dengan penerimaan negara.

Pengelolaan mineral ikutan timah difokuskan pada kegiatan pendataan keterdapatannya, baik pada saat eksplorasi maupun setelah dapat dipisahkan pada proses pengolahan, dan upaya-upaya pemanfaatannya. Kendala-kendala pelaksanaan pengelolaan ikutan timah umumnya dikarenakan perbedaan persepsi maupun kekurangan pemahaman pengelolaan ikutan timah yang sudah diamanatkan kewajibannya oleh Pemerintah kepada pemilik izin usaha pertambangan komoditas timah. Untuk menjadikan petunjuk pengelolaan mineral ikutan timah, pada tahun 2020 Pemerintah telah menerbitkan Kepdirjen Minerba No. 182.K/30/DJB/2020 tentang Petunjuk Teknis Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara dalam rangka Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik dan khusus untuk pengelolaan mineral ikutan Timah dan Nikel tercantum dalam Lampiran IV. Dengan sudah diterbitkannya petunjuk teknis dan melalui tulisan makalah ini, diharapkan pelaku usaha pertambangan khususnya yang bergerak pada komoditas timah dapat meningkatkan pemahamannya sehingga penerapan konservasi mineral khususnya pengelolaan mineral ikutan timah dapat menjadi lebih optimal. Harapan kedepan dengan potensi meningkatnya kebutuhan untuk industri baterai, mineral ikutan timah yang mengandung mineral strategis yaitu logam tanah jarang dapat untuk diusahakan dan dimanfaatkan, sehingga akan meningkatkan penerimaan negara dan juga terhadap ketahanan negara untuk kemandirian bangsa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami panjatkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menulis dan berpartisipasi dalam kegiatan ini walaupun di masa pandemi COVID-19 yang cukup berat di seluruh dunia dan khususnya Indonesia. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada PERHAPI yang telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021 dan kami juga mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Teknik dan Lingkungan Minerba, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM dan juga pelaksana industri pertambangan mineral dan batubara yang telah melakukan pelaporan terkait data-data konservasi serta

perusahaan pertambangan yang mengizinkan untuk dikunjungi untuk memberikan data dan wawasan pengetahuan yang dapat peneliti gunakan sebagai data pendukung.

DAFTAR PUSTAKA

Ichwan, A. (2018): Upaya Penerapan Konservasi Mineral Ikutan Timah. *Forum Group Discussion* Konservasi Mineral dan Batubara, Subdit Konservasi Minerba

Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara No. 182.K/30/DJB/2020 tentang Petunjuk Teknis Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara dalam rangka Pelaksanaan Kaidah Teknis Pertambangan Yang Baik.

Keputusan Menteri ESDM No. 1806.K/30/MEM/ESDM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyusunan, Evaluasi, Persetujuan Rencana Kerja dan Anggaran Biaya, serta Laporan pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara

Keputusan Menteri ESDM No. 1827.K/30/MEM/ESDM/2018 tentang Kaidah Teknis Pertambangan Yang Baik

Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2018 tentang Kaidah Pertambangan Yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Minerba

PT Timah, Tbk, (2021): Laporan Berkala Konservasi Tahun 2021 Unit Metalurgi Muntok

PT Timah, Tbk, (2021): Rencana Kerja Anggaran dan Biaya Tahunan (RKAB) 2021

PEMASANGAN *GRIZZLY SCREEN* UNTUK MENGURANGI KONTAMINASI BATU BARA PADA *OVER LAND CONVEYOR*

Gendhu Widyasmoro
Senior Mechanical Engineer Coal Processing and Handling Plant Engineering and Project Services Department - PT. Kaltim Prima Coal

ABSTRAK

KPC memiliki konveyor yang terbentang sepanjang 26 km dari Melawan sampai Tanjung bara. Masalah kontaminasi sering terjadi di sepanjang perjalanan rantai distribusi batu bara. Terutama saat batubara ditumpuk di dalam *stockpile* untuk keperluan *blending*, kontaminan sering terikut dalam batubara yang akan didistribusikan. Secara umum *grizzly screen* dipasang pada area *dumping hopper* batubara sebelum batubara dimasukkan ke dalam *crusher*. Namun demikian, *grizzly screen* pada *hopper dumping*, umum nya hanya menangkap *boulder,* sedangkan kontaminan yang terikut dalam pengiriman berukuran lebih kecil yang biasa berupa *concrete*, pipa atau bahkan batu yang lolos dari *grizzly screen hopper.* Dalam praktek dilapangan, *grizzly screen* belum pernah dicoba untuk dipasang pada area *transfer chute* batu bara. Dalam makalah ini disajikan pertimbangan dan perhitungan sederhana untuk mendesain *grizzly screen* pada *transfer chute* batu bara termasuk menentukan lebar *aperture* dari grizzly screen. Grizzly screen dipasang pada *transfer chute tail end Overland Conveyor* (OLC), selain menangkap kontaminan batu yang lebih besar dari *aperture*, ternyata *grizzly screen* juga menangkap kontaminan lain yang berupa pipa atau besi batangan yang tidak tertangkap oleh magnet separator, sehingga ini bisa mencegah kerusakan belt conveyor. Pemasangan *grizzly screen* pada *transfer chute* sangat bagus diterapkan pada rantai suplai batu bara, terutama pada *fix plant area.*

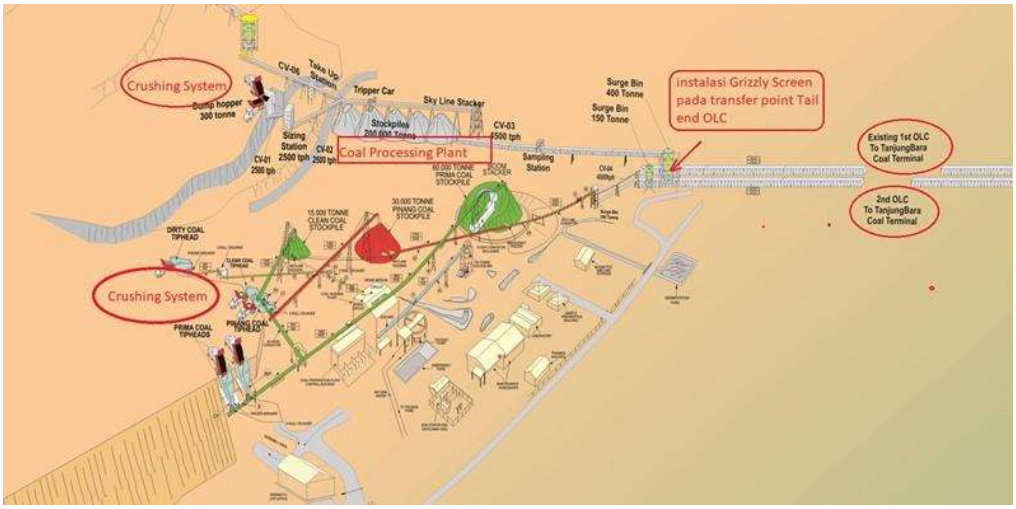
Kata Kunci : Grizzly Screen, Kontaminan, aperture

A. PENDAHULUAN

Dalam pengiriman batubara, kontaminan batu menjadi suatu hal yang tidak terpisahkan. Karena dalam penambangan batubara adakalanya batuan keras tercampur dalam proses alami pembentukan batubara. Proses pengiriman batubara secara *massive* pada *Plant* PT. Kaltim Prima Coal (PT. KPC), memungkinkan kontaminan batu terikut dan melewati *crusher system*. Beberapa pembeli mengirimkan keluhan terkait kontaminan batu yang mereka temukan setelah sampai di tempat pembeli, terutama batu yang berdiameter lebih dari 10 cm.

Untuk itu PT. KPC bermaksud memasang *screen* untuk meminimalisir kontaminan batu yang berdiameter melebihi 10 cm. Namun dari sekian banyak referensi terkait *screen* pada sistem konveyor, belum ada pembahasan mengenai instalasi *screen* untuk mengurangi kontaminan pada batubara. Adapun *grizzly screen* yang ada pada *crusher system* belum mencukupi untuk mengurangi kontaminan yang berukuran kurang dari 10 cm.

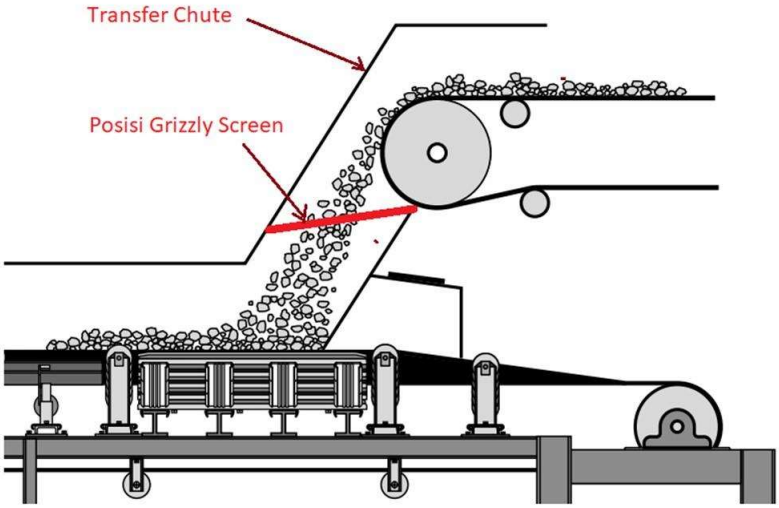
Dari observasi *conveyor system* yang ada di *plant* PT. KPC, percobaan instalasi *grizzly screen* dilakukan pada area *transfer point* setelah melalui *Coal Processing Plant* (CPP) sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Instalasi Grizzly Screen

Pemilihan lokasi pada area *transfer point* dikarenakan pada area ini dipastikan terdapat *chute* yang berfungsi untuk mengarahkan aliran batubara dan terdapat area dimana batubara jatuh bebas karena *gravitasi*, sehingga batubara dipastikan akan melalui *grizzly screen* yang terpasang.

Chute pada *transfer point* bisa dimanfaatkan sebagai struktur penopang *grizzly screen*. Secara umum rancangan instalasi *grizzly screen* pada *chute* di area *transfer point* di ilustrasikan Gambar 2.



Gambar 2. *Grizzly Screen* pada *transfer chute*

B. METODOLOGI

Sejauh ini tidak ada referensi terapan instalasi grizzly screen di OLC (Overland Conveyor). Untuk memecahkan masalah desain ini, maka digunakan perhitungan kapasitas screen secara umum sebagai dasar melakukan trial desain yang optimum. Tahapan tahapan yang dilakukan dalam riset pemasangan Grizzly screen ini adalah :

1. Study literature dan perhitungan untuk menentukan kapasitas minimum Screen.
2. Trial desain kapasitas Screen hasil perhitungan.
3. Observasi dampak grizzly screen terhadap sistem konveyor. Observasi meliputi frekuensi kejadian block chute, belt drift dan kapasitas actual konveyor.

B.1 Perhitungan kapasitas Grizzly Screen

Kapasitas *grizzly screen* adalah banyaknya material yang mampu melewati *screen* dalam satuan Ton per Jam (TPH). Dasar perhitungan kapasitas *grizzly screen* diambil dari makalah penelitian *Larry Olsen* dan *Bob Carnes* (Olsen, Larry., and Carnes, Bob., (2001): *Screen Capacity Calculation*, 86470 Franklin

Blvd., Eugene : JCI (ASTEC Company) Publishing). Namun dalam makalah penelitian tersebut *screen* yang dimaksud adalah *vibrating screen* dan berbentuk jala (*square*/ kotak).
Untuk *grizzly screen* sendiri belum ada penelitian maupun eksperimen yang dilakukan secara khusus. Sehingga perhitungan dalam tulisan ini adalah bentuk dari pendekatan untuk memecahkan masalah kontaminasi pada batu bara.
Secara umum formula yang digunakan dalam literatur adalah ;

$$[\![A = B * S * D * V * H * T * K * Y * P * O * W * F]\!] \quad (1)$$

Keterangan:
A = perhitungan kapasitas per kaki kuadrat dari area screen dalam Ton Per Jam (TPH)
B = Basic capacity per square foot in tons per hour (TPH)
S = Incline factor
D = Deck factor
V = Oversize factor
H = Half size factor
T = Slot factor
K = Material Condition factor
Y = Spray factor
P = Shape factor
O = Open Area factor
W = Weight factor
F = Efficiency factor

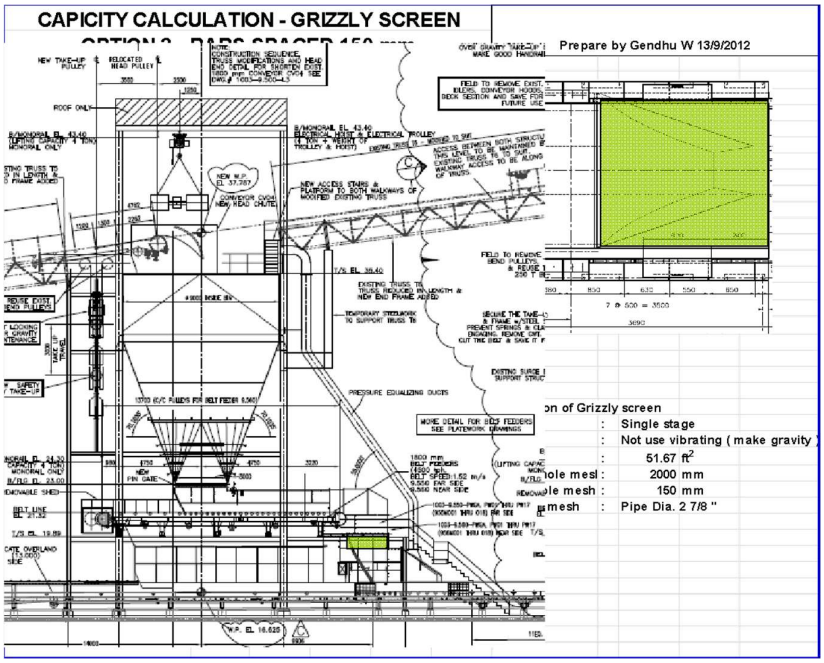
Dan untuk faktor-faktor yang berpengaruh kuat adalah :
TYP= Type of stroke factor
STR= Stroke length factor
TIM= Timing angle factor
RPM= Revolution per minute factor
NEA= Near size factor
BED= Bed depth factor

Sehingga formula yang berlaku jika ada factor- faktor yang berpengaruh, akan berubah menjadi seperti formula dibawah:

$$[\![A = B * S * D * V * H * T * K * Y * P * O * W * F * TYP * STR * TIM * RPM * NEA * BED]\!] \quad (2)$$

Dalam contoh perhitungan kapasitas dalam makalah ini akan dikemukakan contoh kasus desain screen OLC#2 plant Sangatta sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

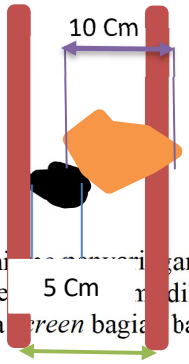
Tabel 1. Perhitungan dengan menggunakan EXCEL



Dengan menggunakan formula standar akan didapatkan kapasitas *screen* sebesar 2.621 TpH. Akan tetapi kapasitas conveyor OLC adalah 4.000 TPH. Hasil dari formula standar trial awal yang diobservasi pertama kali adalah di 2.500 TpH. Setelah pengamatan, kapasitas bisa naikkan secara bertahap mencapai 4000 TpH. Pada formula standar bentuk screen *square* (kotak) seperti jarring, sedangkan grizzly screen di KPC berbentuk *rectangle* (persegi panjang).

B.2 Penentuan Apperture (Lebar Bukaan):

Awal untuk menentukan lebar bukaan screen adalah dengan mengacu standar karakteristik batubara PT. KPC pada Standar KPC-G-02 Rev.5 disebutkan butiran batubara maksimum yang diperbolehkan adalah dengan diameter 5 Cm. Sehingga *Sizer* pada sistem conveyor KPC dirancang agar batu bara memiliki diameter lebih kecil atau sama dengan 5 cm (rata rata). Dengan asumsi, batu lebih keras dari batu bara, maka kemungkinan besar batu yang lolos akan melebihi 10 cm. Dengan mekanisme batuan yang membentur *grizzly screen* sebagaimana diilustrasikan dalam sket Gambar 3.



Gambar 3. Sket mekani[illegible]an kontaminan

Sehingga dengan lebar bukaan yang optimal be[illegible]diharapkan batu yang berdiameter lebih dari 10 cm, akan memantul dan tertangkap pada [illegible]*reen* bagia[illegible]bawah.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan hasil dari pemasangan *grizzly screen* ini berdasarkan keluhan dari pembeli batubara dan digabung selama pertahun.

Berikut data yang dikumpulkan oleh PT. KPC yang disajikan dalam Tabel 2.

Table 2. Jumlah keluhan kontaminan

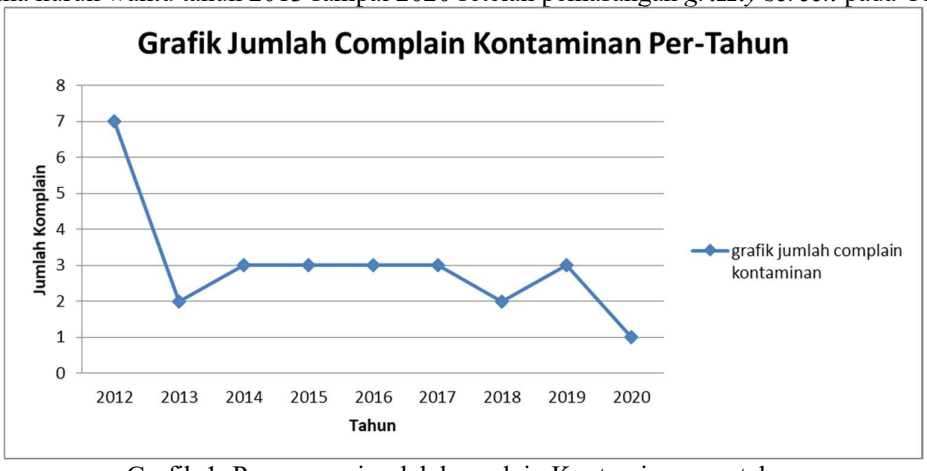
jumlah.	Date Complaint Received	BL Date	Category	Vessel Name	Buyer
1	27-Jan-12	15-Jan-12	*lump coal, rock and plastic*	EXXXX	CXXXX
2	2-Feb-12	22-Jan-12	*stone*	KXXXX	PXXXX
3	14-Feb-12	4-Feb-12	*Rock*	EXXXX	CXXXX
4	2-Mar-12	6-Feb-12	*Rock*	CXXXX	CXXXX
5	12-Jun-12	29-May-12	*Rock*	KXXXX	CXXXX
6	20-Aug-12	4-Aug-12	*Rock*	EXXXX	CXXXX
7	4-Oct-12	22-Aug-12	*Rock*	SXXXX	TXXXX
8	13-May-13	21-Apr-13	*Steel plate & Stone*	CXXXX	TXXXX
9	3-Mar-13	18-Oct-13	*Stone*	CXXXX	TXXXX
10	17-Jan-14	4-Jan-14	*Rock*	AXXXX	CXXXX
11	19-Jun-14	11-Jun-14	*Rock Contaminant*	CXXXX	GXXXX
12	15-Dec-14	29-Nov-14	*Rock contaminant*	GXXXX	GXXXX
13	20-Nov-14	20-Nov-14	*Rock contaminant*	MXXXX	PXXXX
14	18-Jun-15	18-May-15	*Metal and Rock Contaminant*	mXXXX	TXXXX
15	18-Jun-15	18-May-15	*Metal and Rock Contaminant*	mXXXX	TXXXX
16	15-Dec-15	17-Sep-15	*Rock contaminant*	MXXXX	NXXXX
17					
18	15-Mar-16	28-Feb-16	*Rock contaminant*	MXXXX	CXXXX
19	1-Sep-16	16-Jun-16	*Rock contaminant*	MXXXX	QXXXX
20	9-Sep-16	13-Aug-16	*Rocks Contaminant*	MXXXX	CXXXX
21	8-Mar-17	21-Jan-17	*Rock & metal Contaminant*	MXXXX	TXXXX
22	5-Apr-17	30-Mar-17	*(Rock and Tramp Iron contaminant)*	MXXXX	TXXXX
23	11-Apr-17	5-Mar-17	*(Rock contaminant)*	MXXXX	TXXXX
24	26-Apr-18	24-Mar-18	*Rock Contaminant*	MXXXX	TXXXX
25	13-Jul-18	8-Mar-18	*Red Stone Contaminant*	MXXXX	RXXXX
26	24-Jan-19	16-Jan-19	*Rock Contaminant*	MXXXX	PXXXX
27	30-Jan-19	18-Jan-19	*Rock Contaminant*	MXXXX	PXXXX
28	17-Dec-19	26/11/2019 & 02/12/19	*Rock Contaminant*	MXXXX	TXXXX
29	12-Feb-20	3-Feb-20	*Rock Contaminant*	MXXXX	CXXXX

Dari data keluhan pembeli batubara PT. KPC, apabila dihubungkan dengan data tahun pemasangan *grizzly screen* yang ada di *tail end* OLC maka didapatkan penurunan jumlah complain kontaminan batu sebagaimana disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data tahun pemasangan *Grizzly Screen*

No.	Tahun	Jumlah Keluhan Kontaminan	Tahun Pemasangan *Grizzly Screen*
1	2012	7	
2	2013	2	Operasional awal OLC#2 dan pemasangan *grizzly screen* OLC#2, mayoritas loading dari OLC#2 untuk *Commissioning* OLC#2
3	2014	3	pemasangan *grizzly screen* OLC#1
4	2015	3	pemasangan *grizzly screen* Bengalon
5	2016	3	
6	2017	3	
7	2018	2	
8	2019	3	
9	2020	1	

Dari Grafik 1 didapat hubungan penurunan jumlah keluhan dari pembeli batubara PT. KPC sebesar 60% selama kurun waktu tahun 2013 sampai 2020 setelah pemasangan *grizzly screen* pada OLC.



Grafik 1. Penurunan jumlah komplain Kontaminan per-tahun

D. KESIMPULAN DAN SARAN

D.1 Kesimpulan

Dari percobaan instalasi *grizzly screen* pada OLC di PT. KPC ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Grizzly Screen untuk menyaring kontaminan non-metal bisa diaplikasikan pada sistem conveyor dan tidak menyebabkan dampak significant pada conveyor.
2. Lebar *Aperture* atau bukaan *screen* ditentukan menurut diameter atau dimensi kontaminan yang ingin dihilangkan. Dalam observasi *Aperture* yang optimum adalah 15 cm.
3. Kontaminan batubara tidak bisa dihilangkan 100%, namun bisa ditekan dengan menggunakan *screen*.

D.2 Saran/ Rekomendasi:

Dalam mendesain *grizzly screen*, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. Kemungkinan terjadinya *block chute*. Masalah yang sering terjadi di dalam *transfer chute* adalah *blocking chute* atau chute tersumbat oleh batubara. Dengan pemasangan screen, kemungkinan terjadi *block chute* akan semakin besar. Untuk itu, deteksi dini sebelum batubara memenuhi chute adalah dengan reposisi *tilting switch* di area *screen*.
2. Ketahanan material yang digunakan untuk *screen*.
   Material untuk pembuatan *screen* ini harus tahan aus, karena apabila terjadi kerusakan pada *grizzly screen* akan berpengaruh pada rusaknya belt conveyor.
3. Kemudahan atau akses/ cara pengambilan kontaminan yang tertangkap oleh *screen*;
   Kontaminan atau material yang tidak diinginkan ini akan mengurangi luasan dari *screen*, sehingga apabila menumpuk akan menghambat aliran batubara. Oleh karena itu akses untuk *maintenance* (pembersihan *screen* dan penggantian *spare part screen*) harus dipertimbangkan oleh desainer.
4. Korelasi penurunan komplain dan efektifitas grizzly screen:
   Penelitian dan percobaan mengenai grizzly screen lebih lanjut diperlukan untuk menetapkan formula dan perhitungan yang lebih mendekati dengan kondisi aktual. Grafik penurunan komplain tidak mencerminkan efektivitas grizzly screen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021.
2. Team PERHAPI kutai Timur PT. KPC yang telah memfasilitasi untuk berpartisipasi menuangkan ide ide engineering.
3. Rekan rekan sejawat yang telah memberikan saran dan berbagi pengetahuan mengenai ilmu Conveyor

DAFTAR PUSTAKA

CEMA (Conveyor Equipment Manufacturer Association). (July, 2002). *Belt Conveyors for Bulk Materials, Fifth Edition.* United States of America*:* CEMA Publishing

KPC Standards Specification KPC-G-02 Revision 5. (Maret, 2013). *Standard Specifications for Coal Characteristics.* East Kalimantan: PT. Kaltim Prima Coal.

Olsen, Larry., and Carnes, Bob., (2001): *Screen Capacity Calculation*, 86470 Franklin Blvd., Eugene : JCI (ASTEC Company) Publishing.

Swinderman, R. Todd, P.E., and Goldbeck, Larry J., (2002). Foundation: *The Practical Resource for Total Dust Suppression and Material Control*, Neponset, Illinois 61345 ,USA: Martin Engineering

PERANCANGAN DAN EKSPERIMENTASI ALAT MEJA ANGIN *(AIR TABLE)* UNTUK PEMISAHAN MINERAL BIJIH TIMAH SECARA *GRAVITY CONCENTRATION*

[1)]Taufik Arief*, [2)]Hasjim Machmud, [3)]Elda Permata Sari

[1 – 3)] Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Inderalaya South Sumatra, Indonesia

E-mail: *[1] arieftaufik701@gmail.com

ABSTRAK

Meja angin *(air table*) adalah alat yang memanfaatkan metode *gravity concentration* untuk memisahkan mineral berharga dengan mineral pengotor berdasarkan perbedaan berat jenis (BJ) termasuk perbedaan bentuk *(shape)* dan ukuran *(size)* dengan menggunakan media angin. Alat ini berbentuk meja digerakkan secara mekanis dengan menggunakan media udara/angin. Proses *air table* dilakukan secara kering (*dry process*) dan produk yang dihasilkan berupa konsentrat, middling dan tailing. Dalam upaya memenuhi kebutuhan praktikum mahasiswa dan penelitian untuk tugas akhir di Jurusan Teknik Pertambangan, khususnya di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, telah dilakukan kegiatan perancangan alat meja angin.Tujuan penelitian ini adalah perancangan alat *air table* dimulai dari desain dan pembuatan meja hingga perhitungan dan pembuatan komponen utama lainnya yaitu motor penggerak dengan sistem *pulley* dan mesin angin *(blower machine)*. Untuk mengetahui keberhasilan perencanaan dan evaluasi kinerja alat *air table*, maka dilakukan eksperimentasi dengan memanfaatkan beberapa kombinasi variabel. Proses eksperimentasi alat dilakukan pengujian dengan menggunakan sampel bijih timah Sisa Hasil Pencucian (SHP) di PPBT Toboali, PT Timah Tbk. Pada percobaan awal dilakukan beberapa kombinasi variabel antara lain; kemiringan meja berat feed (gram), dan waktu proses (menit). Dari hasil eksperimentasi menunjukkan bahwa kinerja alat menunjukkan kinerja yang baik tetapi belum optimal dimana perolehan konsentrat terendah dicapai 50,20 % dan perolehan tertinggi sebesar 71,18% pada kemiringan 4,2°, berat feed 500 gram dan waktu proses 25 menit. Dari evaluasi kinerja menunjukkan bahwa alat *air table* sudah berfungsi relatif baik, tetapi diperlukan perbaikan dan pengaturan variabel yang lebih variatif dan sampel dan jumlah bijih timah yang representatif, sehingga dapat menghasilkan perolehan dan kadar yang lebih maksimal.

Kata kunci : *Air Table, Deck, Head Motion, Blower Machine*

ABSTRACT

Air table is a tool that utilizes the gravity concentration method to separate valuable minerals from impurity minerals based on differences in specific gravity (BJ) including differences in shape and size of by mineral by using air media. This tool is in the form of a table that is moved mechanically by using air/wind media. The air table process is carried out in a dry process and the resulting products are concentrates, middling and tailings. In an effort to meet the needs of student laboratory activities and final project at the Department of Mining Engineering, especially at the Mineral Processing Laboratory of the Sriwijaya University, an air table was designed. The purpose of this research is to design an air table device starting from the design and manufacture of the table to the calculation and manufacture of other main components, namely the driving motor with a pulley system and a blower machine.To determine the success of the design and performance evaluation of the air table, experimentation was carried out by utilizing several combinations of variables. the experimental process of the tool was tested using samples of tin ore left over from washing at PPBT, PT Timah Tbk. In the initial experiment, several combinations of variables were carried out, including; the slope of the table feed weight (grams), and processing time (minutes). The experimental results showed that the performance of the tool was

good but not optimal in which the lowest concentrate recovery was achieved at 50.20% whilst the highest recovery was at 71.18% with variables of deck slope of 4.2°, feed weight of 500 grams and processing time of 25 minutes. The performance evaluation showed that the air table was functioning relatively well, but it still needed improvements, more varied variable settings, and a representative amount of tin ore sample, so that it can produce maximum concentrates recovery and grades.

***Keywords**: Air Table, Deck, Head Motion, Blower Machine*

A. PENDAHULUAN

A.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumberdaya alam termasuk sumberdaya mineral logam. Kesadaran akan banyaknya mineral logam mendorong bangsa Indonesia untuk memanfaatkannya secara efektif dan efisien. Dalam UU Nomor 3 tahun 2020 tentang Pertambangan Minerba, pengolahan adalah upaya meningkatkan mutu komoditas tambang mineral untuk menghasilkan produk dengan sifat fisik dan kimia yang tidak berubah dari sifat komoditas tambang asal untuk dilakukan pemurnian atau menjadi bahan baku industri. Dalam pemanfaatannya tentu menggunakan metode dan teknologi yang sesuai berdasarkan sifat dan karakteristik mineral tersebut, sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal. Salah satu metode yang digunakan adalah *gravity concentration*.

Metode *gravity concentration* merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan mineral logam berdasarkan berat jenis antara mineral utama dan mineral pengotornya melalui suatu medium baik air (*water)* maupun angin. *Air table* adalah alat untuk memisahkan mineral berharga (konsentrat) dengan mineral pengotor (tailing) berdasarkan perbedaan berat jenis *(density),* bentuk *(shape)* dan ukuran *(size)* partikel mineral dengan menggunakan media angin**.** Alat ini berbentuk meja digerakkan secara mekanis dengan menggunakan media udara/angin. Proses *air table* dilakukan secara kering *(dry process*) dan produk yang dihasilkan berupa konsentrat, middling dan tailing.(Kelly, 1982). Prinsip pemisahan mineral pada alat *air table* (meja angin) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jumlah/berat feed, kemiringan *deck,* diameter lubang *dan* tekanan *blower*, panjang pukulan/jumlah pukulan per menit/panjang frekuensi getaran. (Burt, 1984).

Alat *air table* digerakkan oleh *head motion* yang diatur berdasarkan kecepatan RPM *(revolutions per minutes).* Gerakan yang dihasilkan berupa gerakan *eccentric* dengan arah horizontal terhadap *head motion*, sehingga memberikan gaya hentak maju mundur pada *feed*. Alat ini memanfaatkan perbedaan berat dan ukuran partikel terhadap gaya gesek akibat aliran *udara/angin (blower machine)* yang memberikan gaya dorong vertikal terhadap partikel/mineral. Aliran udara yang dihembuskan mengurangi gaya gesekan antara partikel dan permukaan meja; yang ditutupi kain tetoron 2000 tersebar. Pada permukaan meja pemisahan mineral terjadi, dimana semakin ringan dan halus partikel, semakin besar pengurangan gesekan. Seperti halnya peralatan konsentrasi gravitasi lainnya, pengaruh ukuran umpan merupakan faktor penting dalam keberhasilan proses pemisahan.

Splitter (penghalang) dipasang pada permukaan *deck* (meja) untuk membentuk persegi dan dipasang pada tiga zona yaitu zona untuk mengatur pergerakan mineral berat/BJ besar (ke arah atas meja/*deck*), zona middling untuk mengatur pergerakan mineral sedang dan zona tailing untuk mineral ringan /BJ ringan (ke arah bawah meja/*deck*). Fungsi dari ketiga *splitter* /penghalang akan dibuka setelah massa mineral berproses kemudian menumpuk di pintu *(gate)* masing-masing zona. Dalam upaya memenuhi kebutuhan alat *processing air table* dan untuk memenuhi kegiatan praktikum mahasiswa serta penelitian untuk tugas akhir di Jurusan Teknik Pertambangan khususnya di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian milik FT Universitas Sriwijaya, maka dilakukan kegiatan perancangan alat *air table*.

Perancangan alat *Air table* (meja angin) dimulai dari desain dan pembuatan *deck*/meja kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dan pembuatan komponen utama dan penting lainnya antara lain motor penggerak *(head motion)* dan mesin *blower*.

Kegiatan perencanaan dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian Indralaya Jurusan Pertambangan dan di Palembang. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan perencanaan dan fungsi dari alat air table dilakukan evaluasi kinerja alat *air table*, maka dilakukan eksperimentasi dengan memanfaatkan beberapa kombinasi variabel yang penting dan mempengaruhi pemisahan seperti kemiringan *(slope deck),* Jumlah feed, tekanan udara, diameter lubang hole dan panjang pukulan). Perancangan teknologi alat air table ini dibuat dalam skala laboratorium dan eksperimentasi juga dalam skala laboratorium terhadap kondisi variabel-variabel operasi *air table* yang digunakan sehingga dapat diperoleh kesesuaian yang baik dalam meningkatkan perolehan (*recovery)* mineral utama dari bijih. Sampel yang digunakan pada pengujian/eksperimental adalah bijih timah yang berasal dari sisa hasil pencucian (SHP) PPBT *washing plant* Toboali PT Timah Tbk Pulau Bangka. Kemudian hasil dari perancangan dan eksperimentasi dilakukan evaluasi kinerja *(performance)* alat *air table* agar kondisi yang optimum perolehan dan kadar dapat dicapai.

A.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari perancangan dan eksperimentasi alat *air table* (meja angin) ini antara lain :

a. Melakukan perancangan bagian utama *air table* (meja angin) yang dimulai desain dan pembuatan meja (*deck)* , lubang meja *(hole), splitter* dan desain *feed hopper*
b. Melakukan pengukuran dan perhitungan daya sistem mesin penggerak dengan sistem *pulley* alat *air table* (meja angin) yang digunakan dalam pemisahan bijih timah.
c. Menganalisis dan mengevaluasi hasil eksperimentasi dari kinerja/fungsi dari alat *air table* (meja angin) yang digunakan dalam pemisahan bijih timah.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2020 – November 2020. Lokasi kegiatan perancangan dan perakitan dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Kampus Universitas Sriwijaya Inderalaya Ogan Ilir Sumatera Selatan. Kegiatan pengambilan sampel bijih timah dilakukan di Pusat Pengumpulan Bijih Timah (PPBT) Sisa Hasil Pencucian (SHP) Toboali PT Timah Tbk Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Penelitian ini difokuskan pada dua kegiatan utama yaitu kegiatan perancangan dan eksperimentasi pengujian alat untuk mengetahui fungsi alat *air table* yang dirancangan dan variabel-variabel yang digunakan dalam eksperimentasi adalah variabel kemiringan meja *(slope of deck)* dan laju umpan (*feed)* bijih timah.

1. **Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan bahan-bahan pustaka yang berkaitan dengan penelitian perancangan alat *air table* untuk mempermudah kegiatan penelitian.

2.***Survey*** **dan** ***Sampling***

Survei atau pengamatan langsung merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan studi banding di PT Timah Tbk. Kegiatan ini bertujuan melihat secara langsung pemanfaatan teknologi *air table*, sebagai teknologi untuk memisahkan bijih timah dengan pengotornya. Hasil pengamatan di lapangan digunakan sebagai parameter utama dalam pembuatan rancangan dan modifikasi alat *air Table* tersebut. Selain itu, pada kegiatan ini dilakukan pengukuran terhadap komponen alat *air Table* yang akan dirancang dan dimodifikasi skala laboratorium. Ukuran masing-masing komponen penting dalam *Air table* digunakan untuk data pembuatan desain rancangan. Lokasi *sampling* bijih timah diperoleh dari *Stockpile* Sisa Hasil Pencucian (SHP) *Washing Plant* Toboali PT Timah Tbk dan *sampling* dilakukan dengan cara *auger hand drill* (gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Pengambilan Sampel Bijih Timah di Stockpile Sisa Hasil Pencucian (SHP) PPBT Tobolai PT Timah Tbk (Dokumentasi, 2020)

3. Kegiatan Perancangan dan Modifikasi Alat *Air Table* (Meja Angin)

Kegiatan perancangan alat *air table* dilakukan berdasarkan evaluasi informasi hasil pengamatan dan literatur yang yang telah dikumpulkan. Dari evaluasi tersebut, fokus perakitan alat *air table* adalah meliputi 3 komponen penting, yaitu komponen pertama : mendesain meja /*deck* berukuran 190 cm x 90 cm dan semua komponen penting lainnya. Komponen kedua mesin *blower* (*output* 6 inci) terkoneksi dengan permukaan *deck* diletakkan dibawa meja *(deck),* sehingga tekanan udara/angin dapat dihembuskan maksimal ke seluruh permukaan meja. Komponen ketiga adalah mesin penggerak *(head motion)* dengan menggunakan elektrik motor sistem *pulley* sehingga meja akan bergerak searah dengan pergerakan mineral yang akan dipisahkan dengan panjang pukulan < 5 cm. Bagian-bagian penting alat *air table* yang dirancang dan dirakit adalah sebagai berikut :

(a) Perancangan Meja *(deck)* dan Komponen Pendukung

Meja*(deck) air table* dirancang dan dibuat menggunakan bahan dasar kayu/papan/triplek. Jenis kayu yang digunakan adalah triplek berkualitas A dengan ketebalan 12 mm. Pemilihan jenis *triplek keras* ini dilihat dari keunggulan sifat ketahanannya terhadap abrasi yang tinggi. *Deck* didesain dengan ukuran 190 cm x 90 cm.

Komponen penting yang dibuat pada permukaan *deck*, yaitu *splitter*, sekat dan *launder* dan *hopper* (corong) umpan *(feed).*

(b) Perancangan Mesin Blower

Mesin blower terkoneksi dengan permukaan *deck* yang berada dibawah, sehingga udara secara maksimal dapat dihembuskan melalui lubang *(hole).* Akibat hembusan udara dari *blower* akan mengakibatkan pergerakan mineral sesuai dengan berat jenis, ukuran dan bentuknya.

(c)* Perancangan Alat Penggerak *(Head motion)

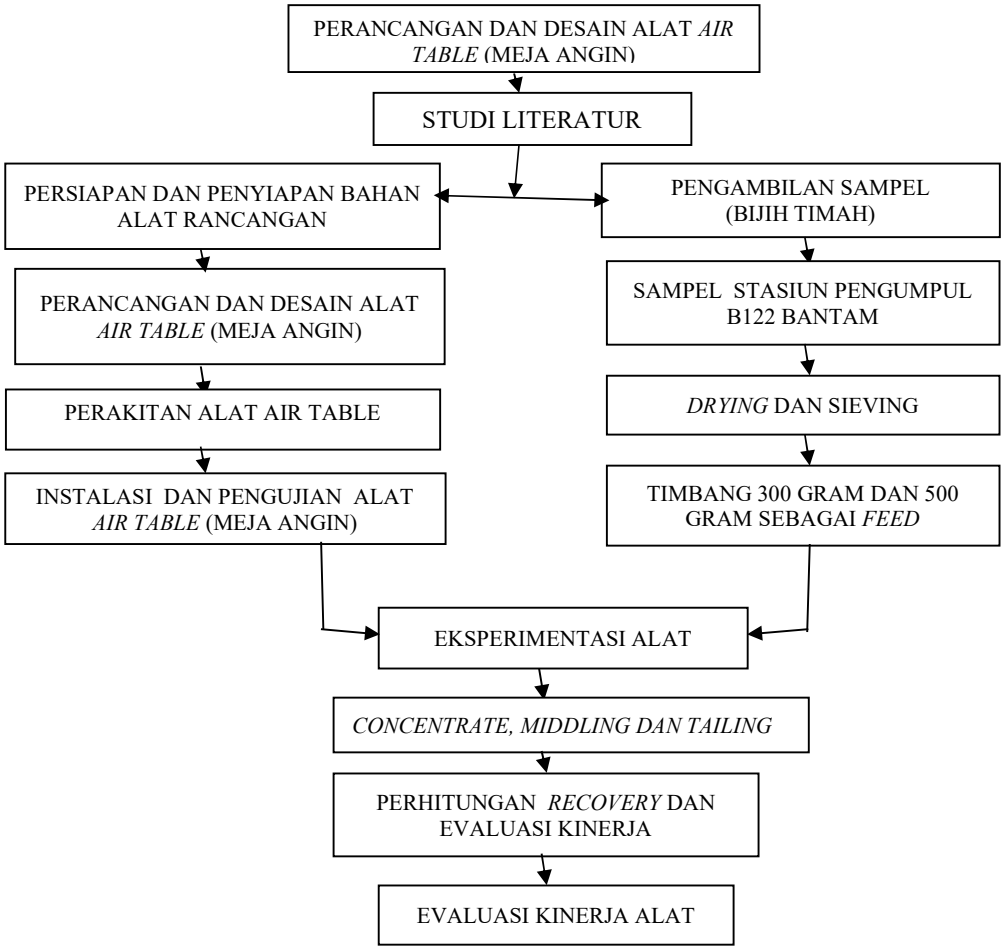
Mesin penggerak *(head motion)* dirancang dan didesain agar elektrik motor dengan sistem penggerak *pulley* dapat menggerakkan meja dengan panjang pukulan yang di *setting* sehingga menghasilkan jumlah pukulan per menit (RPM) yang sesuai dengan yang direncanakan. Mineral diatas permukaan dapat mengalami pergerakan sesuai dengan BJ, ukuran dan bentuknya.

(d) Eksperimentasi

Alat yang didesain dan dirakit kemudian akan di *install* (dipasang) yang terkoneksi dengan listrik 3 *phase* agar semua sistem dapat bekerja. Kemudian alat yang sudah terpasang dilakukan eksperimentasi dengan pengujian sampel bijih timah yang berasal dari SHP PPBT Toboali PT Timah Tbk dengan kombinasi variabel agar dapat dihitung perolehan *(recovery)* dan kadar yang didapat.

(e) Evaluasi Kinerja Alat

Hasil eksperimentasi dilakukan penilai kinerja *(performance)* alat agar dapat bekerja dan berfungsi optimal dapat memisahkan mineral bijih timah dan pengotornya.



Gambar 2. Bagan alir penelitian perancangan alat *air table*

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dibagi dalam dua tahapan besar yaitu Tahap I adalah kegiatan perancangan, perakitan dan instalasi Alat/Teknologi *air table* (meja angin) dan Tahap II adalah kegiatan eksperimentasi yaitu percobaan pengujian sampel bijih timah asal Sisa Hasil Pencucian (SHP) *Washing Plant* Toboali PT Timah Tbk Bangka dalam skala laboratorium, dengan variabel yang digunakan adalah kemiringan *(slope of deck),* waktu proses *(time process)* dan laju pengumpanan (*feed rate)*

Kegiatan Perancangan meja (*deck)* dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian di Inderalaya dan pengukuran dan instalasi mesin dilaksanakan di bengkel mesin di Palembang. Untuk kegiatan eksperimentasi dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian Kampus Universitas Sriwijaya Inderalaya. Tahapan dan bagian-bagian penting perancangan dan instalasi dapat diuraikan dalam deskripsi teknis dibawah ini.

1. Hasil Perancangan Meja *(deck)*

Dalam kegiatan perancangan awal adalah pembuatan meja *(deck) air table* dilakukan melalui 4 tahapan dan bagian-bagian penting, yaitu :

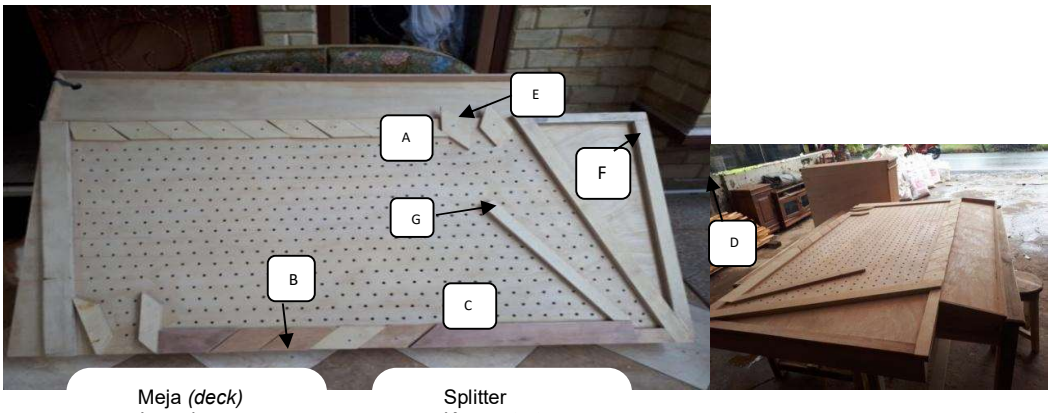
a. Meja/Deck

Meja (*deck) air table* dirancang dan dibuat menggunakan bahan dasar kayu/papan/triplek tebal yang berkualitas. Jenis kayu yang digunakan adalah triplek berkualitas A dengan ketebalan 12 mm. Pemilihan jenis triplek keras ini dilihat dari keunggulannya dengan sifat ketahanan terhadap abrasi yang tinggi.

Permukaan meja (d*eck)* didesain dengan ukuran 190 cm x 90 cm.

b. *Lubang Angin (hole deck)*

Lubang angin (*hole deck) air table* berfungsi untuk media masuk udara/angin yang dihembuskan oleh *blower*. Lubang angin dibuat tersebar diatas permukaan meja dengan diameter lubang 7 mm. Angin atau tekanan udara yang akan dihembuskan dari mesin *blower* ke atas permukaan meja melalui lubang dan menembus kain jenis **tertoron** 2000 yang sudah ditempatkan diseluruh permukaan meja *(deck).* Akibat tekanan udara dari *blower* tersebut mengakibatkan mineral-mineral diatas permukaan meja akan mengalami pergerakan dan terpisah sesuai dengan berat jenisnya, dimana yang berat akan menuju ke arah atas dan yang ringan akan menuju ke bawah menuju *launder tailing* dan *middling*.



Gambar 3. Rancang dan desain meja *(deck) air table* berukuran : 190 cm x 90 cm

c. *Splitter (s*ekat)

Splitter atau sekat dibuat dengan menggunakan bahan dari kayu /triplek dengan ketebalan 3 cm dan p x l : 5 cm x 15 cm. Posisi *splitter* dibuat diatas permukaan meja *(deck) air table* dan diletakkan pada 4 bagian utama yaitu : **sekat 1** untuk mengatur laju umpan/sampel dari *hopper*, sekat 2 untuk mengatur laju konsentrat bagian atas meja, dan sekat 3 dan 4 pada bagian bawah untuk mengatur laju massa *tailing* dan massa *middling.* Dimensi sekat *(splitter)* adalah tebal 3 cm, panjang 15 cm dan lebar 10 cm. Pemasangan *splitter* di atas *deck* diatur dengan sistem buka tutup sesuai dengan kondisi pada saat pemisahan mineral *(mineral separation)* sudah berjalan normal/baik.

d. *Launder*

Launder atau wadah penampung hasil konsentrasi dibagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian atas, dan 2 di bagian bawah. *Launder tailing* dan *middling* dipasang pada bagian bawah dan ujung bawah meja. *Launder* konsentrat dipasang pada ujung atas, dan setiap launder memiliki lubang/pintu (*gate)* untuk menjatuhkan hasil konsentrasi.

e . *Hopper*

Hopper berfungsi untuk mengatur umpan yang masuk. *Hopper* diletakkan diatas meja pada posisi atas. *Hopper* terbuat dari plat tipis dengan diameter 25 cm dan panjang 40 cm. Pada *hopper* ditambahkan kran pengatur laju umpan, kemudian setelah umpan masuk kemeja dibuat sekat pada sisi kiri untuk mengatur laju umpan. Umpan akan bergerak secara teratur menuju ke pusat pemisahan sesuai dengan arah pergerakan konsentrat, middling dan tailing.

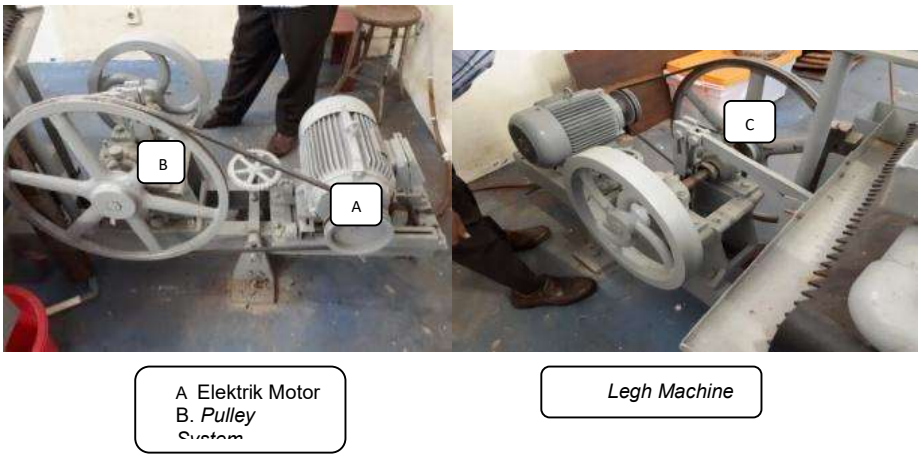
f. ***Blower Machine***

Blower salah satu bagian penting dalam alat *air table* berfungsi untuk menghembuskan udara dengan tekanan tertentu dengan kapasitas daya *blower* 550 watt, dialirkan dengan listrik dengan tegangan 220 volt, tekanan *(pressure)* : 600 Pascal, 2,8 Amphere, load speed : 3000 RPM dan diameter *output*

: 102 mm (4 inchi). *Blower machine* diletakkan dibawah meja (*deck)*, dengan sistem tertutup dan alat ini akan memberikan tekanan udara dari bawah menembus lubang (*hole deck)* sehingga dapat menebar mineral diatas permukaan meja.

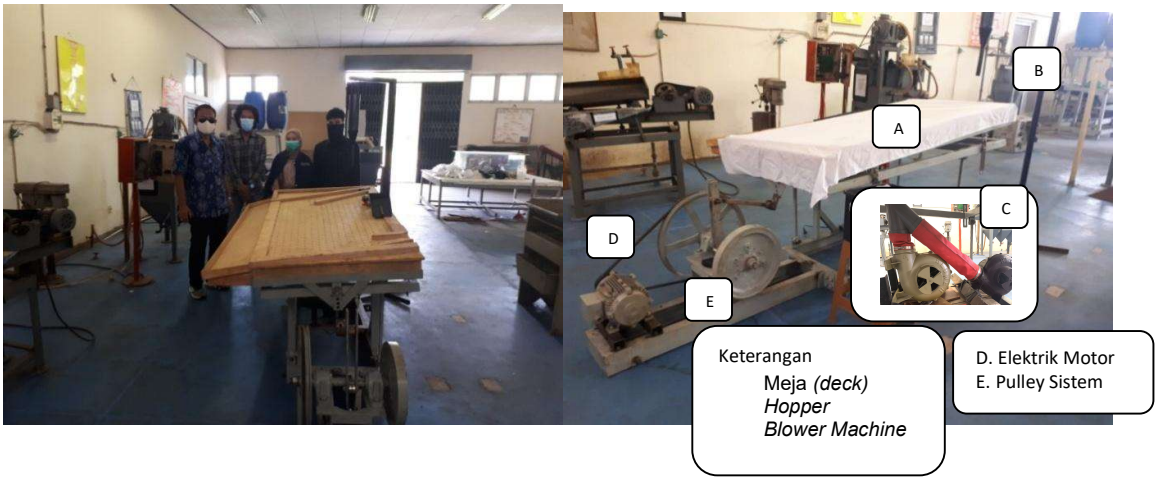
2. Tahapan dan Hasil Perancangan Mesin Penggerak *(Head Motion)*

Mesin penggerak *(head motion)* berfungsi untuk menggerakkan meja (*deck)* yang sudah dirancang dengan daya yang diukur. Elektrik motor yang dipasang untuk menjalankan alat *air table* adalah mesin dengan jenis *three phase induction motor type* C122M-4. Kecepatan yang dihasilkan dari motor jenis ini adalah 1440 rpm. Mesin motor ini memiliki daya yang menggerakkan meja dengan sistem tenaga melalui *pulley system* sehingga akan menghasilkan panjang pukulan 5 cm dan jumlah pukulan sekitar 140 panjang pukulan per menit dengan daya motor 5 Hp dan tegangan 220/380 V (3 phase).



Gambar 4. Sistem penggerak *air table* elektrik motor sistem *pulley*.

3. Hasil Rancangan Sistem alat *Air Table*



Gambar 5. Hasil Perancangan Alat *Air Table* yang telah Terinstal di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian

Hasil perancangan dan perakitan alat *air table* seperti gambar 5 sudah tersistem dan siap difungsikan. Mekanisme pemisahan bijih timah pada alat *air table* dipengaruhi oleh komponen utama antara adalah meja (*deck),* mesin *blower* dan mesin penggerak *(head motion),* selain itu komponen lain yaitu sistem *hopper dan devider*. *Hopper* dan *divider*, berfungsi untuk mengatur laju umpan yang disesuaikan dengan kapasitas. Mesin *blower* berfungsi untuk menghembuskan udara ke atas meja (*deck)* melalui lubang

(*hole deck)* berdiameter 6 mm. Mesin *blower* dengan diameter *exhaust* 4 inchi, dimana tekanan udara akan masuk melalui pipa kemudian akan didistribusi ke seluruh permukaan meja *(deck)*. Tekanan udara dapat di *setting* dari rendah ke tinggi, tergantung pada kondisi percobaan. Mesin penggerak berkekuatan 1440 rpm melalui elektrik motor sistem *pulley* berfungsi menggeser meja *(deck)* dengan panjang pukulan 6 mm dan jumlah pukulan 120 – 140 PP per menit, sehingga mineral diatas meja akan mengalami pergerakan (bermanuver) dengan tekanan udara dari blower mengakibatkan mineral yang mempunyai BJ yang tinggi akan terpisah dengan BJ rendah *(gravity concentration)*. Setelah kondisi mineral di atas permukaan meja/*deck* terjadi pemisahan, *splitter* (sekat) akan dibuka, dan mineral akan masuk ke *launder* masing-masing yaitu konsentrat, middling dan tailing.

.

2. Hasil Eksperimentasi Alat *Air Table*

Dalam penelitian eksperimental bertujuan untuk mengetahui kinerja alat *air table* apakah berfungsi dengan baik atau tidak, sehingga akan dijadikan evaluasi agar nantinya alat *air table* dapat bekerja maksimal. Dalam eksperimentasi sampel yang digunakan adalah bijih timah asal PT Timah Tbk di Pulau Bangka. *Sampling* bijih timah *low grade* sisa hasil pencucian (SHP) dilakukan di Stasiun Pengumpul *Washing Plant* Toboali seberat 40 Kg. Hasil analisis *size distribution* sampel bijih timah rata-rata berukuran ; - 40 # , 60 #, 70#, 100# dan -100#. Dalam pengujian eksperimentasi bijih timah, variabel utama yang digunakan adalah kemiringan meja *(slope* of *deck)*. Kemiringan meja (*slope of deck*) adalah variabel utama untuk memisahkan mineral berharga dan mineral pengotor berdasarkan perbedaan BJ *(gravity concentration)*. Proses pemisahan dan pergerakan (manuver) bijih timah dapat diformulasikan pada persamaan 1, dimana gaya dorong mineral yang akan dipisahkan tergantung pada massa, kecepatan gravitasi dan kemiringan *(slope of deck)*.

$$F = m.\ g.\ Sin \qquad (1)$$

Keterangan :
F = gaya dorong
m= massa umpan /berat umpan (kg)
g = percepatan gravitasi (9,8 kg m per detik²)
$\boldsymbol{\alpha}$ = kemiringan meja *(slope of deck)*
Standar kemiringan *deck* = 1° – 5 ° (Wills, 2012)

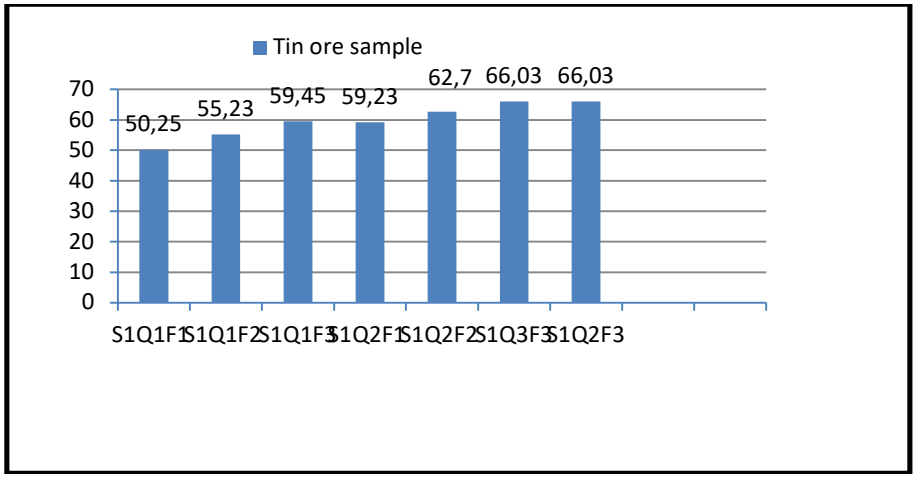
Variabel lain penelitian ini selain kemiringan *deck (slope of deck)* dan kecepatan laju pengumpanan. Setiap variabel dilakukan uji coba sebanyak tiga variasi sehingga masing-masing kombinasi menghasilkan 6 variasi kombinasi. Rancangan penelitian dalam eksperimentasi pemisahan bijih timah *low grade* asal SHP Washing Plant Toboali Bangka dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Eksperimentasi dilakukan dengan mengatur variabel alat *air table* (meja angin).
- Variabel yang dijadikan parameter dalam penelitian ini adalah kemiringan *deck*, laju pengumpanan (gram) dan waktu proses (menit)
- Setiap variabel dilakukan uji coba sebanyak 5 variasi sehingga masing-masing kombinasi menghasilkan 18 variasi kombinasi.
- Kemiringan *meja* yang digunakan adalah 2,2˚, 3,5˚dan 4,2˚.
- Massa umpan : 300 gram dan 500 gram
- *Feed* yang digunakan sebanyak untuk setiap eksperimentasi dengan variasi waktu proses selama : 20 menit dan 25 menit
- Hasil eksperimentasi didapat 3 produk yaitu konsentrat, middling dan tailing. Kemudian dilakukan penimbangan dan pengujian untuk mengetahui *recovery* dan kadar.

Dari hasil percobaan variasi kombinasi variabel kemiringan meja (2,2°, 3,5° dan 4,2°), diperoleh hasil seperti ditampilkan pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

Tabel 1.Hasil eksperimentasi pada kemiringan meja *(slope of deck)* 2,2°

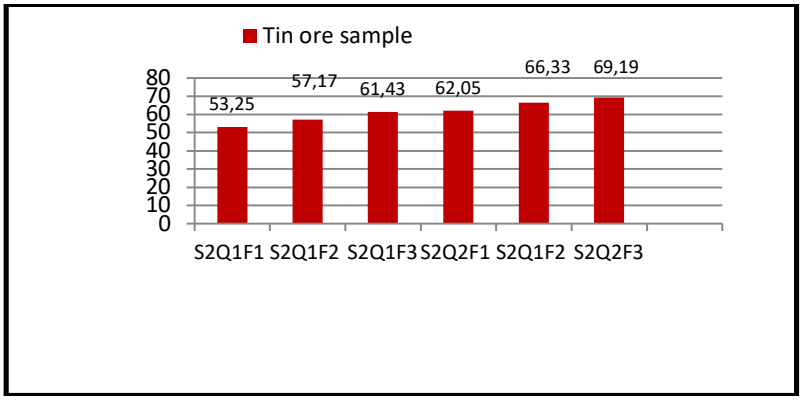
	Kemiringan Meja **S** (˚)	Berat Feed **Q** (Gram)	Waktu Proses (menit) **F**	Kombinasi Variabel	*Recovery* (%)
	1). 2,2	1). 300	1). 20	S1Q1F1	50.20
			2). 25	S1Q1F2	55.23
			3). 30	S1Q1F3	59,45
		2). 500	1). 20	S1Q2F1	59.23
			2). 25	S1Q2F2	62.70
			3). 30	S1Q3F3	66,03



Gambar 6. Grafik Perbandingan Variasi Umpan dengan *Recovery* pada Kemiringan Meja 2,2°

Table 2. Hasil eksperimentasi pada kemiringan meja *(slope of deck)* 3,5°

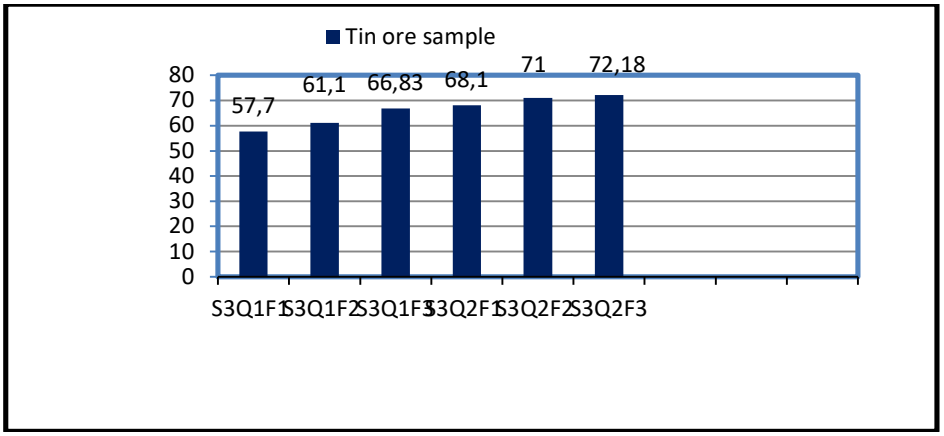
Kemiringan Meja **S** (˚)	Berat Feed **Q** (Gram)	Waktu Proses (menit) **F**	Kombinasi Variabel	*Recovery* (%)
1). 3,5	1). 300	1). 20	S2Q1F1	53.25
		2). 25	S2Q1F2	57,17
		3). 30	S2Q1F3	61,43
	2). 500	1). 20	S2Q2F1	62,05
		2). 25	S2Q2F2	66,33
		3). 30	S2Q2F3	69,19



Gambar 7. Grafik Perbandingan Variasi Umpan dengan *Recovery* pada Kemiringan Meja 3,5°

Table 2. Hasil eksperimentasi pada kemiringan meja (*slope of deck)* 4,2°

Kemiringan Meja **S** (˚)	Berat Feed **Q** (Gram)	Waktu Proses (menit) **F**	Kombinasi Variabel	*Recovery* (%)
1). 4,2	1). 300	1). 20	S3Q1F1	57,7
		2). 25	S3Q1F2	61,13
		3). 30	S3Q1F3	66,83
	2). 500	1). 20	S3Q2F1	68,1
		2). 25	S3Q2F2	71
		3). 30	S3Q2F3	72,18



Gambar 8. Grafik Perbandingan Variasi Umpan dengan *Recovery* pada Kemiringan 4.2 °

Dari hasil percobaan pengujian sampel bijih timah asal *stockpile* SHP *Washing Plant* Toboali PT Timah, Tbk, Pulau Bangka, dengan variabel kombinasi kemiringan meja *(slope of deck)* : 2,2°, 3,5° dan 4,2°, massa umpan adalah 300 gr, 500 gr dan waktu pemrosesan adalah 20 menit, 25 menit. Recovery terendah diperoleh pada percobaan I pada kombinasi variabel S1Q1F1 (2,2°, 300 gr dan 20 menit) sebesar 50,20% sedangkan *recovery* tertinggi diperoleh pada Percobaan 3 sebesar 71,18% yang dengan kombinasi variabel S3Q2F2 yang dicapai pada kemiringan meja *(slope of deck)* 4,2°, massa umpan 500 gram dan waktu pemrosesan 30 menit.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. **Kesimpulan**

Dari hasil uraian dan analisis tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Perancangan alat *air table* ini berdasarkan desain yang direncanakan mulai dari pembuatan meja *(deck)* berukuran 190 cm x 90 cm sampai dengan pembuatan alat penunjang lainnya seperti : lubang meja *(hole deck)* diameter 6 mm, *splitter* (sekat) konsentrat, *middling* dan *tailing.* Permukaan meja (*deck)* yang telah dirancang dipasang kain Tertoron 2000 pada seluruh permukaan meja.
b. Konstruksi mesin penggerak *(head motion)* menggunakan motor listrik tipe Siemen 3 HP (1450 RPM) sistem *pulley* untuk menggerakkan meja dengan panjang pukulan (PP) 5 mm – 10 mm dengan jumlah pukulan 140 PP/menit untuk 150 PP/menit. Konstruksi mesin penggerak ini dilampirkan ke meja dengan perhitungan (presisi) meja tepat di atas konstruksi. Kemudian mesin *blower*, alat untuk meniupkan udara secara vertikal dengan tekanan 600 Pa, keluaran 102 mm dipasang dibawah meja dengan jarak 50 cm.
c. Dari hasil percobaan sampel bijih timah kering asal s*tockpile* Sisa Hasil Pencucian (SHP) *Washing Plant* Toboali PT Timah Tbk Pulau Bangka dengan variabel proses yang meliputi kemiringan *deck*, (2,2° , 3,5° dan 4,2° .), maka diperoleh *recovery* terendah sebesar 50,20% pada percobaan I pada kombinasi variabel S1Q1F1 (2.2 °, 300 gr dan 20 menit).
   Sedangkan *recovery* tertinggi diperoleh pada percobaan 3 sebesar 72,18% dengan kombinasi variabel S3Q2F2 dicapai pada kemiringan meja 4,2°, massa umpan 500 gram dan waktu pemrosesan 30 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa alat alat air table efektif dapat digunakan untuk pengolahan bijih timah *low grade* Sisa Hasil Pencucian (SHP) asal *Washing Plant* Toboali PT Timah Tbk Pulau Bangka.

2. **Saran**

a. Kinerja alat *air table* pada penelitian ini belum mencapai titik optimumnya. Oleh karena itu, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengubah komponen utama alat sehingga dapat menghasilkan kombinasi yang optimal
   .
b. Penelitian selanjutnya dapat dimodifikasi dengan mengubah tekanan udara mesin *blower* dan panjang pukulan serta jumlah pukulan per menit untuk meningkatkan daya dorong mineral untuk bermanuver / bergerak dan kemungkinan terbawa dan terpisah untuk membentuk. zona konsentrat, zona menengah dan zona tailing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Sriwijaya membantu dan mendukung dalam pelaksanaan tugas penelitian Kompetitif Tahun 2020. Ucapan terima kasih kami juga sampaikan kepada Direksi PT Timah Tbk, khususnya Direktur Operasi yang mendukung dan membantu dalam kegiatan penelitian ini, mulai dari *sampling* di lapangan sampai perancangan alat *air table*. Ucapan terima kasih kepada jajaran pengurus dan panitia PERHAPI karena telah memberikan kesempatan untuk berbagi ilmu pada TPT XXX dan Kongres PERHAPI 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Burt, R.O. 1984. "*Gravity Concentration" Technology*. New York: Elsevier.

Chatterjee, A. 1998. *Role of Particle Size in Mineral Processing at Tata Steel*. India: Elsevier Jamshedpur.

Dini, AH. (2018). Kajian Teknis *Air Table* Untuk Meningkatkan Kadar Mineral *Cassiterite Low Grade* Di Pusat Pengolahan Bijih Timah (PPBT) Pemali PT Timah, Tbk. Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Skripsi,Fakultas Teknik : Universitas Sriwijaya.

Gaudin, A.. 1939. *Principles of Mineral Dressing*. London: McGraw Hill Book Company, Inc. New York.

Kelly, E. G. & Spottiswood, D. J. 1982. *Introduction To Mineral Processing*. John Wiley & Sons Inc: New.

Wills, B. A. 2005. *Mineral Processing Technology* an introduction to the practical aspects of ore and mineral recovery 7th edition. Canada: Butterworth Heineman.

Nur, M., Pulungan, L., & Guntoro, D. (2017). Pengaturan Laju Umpan, Selang Ukur Hopper dan Splitter pada *Air Table* Guna Cassiterite dengan Kadar (Sn) 70% di Pusat Pengolahan Bijih Timah Pemali PT Timah, Tbk. Prosiding Teknik Pertambangan 2017, Bandung : Fakultas Teknik.

PT Timah, Tbk. 2014, Peralatan *Air Table*. Pemali : Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT Timah, Tbk

PT Timah, Tbk. (2014)., Modul Kompetensi Peralatan Air Table / Meja Angin di PPBT Pemali : Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT Timah, Tbk

Taggart. 1967. *Handbook of Mineral Dressing 9*. Orland Industrial Mineral Willey Handbook Series.

Sitepu, S. S., Taufik, A., Hartini, I. 2016. *Studi* pengaruh kuat arus pada *Induced Roll Magnetic Separator (IRMS)* Untuk Perolehan Mineral Ilmenit ($FeTiO_3$) di Amang Plant, Bidang Pengolahan Mineral (BPM), Unit Metalurgi, PT. Timah Persero*), Tbk*. Palembang: Sriwijaya University e Journal. Vol.1 No.1.

Vabela, L. (2018). Pengaruh Variabel *Shaking Table* Terhadap Kadar Dan *Recovery* Sn Sisa Hasil Pencucian Di Unit Metalurgi PT Timah Tbk Muntok Kabupaten Bangka Barat. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat Sains dan Teknologi 2018, Pangkalpinang : Fakultas Teknik.

PENERAPAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK PREDIKSI *PEAK PARTICLE VELOCITY* GETARAN TANAH BERDASARKAN MODEL *SEED WAVE* MONTE CARLO SIMULATION AS A TOOL TO PREDICT PEAK PARTICLE VELOCITY OF GROUND VIBRATION BASED ON SITE SPECIFIC SEEDWAVE MODEL

[1)]Ainun Hafidz* dan [2)]Florencia Pauli Siahaan**

[1)]Blasting Engineer, PT. Orica Mining Services,
[2)]Graduate Blasting Engineer, PT. Orica Mining Services

*E-mail: *ainun.hafidz@orica.com, **florencia.siahaan@orica.com*

ABSTRAK

Getaran tanah merupakan salah satu aspek penting dalam aktivitas peledakan, terutama saat dilakukan dekat pemukiman warga maupun fasilitas publik. Karenanya, kontrol getaran tanah menjadi salah satu sasaran utama dalam beberapa operasi peledakan. Peak Particle Velocity (PPV) getaran tanah menjadi nilai kritis yang harus dikontrol agar berada dalam ambang batas berdasarkan analisa reseptor yang berada disekitarnya.
Pada penelitian ini, sebuah model yang didasarkan pada simulasi Monte Carlo digunakan untuk memprediksi getaran tanah akibat kegiatan peledakan. Model ini menggunakan data seed waveform, hukum scaled distance, P-wave velocity, dan screening lubang lubang ledak. Simulasi ini mengkalkulasi hasil PPV berulang kali sehingga menghasilkan nilai rata-rata yang merupakan nilai prediksi PPV beserta deviasinya. Penelitian ini dilakukan di area tambang PT. Kaltim Prima Coal pada pit-pit yang berdekatan dengan pemukiman warga dan fasilitas umum. Jumlah data yang dikumpulkan adalah 232 kali dari kegiatan peledakan yang dilakukan selama tahun 2021 sampai bulan Agustus.
Hasil dari simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa nilai aktual PPV berada dalam kisaran nilai prediksi yang dihasilkan simulasi. Dari total data yang dikumpulkan, 95% nilai PPV-nya di bawah ambang batas 3mm/s. Hasil ini menunjukkan bahwa model Monte Carlo untuk PPV dapat menambah tingkat keyakinan prediksi getaran tanah dalam kegiatan peledakan. Prediksi yang dapat dipercaya ini merupakan kunci operasi peledakan yang berkelanjutan, dengan meminimalisir peluang terjadinya getaran tanah yang tidak terkontrol yang dapat menyebabkan kerusakan pada pemukiman warga maupun fasilitas publik.

Kata kunci: Getaran Tanah, Peak Particle Velocity, Simulasi Monte Carlo

ABSTRACT

Ground vibration is one of the most significant aspects of blasting activity, especially if the activity is done near a community or public facilities. Due to this concern, vibration control is one of the key objectives of some blasting operations.The Peak Particle Velocity (PPV) of ground vibrations is a critical value which must be controlled within safe limits based on analysis of nearby sensitive receivers.
In this study, a Monte Carlo-based model was used to predict ground vibration from blasting activity. The model used a seed waveform, the scaled distance relationship,the P-wave velocity, and blasthole screening. This simulation recalculated the PPV result many times and produced the mean of these calculations as the PPV value and its deviation. The study was conducted at PT. Kaltim Prima Coal mining site in nearby community and public facilities locations. The number of data collected is 232 based on blasting activities during 2021 until August.
Results from the Monte Carlo simulation shows that the actual PPV is within the range of prediction from the simulation. From the total data collected, 95% of the data collected is below the regulated threshold of 3 mm/s. This result shows that the Monte Carlo model for PPV can increase confidence

in the ground vibration prediction of blasting activity. This reliable prediction is the key to sustainable blasting operations, by minimizing the chance of uncontrolled ground vibration that may cause damage to community and public facilities.

***Keywords**: Ground Vibration, Peak Particle Velocity, Monte Carlo Simulation*

A. PENDAHULUAN

PT. Kaltim Prima Coal (KPC) merupakan perusahaan tambang batubara terbesar yang masih aktif beroperasi di Indonesia hingga saat ini. Tambang ini berlokasi di Sangatta,Kabupaten Kutai Timur Kalimantan Timur, Indonesia, dengan luas area konsesi pertambangan mencapai 84.938 ha (PT KPC, 2020). Proses penambangan dilakukan dengan metode tambang terbuka. Target produksi PT. KPC pada tahun 2021 mencapai 62 juta ton. Besarnya angka target ini menyebabkan aktivitas penambangan yang cukup tinggi, salah satunya adalah kegiatan peledakan overburden.

Dalam melakukan peledakan, terdapat energi yang dihasilkan bahan peledak yang, selain bermanfaat untuk memecahkan batuan, juga diteruskan menjadi getaran tanah yang dirasakan pada wilayah di sekitar lokasi peledakan. Getaran tanah tingkat rendah dapat mengganggu kenyamanan manusia, dan pada tingkat yang tinggi, getaran tanah dapat menimbulkan kerusakan pada struktur lereng tambang maupun bangunan pemukiman di sekitar tambang. Wilayah penambangan KPC berada cukup dekat dengan area pemukiman warga. Akibatnya getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan menjadi hal yang penting untuk dikelola.

Pada PT. KPC, nilai ambang batas yang diterapkan untuk getaran tanah ialah 3 mm/s. Nilai ini mengacu pada SNI 7571:2010 untuk bangunan dengan pondasi bata dan adukan semen, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen (Badan Standardisasi Nasional, 2010), seperti yang tertera pada Gambar 1. Jenis bangunan ini sesuai dengan jenis perumahan milik warga di sekitar area tambang PT. KPC.

Tabel 1 Kelas dan jenis bangunan serta peak vektor sum

Kelas	Jenis bangunan	Peak Vector Sum (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (Undang-undang No. 6 tahun 1992).	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk	7 - 20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12 - 40

Gambar 1. Kelas dan jenis bangunan serta peak vektor sum acuan
(Badan Standardisasi Nasional, 2010)

Dalam melakukan kontrol getaran tanah di bawah 3 mm/s dan mempertahankan tingkat produksi secara bersamaan, dibutuhkan suatu media untuk memprediksi nilai getaran tanah yang mungkin dihasilkan oleh peledakan, memastikan agar hasil aktualnya tidak lebih dari nilai ambang batas. Berbagai metode dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai prediksi tersebut, namun tingkat presisi yang dihasilkan tidak selalu memuaskan.

Penelitian ini dilakukan untuk menunjukkan hasil prediksi getaran tanah menggunakan model simulasi Monte Carlo. Hasil tersebut dibandingkan dengan hasil aktual dan nilai ambang batas getaran tanah. Informasi mengenai lokasi-lokasi peledakan yang berdekatan dengan pemukiman warga serta

fasilitas umum ada dalam Tabel 1.

Tabel 1. Informasi pit dekat pemukiman warga / fasilitas umum

Nama Pit	Jarak ke Titik Pengukuran (m)	Diameter Lubang Ledak (mm)	Isian Maksimum (kg)	Geometri Peledakan (Burden x Spasi) (m)	Ambang Batas PPV (mm/s)
Karina West	400-1000	200	89	7 x 9	3
Inul Middle P3A	400-1200	200	94	7 x 10	3
Inul Middle P3B	400-800	200	94	7 x 10	3

Hasil prediksi yang akurat sangat dibutuhkan mengingat tingginya target produksi KPC, sehingga aktivitas penambangan yang dilakukan pun cukup masif. Volume *overburden* yang dibutuhkan untuk aktivitas penambangan setiap minggu mencapai 4.2 juta BCM. Hasil simulasi yang terlalu optimis dapat menimbulkan masalah getaran tanah pada fasilitas publik maupun wilayah pemukiman warga dekat lokasi peledakan. Sebaliknya, hasil simulasi yang pesimis juga dapat menghambat laju penambangan dengan membatasi volume *overburden* yang dapat diledakkan menjadi lebih sedikit.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Prediksi Getaran Tanah

Akurasi prediksi getaran tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor ini dapat dibagi dalam 2 kategori, yaitu parameter geologis dan parameter desain peledakan (Taqleddin, 1986). Parameter geologis dipengaruhi oleh kondisi batuan insitu, seperti litologi, struktur geologi, dan air tanah. Parameter geologis akan berbeda untuk lokasi yang berbeda pula, serta tidak dapat dikontrol, sedangkan parameter desain peledakan dapat dikontrol seperti isian bahan peledak, jarak dari titik peledakan ke titik pengukuran, diameter lubang ledak, desain spasi dan burden, subdrill, panjang stemming, dan sebagainya. Desain *timing* peledakan juga memainkan peran penting dalam getaran tanah yang ditimbulkan.

Peledakan menghasilkan banyak jenis gelombang, termasuk *body waves* yang dikenal sebagai P-*waves* dan S-*waves*) dan *surface waves*. Getaran tanah dikuantifikasi sebagai kecepatan maksimum yang diukur pada lokasi tertentu. Nilai ini yang dikenal sebagai *Peak Particle Velocity* (PPV). PPV dikaitkan dengan massa isian bahan peledak dan jarak lokasi peledakan ke titik pengukuran. Rumus empiris ini kemudian dinyatakan oleh U.S. Bureau of Mines melalui persamaan (1). Rumus tersebut dikenal juga sebagai rumus *scaled distance.*

$$PPV = k \times \left(\frac{jarak}{\sqrt{isian\ maksimum}}\right)^n \quad (1)$$

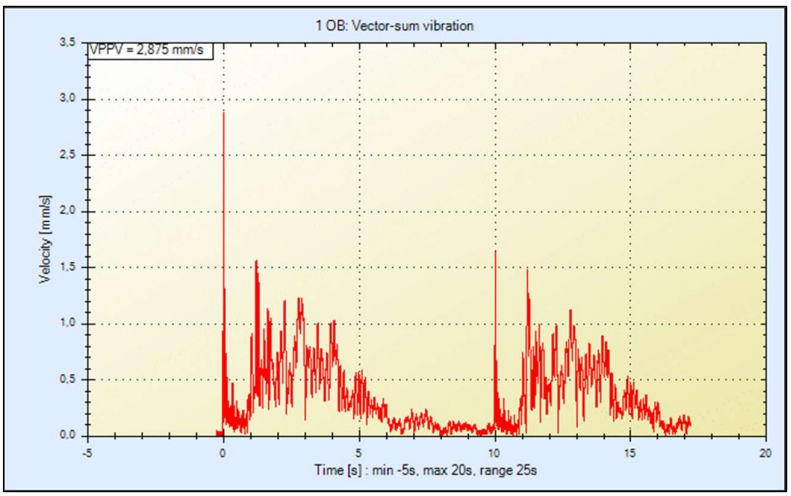
Nilai dalam tanda kurung pada persamaan (1) merupakan nilai yang sering dikenal dengan istilah *scaled distance.* Nilai k adalah koefisien amplitudo yang menggambarkan PPV satuan massa bahan peledak pada satuan *scaled distance.* Nilai n merupakan konstanta empiris yang memperhitungkan peredaman getaran tanah selama jarak yang ditempuh ke titik pengukuran. Nilai k dan n merupakan *site constants*, yaitu parameter unik untuk setiap *site*, yang ditentukan berdasarkan pengalaman melalui pengukuran PPV dengan isian maksimum bahan peledak dan jarak ke titik pengukuran yang diketahui dan dilakukan berulang kali. Rumus prediksi PPV pada persamaan (1) merupakan rumus yang sederhana dan tampak mudah untuk diterapkan dalam memprediksi nilai PPV. Namun, terdapat beberapa masalah yang muncul dalam penerapannya. Pada lokasi peledakan yang luas, terdapat ketidakpastian nilai jarak dari lokasi peledakan ke titik pengukuran dan nilai isian maksimum bahan

peledak. Waktu yang dibutuhkan bagi tiap gelombang lubang ledak mencapai titik pengukuran tidaklah sama dan waktu kedatangan gelombang bergantung pada *timing delay* peledakan. Selain itu, nilai k dan n untuk satu lokasi dapat menjadi berbeda dengan lokasi lainnya karena jenis batuan yang dilalui gelombang berbeda pula, bahkan dalam satu pit yang sama.

B.2. Prediksi Getaran Tanah dengan Model Gelombang Seed (*Seed Waveform)*

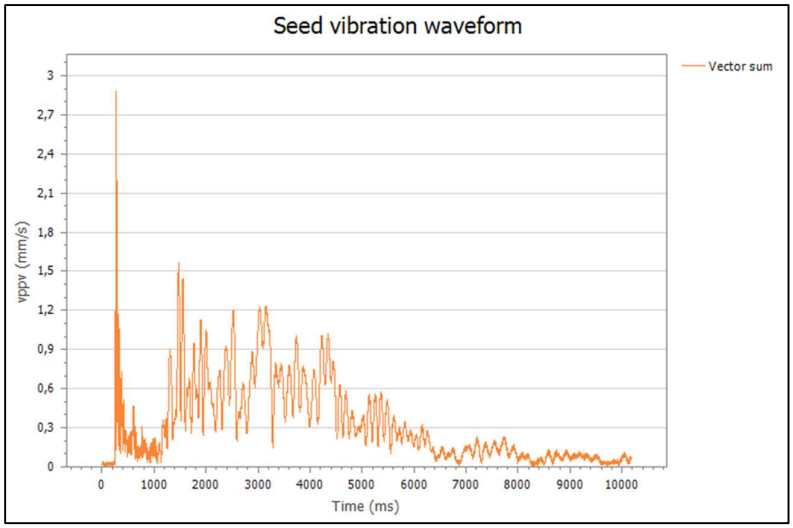
Model simulasi Monte Carlo yang digunakan untuk prediksi hasil peledakan pada penelitian ini menggunakan *seed waveform* yang didasarkan pada gelombang asli (*seismic signature)* isian lubang ledak yang diukur pada titik tertentu. *Seismic Signature* didefinisikan sebagai gelombang yang terekam akibat peledakan yang terisolasi (tidak dipengaruhi ledakan lubang lain). Langkah-langkah yang dilakukan dalam menghasilkan *seed waveform* yaitu:

1. Penentuan lokasi pengambilan *signature holes*
   Lokasi pengambilan *signature holes* harus berada di lokasi peledakan-peledakan yang akan dimodelkan.
2. Penentuan massa bahan peledak tiap signature holes
   Massa bahan peledak dan diameter lubang ledak harus mewakili peledakan-peledakan yang akan dimodelkan. Selain itu, peledakan *signature holes* dari sebuah rentang *scaled distance* dengan memvariasikan massa bahan peledak pada tiap *signature holes* dapat dilakukan untuk memberikan informasi tambahan.
3. Perekaman model gelombang *signature holes.*
   Idealnya, model gelombang *signature holes* direkam pada waktu yang diketahui sehingga waktu tempuh getaran tiap lubang dapat diukur untuk mendapatkan nilai P-*wave velocity*.
4. Analisa dan pengolahan data menggunakan *software* Orica's Cycad™ Vibration Analysis (Cycad™)
   Model gelombang signature holes (Gambar 2) dianalisa untuk menghasilkan PPV dan P-*wave velocity* tiap signature holes. Data ini, dengan dihubungkan dengan *scaled distance* tiap lubang, digunakan untuk mendapatkan koefisien k dan n pada titik pengukuran.



Gambar 2. Hasil rekaman gelombang *signature holes* yang diolah dengan Cycad™

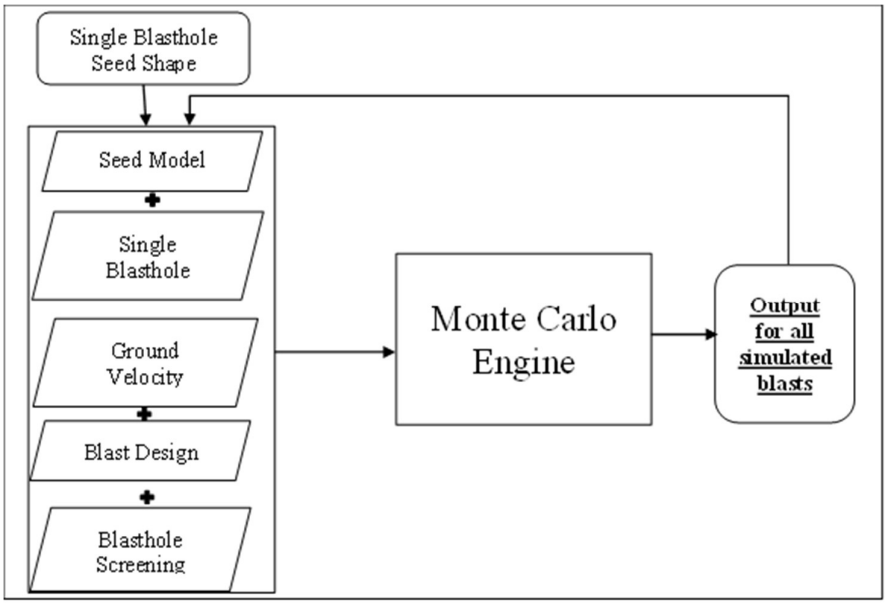
5. Penentuan *seed waveform* untuk dijadikan acuan simulasi Monte Carlo pada *software* SHOTPlus™
   Model yang sudah dipilih (Gambar 3) kemudian disimpan dan dimasukkan pada *software* SHOTPlus™.



Gambar 3. *Seed waveform* sebagai data masukan untuk simulasi Monte Carlo

B.3. Monte Carlo *engine*

Simulasi monte carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistic yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah masalah kuantitatif (Hammersley & Handscomb, 1974). Dasar simulasi monte carlo adalah percobaan dengan unsur peluang menggunakan metode pengambilan sampel secara acak (Hamali, 2017). Simulasi pada penelitian ini menggunakan Monte Carlo *engine* yang terintegrasi ke dalam *software* SHOTPlus^{TM}. Parameter-parameter data masukan untuk Monte Carlo *engine* diilustrasikan dalam Gambar 4. Simulasi Monte Carlo menghasilkan distribusi probabilitas simulasi PPV pada titik pengukuran.



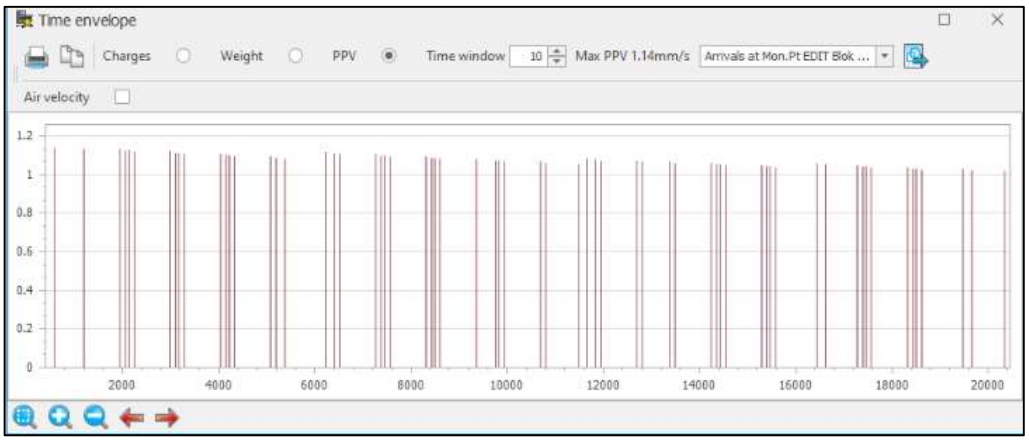
Gambar 4. Diagram alir simulasi Monte Carlo

B.4. Blast Design

Getaran tiap lubang ledak cenderung saling menguatkan satu sama lain sehingga diperlukan control urutan peledakan dan *delay timing* untuk meminimalkan efek penguatan gelombang-gelombang individu sehingga diperlukan desain peledakan yang komprehensif. Desain peledakan menggunakan sistem peledakan elektronik (Electronic Blasting System) yang memberikan keleluasaan untuk desain *delay timing* peledakan. *Software* yang digunakan untuk pengerjaan desain adalah SHOTPlus^{TM} yang terintegrasi Monte Carlo *engine*. Langkah yang diperlukan dalam desain peledakan untuk mensimulasikan PPV antara lain:

1. Finalisasi data *seed waveform* untuk simulasi serta memastikan rekomendasi kombinasi delay timing maupun isian bahan peledak.
2. Membuat titik pengukuran aktual sesuai data survey (X,Y,Z).
3. Membuat desain peledakan, termasuk isian lubang ledak dan penerapan *delay timing* yang sesuai.
4. Memasukkan data *seed waveform*, konstanta k dan n, serta P-*wave velocity* dalam Monte Carlo Engine
5. Melakukan simulasi prediksi PPV.
6. Modifikasi desain peledakan jika diperlukan

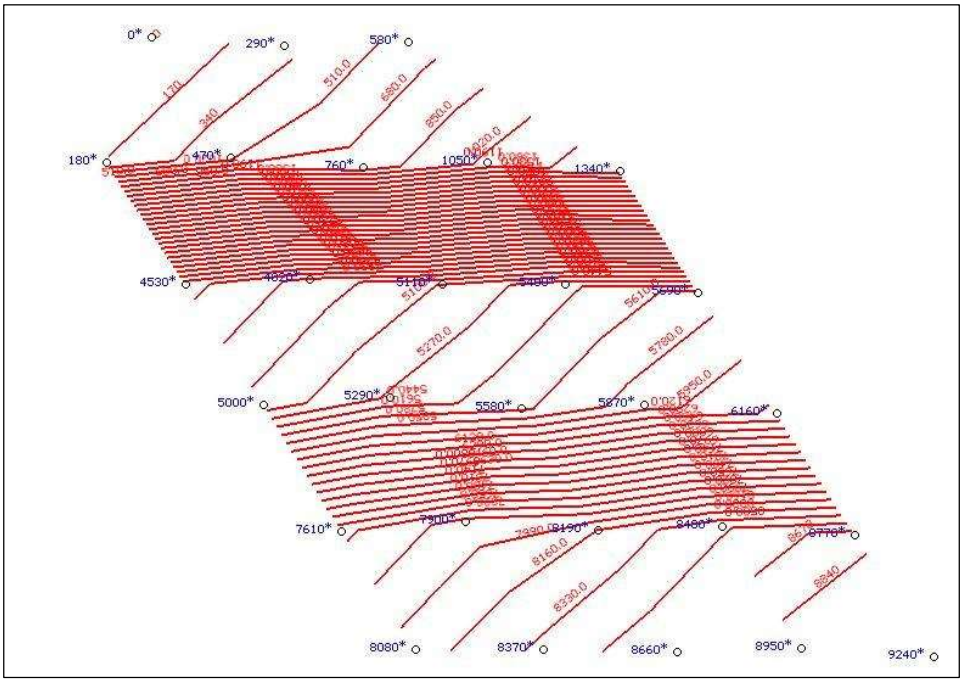
Secara umum pola peledakan menunjukkan urutan ledakan dari total lubang ledak. Pola peledakan pada tambang terbuka dan tambang bawah tanah tentu saja berbeda. Salah satunya karena perbedaan pola pemboran yang dilakukan. Adanya urutan peledakan berarti terdapat pula jeda waktu ledakan antar lubang ledak dikenal sebagai *timing delay*. Referensi awal dalam mengontrol getaran tanah akibat peledakan adalah dengan memastikan tidak ada lubang yang meledak bersamaan dalam rentang waktu 8 milidetik. Hal ini untuk mengakomodasi kemungkinan gelombang dari beberapa lubang sampai ke titik pengukuran pada waktu yang bersamaan sehingga mengubah nilai isian maksimum bahan peledak. Ini dilakukan bila prediksi PPV mengacu pada rumus *scaled distance* persamaan (1). Namun, referensi ini sudah tergantikan dengan simulasi Monte Carlo yang telah memperhitungkan waktu tempuh gelombang masing-masing lubang ledak ke titik pengukuran dengan mengacu pada *seed waveform.* Simulasi Monte Carlo memperhitungkan pula penguatan (maupun pelemahan) gelombang yang sampai ke titik pengukuran. Dengan demikian, pembuat desain peledakan dapat mencoba berbagai sekuen inisiasi untuk menemukan desain dengan nilai prediksi PPV yang paling rendah. Metode ini menjadi lebih masuk akal dan dapat dipercaya dibandingkan aturan 8 milidetik dalam mengontrol getaran tanah. Gambar 5 menunjukkan waktu terhadap nilai PPV masing-masing lubang ledak di titik pengukuran.



Gambar 5. Grafik *time envelopes* desain peledakan

Simulasi Monte Carlo memiliki opsi untuk menerapkan *screening* lubang ledak dalam proses prediksi PPV. Fitur ini memodifikasi getaran tanah yang diprediksi pada titik pengukuran berdasarkan

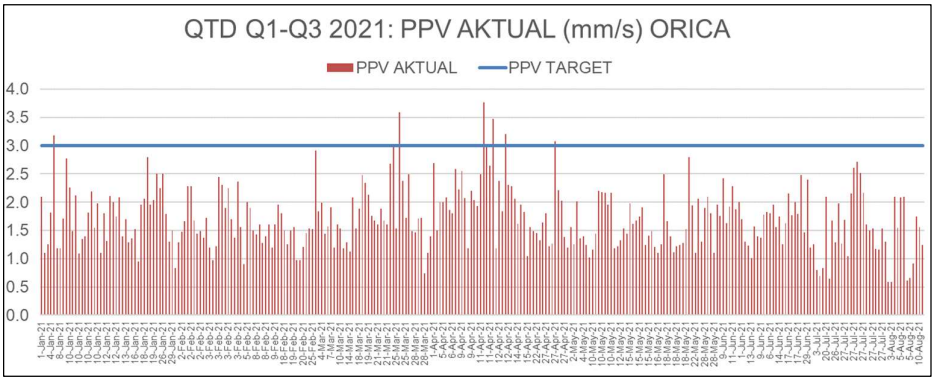
peredaman gelombang dari batuan yang telah diledakkan dari lubang tembak sebelumnya.
Screening lubang ledak dilakukan dengan mendesain jeda *delay timing* (Gambar 6) antar *burden* atau spasi dalam satu area peledakan. Penambahan jeda waktu ini harus disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan terutama jarak antar lubang dan isian bahan peledak untuk menghindari terjadinya *dynamic shock*.



Gambar 6. Sudut inisiasi desain peledakan

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kuartal 1 sampai kuartal 3 tahun 2021, hasil aktual menunjukkan 10 dari 232 kejadian dengan nilai PPV lebih tinggi daripada ambang batas yang telah ditentukan (Gambar 7). Data diambil dari pengukuran PPV aktual PT. KPC selama 7 bulan di tahun 2021. Model Monte-Carlo digunakan untuk prediksi getaran tanah dan sebagai alat bantu simulasi untu acuan peledakan dengan prediksi PPV di bawah ambang batas. Masing-masing peledakan yang dilakukan telah dipastikan bahwa nilai simulasinya lebih kecil dari 3 mm/s. Dari hasil pengukuran PPV aktual, terlihat bahwa hanya terdapat 10 kejadian yang melebihi nilai 3 mm/s, dan tidak ada peledakan yang nilai PPV aktualnya lebih besar dari 4 mm/s.



Gambar 7. Hasil PPV Aktual Vibrasi Peledakan Kuartal 1-3 Tahun 2021 PT. KPC

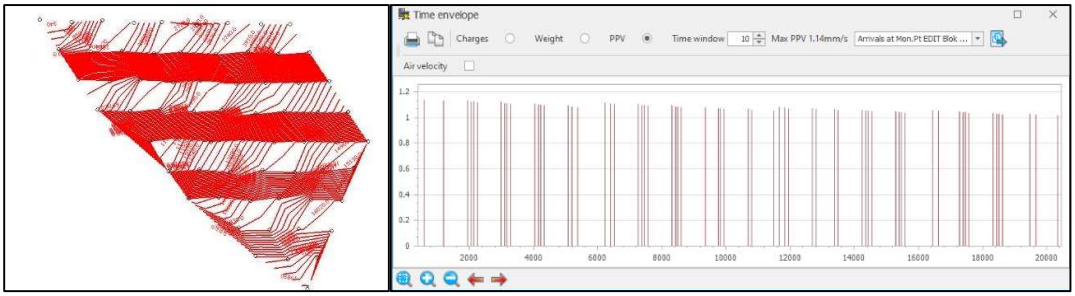
Nilai PPV aktual yang lebih tinggi dari ambang batas dapat disebabkan oleh nilai deviasi dari hasil simulasi yang dilakukan. Prediksi PPV dari simulasi Monte-Carlo memberikan rentang deviasi yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, dalam membuat desain, nilai deviasi ini juga perlu diperhitungkan untuk memperkecil kemungkinan nilai PPV aktual yang melebihi ambang batas.

Selain itu, tingginya nilai PPV aktual juga dapat disebabkan oleh penggunaan *seed waveform* yang sudah tidak sesuai dengan lokasi yang diledakkan pada simulasi Monte-Carlo. Penelitian ini menunjukkan pentingnya memperbarui *seed waveform* seiring berpindahnya lokasi peledakan. Secara ideal, setiap lokasi peledakan harusnya menggunakan *seed waveform* baru, namun hal ini tidak praktis untuk diterapkan. Karenanya, *seed waveform* yang sama dapat digunakan untuk lokasi yang cukup berdekatan dengan memperhitungkan nilai error akibat kondisi geologi yang dilalui tidaklah sama dengan kondisi geologi *seed waveform.*

Selain menyebabkan nilai PPV aktual melebihi ambang batas, *seed waveform* yang tidak sesuai juga dapat menghasilkan prediksi PPV yang terlalu pesimis. Oleh karenanya, volume overburden yang dapat diledakkan dalam satu kali menjadi lebih sedikit dan terbatas. Simulasi Monte Carlo selain digunakan untuk prediksi PPV, juga dapat digunakan untuk memperkirakan volume overburden yang dapat diledakkan dalam satu kali peledakan. Untuk mendukung target produksi yang besar, nilai simulasi dioptimalkan agar mendekati 3 mm/s. Namun, dari hasil aktual terlihat bahwa terdapat nilai PPV aktual yang kecil (<2). Hal ini dapat terjadi karena *seed waveform* yang belum diperbarui digunakan sehingga menghasilkan nilai prediksi yang tinggi, berbeda dengan kondisi aktual. Dengan demikian, volume overburden yang diledakkan seharusnya dapat lebih besar daripada yang telah disimulasikan. Hal ini dapat mempengaruhi sekuen penambangan, yaitu dengan menghambat laju penambangan.

C.1 Analisis Nilai PPV Prediksi Dibandingkan dengan Nilai PPV Aktual

Untuk membandingkan nilai PPV prediksi dengan hasil aktual pengukuran, diperlukan analisa nilai PPV prediksi yang didapatkan sebelum peledakan dilakukan. Data ini diambil dari peledakan di Pit Karina West dengan jumlah lubang ledak 65 lubang, isian bahan peledak maksimum 89 kg, dan jarak terdekat 800 meter ke titik pengukuran. Sudut inisiasi dan *time envelope* peledakan terlihat pada Gambar 10.

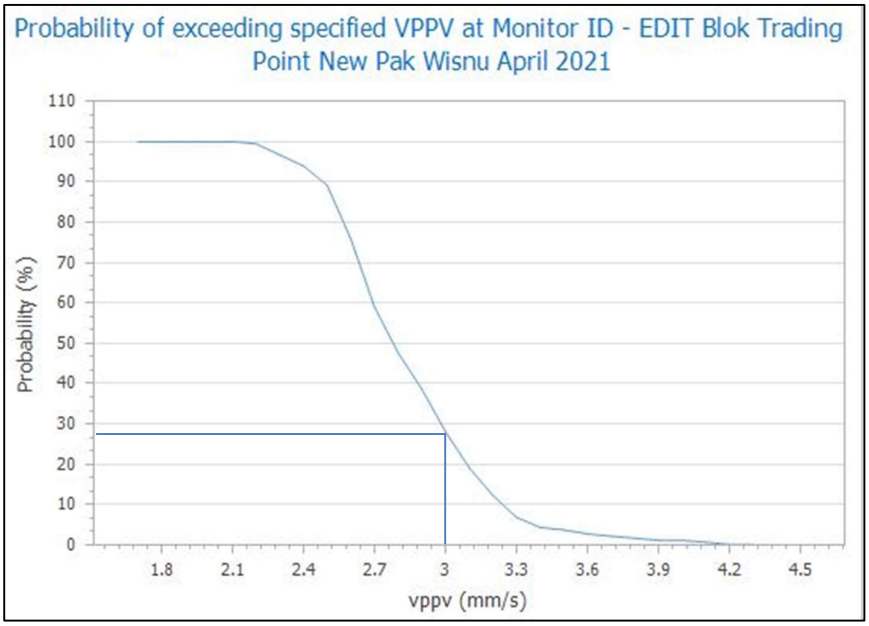


Gambar 8. Sudut inisiasi dan time envelope Peledakan Karina West

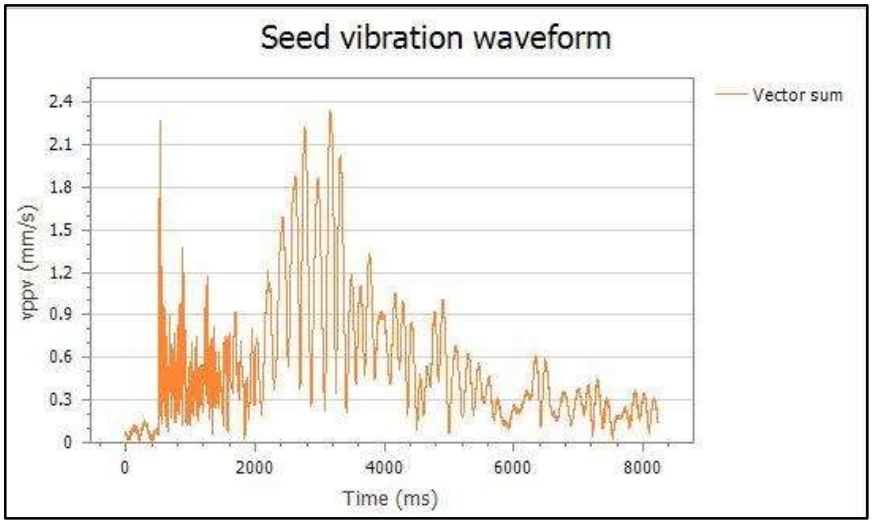
Desain peledakan menggunakan kombinasi *inter hole delay timing* 180 ms, dan *interrow delay timing* 110 ms, dengan jeda *delay timing* untuk *screening* lubang ledak 500 ms. Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan nilai prediksi PPV 2,81 mm/s dengan nilai deviasi 0,33 mm/s (Gambar 11). Berdasarkan simulasi ini, diperhitungkan nilai probabilitas hasil aktual PPV yang melebihi 3 mm/s disekitar 27% (Gambar 12), sehingga hasil simulasi probabilitas untuk angka dibawah 3 mm/s sebesar 73%. *Seed waveform* yang digunakan sebagai acuan simulasi ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 9. Hasil PPV Simulasi Vibrasi Peledakan Karina West

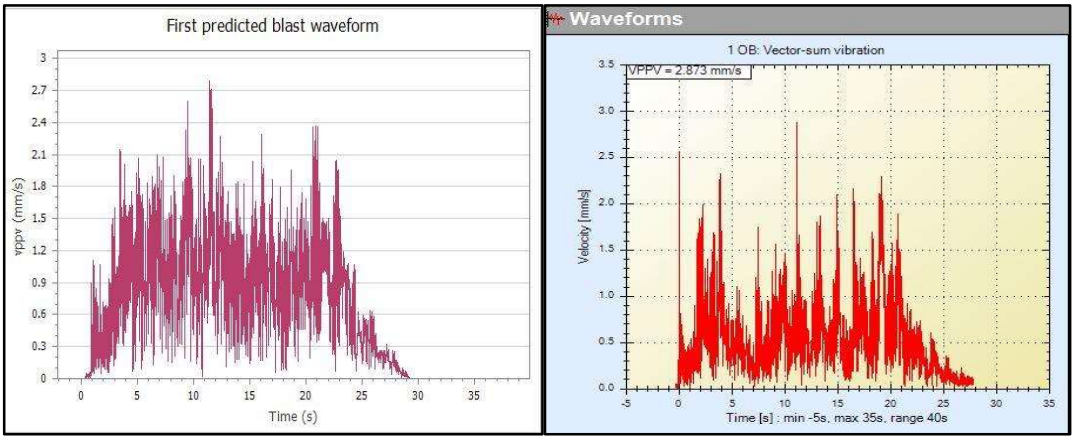


Gambar 10. Grafik probabilitas PPV Peledakan Karina West



Gambar 11. Seed waveform Vibration Pit Karina West

Pengukuran getaran tanah dilakukan Tim Environmental PT. KPC menggunakan alat instantel blastmate atau micromate. Hasil pengukuran aktual PPV menunjukkan hasil yang diperoleh sebesar 2.87 mm/s. Dapat dilihat bahwa grafik aktual hasil peledakan cenderung mengikuti grafik *seed waveform* acuan dan grafik prediksi *waveform* peledakan. Maka dapat dikatakan bahwa model gelombang seed yang digunakan sebagai acuan sudah cukup baik, dengan nilai masukan *scaling law* yang sesuai sehingga nilai aktual PPV sesuai dengan kisaran nilai prediksi PPV.
Dalam kasus ini, walaupun nilai PPV aktual secara tidak signifikan lebih besar daripada nilai PPV prediksi, dapat dilakukan penyesuaian pada nilai *scaling law* untuk simulasi-simulasi kedepannya pada lokasi yang berdekatan agar nilai prediksi lebih besar daripada nilai aktual PPV. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan nilai PPV aktual melebihi ambang batas getaran tanah.



Gambar 12. Grafik PPV Simulasi Monte Carlo dengan Grafik aktual pengukuran

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Simulasi Monte-Carlo untuk prediksi hasil PPV getaran tanah hasil kegiatan peledakan pada PT. KPC memberikan hasil yang baik, yaitu dengan persentase 95% dari 232 kejadian peledakan yang

nilainya tidak melebihi ambang batas 3 mm/s.

2. Tingkat persentase tersebut menunjukkan bahwa hasil prediksi dengan simulasi Monte-Carlo memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi.
3. Tingginya tingkat kepercayaan terhadap hasil prediksi dapat menjadi acuan untuk mensimulasikan batasan volume overburden dalam satu kali peledakan untuk mendukung kegiatan peledakan yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT telah memberikan kesehatan, kelancaran, dalam setiap langkah dan usaha kami
2. Panitia Perhapi XXX 2021 yang telah memberikan kesempatan kami untuk menulis makalah.
3. PT. Kaltim Prima Coal*, customer site* kami yang memberikan kepercayaan untuk melakukan peledakan dan memungkinkan pelaksanaan penelitian ini.
4. Pak Martin Adam, Senior Manager–Technical Excellence–Initiating Systems Orica, Australia, yang telah meninjau dan memberikan masukan pada penulisan makalah.
5. Pak Cendy Hidayat, Senior Engineer/Representative Orica KPC yang telah mendukung penuh penulisan makalah ini
6. Mas Galih Aryantoko, Technical Services lead site Orica KPC, beserta rekan-rekan tim TS Orica KPC, yang membantu proses pengambilan data lapangan dan analisisnya.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2010): Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan. *SNI 7571:2010*, 3.

Bernard, T. (2010). *The Truth About Signature Hole Method.* Thierry Bernard Technologie. Nice. France: DNA - Blast Software

Hamali, S. (2017, Desember 9). *Simulasi Monte Carlo* data diperoleh melalui situs ineternet: https://bbs.binus.ac.id/management/2017/12/simulasi-monte-carlo/. Diakses tanggal 13 Agustus 2021.

Hammersley, J. M., & Handscomb, D. C. (1974): *Monte Carlo Methods.* London.

PT KPC. (2020): *Sustainability Report 2020.* Kutai Timur: PT KPC.

Taqleddin, S. A. (1986): Ground Vibration Levels: Prediction and Parameters. *Mining Science and Technology*, 111-115.

Technical Services. (2008). Safe and Efficient Blasting in Surface Coal Mines. *Orica Australia Pty. Ltd.*

PENGGUNAAN DRONE DENGAN TEKNOLOGI LIDAR DI TAMBANG BAWAH TANAH PT FREEPORT INDONESIA

Andrew Parhusip[1)], Benget Hutauruk[2)], Emil Meigy[3)], Ahmad Muklas Widodo[4)]

1) Chief Engineer Underground Construction, PT Freeport Indonesia,
2) Superintendent UG Survey, PT Freeport Indonesia
3) Underground Surveyor Engineer, PT Freeport Indonesia
4) GBC Chief Underground Surveyor Engineer, PT Freeport Indonesia

ABSTRAK

PT Freeport Indonesia memiliki empat area tambang bawah tanah di distrik Mimika, Papua, Indonesia. Tiga tambang menggunakan metoda ambrukan (*block caving*) yaitu *Grasberg Block Cave* (GBC), *Deep Mill Level Zone* (DMLZ) dan *Deep Ore Zone* (DOZ); sedangkan tambang Big Gossan (BG) menggunakan metode stope and fill. Metode *block caving* yang digunakan di DOZ, GBC, dan DMLZ memerlukan banyak lubang penyaluran *(Ore Pass)* untuk menyalurkan bijih batuan *(ore)* ke level hauling, untuk *open stopes* di Big Gossan memerlukan berbagai ukuran *stopes* tergantung pada posisi mineral yang akan ditambang. Pengukuran dan monitoring kondisi *ore pass* dan *stopes* merupakan salah satu kunci penting dalam proses operasi produksi tambang yang berkesinambungan. Banyak kasus telah terjadi dimana penanganan yang terlambat terhadap perbaikan dinding *ore pass* yang tergerus membuat produksi terhambat di panel dimana *ore pass* itu berada. Metode monitoring survey konvensional acapkali dinilai memerlukan waktu pengerjaan yang banyak, kualitas data yang bervariasi dan mempunyai beberapa keterbatasan di area terbatas seperti *ore pass* dan *stopes* yang memberikan hasil yang tidak akurat dalam pengambilan keputusan dan penundaan pada produksi tambang. Proses ini telah diperbaiki dengan penggunaan *Autonomy* drone dikombinasikan dengan teknologi LiDAR. Hasil dari penggunaan teknologi drone ini kemudian dibandingkan dengan metode survey konvensional terkait dengan implementasi, hasil akhir dari pengukuran dan proses pengambilan data dalam pengoperasian survey. Kajian ini akan memaparkan secara detail penggunaan teknologi drone LiDAR di tambang bawah tanah untuk setiap tambang bukan hanya untuk memonitor aset infrastruktur pendukung produksi tambang bawah tanah seperti *ore pass*, *raise* ventilasi, tapi juga pengukuran pergerakan terowongan, penilaian kondisi *wet muck* panel dan area yang tidak disanggah *ground support*. Dari kajian ini dapat disimpulkan bahwa teknologi baru ini dapat meningkatkan kualitas data survey yang diambil dengan aman untuk mendukung proses operasi produksi yang berkesinambungan.

Kata Kunci: Drone, LiDAR, *Ore Pass*, *Stopes*, Tambang Bawah Tanah

ABSTRACT

PT Freeport Indonesia has four different underground mine complexes in Papua Site, Indonesia. The mine block cave method is GBC, DMLZ and DOZ; where Big Gossan is using the stope and fill mining method; The block caving methods in DOZ, GBC and DMLZ requires many ore passes to deliver the ores into the haulage systems, and for the open stopes in Big Gossan require variable stope sizes and geometries depending on the localized mineralization. Obtaining accurate ore pass and stopes actual condition is a key part to sustain production rate of PTFI. Many cases of late treatment or repair of worn out ore pass generate loss production of the panels. Conventional survey methods are subject to issues such as resources required, time consumed, and variable data quality, and limitation to several types of confined space area leading to inaccurate decision making and delays in the production cycle. This process has been improved by the implementation of Drone autonomy and mobile LiDAR mapping payload. The results of using this new technology are then compared with the traditional survey methods regarding implementation, output quality and safety. This paper discusses in detail LiDAR drone applications in underground mines not only to monitor the condition of infrastructure such as ore pass, ore-flow systems, ventilation rise and services drift but also to measure its ground movement. The introduction of LiDAR drones, big-data and point-clouds have all been challenges. However, once

overcome the benefits from this new technology and the data it generates is proving to be invaluable for improving safety, time efficiencies specially to aid decision making for future operational repair to help sustain underground mining process.

Keywords: *Drone, LiDAR, Ore Pass, Stopes, Underground Mine*

A. PENDAHULUAN

Lokasi tambang PT Freeport Indonesia (PTFI) berada di Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. PTFI sedang mengembangkan dua tambang baru besar yaitu *Deep Mill Level Zone* (DMLZ) dan *Grasberg Block Cave* (GBC) serta mengoptimalkan dua tambang lain yang sudah lebih dahulu berproduksi yaitu *Deep Ore Zone* (DOZ) dan Big Gossan (BG). Tiga tambang yaitu GBC, DMLZ, dan DOZ beroperasi menggunakan metode ambrukan bijih atau dikenal dengan istilah *Block caving.* Sedangkan Big Gossan dioperasikan dengan metode *Stopping Paste and Fill.* Keempat tambang ini diharapkan dapat melanjutkan produksi tambang PTFI setelah produksi tambang terbuka *open pit Grasberg* selesai di tahun 2020.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1 Review Metode Survey PTFI

Proses pengukuran lubang atau kemajuan tambang sebelum penggunaan teknologi drone adalah menggunakan metode *Cavity Monitoring Sistem* (CMS), C-ALS, MS Nova, Zeb-Revo atau disebut juga Metode laser *scanning*. Metode ini telah menjadi standar industri dalam pengukuran ruang terbuka di tambang bawah tanah dan telah digunakan dan masih digunakan selama bertahun-tahun. Akan tetapi penggunaan teknologi ini di tambang bawah tanah PTFI memiliki beberapa konstrain operasional:

- Untuk melakukan CMS survei, surveyor membutuhkan jarak ukur yang dekat ke objek ukur dikarenakan rentang ukur yang "terbatas". Jarak ukur yang dekat ini memiliki risiko kepada crew yang bekerja seperti jatuh dari ketinggian, interaksi dengan batuan yang tidak stabil, dan lain sebagainya.
- Penggunaan *scanner* CMS pada lubang penyaluran *ore pass* membutuhkan pengambilan yang dilakukan berkali-kali dan berpindah-pindah sehingga membutuhkan proses operasi yang lama dan koordinasi yang intensif dengan berbagai pihak.
- Dikarenakan konfigurasi CMS, "*shadowing*" dapat terjadi di dalam hasil pengukuran, dimana hasil scan tidak dapat mencapai seluruh area lubang penyaluran atau *stopes* dikarenakan geometri dari stope dan lubang penyaluran tersebut yang disebabkan overbreak atau tight/underbreak. Untuk tambang GBC, lubang penyaluran (*ore pass*) memiliki konfigurasi yang menghubungkan 3 level ketinggian *drift* yang berbeda (*gambar 6*). Dimana hal tersebut memberikan kesulitan tersendiri dalam pengukuran dan monitoring menggunakan CMS. Keterbatasan ini menghasilkan output data pengukuran yang kurang memadai untuk mengambil keputusan selanjutnya.

B.2 Overview Perangkat Scanning Dan Inspeksi

LiDAR *Hovermap mapping* sistem yang digunakan di area tambang PTFI merupakan produk *Emesent. Sistem* ini kemudian dibawa oleh perangkat pesawat nirawak atau Drone keluaran DJI dengan tipe M300 yang memiliki penampakan seperti pada gambar 2. Sistem *scanner* yang dibawa pada drone ini memiliki berat sekitar 1.8 kg dan dapat dilepas-sambung pada alat *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV),

kerangkeng/*cage,* ataupun mobile equipment seperti Toyota *Light Vehicles* (LV) yang lazim digunakan sebagai alat transportasi utama di lingkungan kerja PTFI. Sumber tenaga drone dan LiDAR ini menggunakan baterai khusus.

LiDAR *Scanner Hovermap* ini terdiri dari 16 channel Velodyne *scanner*, Inertial Measurement Unit (IMU) dan sistem computer on-board. *Scanner* ini dapat memproduksi 300,000-poin setiap detiknya yang menghasilkan resolusi tinggi pada hasil akhirnya. Hasil *scanning* ini kemudian menghasilkan *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM),* yang membuat sistem *Hovermap* ini mampu untuk memonitor lokasi secara relatif dan real time. Sistem ini juga memungkinkan kondisi *Virtual Ellipsoidal Shield* (VESH), atau sebuah kondisi 3 dimensi di sekitar area drone yang memungkinan drone untuk memiliki jarak aman secara virtual. Kondisi tersebut membuat drone bergerak dengan pencegahan tubrukan pada drone. Hal ini menjadi titik kunci dari kelebihan integrasi *sistem drone* ini dalam pengambilan data yang optimal di lingkungan tambang bawah tanah. Data *scanning* yang dihasilkan dari *Hovermap* ini kemudian diproses dan menghasilkan point cloud data dalam format .laz yang kemudian dapat dikonversikan menjadi tipe data yang bervariasi untuk kebutuhan survei lain, analisis data engineering dan pengambilan data bagi konstruksi tambang bawah tanah berikutnya. Perangkat Drone yang digunakan pada Tambang bawah tanah di area PTFI terbagi menjadi dua jenis wahana drone dengan fokus output yang dihasilkan berbeda. Perangkat drone yang digunakan antara lain:

B.3 **Drone Inspeksi Tambang Bawah Tanah (Underground Drone Inspection)**

Perangkat drone ini difungsikan untuk mendapatkan output visual berupa video dan foto yang kemudian dapat diproses lebih lanjut untuk mendapatkan hasil *scanning* atau pencitraan dalam bentuk solid. Inspeksi visual ini ditujukan untuk mendapatkan pencitraan secara detail di tambang bawah tanah guna keperluan inspeksi struktur bawah tanah, drawpoint *hang-up*, area-area sempit seperti pipa baja *dewatering* dan area-area sempit lainnya yang tidak memungkinkan dilakukan inspeksi secara manual oleh manusia karena sifat pekerjaannya yang memiliki risiko dan bahaya tinggi. Adapun detail dari perangkat tersebut adalah;

- *1 ea Elios 2 (aircraft);* perangkat drone yang digunakan untuk mendapatkan visual foto dan video
- *12 ea Batteries;* jumlah baterai yang digunakan harus cukup untuk melakukan beberapa kali penerbangan
- *2 ea Battery charger;* pengisi daya catu baterai untuk hari berikutnya
- *1 ea Ground Control Sistem;* merupakan perangkat untuk mendapatkan titik/poin pick up yang kemudian akan dimasukkan kedalam sistem sentral database GIS.
- *1 ea Range Extender;* perangkat pemancar berupa kabel untuk menambah daya pancar sinyal kontrol remote ke perangkat drone.



Gambar 1. Contoh pengambilan data inspeksi di drawpoint hang-up

B.4 **Drone Inspeksi dan Survey Tambang Bawah Tanah (Underground Drone Survey)**

Perangkat drone ini difungsikan untuk mendapatkan output visual berupa video dan foto dan juga *scanning* LiDAR seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.
Adapun detail dari perangkat tersebut adalah;

- *1 ea Emesent Hovermap (Autonomy Level 1 & 2).*
  merupakan *scanner* yang memiliki keunggulan dalam kecepatan *scanning* berupa 300,000 point per second dan juga mempunyai keunggulan *autonomy,* yang membuat perangkat drone ini mampu untuk menjelajah tambang tanpa kontrol penuh dari remote drone sepenuhnya
- *1 ea DJI Matrice 210 Drone + TB50 Batteries (3x Sets)*
- *1 ea DJI Matrice 300 Pro Drone + TB47S Batteries (3x Sets)*
- *2 ea Battery Chargers: TB47S and TB50 Charging Hub*
- *2 ea Controllers and Ground Control Sistem*



Gambar 2 Perangkat Drone LiDAR

B.5 **Implementasi penggunaan Drone Survey pada area kerja PTFI**

Sebelum mendatangkan perangkat LiDAR *scanning* dan drone ini, briefing project dan diskusi dilakukan secara rutin, hal ini dilakukan karena area kerja drone akan dilakukan di keempat tambang bawah tanah PTFI. Diskusi pertama yang dilakukan adalah pengenalan area kerja yang direncanakan akan diambil datanya. Poin-poin yang harus ada dalam diskusi agar pengoperasian dapat berjalan secara efektif;

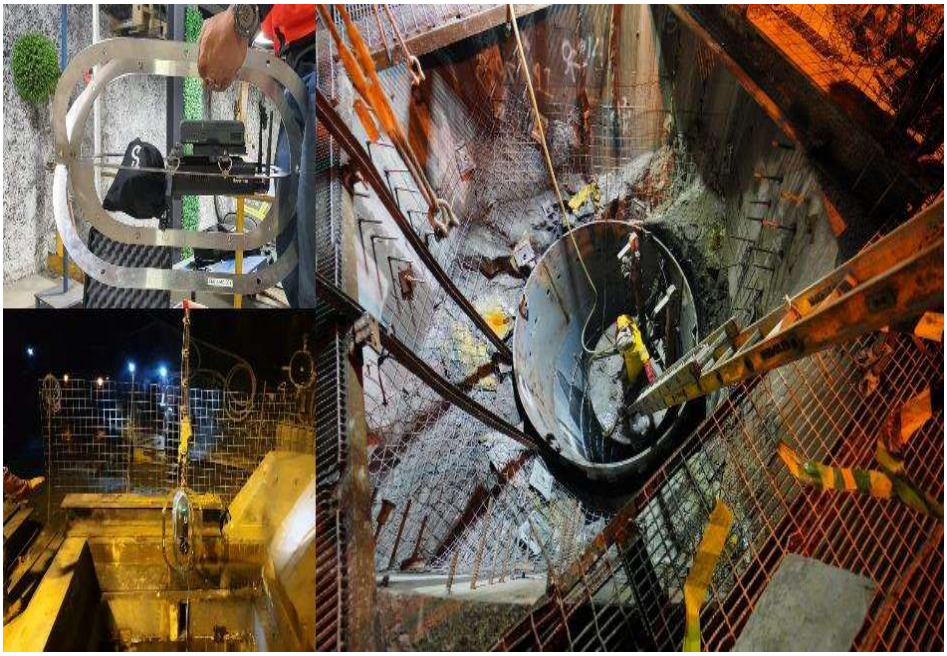
- Gambar Teknik dari lokasi kerja dikaji secara mendalam untuk menentukan titik masuk drone dan titik keluarnya. Gambar Teknik diperlukan untuk menilai risiko kerja yang dilakukan
- Arah dan kecepatan angin dan penilaian risiko lain yang bisa terjadi, seperti area yang ditinjau apakah memiliki *ground support* yang memadai atau tidak. Lokasi kerja memiliki potensi gas berbahaya atau tidak dan lain sebagainya. Hal tersebut akan menentukan titik maksimum posisi pilot atau crew survey sebagai titik aman pengoperasian drone.

B.6 **Platform yang digunakan dalam akuisisi data survei PTFI**

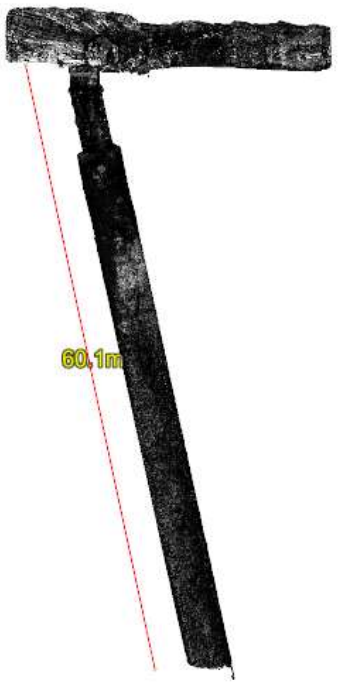
Di dalam pengoperasian sistem drone LiDAR, *Scanner* LiDAR ini dapat ditempel pada drone dan dapat juga digunakan pada equipment non-drone. Analisis penggunaan non-drone dikaji dari keputusan apakah area tersebut membutuhkan drone ataupun tidak.

B.7 **Penggunaan wire sling dengan caged LiDAR Scanner**

Sistem cangkang/*shell cage* LiDAR *Scanner* dilakukan pada kondisi tertentu, dengan cara menurunkan LiDAR *Scanner* yang terpasang pada *cage* ke dalam sebuah lubang /*raise*. Di tambang GBC dan DMLZ yang memiliki banyak lubang penyaluran *Ore pass*, sistem ini sangat tepat digunakan karena memiliki keunggulan dalam pengoperasiannya. *Scanner* dilindungi dengan cangkang besi baja dan diturunkan perlahan ke dalam lubang penyaluran *ore pass* Dengan *winch sling* dan kemudian dinaikkan kembali. Kecepatan penurunan dilakukan seoptimal mungkin agar data *scanning* yang dihasilkan memiliki kualitas yang optimal



Gambar 3 Aplikasi penggunaan Scanner LiDAR pada Ore Pass dengan Caged



Gambar 4 Hasil Scanning Menggunakan Caged LiDAR Scanner pada Ore Pass DMLZ

C. APLIKASI PENGGUNAAN PADA TAMBANG BAWAH TANAH PTFI

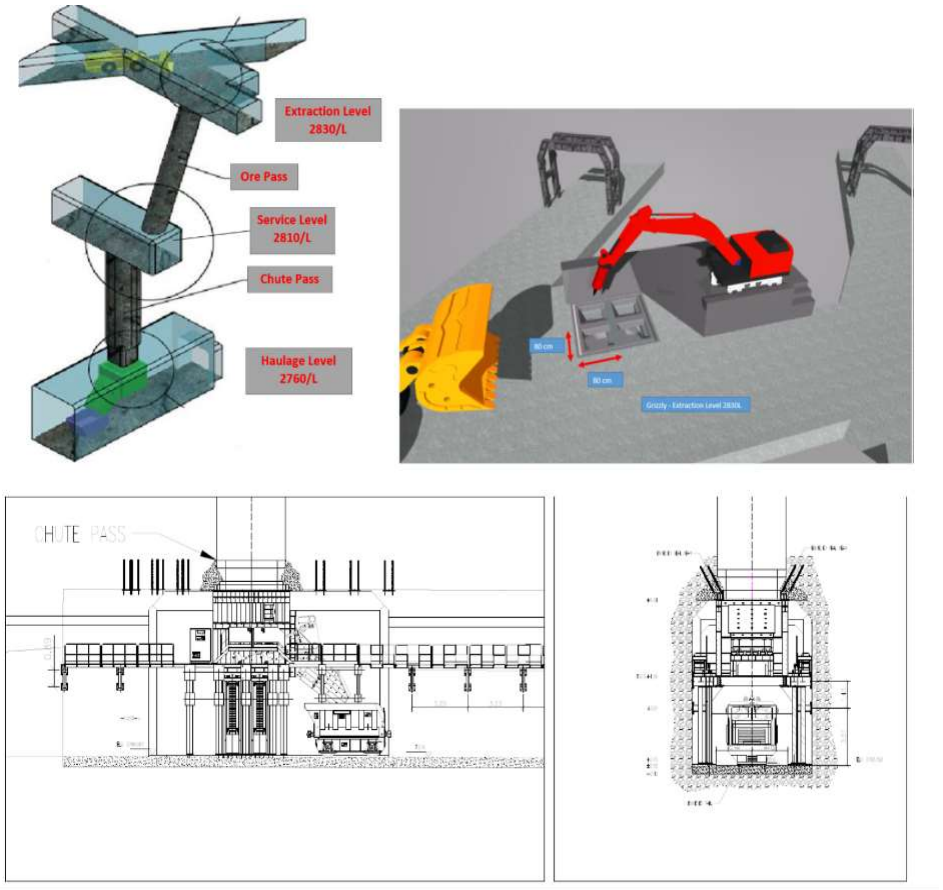
C.1 Penggunaan Metode Survey Drone di GBC, DOZ dan DMLZ

C.1.1. Inspeksi dan pengambilan data pada lubang penyaluran *Ore Pass*

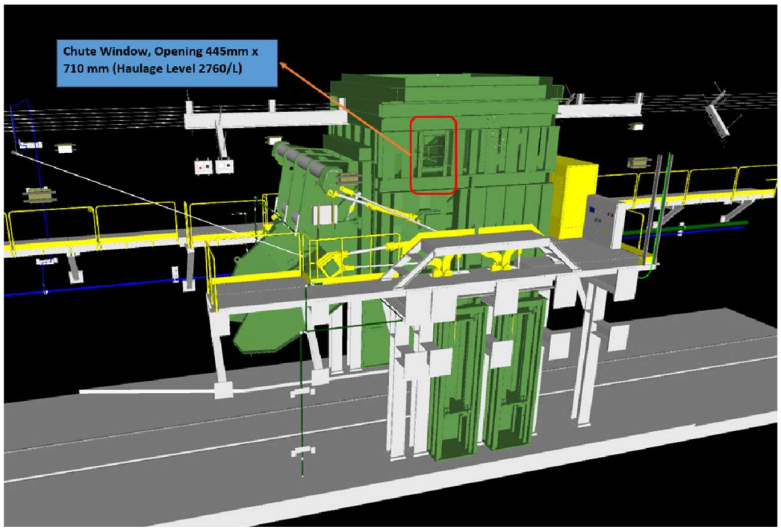
Pengambilan data dan inspeksi lubang penyaluran *ore pass* diperlukan dan dilakukan secara berkala untuk mendapatkan kondisi terkini dari lubang penyaluran tersebut. Kondisi lubang penyaluran *ore pass* yang mengalami kerusakan dapat mengakibatkan produksi tambang menjadi tidak optimal dikarenakan potensi hang up atau penyaluran tersumbat di dalam lubang penyaluran *ore pass* atau kondisi dimana lubang penyaluran menjadi semakin besar karena tergerus bijih batu produksi secara terus menerus, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur *chute* yang membuat produksi terhambat.

Struktur lubang penyaluran *Ore pass* di GBC dengan menghubungkan level extraction atau level produksi biji hasil peledakan undercut atau bijih deposit tambang yang kemudian diambil (mucking) dengan menggunakan remote loader maupun manual loader dan kemudian dijatuhkan (dumping) pada grizzly ke dalam lubang *ore pass*. Sistem penyaluran vertical ini terdiri dari dua sistem *ore pass*; yaitu lubang penyaluran *ore pass* yang menghubungkan level extraction di ketinggian 2830 meter diatas permukaan laut (mdpl) dengan service level di ketinggian 2810 mdpl. Untuk lubang penyaluran chute pass menghubungkan sistem penyaluran dari level service level ke level chute gallery di ketinggian 2760 mdpl. Integritas sistem ini disebut dengan sistem interlevel dimana sistem ini menghubungkan lebih dari satu level untuk menciptakan sistem hauling produksi yang berkesinambungan.
Di dalam pengoperasian drone di sistem interlevel GBC ini drone di operasikan dengan pilihan sebagai berikut:

1. Drone LiDAR melakukan manuver dengan masuk melalui bukaan chute di level haulage (2760/L) kemudian naik untuk melakukan *scanning* di dalam chute *pass raise* atau drone masuk melalui grizzly di level 2830/L dan kemudian turun untuk melakukan *scanning* di dalam *ore pass*.
2. Drone masuk dari akses di tengah service level kemudian melakukan maneuver dengan naik ke atas untuk melakukan *scanning ore pass* dan kemudian turun ke level chute *pass* dan keluar kembali ke service level
3. *Scanner* LiDAR masuk melalui grizzly dengan bantuan winch dan cage steel sebagai pelindung, dalam hal ini Drone tidak digunakan sebagai wahana penggerak.



Gambar 5 Skema Jalur Ore Pass yang ditinjau Drone



Gambar 6 Skema Drone Scanning pada Infrastruktur Chute

C.1.2. Inspeksi Hung-Up Drawpoint di Level Extraction

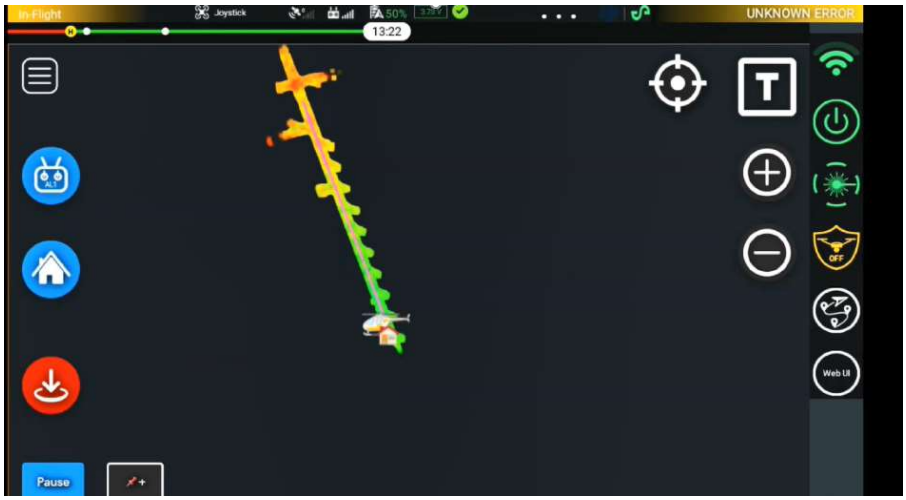
Batuan hasil peledakan drawbell di extraction acap kali mengalami hung-up (menggantung di ketinggian tertentu) akibat dari berbagai hal, termasuk fragmentasi hasil blasting drawbell pertama kali yang belum cukup untuk membuat aliran hasil peledakan mengalir dengan baik. Salah satu penyebab hang up juga bisa dikarenakan batuan caving yang turun memiliki kondisi geologi yang bervariasi yang menyebabkan batuan memiliki ukuran yang bervariasi, hal ini berpotensi menyebabkan *hung-up*, dikarenakan batuan saling mengunci.
Berbagai metode hung-up treatment dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini seperti metode breaking menggunakan *explosive* maupun *equipment mechanical* seperti *mobile rock breaker* atau *water cannon equipment.* Agar mendapatkan hasil *treatment* yang optimal untuk menjatuhkan batuan penyebab hung-up, survey dan *scanning* perlu dilakukan. Mengingat kondisi hung-up ini cukup berbahaya maka dari~~pada~~ itu konsep *scanning* menggunakan drone akan memberikan pilihan alternative yang baik dari sisi keamanan personel.


Gambar 7 Hasil Inspeksi Visual batuan menggantung pada Drawpoint Produksi

C.1.3. Inspeksi Kondisi Panel *Wet muck*

Kondisi *wet muck* atau lumpur basah merupakan salah satu risiko terbesar kondisi tidak aman dari tambang bawah tanah GBC. Kondisi tersebut sangat memungkinkan terjadi karena tambang bawah tanah GBC merupakan deposit yang tepat berada di bawah tambang terbuka Grasberg. Dengan curah hujan yang tinggi di area tambang Grasberg ditambah dengan propagasi batuan yang kedepannya semakin halus (fine), kondisi *wet muck* akan terjadi dan saat ini memang sudah terjadi di tambang bawah tanah GBC. Situasi dimana panel *wet muck* akan mengharuskan panel tersebut di mucking menggunakan sistem *unmanned zone* atau dilakukan secara remote. Dan untuk melakukan inspeksi *wet muck* akan lebih baik jika dilakukan dengan metode inspeksi tanpa personel yang masuk ke dalam area tersebut.

Pengoperasian drone di panel *wet muck* GBC secara keseluruhan dapat dilakukan, karena drone dapat terbang dan melakukan *scanning* dalam jarak 300-400-meter dari posisi control pilot.



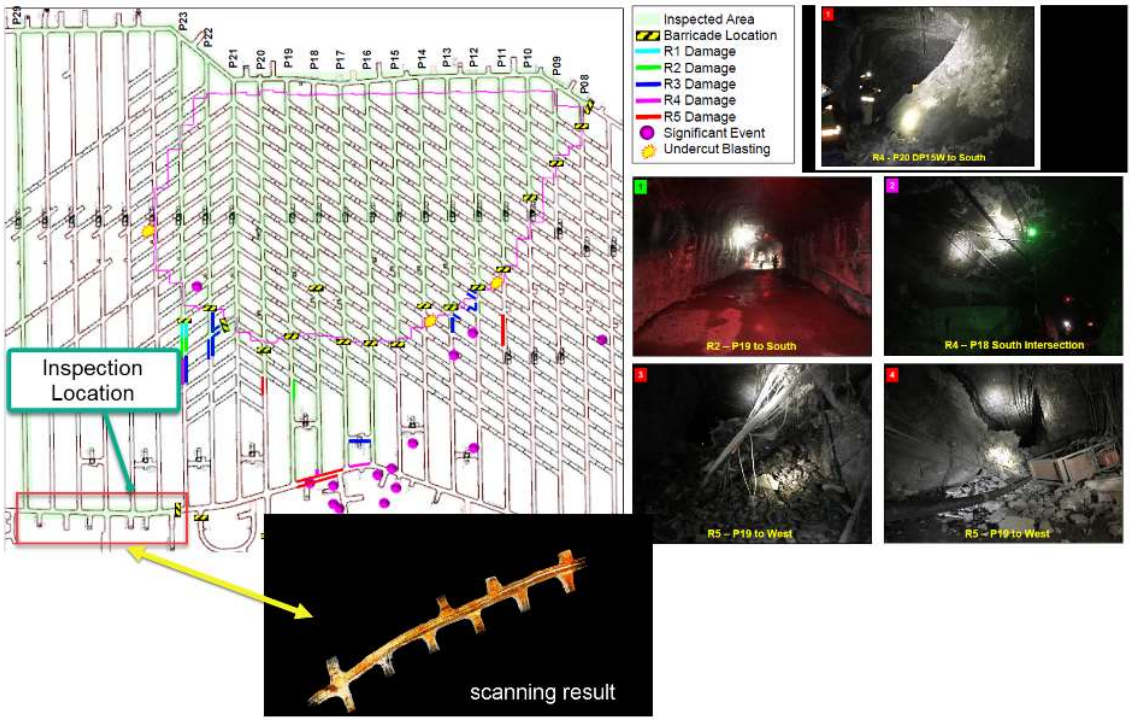
Gambar 8 Rute Visual pada Sistem Kontrol Pilot Drone


Gambar 9 Hasil Output Scanning Drone pada Panel Wet muck

C.1.4. Inspeksi dan *Scanning* Kondisi *drift* area merah (Red Zone)

Area Merah atau *red-zone* area merupakan kondisi dimana *drift*/terowongan tersebut memiliki tingkat kerusakan yang tinggi akibat aktivitas seismik. Aktivitas tersebut membuat kondisi terowongan menjadi tidak stabil. Protokol pengecekan kondisi terowongan tidak dapat dilakukan oleh personel secara

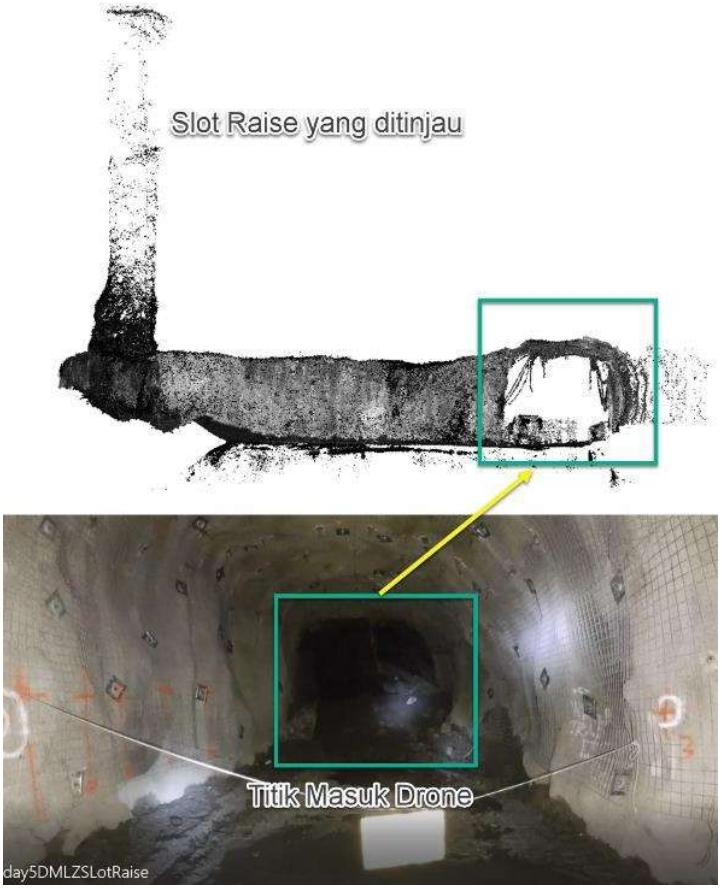
langsung karena ketidakstabilan terowongan tersebut. Dengan kondisi tersebut, *scanning* dengan perangkat drone akan memberikan tingkat keamanan lebih tinggi bagi personel tambang, karena pekerjaan tersebut dapat dilakukan tanpa paparan risiko dari ketidakstabilan *drift*.



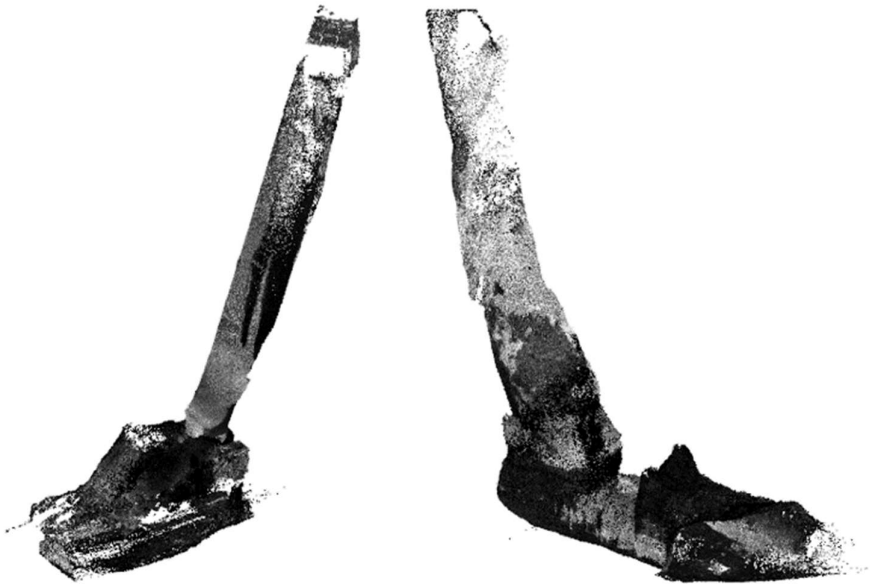
Gambar 10 Survey Scanning plan dan hasil output pada area Red Zone

C.1.5. Inspeksi Kondisi *Raise* dan Keausan *Ore Pass* Chute

Inspeksi kondisi *Raise* dilakukan acapkali setelah kejadian seismik terjadi, kebanyakan *Ore Pass* tidak diperkuat dengan *ground support*. Pengecekan dengan metode CMS memiliki kekurangan dibandingkan dengan metode Drone, dikarenakan personel harus memposisikan diri dekat dengan *brow* atau bibir *Ore Pass* saat pengambilan data CMS. Gambar 12 terlihat DMLZ Intake *Raise* Lat 2 VR P16-17 SFD, karena area tidak aman dan orang tidak bisa masuk, maka drone diterbangkan dari luar batas pengaman untuk inspeksi *raise* yang rusak. Pada gambar 13 terlihat keausan pada *Ore Pass* yang menyalurkan *Ore* dari level extraction ke level chute. Kondisi *Ore Pass* terutama dari gerusan batuan harus dimonitor dengan baik agar dapat memberikan angka produksi yang berkesinambungan.



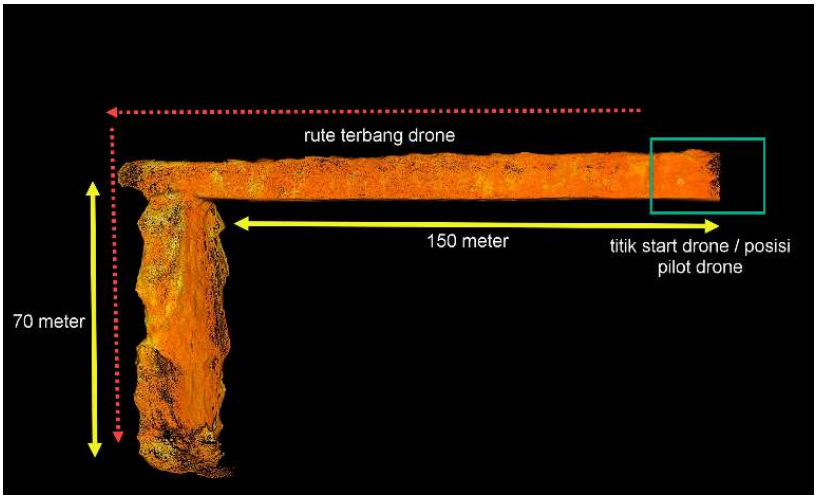
Gambar 11 Pengambilan Data pada Slot Raise DMLZ



Gambar 12 DOZ -3079 Ore Pass 16 & Ore Pass S-1 From Chute

C.2 Penggunaan Metode Survey Drone di Big Gossan

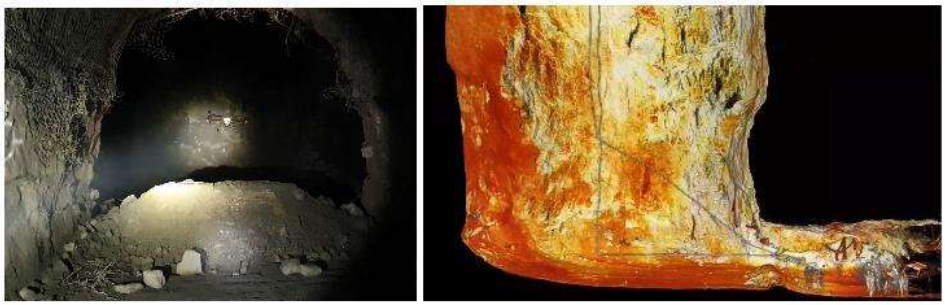
Penggunaan drone LiDAR *Scanner* di tambang bawah tanah Stopping Big Gossan dilakukan untuk mendapatkan data pengukuran volume stope. Pengukuran ini penting dilakukan untuk menentukan perencanaan tambang selanjutnya dan perhitungan produksi *paste fill* yang akan digunakan sebagai bahan pengisian void stope. Sistem drone ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem CMS yang dirangkum pada gambar 16 ;



Gambar 13 Skema Jalur Terbang Pada Big Gossan Stope Raise XC-53

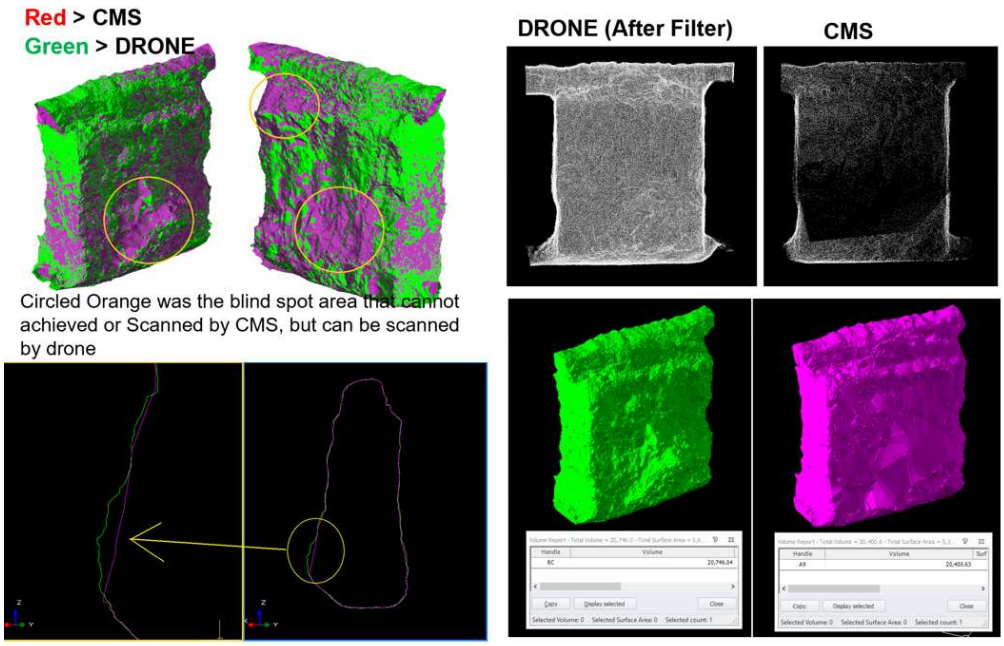
Selain itu sistem drone pada tambang bawah tanah Big Gossan memberikan keuntungan berupa:

- Durasi pengambilan data *scanning* yang lebih cepat dan dilakukan dalam satu waktu; metode CMS membutuhkan minimal dua kali pengambilan dari upper stope dan dari lower stope, sedangkan dengan metode drone LiDAR *Scanner*, *scanning* dilakukan satu kali dari satu tempat yang ditentukan.
- Hasil pengukuran dengan Drone LiDAR *Scanner* lebih rapat atau dense dibandingkan metode pengukuran dengan CMS, bisa dilihat pada gambar 16, metode drone memiliki keunggulan dapat mencapai area tertentu dibandingkan metode CMS yang memiliki keterbatasan jangkauan.
- Metode Drone LiDAR *Scanner* memiliki keunggulan di sisi keamanan bagi Surveyor dalam melakukan pengambilan data pengukuran. Metode *Scanning* data CMS, mengharuskan team surveyor memposisikan diri sedekat mungkin dengan collar atau *brow* stope saat pengambilan data sehingga memiliki risiko kejatuhan batu. Sedangkan dengan metode Drone LiDAR, team Surveyor dapat memposisikan diri pada jarak yang lebih aman dan berdiri cukup jauh dari bibir collar atau *brow*.



Gambar 14 Proses Pengambilan Data Scanning Pada Stope Big Gossan





Gambar 15 Output Pengambilan Data Scanning Pada Stope Big Gossan dan Perbandingan dengan Hasil CMS

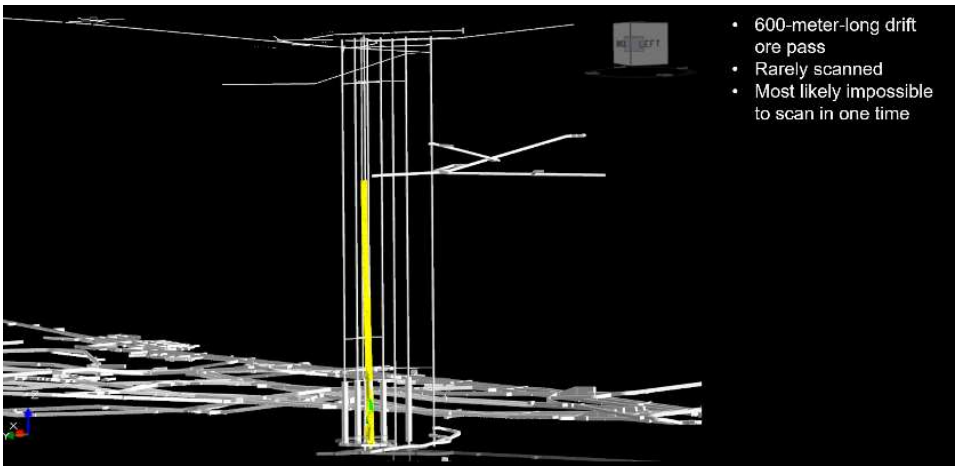
C.3 Penggunaan Metode Survey Drone di Area Lain

Selain digunakan di areal tambang produksi, Drone LiDAR *Scanner* ini digunakan juga untuk monitoring *Ore Pass* di area *non-mining* yaitu di area infrastruktur penting seperti *Ore* Bin dan area *Common Infrastructure*.

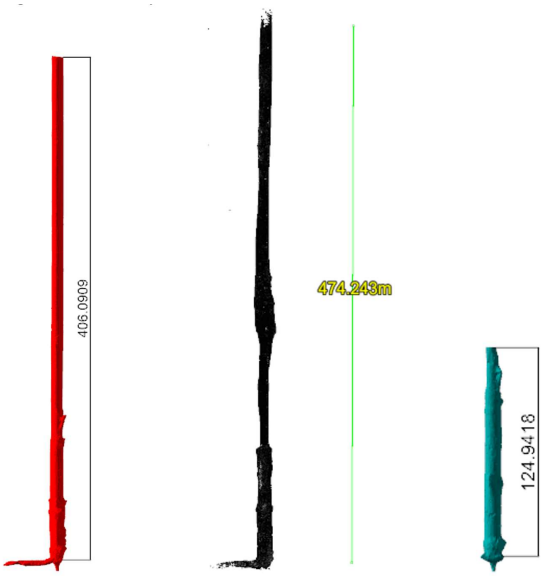
1. Area MLA Ore Pass

Pada area *Ore Pass*, Metode Drone LiDAR *Scanner* terbukti dapat dilakukan pada *vertical raise*

sepanjang 400-meter yang sebelumnya belum pernah dilakukan kembali setelah rentang waktu 15 tahun pengoperasian. Metode konvensional yang dilakukan dulu sebelum Drone LiDAR ini adalah dengan membuat platform mechanical dan manual *scanning* dengan cara personel yang turun ke dalam *Ore pass*. Perbandingan data di DOZ MLA *Ore* Bin 9 & 7, untuk jangkauan data di Vertical *Raise* dengan menggunakan Drone LiDAR bisa mencapai 470 meter, sedangkan dengan menggunakan alat CMS hanya menjangkau 124 meter.



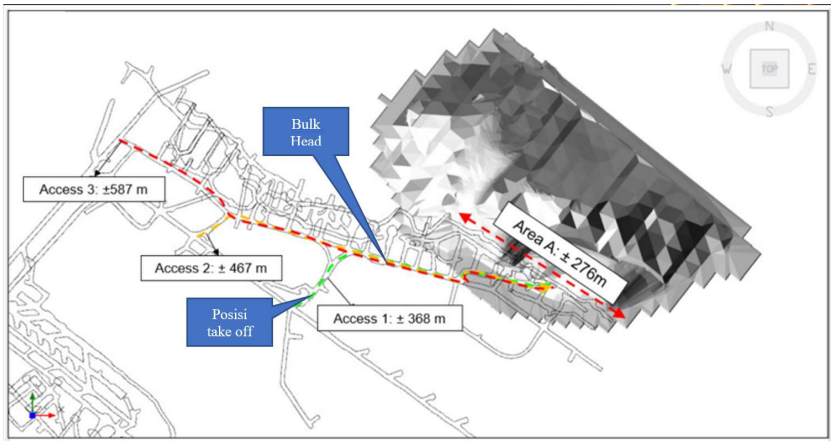
Gambar 16 Pengambilan Pada Ore Pass 600 Meter



Gambar 17 Perbandingan Hasil Scan dengan Drone LiDAR *pada Ore Bin 400 Meter vs Hasil CMS*

2. Area MLA Old Stope

Pada area ini terdapat suatu kondisi yang sangat menantang, dimana selain terowongan yang tidak aman akibat tidak disangga namun juga jalur yang berbelok serta jarak yang cukup panjang. Metode Drone LiDAR Scanner pada dasarnya mampu memenuhi harapan namun setelah dijalankan terdapat penutupan akses *bulkhead* yang berada di area tengah sehingga tidak dapat meneruskan hingga mencapai area yang dituju. Video yang terpasang memberikan visual yang cukup baik dan dengan jelas dapat melihat aktual terowongan dan *bulkhead* tersebut.



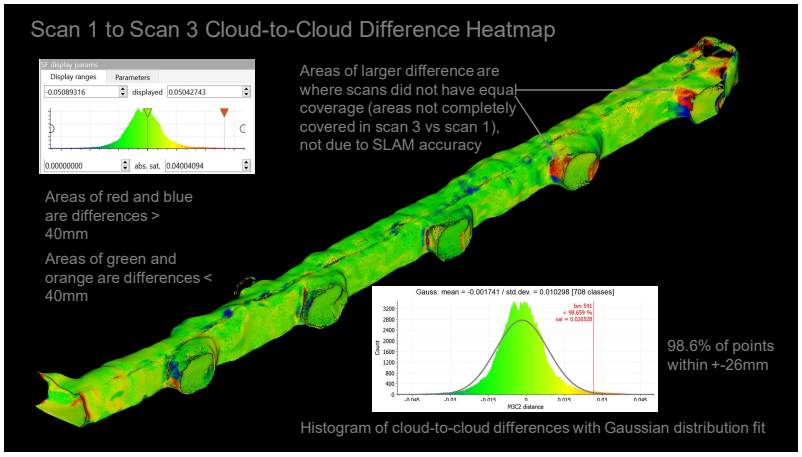
Gambar 18 Kondisi dan jalur area MLA Old Stope

3. Area AB Tunnel

Kebutuhan pada area ini adalah untuk melihat kondisi dan menghitung volume debit air yang lebih representatif masih dapat ditampung pada saluran air sehubungan akan adanya rencana penambahan kapasitas. Menggunakan LiDAR scanner yang dipasang pada atap mobil berhasil memetakan saluran air di terowongan AB Tunnel yang memiliki panjang lebih kurang 7 km.

4. Aplikasi monitoring Geoteknik

Telah dilakukan uji coba untuk melihat adanya pergerakan pada terowongan dengan cara melakukan pengukuran menggunakan Drone LiDAR scanner pada area yang sama dengan panjang 100 m dimana dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali di hari yang sama. Data-data scan diproses satu per satu menggunakan software Emesent dan scanning. Hasilnya, scan tersatukan/selaraskan dengan baik dengan 98,6% titik dalam jarak +/-20 mm satu sama lain untuk perbandingan pemindaian 1 hingga 2, dan +/- 26mm untuk pemindaian 1 hingga 3 perbandingan. Sebagian besar perbedaan yang lebih besar berada di area di mana pemindaian mungkin tidak memiliki tingkat cakupan yang sama. Kesalahan penyelarasan antara hasil scan yang diamati berada dalam kisaran noise yang dipublikasikan dari *Velodyne VLP-16* LiDAR yang digunakan dalam Hovermap (+/-30mm).



Gambar 19 Hasil perbandingan scan 1 ke 3 dalam bentuk heatmap

D. TANTANGAN DAN KESEMPATAN KEDEPANNYA UNTUK PENGGUNAAN DRONE DI AREA TAMBANG BAWAH TANAH

Berbagai tantangan atau constraint yang didapat dari pekerjaan *scanning* dan inspeksi menggunakan pesawat nir awak atau drone di area tambang tanah PTFI adalah:

D.1 Tantangan/constraints:

- *Low resolution (grainy) photographs:* untuk beberapa kasus tertentu seperti penggunaan drone di area *wet muck*, kamera dari drone tersebut belum cukup mampu memberikan kualitas gambar yang mumpuni untuk peninjauan fragmentasi batuan di drawpoint yang kemudian akan digunakan dalam pengklasifikasian kelas drawpoint. Hal ini disebabkan karena kadar debu yang cukup tinggi di panel tersebut dan juga kondisi cahaya yang di bawah ambang batas kamera drone.
- *Wind turbulence:* beberapa kasus didapatkan bahwa drone akan memiliki kesulitan untuk terbang ketika didapat turbulensi angin (angin yang berputar) sehingga fungsi kontrol drone terganggu dan daya baterai lebih cepat habis.
- *Heavy dripping water;* kondisi air yang mengucur dari dinding *drift* akan dinilai secara subjektif oleh pilot drone sebelum terbang, apabila kondisi dinding *drift* yang akan ditinjau memiliki kucuran air yang tinggi atau deras dikhawatirkan akan membuat *short* pada sistem kelistrikan pesawat nirawak/drone
- *Big data size:* data output yang dihasilkan dari proses pengambilan *scanning* dan inspeksi ini pada umumnya memiliki ukuran file yang sangat besar jika dibandingkan dengan metode *scanning* lainnya. Untuk itu diperlukan kapasitas penyimpanan digital yang memadai baik lokal maupun *cloud*. Begitu juga dengan perangkat komputer untuk memproses data *scanning* harus memiliki spesifikasi tinggi, sehingga waktu pengolahan data menjadi lebih cepat dan mendapatkan hasil yang optimal

D.2 Kesempatan Kedepannya Untuk Penggunaan Drone

1. **Peningkatan sistem operasional pengambilan data lapangan**
   - Pengambilan data *scanning* dan inspeksi di lapangan dengan drone mengurangi keterpaparan personel dari risiko tambang bawah tanah.
   - Sistem drone ini meningkatkan kapabilitas pengambilan data di area yang sempit dan berbahaya.

2. **Hasil akhir data scanning dan inspeksi yang lebih baik dari metode sebelumnya**
   - Hasil *scanning* memiliki peningkatan dibandingkan metode CMS dan metode lainnya yang digunakan sebelumnya.
   - Proses yang dilakukan sistematis dan dapat dilakukan berulang kali sehingga dimungkinan untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan tingkat ketelitian *scanning* yang lebih baik.

3. **Waktu pengambilan data yang efisien dan cepat**
   - Akuisisi data yang dilakukan sangat cepat dibandingkan metode sebelumnya

4. **Pengurangan Biaya (Cost Reduction)**
   - Mengurangi pengeluaran atau cost secara signifikan karena waktu pekerjaan yang ditempuh jauh lebih singkat.

E. KESIMPULAN

Monitoring dan inspeksi pada area infrastruktur underground sangat penting dan kritikal untuk keberlangsungan operasi tambang bawah tanah PTFI. Metode Drone LiDAR ini memungkinkan team Underground untuk melakukan monitoring pada area yang tidak memungkinkan untuk diakses secara aman oleh manusia. Metode sekarang yang dilakukan oleh tim Survey di lingkungan PTFI dilakukan dengan metode CMS yang memiliki keterbatasan dalam beberapa hal. Metode CMS dibandingkan dengan metode Drone LiDAR memiliki waktu pengerjaan yang lebih lama dan persiapan yang lebih

besar. Selain itu, metode CMS juga memiliki keterbatasan dalam pengambilan data di bagian-bagian tertentu. Kebanyakan area yang akan dimonitor juga merupakan area yang memiliki tingkat risiko tinggi seperti kejatuhan batu dan lain sebagainya, dengan menggunakan metode drone LiDAR di lingkungan tambang bawah tanah PTFI memberikan keuntungan metode kerja yang lebih aman bagi pekerja terutama surveyor. Keunggulan yang didapat dalam jangka panjang adalah pengurangan ongkos biaya yang didapat dari waktu pekerjaan yang berkurang. Selain itu metode ini juga memberikan keuntungan dalam hasil data *scanning* yang lebih baik.

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada ;

- Manajemen Divisi Underground atas izin dan review yang diberikan untuk publikasi ini.
- Tim GBC Construction yang sudah membantu terlaksananya proyek ini
- Tim *Underground Survey* yang sudah membantu pelaksanaan proyek ini.

G. DAFTAR PUSTAKA

Woolmer, D., Jones, E., Taylor, J., Baylis, C., and Kewe, D. (2020): *Use of Drone based LiDAR technology at Olympic Dam Mine and Initial Technical Applications*, MassMin 2020.

PENGGUNAAN METODE PEMBOBOTAN TERHADAP KONDISI *LOADING POINT* MENGGUNAKAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) DI *MINING OPERATION DIVISION*, PT KALTIM PRIMA COAL

Boy Sihombing

Hatari Department, Mining Operation Division

ABSTRAK

Dalam rangka mempertahankan daya saing perusahaan di industri pertambangan dunia, KPC terus menyesuaikan diri dan mengubah cara kerja dengan teknologi transformasi digital. Pemanfaatan aplikasi "Miners App" di Mining Operation Division (MOD) sebagai alat kerja sudah menjadi kebutuhan agar proses informasi menjadi lebih cepat, transparan dan *real-time*, sehingga dapat merespon perbaikan secara lebih cepat. Produktivitas alat gali di MOD dipengaruhi oleh 2 parameter utama yaitu *spotting time* dan *loading time*. Terkait dengan hal ini, "Checklist" kondisi loading point adalah salah satu fitur yang dikembangkan di Miners App untuk menilai kelayakan operasional alat gali. *Checklist* kondisi *loading point* yang ada saat ini dinilai belum mencakup keseluruhan kondisi yang akan memengaruhi 2 parameter utama produktivitas tersebut. Saat ini terdapat 5 *checklist* kondisi *loading point* dimana setiap pilihan memiliki rentang nilai 1 sampai dengan 5 yang nantinya akan dinilai oleh masing-masing supervisor *loading point*. Hanya saja, penggunaan nilai rata-rata dari ke-5 *checklist loading point* ini masih belum dapat mewakili gambaran pencapaian produktivitas yang sebenarnya. Oleh karena itu, makalah ini membahas tentang penambahan 3 *checklist* baru kondisi *loading point* dan penggunaan metode pembobotan terhadap masing-masing pilihan kondisi yang ada. Proses pembobotan akan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dari hasil *Forum Group Discussion* (FGD) yang beranggotakan 20 orang karyawan MOD yang dinilai ahli dibidang operasional tambang. Hasil dari penggunaan metode AHP ini didapatkan bahwa nilai *consistency ratio* (CR) dari setiap kondisi *loading point*, baik yang berkaitan dengan parameter *spotting time* ataupun *loading time*, lebih kecil dari 10% yang berarti bahwa penilaian yang dilakukan oleh ahli tersebut konsisten. Nilai pembobotan paling besar terhadap kondisi *loading point* yang mempengaruhi *loading time* adalah fragmentasi dan *bucket penetration* (41,57%) sementara pembobotan paling besar terhadap kondisi *loading point* yang mempengaruhi *spotting time* adalah lebar *loading point* (19,35%).

Kata kunci: digitalisasi; produktivitas; waktu *spotting*; waktu *loading*; *analytical hierarchy process*

ABSTRACT

To maintain its competitiveness in the global mining industry, KPC continues to adapt and change the way it works with digital transformation technology. The use of the "Miners App" application in MOD has become necessary so that information processing becomes faster, more transparent, and real-time to improve conditions more quickly. Digger productivity is influenced by two main parameters, which are spotting and loading time. Loading point condition "checklist" is one of the features developed in Miners App to assess the operational feasibility of a digger. This checklist is currently considered not to cover all conditions that affect the productivity parameters. Currently, there are five conditions that will be assessed by the loading point Supervisor (value range 1-5). However, using the average method against these conditions was still not representative of the actual productivity achievement. Therefore, this paper discusses the addition of 3 new conditions and the weighting method for each of these conditions. The weighting process uses the Analytic Hierarchy Process (AHP) method from the results of Forum Group Discussion (FGD), which consists of 20 MOD's employees who are considered experts in the mining operations. As a result of the AHP application, the consistency ratio (CR) of all loading point conditions was less than 10%, which means that the assessment made by the experts was consistent. The most outstanding weighting value for loading point conditions that affect loading time

is fragmentation and bucket penetration (41.57%), while the most significant weighting on loading point conditions that affect spotting time is loading point width (19.35%).

***Keywords**: productivity, spotting time, loading time, analytic hierarchy process*

A. PENDAHULUAN

Perubahan teknologi informasi dan komunikasi membuat tantangan baru bagi seluruh pelaku bisnis, tidak terkecuali bisnis pertambangan. Pelaku bisnis perlu beradaptasi dan bertransformasi dengan lingkungan yang baru dengan cara meningkatkan kualitas sumber daya manusia, inovasi, termasuk dalam mengadopsi teknologi digital. Melalui digitalisasi, perusahaan akan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasi perusahaan agar dapat selalu kompetitif menghadapi perubahan kondisi bisnis pertambangan batubara. Harapannya bahwa melalui transformasi digital akan mengubah model bisnis, pola pikir, dan budaya kerja. Oleh karena itu, pada pertengahan tahun 2019, KPC meluncurkan "Proyek Membara Digitalisasi" sebagai jawaban atas tantangan ini[10].

Produktivitas alat gali merupakan salah satu parameter utama produksi. Untuk memastikan pencapaian produksi setiap alat gali yang beroperasi, maka diperlukan kontrol terhadap kondisi-kondisi yang mempengaruhi ketercapaian produktivitas tersebut. Di MOD, produktivitas alat gali dipengaruhi oleh 2 parameter utama yaitu waktu *spotting* dan waktu *loading*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah perangkat yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol terhadap kondisi-kondisi yang mempengaruhi kedua parameter produktivitas tersebut.

Miners App adalah salah satu produk digitalisasi yang ada di *Mining Operation Division* (MOD), salah satu divisi pionir dalam penerapan digitalisasi di KPC, yang fitur-fitur utamanya berfungsi untuk memonitor KPI utama produksi yaitu *Availability, Usage*, Produktivitas alat gali dan *cycle time* alat angkut. Salah satu fitur Miners App adalah "Checklist". Pada prinsipnya, fitur *Checklist* ini dibuat untuk memberikan penilaian terhadap kondisi terkini aktivitas operasional sehingga dapat menjelaskan kinerja produksi. Dalam kaitannya dengan produktivitas alat gali, didalam fitur *Checklist* terdapat 5 kondisi yang saat ini digunakan untuk menilai kondisi *loading point*. Masing-masing pilihan kondisi ini memiliki skala penilaian 1 – 5. Masing-masing *supervisor loading point* berkewajiban untuk memberikan penilaian terhadap kondisi loading point setiap alat gali yang beroperasi. Nantinya, nilai rata-rata dari setiap kondisi akan menjadi *score loading point* untuk alat gali tersebut.

Kondisi yang dialami saat ini adalah bahwa hubungan antara *score loading point* dengan kinerja produktivitas alat gali belum menunjukkan kesesuaian yang tepat. Ada kalanya produktivitas alat gali kecil namun *score loading point* menunjukkan hasil yang bagus. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terkait dengan *checklist* kondisi *loading point* yang dipakai saat ini, apakah sudah mengakomodir keseluruhan kondisi yang dapat mempengaruhi waktu *spotting* dan waktu *loading*. Selain itu, metode perhitungan *score loading point* yang dipakai saat ini adalah dengan metode rata-rata, artinya setiap kondisi *loading point* memiliki kontribusi yang sama terhadap kinerja produktivitas.

Metode pembobotan yang digunakan pada makalah ini menggunakan *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Thomas L. Saaty, seorang matematikawan yang menjadi penemu dari metode ini. AHP merupakan kerangka kerja untuk membuat keputusan yang efektif pada masalah yang kompleks dengan menyederhanakan dan mempercepat proses pengambilan keputusan dengan memecahkan masalah menjadi bagian-bagian kecil. Metode AHP ini membantu memecahkan masalah dengan cara menstrukturkan kriteria hirarki, pihak yang berkepentingan, hasil dan dengan menarik berbagai pertimbangan untuk mengembangkan pembobotan atau prioritas. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menentukan pembobotan dari setiap kondisi yang ada pada *checklist loading point*, baik kondisi yang mempengaruhi waktu *spotting* ataupun waktu *loading*, sehingga hubungan antara *loading*

point score dengan kinerja produktivitas bisa lebih akurat.

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1 *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

AHP merupakan sebuah metode pengambilan keputusan multi-kriteria yang di ciptakan oleh Thomas.L Saaty dimana perhitungannya menggunakan aljabar matriks. Metode ini dinilai paling efektif dan paling banyak digunakan karena fleksibilitas, kesederhanaan perhitungan dan integrasinya dengan teknik yang lain. Metode matematis ini menggunakan data kuantitatif maupun data kualitatif berdasarkan pengalaman dan intuisi pembuat keputusan. Metode ini memungkinkan adanya model hierarkis yang menunjukkan hubungan antara tujuan, kriteria dan sub-kriteria permasalahan serta alternatif. AHP menghasilkan nilai pembobotan untuk setiap kriteria sesuai dengan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari pihak-pihak yang memberikan keputusan. Perbandingan berpasangan yang dimaksud menggunakan skala Saaty sesuai dengan Tabel-1 dibawah ini:

Tabel-1. Skala Dasar Perbandingan Berpasangan

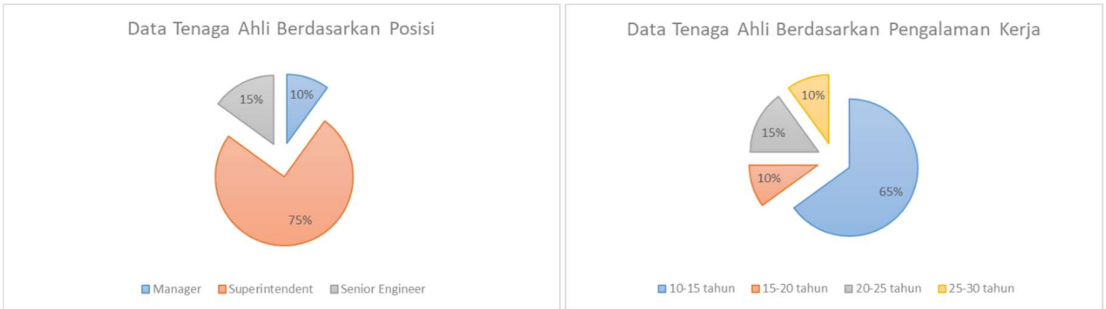
Tingkat Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Satu elemen sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
7	Sangat Penting	Satu elemen terbukti sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada keyakinan tertinggi.
2,4,6,8	Nilai tengah	Diberikan bila terdapat keraguan penilaian di antara dua tingkat kepentingan yang berdekatan.

Sumber: Saaty, 1986

Kriteria yang paling penting adalah kriteria yang memiliki bobot paling besar. Kemudian untuk kriteria tertentu, AHP memberikan skor untuk setiap alternatif sesuai dengan perbandingan berpasangan dari pengambil keputusan untuk setiap alternatif-alternatif tersebut. Alternatif terbaik dari kriteria tersebut merupakan alternatif dengan nilai bobot paling besar. Kemudian, AHP akan menggabungkan bobot dari masing-masing kriteria dengan skor setiap alternatif yang ada sehingga akan menghasilkan nilai skor secara keseluruhan.

B.2 *Forum Group Discussion (FGD)*

Penelitian ini melibatkan 20 orang tenaga ahli di *Mining Operation Division* (MOD) yang terdiri dari perwakilan 3 Pit Departemen. Teknis pengambilan data dilakukan melalui FGD untuk mendapatkan nilai perbandingan berpasangan untuk setiap alternatif. Data terkait dengan tenaga ahli yang ikut terlibat di dalam FGD ini dapat dilihat pada Gambar-1 dibawah ini.



Gambar-1. Data Tenaga Ahli Berdasarkan Posisi dan Pengalaman Kerja
(Sumber: Analisis Penulis)

B.3 Produktivitas Alat Gali

Produktivitas alat gali merupakan jumlah material tanah penutup/*overburden* yang dapat dipindahkan dalam satu jam. Di MOD, formula yang digunakan dalam menghitung produktivitas alat gali adalah sebagai berikut:

$$Digger\ Productivity = \frac{Overburden\ Removal\ (BCM)}{Spot + Load} \quad (1)$$

dimana spot merupakan waktu yang digunakan oleh alat muat untuk bermanuver di *loading point* (menit) sementara load merupakan waktu waktu yang dibutuhkan oleh alat gali untuk mengisi material ke dalam alat angkut (menit). Dengan kata lain, produktivitas alat gali di MOD hanya dipengaruhi oleh dua parameter tersebut yaitu waktu *spotting* dan waktu *loading*.

B.4 *Checklist* Kondisi *Loading Point*

Loading point merupakan lokasi dimana alat muat melakukan proses pemindahan material *overburden* kedalam alat angkut/*truck*. Kondisi *loading point* yang baik berkontribusi besar terhadap kinerja produktivitas. Untuk mencapai produktivitas alat gali yang sesuai dengan rencana, setiap kondisi yang mempengaruhi waktu *spotting* dan waktu *loading* harus diidentifikasi dengan baik sehingga pengawas loading point dapat dengan tepat melakukan penilaian terhadap proses operasional yang berjalan. Hasil penilaian inilah yang nantinya menjadi konfirmasi dari kinerja produktivitas alat gali untuk selanjutnya dapat menjadi bahan ulasan dalam pengambilan tindakan perbaikan untuk kedepannya.

B.4.1 Daftar Kondisi *Loading Point* Saat Ini

Saat awal dimulainya proses digitalisasi di MOD, terdapat 5 kondisi yang sampai saat ini digunakan sebagai penilaian *loading point* alat gali (Tabel-1). Analisis dilakukan terhadap daftar kondisi *loading point* yang ada, dan hasilnya menunjukkan bahwa 4 dari 5 kondisi *loading point* cenderung berpengaruh terhadap parameter waktu *spotting* (undulasi, lebar *loading point*, *drainage* dan alat bantu), sementara hanya 1 kondisi yang berpengaruh terhadap parameter *loading time (bench height)*. Oleh karena itu dinilai perlu untuk melakukan penambahan daftar kondisi *loading point* yang berpengaruh terhadap parameter waktu *loading*.

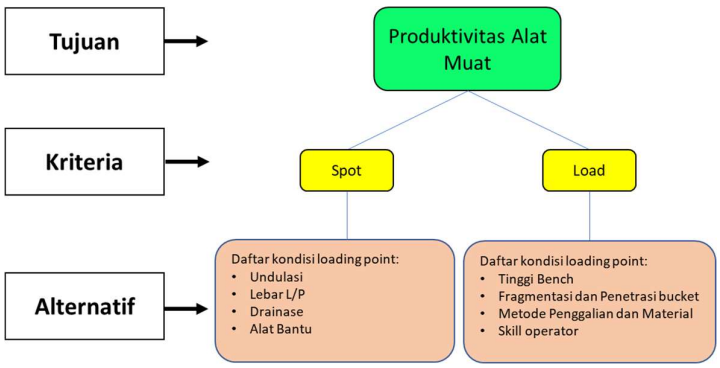
B.4.2 Proposal Penambahan Daftar Kondisi *Loading Point*

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, tujuan dari penambahan daftar kondisi *loading point* ini adalah untuk mendapatkan kondisi yang menyeluruh dari aktivitas operasional alat muat dan alat angkut di *loading point*. Oleh sebab itu, penambahan kondisi yang berpotensi mempengaruhi waktu *loading* perlu dilakukan sebagai pelengkap daftar yang sudah ada. Proses diskusi dilakukan melalui mekanisme FGD dan menghasilkan penambahan 3 kondisi yang baru, lengkap dengan karakteristik untuk masing-masing kategori penilaiannya (nilai 1 sampai dengan 5). Dengan penambahan ini maka terdapat total 8 daftar kondisi *loading point* dimana setiap parameter, baik waktu *spotting* maupun waktu *loading*, memiliki masing-masing 4 kondisi. Daftar lengkap dari penambahan kondisi *loading point* yang mempengaruhi waktu *loading* tersebut dapat dilihat pada Tabel-2 dibawah.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1 Konstruksi Hirarki

Hirarki dalam hal ini adalah sebuah system yang dibentuk untuk menguji interaksi komponen masalah dan bagaimana interaksi ini mempengaruhi seluruh sistem. Tujuan utama dari dibuatnya hirarki ini adalah untuk menyederhanakan permasalahan sehingga lebih mudah untuk dipahami. Adapun konstruksi hirarki yang akan digunakan dalam proses perhitungan dapat dilihat pada Gambar-2 dibawah ini.



Gambar-2. Struktur Hirarki dari Produktivitas Alat Muat
(Sumber: Analisis Penulis)

Yang menjadi tujuan dari penggunaan AHP ini adalah terkait dengan produktivitas alat muat, dimana kriteria yang ditetapkan merupakan 2 parameter utama produktivitas yaitu waktu *spotting* dan waktu *loading*. Selanjutnya, alternatif dari masing-masing kriteria terdiri dari 4 daftar kondisi *loading point.*

C.2 Perbandingan Berpasangan/*Pairwise Comparison*

C.2.1 Kriteria

Waktu *spotting* dan waktu *loading* merupakan kriteria yang akan ditentukan nilai pembobotannya terlebih dahulu. Karena hanya terdiri dari 2 pilihan, maka untuk penentuannya dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan analisis sensitivitas. Dari 2 parameter tersebut, kita akan menentukan parameter mana yang paling sensitif terhadap produktivitas alat muat.

MOD memiliki *baseline* total waktu *spotting* dan waktu *loading* untuk setiap tipe alat angkut relatif terhadap alat muat yang dipasangkan (Tabel-2).

Tabel-3. *Baseline Spot-Load* di MOD

Tipe Equipment	Cat-785	Cat-789	Euclid EH-4500/5000	Liebherr T282
R996-S	1.61	2.27	3.31	4.34
R996-B	1.70	2.38	3.48	4.56
EX3500-S	2.66	3.73	5.46	
EX3500-B	3.35	4.70	6.87	
EX3600-B	2.91	4.09	5.96	

Sumber: Dokumen Internal MOD-KPC

Tabel-1. Daftar Kondisi *Loading Point* Saat Ini

Checklist Kondisi

Loading Point	1	2	3	4	5	Impact on Productivity
Undulasi	Adanya undulasi yang tidak bisa dihindari dalam jumlah yang banyak, menyebabkan beban kejut yang parah terhadap BAN hingga jauh di atas kemampuan BAN baik pada saat alat angkut kosong maupun bermuatan	Adanya undulasi yang tidak bisa dihindari dalam jumlah yang lebih sedikit, menyebabkan BAN melentur dan terkena beban kejut baik pada saat alat angkut kosong maupun bermuatan	Undulasi dapat dihindari dan menyebabkan pengaruh yang kecil terhadap BAN	Undulasi dapat dihindari dan menyebabkan pengaruh yang sangat kecil dan tidak ada pengaruh terhadap BAN	Tidak ada undulasi	Spotting Time
Bench Height	Poor		Fair		Good	Loading Time (BFF)
Lebar L/P	Kondisi area pemuatan sangat tidak ideal: Area sangat sempit, kondisi BAN terlihat selalu menginjak batu atau tanggul	Kondisi area pemuatan tidak ideal: Area sempit, kondisi BAN terlihat sering menginjak batu atau tanggul	Kondisi area pemuatan cukup bagus: Area cukup luas untuk manuver, kondisi BAN terlihat jarang menginjak batu atau tanggul	Kondisi area pemuatan ideal: Area luas untuk manuver, jarang sekali BAN menginjak batu atau menaiki tanggul	Kondisi area pemuatan sangat ideal: Area sangat luas untuk manuver, tidak pernah terlihat BAN menginjak batu atau menaiki tanggul	Spotting Time
Drainage	Kondisi drainage yang buruk, dimana terdapat genangan air yang luas, lumpur yang dalam, dan kondisi tanah yang tidak stabil, sehingga dapat menyebabkan spin, sidewall cuts, dan terpotongnya kembangan BAN	Kondisi drainage yang buruk, dimana terdapat spot-spot genangan air yang cukup banyak, lumpur yang dalam, dan kondisi tanah yang tidak stabil, sehingga dapat memberikan kontibusi terhadap spin, sidewall cuts, dan terpotongnya kembangan BAN	Kondisi drainage yang cukup buruk (tidak aman bagi BAN), dimana terdapat beberapa genangan air, lumpur, dan kondisi tanah tidak stabil yang akan memberikan kontibusi terhadap spin, sidewall cuts, dan terpotongnya kembangan BAN	Kondisi drainage cukup bagus tetapi jejak BAN masih terlihat jelas (tanah masih lunak) dan memberikan pengatuh kecil terhadap area tapak BAN	Kondisi drainage ideal (hampir tidak ada genangan air, jejak BAN dapat terlihat jelas), dan BAN bisa menapak sempurna	Spotting Time
Alat bantu	Peralatan pendukung tidak terlihat ada dan kondisi area tidak bagus	Peralatan pendukung terlihat ada tapi tidak bekerja dan kondisi area tidak bagus	Peralatan pendukung terlihat ada dan bekerja namun kurang efektif sehingga terlihat masih banyak tumpahan/undulasi (>25% area)	Peralatan pendukung terlihat ada dan bekerja namun cukup efektif meskipun terlihat masih ada tumpahan/undulasi (<25% area)	Peralatan pendukung ada dan bekerja sangat efektif sehingga hampir tidak ada tumpahan/undulasi atau kondisi sudah bagus baik dan atau tidak ada alat bantu	Spotting Time

Sumber: Dokumen Internal MOD-KPC

Tabel-2. Proposal Penambahan Daftar Kondisi *Loading Point*

Loading Point	1	2	3	4	5	Impact on Productivity
Fragmentasi dan Penetrasi Bucket	Ukuran fragmentasi batuan pada umumnya boulder yang berukuran besar atau gigi bucket tidak mampu menembus lapisan OB sehingga penggalian harus dihentikan atau dipindahkan.	Ukuran fragmentasi batuan pada umumnya boulder yang berukuran besar atau kecepatan gigi bucket saat proses penggalian sangat rendah. Terdapat jejak gigi bucket pada face penggalian.	Ukuran fragmentasi batuan pada umumnya diatas 30 cm dan banyak boulder yang berukuran besar atau kecepatan gigi bucket saat proses penggalian rendah (dibawah standard)	Ukuran fragmentasi batuan sesuai standard, pada umumnya 30 cm namum ada beberapa boulder yang berukuran besar atau kecepatan gigi bucket saat proses penggalian sesuai dengan standard	Ukuran fragmentasi batuan sesuai standard, maksimal 30 cm atau kecepatan gigi bucket saat proses penggalian sangat cepat (material sangat mudah digali).	Loading Time
Metoda Penggalian dan Material	Penggalian top loading dengan material lumpur (backhoe); penggalian gali-timbun (shovel)	Penggalian top loading dengan material soft dan free dig (backhoe); penggalian normal dengan material soft dan free dig (shovel)	Penggalian top loading dengan kualitas OB yang baik (backhoe)	Penggalian normal loading, kualitas OB baik. Single side loading (shovel) atau single front (backhoe)	Penggalian normal loading. Double side (shovel) atau double front (backhoe).	Loading Time
Skill operator digger	Operator dalam masa training tahap 1: Skill masih dibawah standar, baru pengenalan dengan alat baru	Operator dalam masa training tahap 2: skill sudah berkembang, tetapi masih beradaptasi dengan pengoperasian alat	Operator sudah terampil tetapi belum bisa menyesuaikan pengoperasian unit terhadap kondisi material dan penggalian	Operator sudah terampil dan dapat menyesuaikan pengoperasian unit terhadap kondisi material dan penggalian	Operator sangat terampil dan menyesuaikan pengoperasian unit terhadap kondisi material dan penggalian dengan mudah	Loading Time

Sumber: Dokumen Internal MOD-KPC

Perhitungan dilakukan melalui pendekatan tipe alat angkut Cat-789 yang dipasangkan ke alat muat R996-S. Dari tabel diatas diketahui bahwa *baseline* angka *spot-load*-nya adalah sebesar 2.27 menit. Hingga saat ini, tidak ada patokan angka *baseline* terperinci untuk masing-masing waktu *spotting* dan waktu *loading*. Oleh karena itu, dilakukan asumsi untuk menentukan besarnya waktu *spotting* dan waktu *loading* untuk pasangan alat angkut Cat-789 dan R996-S sebagai berikut:

Tabel-4. Asumsi Waktu *Spot* dan Waktu *Load*

Tipe Equipment	Cat 789		Total (menit)	Payload (Ton)	OB Density (Ton/BCM)
	Spot (menit)	Load (menit)			
R996-S	0.8	1.47	2.27	190	2.4

Sumber: Analisis Penulis

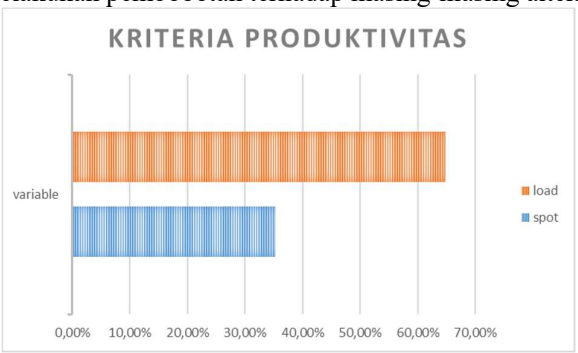
Selanjutnya dilakukan perhitungan analisis sensitivitas sederhana menggunakan angka parameter *spot* dan *load* sesuai dengan Tabel-4 diatas. Untuk setiap parameter dilakukan *swing* sebesar +/- 5% dari angka asumsinya untuk mengetahui perbedaan hasil produktivitas alat muat yang dihasilkan. Perhitungan produktivitas alat muat dilakukan menggunakan persamaan (1). Tabel-5 dibawah ini memperlihatkan hasil analisis sensitivitasnya.

Tabel-5. Analisis Sensitivitas Pengaruh *Spot-Load* Terhadap Produktivitas Alat Muat

variable	variable -5%	variable base (minutes) [for cat-789]	variable +5%	prod'ty if var -5% (bcm/hr)	productivity base (bcm/hr)	prod'ty if var +5% (bcm/hr)	% change of prod'ty if var -5%	% change of prod'ty if var +5%	absolute range	%-range (spot vs load)
spot	0,76	0,80	0,84	2.130,04	2.092,51	2.056,28	1,79%	-1,73%	3,53%	**35,23%**
load	1,40	1,47	1,54	2.162,53	2.092,51	2.026,88	3,35%	-3,14%	6,48%	**64,77%**
		2,27								100,00%

Sumber: Analisis Penulis

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perubahan pada parameter waktu *loading* lebih sensitif terhadap perubahan produktivitas alat muat dibandingkan dengan parameter waktu *spotting*-nya dengan nilai pembobotan sebesar 64.77% berbanding 35.23% (Gambar-3). Angka ini selanjutnya akan menjadi patokan untuk melakukan pembobotan terhadap masing-masing alternatif yang tersedia.



Gambar-3. Hasil Pembobotan Kriteria Produktivitas

C.2.2 Alternatif

Setiap kriteria yang ada memiliki masing-masing 4 alternatif dan selanjutnya akan ditentukan bobotnya, Pada tahapan ini, masing-masing alternatif akan dibandingkan tingkat kepentingan antara yang satu dengan yang lain berdasarkan pertimbangan dari pihak pemberi keputusan (FGD). Skala perbandingan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel-1. Pada prinsipnya, skala perbandingan antara alternatif satu dengan yang lain akan membentuk sebuah matriks (n x n) yang dapat digambarkan sebagai berikut:

$$A = [\alpha_{11}\ \alpha_{12}\ ..\alpha_{1n}\ \alpha_{21}\ \alpha_{22}\ ..\alpha_{2n}\ .....\alpha_{n1}\ \alpha_{n2}\ ..\alpha_{nn}\ ] \quad (2)$$

dimana A merupakan matriks perbandingan dan n merupakan dimensi matriks (banyaknya alternatif yang tersedia).

Dari FGD yang telah dilakukan, matriks perbandingan berpasangan untuk alternatif waktu *spotting* dapat dilihat pada Tabel-6 sementara matriks perbandingan berpasangan untuk alternatif waktu *loading* dapat dilihat pada Tabel-7 dibawah ini.

Tabel-6. Matriks Perbandingan Alternatif Waktu *Spotting*

	Undulasi	Lebar L/P	Drainase	Alat Bantu
Undulasi	1	1/7	1/6	1/3
Lebar L/P	7	1	3	5
Drainase	6	1/3	1	3
Alat Bantu	3	1/5	1/3	1

Tabel-7. Matriks Perbandingan Alternatif Waktu *Loading*

	Tinggi Bench	Fragmentasi	Metode	Skill
Tinggi Bench	1	1/5	4	3
Fragmentasi	5	1	6	9
Metode	1/4	1/6	1	2
Skill	1/3	1/9	1/2	1

Langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi matriks perbandingan yang telah didapatkan. Perhitungannya dilakukan dengan cara menjumlahkan semua nilai pada setiap kolom dalam matriks kemudian membagi setiap nilai dari kolom dengan total nilai kolom yang bersangkutan. Matriks normalisasi untuk alternatif waktu *spotting* dan alternatif waktu *loading* dapat dilihat pada Tabel-8 dan Tabel-9 dibawah ini.

Tabel-8. Matriks Normalisasi Alternatif Waktu *Spotting*

	Undulasi	Lebar L/P	Drainase	Alat Bantu
Undulasi	0,059	0,084	0,037	0,036
Lebar L/P	0,412	0,598	0,667	0,536
Drainase	0,353	0,199	0,222	0,321
Alat Bantu	0,176	0,120	0,074	0,107

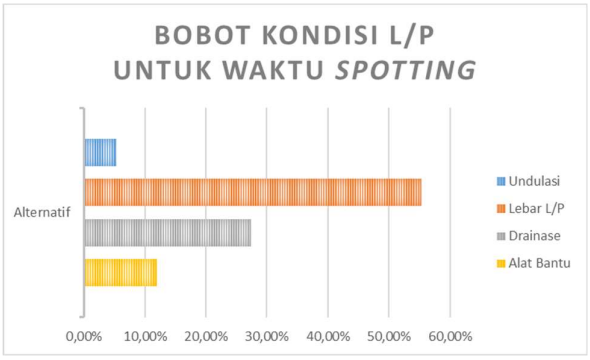
Tabel-9. Matriks Normalisasi Alternatif Waktu *Loading*

	Tinggi Bench	Fragmentasi	Metode	Skill
Tinggi Bench	0,152	0,135	0,348	0,200
Fragmentasi	0,759	0,677	0,522	0,600
Metode	0,038	0,113	0,087	0,133
Skill	0,051	0,075	0,043	0,067

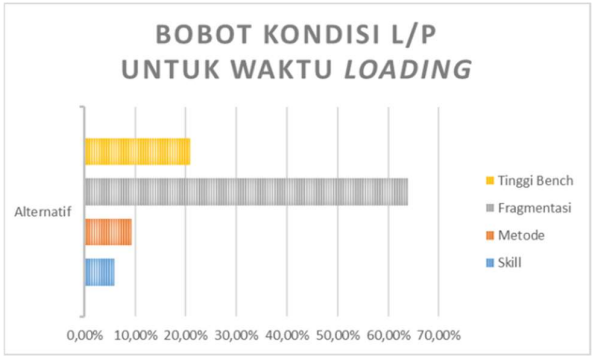
Setelah menghitung matriks normalisasi, maka langkah berikutnya adalah menghitung Vektor Eigen yang merupakan bobot dari setiap alternatif yang tersedia. Vektor Eigen merupakan nilai rata-rata dari setiap baris matriks normalisasi. Tabel-10, Gambar-4 dan Gambar-5 dibawah ini merupakan hasil perhitungan Vektor Eigen atau dengan kata lain nilai bobot setiap alternatif yang tersedia.

Tabel-10. Hasil Perhitungan Vektor Eigen Setiap Alternatif

		Alternatif	Vektor Eigen
Kriteria	**Spot**	Undulasi	5,38%
		Lebar L/P	55,29%
		Drainase	27,39%
		Alat Bantu	11,93%
	Load	Tinggi Bench	20,88%
		Fragmentasi	63,95%
		Metode	9,28%
		Skill	5,90%



Gambar-4. Hasil Pembobotan Alternatif Untuk Waktu *Spotting*



Gambar-5. Hasil Pembobotan Alternatif Untuk Waktu *Loading*

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah menggabungkan bobot dari setiap alternatif yang ada dengan bobot dari kriteria-nya masing-masing. Perkalian dari masing-masing nilai tersebut merupakan hasil pembobotan terakhir dari setiap alternatif yang tersedia. Tabel-11 dibawah ini merupakan perhitungan akhir proses pembobotan yang berhasil dilakukan.

Tabel-11. Perhitungan Akhir Pembobotan Kondisi *Loading Point*

Tujuan	Kriteria	Wc (Bobot Kriteria)	Alternatif	Wa (Bobot Alternatif)	Wf (Bobot Akhir)
Digger Productivity	Spot	**35,23%**	Undulasi di Loading Point	5,38%	1,88%
			Lebar Loading Point	55,29%	19,35%
			Kondisi Drainase	27,39%	9,59%
			Ketersediaan Alat Bantu	11,93%	4,18%
	Load	**64,77%**	Tinggi Bench	20,88%	13,57%
			Fragmentasi dan Penetrasi Bucket	63,95%	41,57%
			Metoda Penggalian dan Material	9,28%	6,03%
			Skill Operator Alat Muat	5,90%	3,84%
					100,00%

C.3 Uji Konsistensi Indeks (CI) dan Konsistensi Rasio (CR)

Metodologi AHP mempersyaratkan nilai tingkat konsistensi tertentu yang diizinkan pada proses membuat matriks perbandingan berpasangan. Nilai tingkat konsistensi ini juga dapat menunjukkan kualitas dari keputusan yang diberikan pada proses FGD yang berlangsung.

Sebelum menentukan konsistensi rasio (CR), terlebih dahulu harus diuji konsistensi indeks (CI) dari matriks berpasangan yang telah dibuat. Formula konsistensi indeks (CI) dihitung berdasarkan formula berikut ini:

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n-1} \quad (3)$$

dimana λ-max merupakan nilai maximum dari Vektor Eigen dari setiap matriks perbandingan berpasangan dan n merupakan jumlah dari alternatif yang ada. Perhitungan λ-max dari masing-masing matriks perbandingan berpasangan baik untuk waktu *spotting* maupun waktu *loading* dapat dilihat pada Tabel-12 dan Tabel-13 berikut ini.

Tabel-12. Perhitungan Nilai λ-max Untuk Alternatif Waktu *Spotting*

	Undulasi	Lebar L/P	Drainase	Alat Bantu	sum	
Undulasi	0,054	0,077	0,046	0,040	0,216647065	4,026145
Lebar L/P	0,377	0,553	0,822	0,597	2,347967297	4,246342
Drainase	0,323	0,184	0,274	0,358	1,139029084	4,157818
Alat Bantu	0,161	0,111	0,091	0,119	0,482636525	4,04549
					λ-max	4,118949

Tabel-13. Perhitungan Nilai λ-max Untuk Alternatif Waktu *Loading*

	Tinggi Bench	Fragmentasi	Metode	Skill	sum	
Tinggi Bench	0,209	0,128	0,371	0,177	0,884682868	4,237681
Fragmentasi	1,044	0,639	0,557	0,531	2,770802902	4,332892
Metode	0,052	0,107	0,093	0,118	0,369516165	3,983503
Skill	0,070	0,071	0,046	0,059	0,24601432	4,170338
					λ-max	4,181104

Dari perhitungan pada Tabel diatas didapatkan nilai dari masing-masing konsistensi indeks (CI) baik untuk alternatif waktu *spotting* maupun alternatif waktu *loading* sebagai berikut.

Tabel-14. Perhitungan Nilai CI

Alternatif		Jumlah	Konsistensi Indeks (CI)	
λ-max Spot	λ-max Load	Alternatif (n)	Spot	Load
4,118949	4,181104	4	**0,0396**	**0,0604**

Setelah mendapatkan nilai CI untuk masing-masing matriks perbandingan berpasangan, maka akan ditentukan nilai konsistensi rasio (CR) menggunakan persamaan berikut ini:

$$CR = \frac{CI}{Random\ Index\ (RI)} \quad (4)$$

dimana nilai dari Random Index (RI) bergantung kepada jumlah elemen alternatif yang diperbandingkan, mengikuti nilai yang terdapat pada Tabel-15 dibawah ini. Jika nilai konsistensi rasio (CR) yang diperoleh lebih kecil atau sama dengan 10%, maka inkonsistensi proses yang berlangsung masih dapat diterima.

Tabel-15. Nilai Random Indeks (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Dengan menerapkan nilai dari konsistensi indeks (CI) dan nilai dari random indeks (RI) kedalam persamaan (4), maka didapatkan nilai konsistensi rasio (CR) sebagai berikut.

Tabel-16. Nilai Konsistensi Rasio (CR)

Konsistensi Indeks (CI)		Random Indeks	Konsistensi Rasio (CR) - %	
Spot	Load	(n=4)	Spot	Load
0,0396	0,0604	0,90	**4,41%**	**6,71%**

D. KESIMPULAN

Penambahan 3 kondisi *loading point* ke dalam daftar "*Checklist*" yang sudah ada saat ini diharapkan dapat menyuguhkan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan sehingga penilaian yang diberikan terhadap masing-masing kondisi tersebut dapat mencerminkan kinerja produktivitas alat muat. Dari 2 parameter utama produktivitas alat muat, waktu *loading* merupakan parameter yang paling sensitif mempengaruhi kinerja produktivitas. Melalui metode AHP terhadap 8 kondisi *loading point*, dapat ditentukan bobot dari masing-masing kondisi tersebut. Bobot yang paling besar mempengaruhi kinerja produktivitas alat muat jika dilihat dari parameter waktu *loading* adalah fragmentasi dan penetrasi *bucket* yaitu sebesar 41,57% sementara bobot paling besar jika dilihat dari parameter waktu *spotting* adalah lebar *loading point* yaitu sebesar 19,35%. Perhitungan konsistensi rasio (CR) untuk parameter waktu *loading* adalah sebesar 6,71% sementara untuk parameter waktu *spotting* sebesar 4,41% sehingga dapat dinyatakan bahwa penilaian yang dilakukan oleh para anggota *forum group discussion* (FGD) adalah konsisten. Proses perhitungan yang ada di makalah ini diharapkan dapat digunakan sebagai contoh dalam melakukan proses pembobotan terhadap permasalahan lain yang ada di perusahaan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada PERHAPI untuk penyelenggaraan TPT XXX PERHAPI 2021. Semoga TPT ini dapat menjadi sarana pengembangan kompetensi untuk insan pertambangan Indonesia. Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

A. Hambali, S.M. Sapuan, N. Ismail, Y. Nukman, *Material selection of polymeric composite automotive bumper beam 1598 S*. Unver, I. Ergenc using analytical hierarchy process, J. Central South Univ. Technol. 17 (2) (2010) 244–256.

A. Scholl, L. Manthey, R. Helm, M. Steiner, *Solving multi attribute design problems with analytic hierarchy process and conjoint analysis: an empirical comparison*, Eur. J. Oper. Res. 164 (2005) 760–777.

Darko, A. et al. *Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction*. Int. J. Constr. Manag. 3599, 1–17 (2018)

D. Maletic, F. Lasrado, M. Maletic, B. Gomiscek, *Analytic hierarchy process application in different organizational settings, Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process: Decision Making for Strategic Decisions*, Intech, Croatia. (2016) 89-114. DOI: 10.5772/64511.

F. De Felice, A. Petrillo, C. Autorino, *Development of a frame work for sustainable out sourcing: Analytic Balanced Scorecard Method (A-BSC)*, Sustainability 7 (2015) 8399–8419.

Jonathan NZISABIRA & Pierre DUYSINX (2018) "*Analyse multicritère*" Research Center in Sustainable Automotive Technologies of University of Liege

N. Subramanian, R. Ramanathan, *A review of applications of analytic hierarchy process in operations management*, Int. J. Prod. Econ. 138 (3) (2012) 215–241.

Saaty, T. L. & Niemira, M. P. *A Framework for Making a Better Decision*. 1–4 (2006)

Saaty T. L. (1980) "*The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*" International Book Co.

T.L. Saaty, *Rank from comparisons and from Ratings in the analytic hierarchy/network processes*, Eur. J. Oper. Res. 168 (2006) 557–570.

Technical Handbook, 1st Edition, MOD Continuous Improvement. (2017). Internal Document Company Website, data diperoleh melalui situs internet: https://www.kaltimprimacoal.co.id/id/pesan-dari-management. Diakses pada tanggal 25 Agustus 2021

OPTIMALISASI COAL BARGE LOADING PADA KONDISI AIR SURUT

Sukardi Yusuf, ST

Department Head, Unit Kerja Port & Shipping, PT.Alamjaya Bara Pratama

E-mail: sukardi.yusuf@abpenergy.co.id

ABSTRAK

Sepanjang periode Januari sampai dengan Juli tahun 2020 faktor kandasnya tongkang karena tingginya sedimentasi di jetty dan surutnya air sungai Mahakam menyumbangkan lost time sebanyak 99.82 jam setara 117,777 ton (*lost tonnage*) ekuivalen dengan lost barge 15.70 tongkang dan berkontribusi sebesar 8.92% terhadap ketidaktercapaian target pengapalan batubara PT. Alamjaya Bara Pratama. Penelitian ini bertujuan untuk mensiasati agar kegiatan pemuatan batubara ke atas tongkang atau *Coal Barge Loading* tetap berjalan optimal dengan melakukan improvement yang bersifat administrasi dan teknis operasional pemuatan batubara. Adapun upaya yang dilakukan untuk menyiasati hambatan tersebut yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut : melakukan komparasi dan koreksi tabel pasang surut air yang digunakan untuk acuan jam dan ketinggian pasang surut air; membuat acuan kedalaman air versus status pemuatan batubara;; menggunakan formula permutasi dan kombinasi untuk mendapatkan opsi urutan pemuatan batubara; membuat *Form* Instruksi Kerja yang berisi urutan pemuatan dan volume pemuatan dan melakukan simulasi dan review urutan pemuatan batubara. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahwa optimasi *Coal Barge Loading* pada saat air surut untuk menghindari tongkang kandas berjalan efektif, ini terlihat dari simulasi dan review dibulan Oktober 2020, yang mana dapat diminimalisasi *Lost Time* akibat kandas hanya 28.75 Jam berbanding 78.42 Jam di September 2020, atau bisa ditekan sampai dengan 36.66 %.

Kata kunci: air surut, kandas, coal barge loading

ABSTRACT

During the period from January to July 2020, barges ran aground due to high sedimentation in the jetty and the receding waters of the Mahakam River contributed 99.82 hours of lost time equivalent to 117,777 tons (lost tonnage) equivalent to a lost barge of 15.70 barges and contributed 8.92% to the failure to achieve the coal shipment target. PT. Alamjaya Bara Pratama. This study aims to anticipate that coal loading activities on barges or Coal Barge Loading continue to run optimally by making administrative and technical improvements to coal loading operations.

As for the efforts made to get around these obstacles, namely by taking the following steps: comparing and correcting the tide table which is used for reference hours and tidal heights; make reference to water depth versus coal loading status; using permutation and combination formulas to get coal loading order options; create a Work Instruction Form containing the loading sequence and loading volume and perform simulations and reviews of the coal loading sequence.

The results of this study indicate that the optimization of coal barge loading at low tide to avoid the barge running aground is effective, this can be seen from the simulation and review in October 2020, which can minimize Lost Time due to aground only 28.75 hours compared to 78.42 hours in September 2020, or can be suppressed up to 36.66%.

***Keywords**: low tide, aground, coal barge loading*

A. PENDAHULUAN

Tingginya sedimentasi di *jetty* dan juga kondisi pasang surut air mengakibatkan kendala pada pencapaian target produksi pengapalan dan penjualan batubara PT. Alamjaya Bara Pratama pada tahun 2020. Solusi utama atas permasalahan ini adalah dengan melakukan kegiatan pengerukan (dredging) di area j*etty* untuk mengurangi sedimentasi. Namun dengan kondisi pandemik *covid 19*, harga jual batubara yang kurang bagus, kondisi ekonomi yang lesu, pembatasan tingkat produksi dan efisiensi *cost* di semua unit kerja, maka hal ini urung dilakukan, namun disisi lain perusahaan diharapkan tetap eksis beroperasi untuk mencapai target pengapalan sebagai komitmen terhadap kontrak kerjasama dengan *buyers*.

Oleh sebab itu selaku pengawas *Port & Shipping* diharapkan bisa membuat *Improvement* yang bersifat *Solution Focused*, yang mudah dan mempunyai dampak yang tinggi, dan berada dalam wilayah kontrol dan pengaruhnya serta bisa dieksekusi sesegera mungkin. Upaya yang dilakukan baik yang bersifat kontrol administrasi maupun dengan rekayasa engineering, diantaranya adalah koreksi tabel pasang surut air yang digunakan untuk memprediksi jam pasang surut air di *Jetty*; menggunakan formula permutasi dan kombinasi untuk mendapatkan opsi urutan pemuatan batubara; membuat tabel acuan kedalaman air versus status pemuatan batubara; melakukan simulasi dan review urutan pemuatan batubara; membuat *Form Work Instruction* yang berisi urutan pembuatan dan volume pemuatan dan melakukan revisi *Standard Operating Procedure* untuk kegiatan *Longside*, *Cast Off* dan *Coal Loading*.

Bila upaya ini dapat dilaksanakan, maka akan berdampak diantaranya : mengurangi durasi siklus barging (Cycle time) agar produksi pengapalan batubara dapat optimal; komitmen terhadap kontrak kerjasama dengan *Buyer/Trader* tetap terjaga; *Customer Satisfaction* tercapai; menghindari *Lost Opportunity Barging Activity* dan bisa terhindar dari klaim *Detention Barges* dan *Demurrages Vessel* karena keterlambatan pemuatan batubara.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara :
   a. Studi literatur baik terhadap laporan penelitian sebelumnya maupun buku-buku penunjang yang berhubungan dengan pelaksanaan kegiatan penelitian.
   b. Observasi lapangan yang meliputi kegiatan pengamatan dan dokumentasi kegiatan lapangan Manajemen *Stockpile* dan *Coal barging*.
   c. Pengumpulan data sekunder berupa data *Review Performance Barging*, *Standard Operating Procedure* (SOP) dan data-data penunjang lainnya.
   d. Wawancara dan diskusi dengan pihak-pihak yang terkait antara lain Pengawas Operasional *Port & Shipping*, *Master Loading* dan pihak yang berkepentingan lainnya.

2. Pengolahan Data

Tahap ini dilakukan setelah data primer maupun data sekunder terkumpul. Pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*.

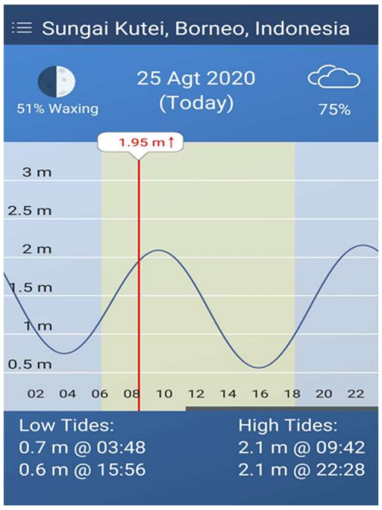
3. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menganalisa hasil akhir dari pembahasan yang telah dilakukan dengan mengacu kepada teori-teori yang berkaitan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

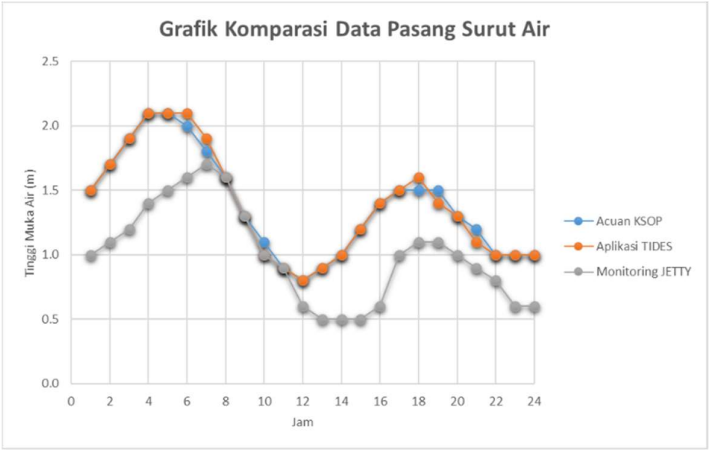
Ada beberapa proses yang dilakukan baik yang bersifat administratif maupun teknis operasional pada saat *Pra Barging*, selama *Barging Activity* dan *Pasca Barging* untuk mengoptimalkan kegiatan *Coal Barge Loading* terutama dengan kondisi sedimentasi tinggi di area *jetty* dan pada saat posisi air surut, yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Melakukan komparasi dan koreksi nilai pasang surut air terhadap 3 (tiga) referensi data berbeda yang sering digunakan oleh pengawas operasional *Port & Shipping* untuk mengamati jam pasang surut air di *jetty*. Referensi data yang dikomparasi dan dikoreksi yaitu tabel pasang surut air yang diterbitkan oleh Kantor Syahbandar dan Otoritas Pelabuhan (KSOP), data pasang surut versi aplikasi *Tides* (Gambar 1) dan data pengamatan langsung ketinggian air berdasarkan angka yang tertulis pada rambu ukur *Peilscale*. Faktor koreksi terhadap 3 (data) ini sangat penting, karena pembacaan data yang salah, akan menyebabkan pengambilan keputusan juga yang keliru dalam memprediksi jam air surut dan tinggi air surut pada saat pemuatan batubara.



Gambar 1. Tampilan Aplikasi Tides pada tanggal 25 Agustus 2020

Komparasi dan koreksi dilakukan secara matematis dan statistik dengan hasil berupa *Comparation Graphic* dan nilai rata-rata distribusi frekuensi. Dari hasil perbandingan data menggunakan grafik komparasi terlihat bahwa ada kesamaan data pasang surut air untuk data KSOP dan Aplikasi *Tides*, namun ada perbedaan yang signifikan dengan angka aktual ketinggian air di *jetty*.



Gambar 2. Grafik Komparasi Antara 3 (Tiga) Sumber Data Pasang Surut Air

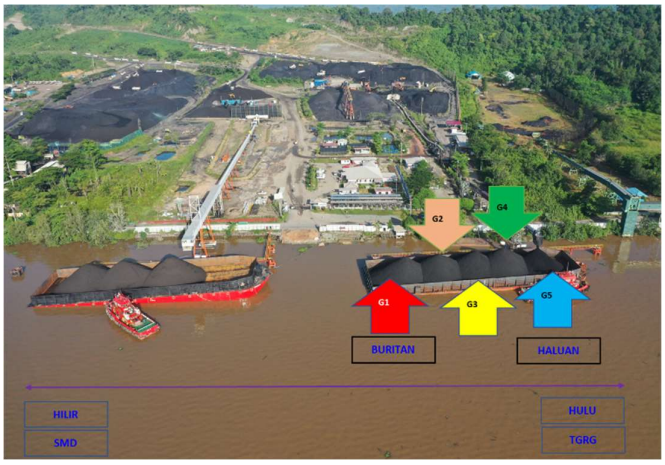
Berdasarkan perbedaan tersebut, maka kita hitung nilai rata-rata deviasinya menggunakan distribusi frekuensi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata 0.28 atau kita bulatkan ke angka 0.30 untuk kemudahan perhitungan, yang berarti bahwa setiap data acuan menggunakan tabel KSOP maupun Aplikasi *Tides* harus dikoreksi sebesar 0.30 meter terhadap aktual, misal di Aplikasi *Tides* sesuai Gambar 1 pada tanggal 25 Agustus 2020 pukul 08.00 menunjukan ketinggian air 1.95 meter, maka aktual di Jetty adalah 1.65 meter.

Tabel 1. Perhitungan Koreksi Ketinggian Muka Air Menggunakan Distribusi Frekuensi

KOREKSI KETINGGIAN MUKA AIR					
Kelas	Interval	Nilai Tengah	Frekuensi		Xi.Fi
		(Xi)	Absolut (Fi)	Relatif (%)	
1	0.00 - 0.09	0.05	1	4.17	0.046
2	0.09 - 0.18	0.14	6	25.00	0.816
3	0.18 - 0.27	0.23	4	16.67	0.904
4	0.27 - 0.36	0.32	5	20.83	1.580
5	0.36 - 0.45	0.41	7	29.17	2.842
6	0.45 - 0.54	0.50	1	4.17	0.496
Σ			24	100.00	6.685
X			0.28		

Nilai atau faktor koreksi tersebut kemudian kita buatkan dalam tabel pasang surut air per bulan yang sudah dilakukan koreksi sebesar 0.30 meter untuk setiap ketinggian per jamnya. Tabel ini penting bukan hanya sebagai tabel pengamatan pada saat terjadi pasang surut air tapi juga digunakan untuk memprediksi nilai pasang surut air sebelum kegiatan *Coal Barging*, dengan tujuan menyiasati urutan pemuatan batubara agar tidak terjadi kandasnya tongkang pada saat pemuatan batubara.

2. Membuat tabel acuan kedalaman air versus status pemuatan batubara. Pada saat menentukan status bahwa tongkang kandas, pengawas operasional *Port & Shipping* hanya mengacu kepada *feeling* dan *experience* masing-masing, sehingga menghasilkan keputusan yang berbeda-beda disetiap kasusnya. Untuk itu perlu dibuatkan penyeragaman menentukan status tongkang kandas pada saat air surut berdasarkan *variabel* kondisi ketinggian air, volume muatan batubara di atas tongkang dan posisi pemuatan di gunung keberapa. Tabel ini dibuatkan berdasarkan pengamatan langsung dilapangan dan masukan dari berbagai pihak, dan mengacu pada kondisi pemuatan batubara berurut dari Gunung ke 1, 2 ,3, 4 dan 5 dan distribusi muatan masing-masing adalah merata sebesar 1500 ton/Gunung.



Gambar 3. Urutan pemuatan batubara dari G1 menuju G5

Tabel 2. Status Pemuatan Berdasarkan Kedalaman Air, Volume dan Urutan Pemuatan.

KONDISI AIR (m)	LOADING GUNUNGAN / MUATAN CARGO				
	GUNUNG 1	GUNUNG 2	GUNUNG 3	GUNUNG 4	GUNUNG 5
	CARGO 1,500	CARGO 3000	CARGO 4,500	CARGO 6,000	CARGO 7500
0.5	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS	KANDAS
0.6	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS	KANDAS
0.7	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS	KANDAS
0.8	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS	KANDAS
0.9	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS
1.0	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS
1.1	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS	KANDAS
1.2	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS
1.3	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS
1.4	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	KANDAS
1.5	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
1.6	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
1.7	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
1.8	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
1.9	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
2.0	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
2.1	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING
2.2	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING	LOADING

Catatan :
1. Tongkang Ukuran 300 Ft Kapasitas Maksimal 7500 Mton
2. Pemuatan Berurut dari Gunung ke-1, 2, 3, 4 dan 5

Dari tabel kedalaman air versus status pemuatan diatas, terbaca bahwa kegiatan pemuatan batubara secara berurutan akan berhasil bila posisi ketinggian air stabil pada angka 1.5 meter. Namun bila ketinggian air kurang dari 1.5 meter, maka potensi kandas akan terjadi pada saat pemuatan di gunung ke-3, 4 dan 5. Sehingga tabel ini yang akan kita jadikan acuan untuk menyiasati tongkang kandas saat pemuatan batubara dengan mengubah urutan pemuatan dan menyesuaikan volume batubara per gunungnya.

3. Menggunakan formula permutasi dan kombinasi untuk mendapatkan opsi urutan pemuatan batubara. Yang sudah berjalan selama ini, pengawas operasional *Port & Shipping* selalu melakukan pemuatan mulai dari hilir ke hulu, dari buritan menuju haluan atau berurut dari Gunung ke 1, 2, 3, 4 dan 5 (Lihat Gambar 3)
   Tujuan dilakukannya perhitungan ini adalah untuk memberikan opsi lain urutan pemuatan batubara yang memungkinkan baik secara matematis maupun memperhatikan aspek teknis dan *safety*. Seperti yang kita ketahui untuk kasus ini, sedimentasi lebih tinggi ada di daerah hulu sungai dan ketika terjadi air sungai surut, kemudian diberikan tekanan atau muatan maksimal akan menyebabkan potensi tongkang kandas sangat tinggi, sehingga menyulitkan pergerakan tongkang pada saat pemuatan dan ketika *Cast Off* dari *jetty*.

Tabel 3. Perhitungan Jumlah Kombinasi dan Permutasi Pemuatan.

Jumlah Obyek	n	5
Jumlah Pilih	r	5
Permutasi		120
Kombinasi		1

Obyek	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

$$P = \frac{n!}{(n-r)!}$$
$$= \frac{5!}{(5-5)!}$$
$$= \frac{5!}{0!}$$
$$= \frac{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{1}$$
$$= 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2$$
$$= 120$$

KOMBINASI	
1	12345

Dari perhitungan permutasi dan kombinasi, diperoleh 120 (seratus dua puluh) opsi urutan pemuatan batubara, namun dengan berbagai pertimbangan teknis dan safety, kita ambil 6 (enam) kombinasi untuk dilakukan simulasi pemuatan batubara ke atas tongkang. Pemilihan 6 (enam) kombinasi ini dengan acuan bahwa, G1 pada posisi buritan tongkang harus selalu dimuat terlebih dahulu, kemudian G5 pada posisi Haluan tongkang harus dimuat paling akhir, sehingga hanya pada posisi pemuatan G2, G3 dan G4 yang bisa kita sesuaikan atau kita ubah urutan pembuatannya. Sementara untuk volume pemuatan diusahakan muatan maksimal di G1 sebesar ≥ 1500 ton, karena posisi sedimentasinya lebih rendah sehingga bisa diberikan beban maksimal, sedangkan untuk muatan di G5 dengan tingkat sedimentasi tinggi, maka diberikan muatan < 1500 ton agar potensi kandas pada pemuatan terakhir dapat diminimalisasi dan memudahkan pada saat *Cast Off* tongkang.

Tabel 4. Kombinasi dan Urutan Pemuatan Tongkang yang Disimulasikan

Permutasi	Kombinasi	Urutan 1	Urutan 2	Urutan 3	Urutan 4	Urutan 5
1	12345	G1	G2	G3	G4	G5
3	12435	G1	G2	G4	G3	G5
8	13245	G1	G3	G2	G4	G5
10	13425	G1	G3	G4	G2	G5
13	14235	G1	G4	G2	G3	G5
15	14325	G1	G4	G3	G2	G5

4. Membuat dan mengisi *Form* Instruksi Kerja yang terdiri dari *Plan Loading* dan *Actual Loading*. Hal ini bertujuan untuk memprediksi kemungkinan tongkang kandas dan kemudian menyiasatinya dengan mengubah urutan pemuatan dan volume pemuatan.. Data yang harus diisikan dalam *Form* ini terbagi atas 2 (dua) yaitu data umum yang memuat informasi tentang waktu *loading*, nama *trader*/*buyers*, nama tongkang dan *tugboat*, nama *vessel* dan nama *surveyor* dan data teknis yang berisikan urutan pemuatan, waktu pemuatan, jumlah dan akumulasi volume pemuatan, kedalaman air dan status pemuatannya.
   Plan Loading berarti rencana urutan pemuatan dan volume pemuatan secara berurut dan dilakukan sebelum pemuatan batubara ke atas tongkang, dimana dengan data ini kita bisa melihat potensi kandasnya tongkang berdasarkan akumulasi muatan dan posisi ketinggian airnya, dan kemudian mengubah urutan dan volume pemuatannya. Hasil dari perubahan ini dicantumkan dalam *Actual Loading*.

Tabel 5. Form Instruksi Kerja Pemuatan Batubara.

abp	PT. ALAMJAYA BARA PRATAMA	No. Dok	F-ABP-HGE- 81
	IK PEMUATAN / LOADING	Tgl Terbit	1 Oktober 2020

PLAN LOADING

Tanggal Loading	
Trader / Buyers	
TB & BG	
Vessel	
Surveyor	

Urutan	Waktu Muat	Jumlah Muatan	Akumulasi Muatan	Kedalaman Air	Status Pemuatan

ACTUAL LOADING

Tanggal Loading	
Trader / Buyers	
TB & BG	
Vessel	
Surveyor	

Urutan	Waktu Muat	Jumlah Muatan	Akumulasi Muatan	Kedalaman Air	Status Pemuatan

REVIEW PEMUATAN :

5. Melakukan simulasi dan review urutan pemuatan batubara. Simulasi ini dilakukan berdasarkan *Form* instruksi kerja yang telah diisi, kemudian melakukan review terhadap dampak yang ditimbulkan ketika melakukan penyesuaian urutan dan volume pemuatan batubara.
   Sebagai contoh kita melakukan simulasi dan *review* untuk kegiatan pemuatan batubara pada tanggal 14 Oktober 2020 dengan nominasi TB. Zinnia dan BG. Fitria 3005 dengan rencana muat 7500 ton yang akan supply ke MV. Sapphire, rencana pemuatan batubara ke atas tongkang direncanakan mulai jam 04.55. Setiap pemuatan batubara masing-masing gunung atau 1500 ton per gunung membutuhkan waktu 1.5 jam dengan kecepatan Barge Loading Conveyor pada angka 1000 ton per hour (TPH).
   Dari *Plan Loading* terlihat bahwa bila kegiatan pemuatan batubara dilakukan secara berurut dan masing-masing volume muatan per gunungnya adalah 1500 ton, maka akan terjadi tongkang kandas mulai jam 7.55 dan harus menunggu kurang lebih 6 jam atau sampai pukul 14.00 untuk bisa melanjutkan pemuatan pada Gunung ke 3 pada saat posisi air di angka 0.9 meter dan dilanjutkan pemuatan lagi untuk Gunung ke 4 dan 5 secara berurutan mulai jam 15.30 sampai dengan jam 18.30. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tongkang sampai *completed* 7500 ton adalah sebanyak 13 jam 35 menit.
   Berdasarkan Analisa *Plan Loading* ini maka, kita ubah urutan pemuatan dan volume pemuatannya menjadi urutan pemuatan nomor 1 adalah Gunung ke-1 dengan muatan 1600 ton, urutan kedua gunung ke-3 muatan 1600 ton, urutan ketiga gunung ke-4 muatan 1500 ton, urutan keempat gunung ke-2 muatan 1500 ton dan urutan kelima gunung ke-5 muatan 1300 ton. Dari *Actual Loading* terlihat bahwa dengan simulasi ini waktu yang dibutuhkan untuk *completed barging* pada muatan 7500 ton membutuhkan waktu 11 jam 50 menit atau lebih efisien 1.75 jam atau setara menghindari *lost quantity* sebanyak 1750 ton.

Tabel 6. Simulasi dan Review Plan dan Actual Loading Pada Tanggal 14 Oktober 2020

PLAN LOADING	
Tanggal Pengapalan	: 14 Oktober 2020
Trader / Buyers	: MHU
TB & BG	: Zinnia / Fitria 3005
Vessel	: MV. Sapphire
Surveyor	: Surveyor Indonesia

Urutan	Waktu Muat	Jumlah Muatan	Akumulasi Muatan	Kedalaman Air	Status Pemuatan
G1	4:55 - 6:25	1500	1500	1.8 - 1.6	LOADING
G2	6:25 - 7:55	1500	3000	1.6 - 1.1	LOADING
G3	7:55 - 9:25	1500	4500	1.1 - 0.6	KANDAS
G4	9:25 - 10:55	1500	6000	0.6 - 0.3	KANDAS
G5	10:55 - 12:25	1500	7500	0.3 - 0.4	KANDAS

ACTUAL LOADING	
Tanggal Pengapalan	: 14 Oktober 2020
Trader / Buyers	: MHU
TB & BG	: Zinnia / Fitria 3005
Vessel	: MV. Sapphire
Surveyor	: Surveyor Indonesia

Urutan	Waktu Muat	Jumlah Muatan	Akumulasi Muatan	Kedalaman Air	Status Pemuatan
G1	4:55 - 6:00	1600	1600	1.8 - 2.0	LOADING
G3	6:00 - 7:55	1600	3200	2.0 - 2.0	LOADING
G4	7:55 - 9:20	1500	4700	2.0 - 1.8	LOADING
G2	9:20 - 11:25	1500	6200	1.8 - 1.3	LOADING
G5	11:25 - 16:45	1300	7500	1.3 - 1.5	LOADING

CATATAN PEMUATAN :
1. Dari Plan Loading ada 3x Periode Kandas Pada Jam 07.55 s.d 12.25 dengan ketinggian Air 1.1 - 0.4 m
2. Gunung ke-1 dieksekusi terlebih dahulu dengan distribusi muatan 1600 MT
3. Gunung ke-3 dieksekusi pada urutan ke-2 dengan distribusi muatan 1600 MT sehingga akumulasi menjadi 3200 MT
4. Gunung ke-4 diurutan ke-3 dengan distribusi muatan 1500 MT sehingga akumulasi menjadi 4700 MT
5. Gunung ke-2 diurutan ke-4 dengan distribusi muatan 1500 MT sehingga akumulasi muatan 6200 MT
6. Gunung ke-5 diurutan ke-5 pemuatan dengan distribusi muatan 1300 MT, sehingga Volume Muatan Final = 7500 MT

Dari hasil simulasi pada bulan September dan Oktober 2020, terlihat bahwa optimalisasi dengan 5 (lima) langkah ini berjalan efektif, indikator yang paling jelas adalah turunnya jumlah jam kandas pada Oktober 2020 menjadi 28.75 jam dibandingkan bulan sebelumnya sebesar 78.42 jam.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Simulasi Pemuatan Bulan September dan Oktober 2020.

No	Periode	Jumlah Tongkang (Barge)	Volume Barging (Ton)	Jumlah Jam Kandas (Jam)	Loss Tonnage (Ton/Month)	Loss Barge (Barge/Month)	Keterangan
1	September 2020	23	160,749	78.42	86,262	11.50	Simulasi & Review Improvement
2	Oktober 2020	24	171,230	28.75	31,625	4.22	Aplikasi Improvement

D. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa optimasi *Coal Barge Loading* pada saat air surut untuk menghindari tongkang kandas berjalan efektif, ini terlihat dari simulasi dan review dibulan Oktober 2020, yang mana dapat diminimalisasi *Lost Time* akibat kandas hanya 28.75 Jam berbanding 78.42 Jam di Oktober 2020, atau bisa ditekan sampai dengan 36.66 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada Manajemen dan Karyawan PT. Alamjaya Bara Pratama yang telah berkontribusi dalam penyusunan makalah ini dan kepada PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Permutasi dan Kombinasi Probability Mathematic, data diperoleh melalui situs internet: https://excelinaja.wordpress.com . Diakses pada tanggal 9 Agustus 2020.

PT. Alamjaya Bara Pratama, (2020): *Standard Operasional Prosedur Sandar dan Lepas Tongkang*, PT. Alamjaya Bara Pratama, 5 – 8.

PT. Alamjaya Bara Pratama, (2020): *Standar Operasional Prosedur Pemuatan Batubara*, PT. Alamjaya Bara Pratama, 5 – 7.

PT. Alamjaya Bara Pratama (2020): *Barging Review Performance*, *File Kerja Port & Shipping*, PT. Alamjaya Bara Pratama.

Kubik Leadership, (2020): *Talent Development Program : Thinking Skill, P & O Skill, Leadership Skill* Kubik Coaching.

OPTIMALISASI SHORT TERM MINE SCHEDULING MENGGUNAKAN AUTOS 2.0 SCHEDULER UNTUK INTEGRASI LONG TERM MINE PLAN DENGAN MINE OPERATION

[1)] Muhammad Khaidir Husain*, [1)] Juki Bodi Sembada, [1)] Mutiara Andini, dan [1)] Arif Hidarto

[1)]PT ANTAM Tbk – Unit Geomin & Technology Development, Jakarta, Indonesia

E-mail: khaidir.husain@antam.com

ABSTRAK

Era Industri 4.0 mengharuskan industri termasuk perusahaan tambang seperti PT ANTAM Tbk, untuk melakukan transformasi dari proses manual ke era digital dan otomatisasi. Selain itu, dalam kondisi saat ini hasil dari Scheduling LoM belum bisa digunakan 100% di lapangan. Hal tersebut disebabkan karena block model yang digunakan masih secara keseluruhan (LoM) yang mengakibatkan pendetailan scheduling membutuhkan waktu yang lama (1 bulan). Hal ini tidak sejalan dengan perubahan bisnis ANTAM yang dinamis yang mengakibatkan adanya perubahan perencanaan tambang dalam waktu yang singkat. Untuk menjawab tantangan tersebut tim penulis menciptakan AUTOS 2.0 Scheduler. Metode yang dilakukan adalah dengan perbaikan atau improvement yang berkelanjutan melalui Quality Control Circle (QCC) dengan melihat aspek Quality, Delivery, Safety, dan Morale (QDSM). Hasil dari improvement didapatkan dengan dikembangkannya AUTOS 1.0 menjadi AUTOS 2.0 Scheduler. AUTOS 1.0 berguna untuk otomatisasi blending dan pra scheduling, sedangkan AUTOS 2.0 Scheduler berguna untuk melakukan pendetailan penjadwalan penambangan ke dalam bulanan, mingguan, ataupun harian. Proses pendetailan penjadwalan penambangan ke dalam short term mine plan dengan adanya AUTOS 2.0 Scheduler membuat waktu yang dibutuhkan menjadi lebih cepat 2 minggu, praktis, efektif, dan efisien. Dengan menggunakan software ini dapat memberikan informasi penyebaran ketebalan ore dan waste sehingga dapat menentukan metode penambangan yang tepat dan aman. Selain itu, terjalin komunikasi teknis yang lebih baik antara perencana jangka panjang hingga jangka pendek dengan mine operation melalui SOP. Manfaat lainnya dari AUTOS 2.0 Scheduler ini adalah memungkinkannya untuk dapat diterapkan pada komoditas lain seperti nikel dan batubara. Pengembangan ini masih dapat dilakukan dengan sangat luas sehingga dapat bermanfaat kepada unit bisnis pertambangan ANTAM yang lain ataupun perusahaan tambang yang lain.

Kata kunci: Scheduling, Cepat, Improvement, AUTOS

ABSTRACT

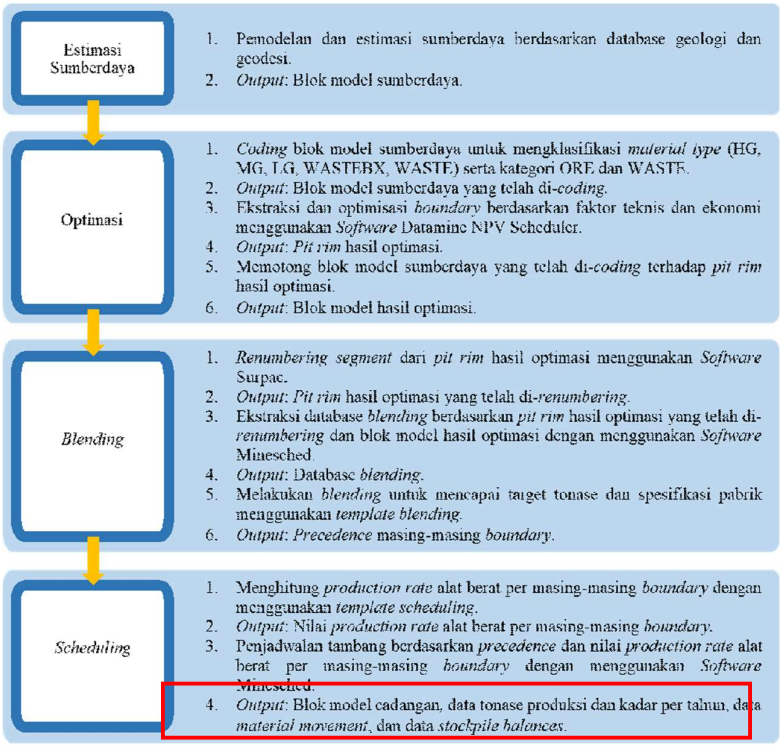
The Industrial Era 4.0 requires industries, including mining companies such as PT ANTAM Tbk, to transform from manual processes to the digital and automation era. In addition, in the current condition, the results of the LoM Scheduling cannot be used 100%. This is because the block model used is still in its entirety (LoM) which results in detailed scheduling that takes a long time (1 month). This is not in line with ANTAM's dynamic business changes which resulted in changes in short time mine planning. To answer this challenge, the authors' team created the AUTOS 2.0 Scheduler. The method used is continuous improvement through the Quality Control Circle (QCC) by looking at the aspects of Quality, Delivery, Safety, and Morale (QDSM). The results of the improvement are obtained with the development of AUTOS 1.0 into the AUTOS 2.0 Scheduler. AUTOS 1.0 is useful for blending automation and pre-scheduling, while AUTOS 2.0 Scheduler is useful for detailing mining scheduling into monthly, weekly, or daily. The detailed process of mining scheduling into a short term mine plan with the AUTOS 2.0 Scheduler makes the time needed to be 2 weeks faster, practical, effective, and efficient. By using this software, it can provide information on the distribution of ore and waste thicknesses so that they can determine the right and safe mining method. In addition, there is better technical communication between long-term and short-term planners and mine operations through SOP. Another benefit of the AUTOS 2.0 Scheduler is that it can be applied to other commodities such as nickel and coal. This development can still be carried out very broadly so that it can be useful for ANTAM's other mining

business units or other mining companies.
***Keywords**: Keywords: Scheduling, Fast, Improvement, AUTOS*

A. PENDAHULUAN

PT ANTAM Tbk merupakan perusahaan tambang yang memiliki beberapa komoditas mineral salah satunya bauksit. Dalam melakukan kegiatan penambangan bauksit tentunya perlu dilakukan perencanaan tambang jangka panjang (Long Term Mine Plan / LTMP) yang sistematis dan terintegrasi. Hal tersebut sejalan dengan tantangan di era industri 4.0 saat ini yang mengharuskan perusahaan untuk melakukan transformasi dari proses manual ke era serba digital dan otomatis.

Kondisi saat ini hasil LTMP yang meliputi perencanaan tambang tahunan secara Life of Mine (LoM) belum bisa digunakan 100% untuk rencana tambang detail dan operasional di lapangan. Hal ini disebabkan karena block model LoM masih secara keseluruhan (tahunan) sehingga untuk periode tahun pertama perlu didetailkan menjadi perencanaan tambang bulanan, mingguan, ataupun harian (short term mine plan / STMP) dan proses ini membutuhkan waktu yang lama (1 bulan). Kebutuhan waktu pengerjaan yang lama ini tidak sejalan dengan perubahan bisnis ANTAM yang dinamis yang mengakibatkan adanya perubahan perencanaan tambang dalam waktu yang singkat. Oleh karena itu, tim penulis berusaha membuat perencanaan tambang yang praktis, efektif, dan efisien.



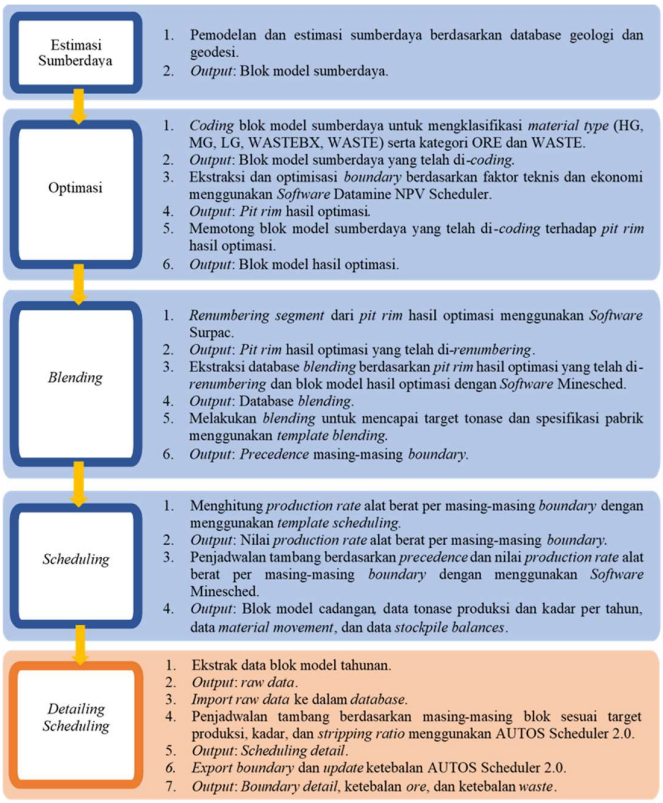
Gambar 1. Diagram alir sebelum perbaikan.

Perencanaan tambang jangka panjang (LTMP) bauksit di UGTD ditangani oleh Satuan Kerja Mine Resources Development – Resource Exploration Engineering (SatKer MRD-REE). LTMP ini bertujuan untuk mengatur tata laksana perencanaan penambangan pada proses penjadwalan tambang. LTMP dilakukan sebagai kajian teknis dalam rangka memenuhi target penambangan berdasarkan sumberdaya yang dimiliki ANTAM, khususnya pada komoditas bauksit. Untuk tahapan kegiatan LTMP dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Tahapan terakhir pada diagram di atas merupakan pokok permasalahan dalam inovasi ini. Output dari LTMP berupa block model cadangan, data tonase produksi dan kadar per tahun, data material movement, dan data stockpile balances. Data tersebut merupakan data yang diberikan kepada Tim Mine Plan UBPB. Data tersebut dapat diolah menjadi guidance dalam melakukan kegiatan operasi penambangan. Namun, realisasinya data tersebut belum termanfaatkan secara keseluruhan (100%). Oleh karena itu LTMP ini perlu diintegrasikan dengan operasi penambangan di UBPB.

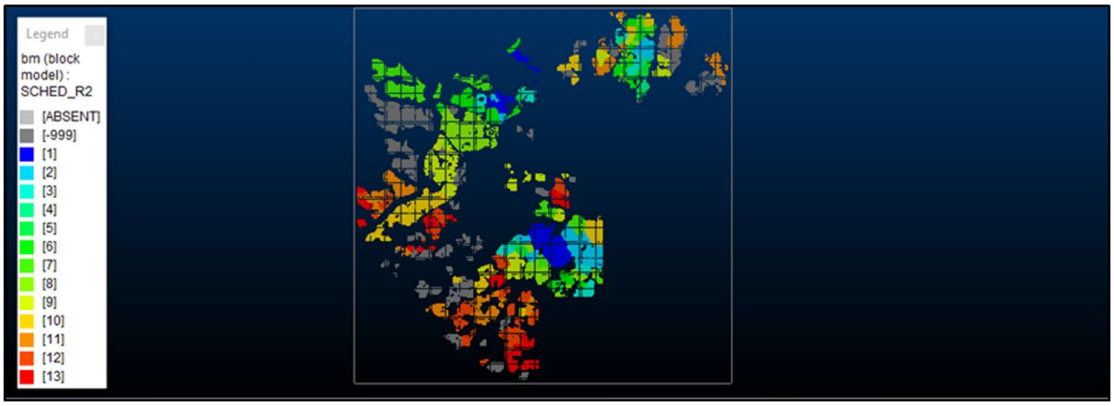
B. METODOLOGI PENELITIAN

Bentuk perbaikan dari masalah-masalah yang sudah dideskripsikan pada sub bab sebelumnya dapat dilakukan dengan penambahan tahap kegiatan pekerjaan, yaitu Detailing Scheduling. Perbaikan alur pekerjaan hingga proses detailing scheduling bauksit dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

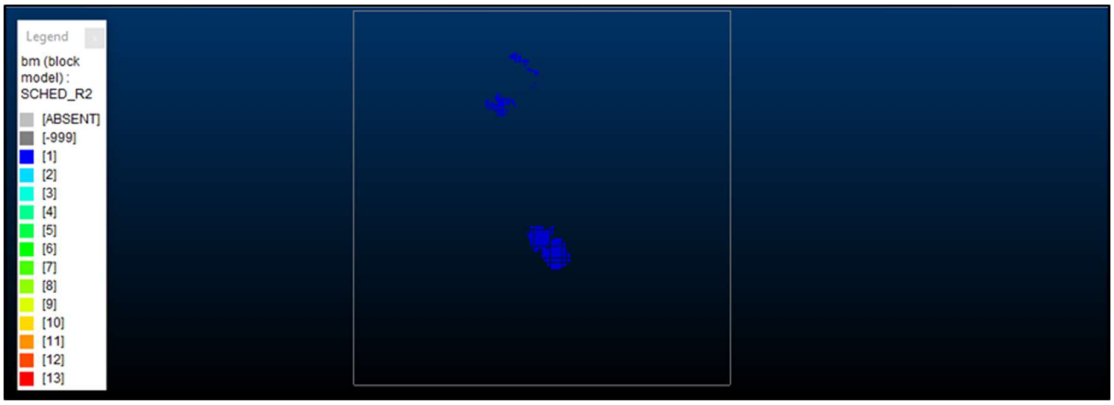


Gambar 2. Diagram alir setelah perbaikan.

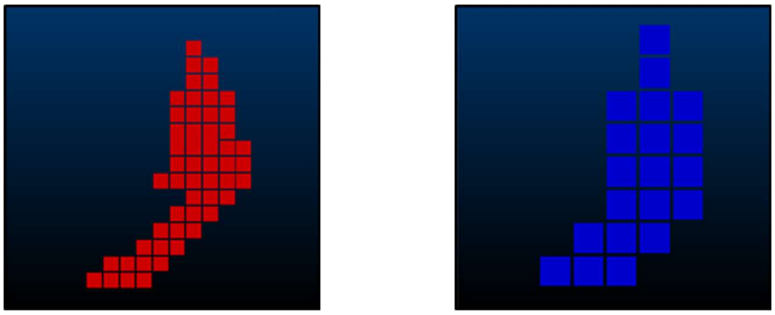
Penambahan tahap detailing scheduling ini perlu ditunjang dengan prianti atau tools khusus. Hal tersebut berguna untuk mempermudah dan mempercepat proses pekerjaan dana mampu memberikan informasi yang taktis di lapangan. Piranti ini berhasil tim penulis kembangkan dengan menggunakan dengan menggunakan Excel yang dinamakan AUTOS 2.0 Scheduler. Untuk tahap kegiatan detailing scheduling dapat dimulai dengan melakukan ekstraksi data block model tahunan. Ekstraksi data dilakukan dengan eksport data tahun pertama. Setelah mendapatkan data block model tahun pertama dilanjutkan dengan melakukan re-blocking block model (25 m). Kedua proses tersebut dilakukan dengan Software Datamine.



Gambar 3. Block Model tahunan sebelum ekstraksi.

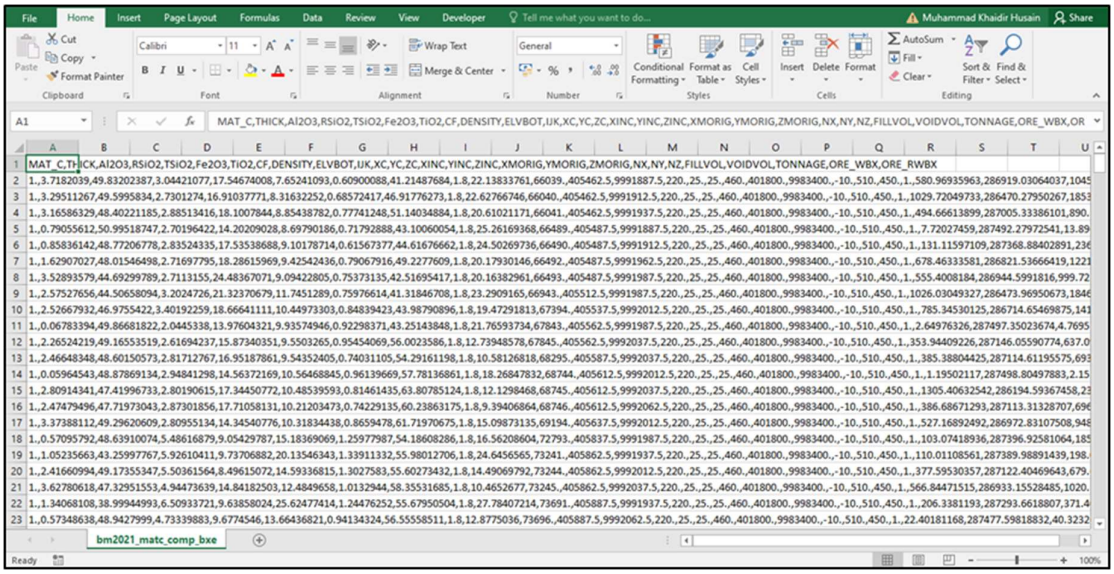


Gambar 4. Block model tahunan setelah ekstraksi.

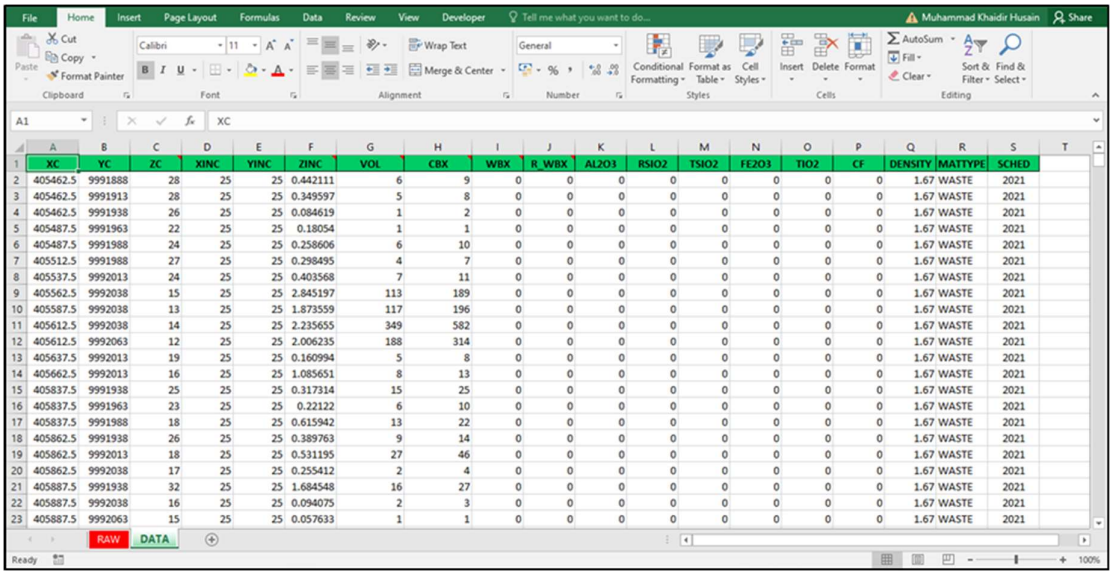


Gambar 5. Perbandingan block model sebelum (12.5 m) dan sesudah (25 m) re-blocking.

Setelah block model tahunan diekstrak ke dalam tahun pertama dan telah dire-blocking, selanjutnya dilanjutkan dengan eksport data block model ke dalam file Excel. Hal ini berguna agar seluruh data yang ada dalam file Datamine bisa di-input ke dalam Software Excel. Hasil dari proses tersebut berupa raw data. Raw data tersebut kemudian disusun sesuai format yang ada dalam input raw data AUTOS 2.0 Scheduler.

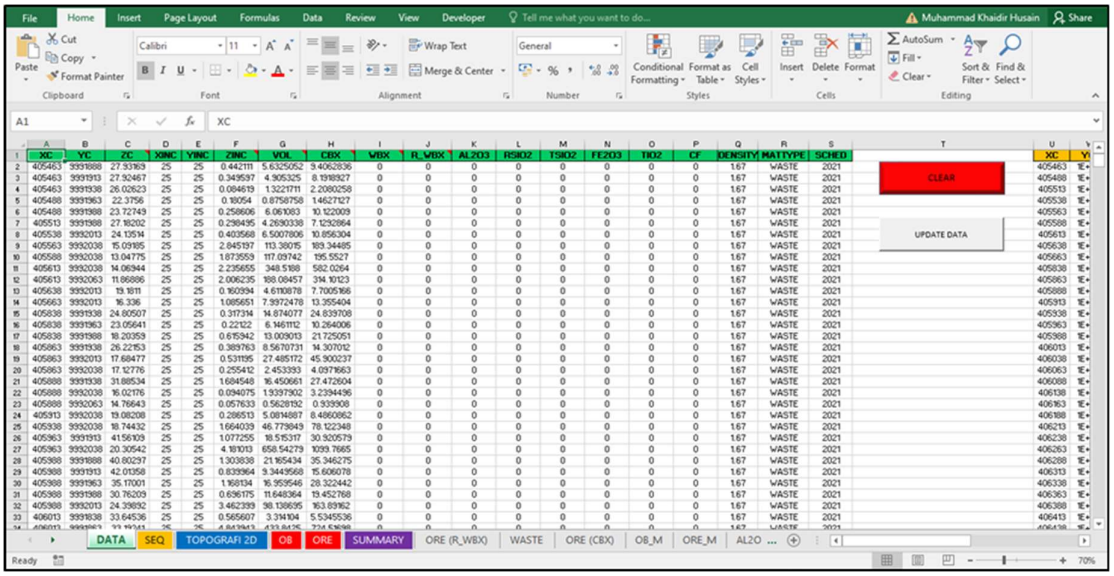


Gambar 6. Raw data hasil eksport data block model.



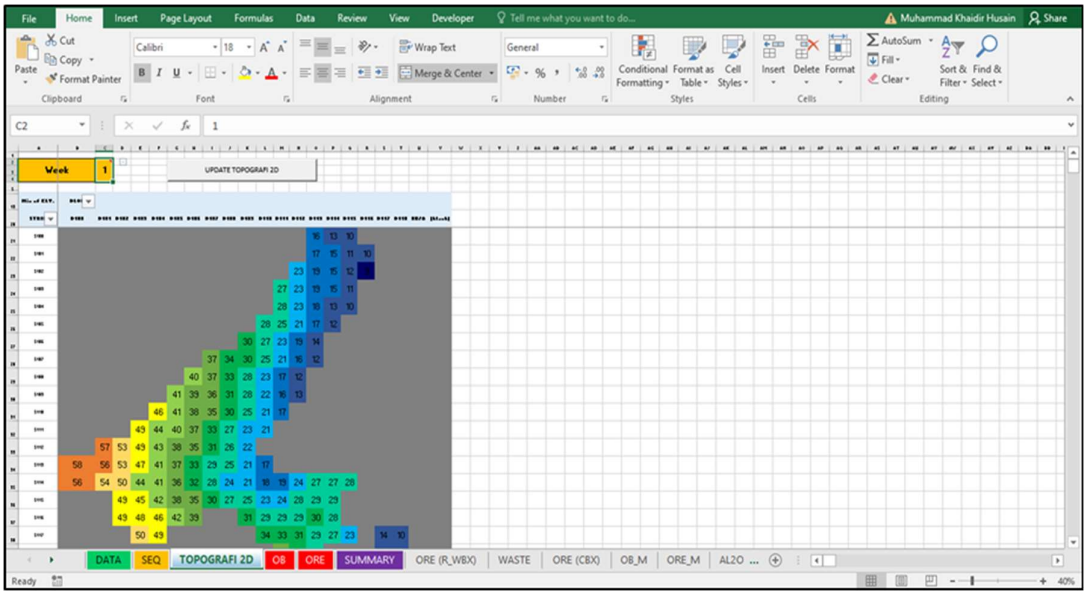
Gambar 7. Raw data yang telah disusun sesuai format input AUTOS 2.0 Scheduler.

Setelah raw data disusun dengan format input raw data AUTOS 2.0 Scheduler selanjutnya dilanjutkan dengan import raw data. Import data ini berguna untuk memperbarui database AUTOS 2.0 Scheduler sesuai dengan data tahunan yang akan di detailkan. Beberapa tombol telah disematkan di dalam AUTOS 2.0 Scheduler untuk memudahkan pengguna (user) dalam mengoperasikan piranti ini, seperti tombol hapus data dan tombol untuk memperbarui ataupun me-refresh data. Setelah dilakukan import data selanjutnya dilakukan refresh dan update data pada masing-masing Sheet fungsional di dalam piranti ini.



Gambar 8. Raw data yang telah di-import ke dalam AUTOS 2.0 Scheduler.

Tampilan awal topografi secara 2 dimensi (2D) dapat dilihat setelah update dan refresh data. Tampilan ini berguna guidance untuk menentukan area dari bukit atau bukaan yang akan ditambang pada masing-masing periode. Tampilan ini dapat update sesuai dengan periode tambang yang akan dilakukan. Update tersebut dapat dilakukan dengan mengganti parameter periode yang ada pada tab period dan menekan tombol update.



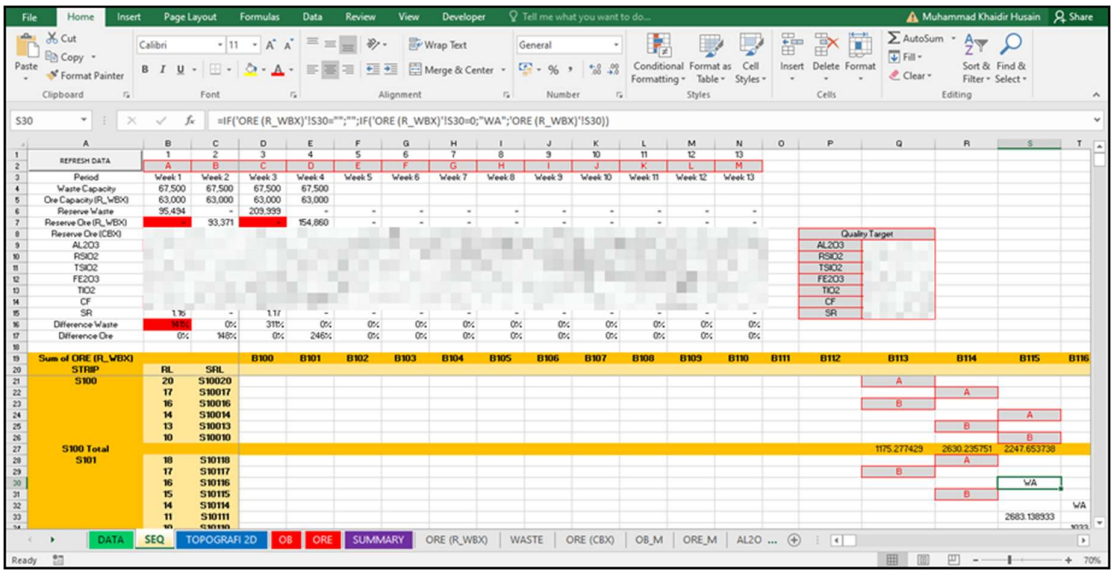
Gambar 9. Tampilan topografi 2D dalam AUTOS 2.0 Scheduler

Setelah update data dan tampilan dilakukan selanjutnya dilakukan penjadwalan tambang. Penjadwalan tambang dilakukan dengan mengisi kode alphabet ke dalam Blok – Strip pada setiap sayatan (section). Kode alphabet ini sesuai dengan urutan periode berjalan, misalnya kode A = periode 1, kode B = periode 2, dan seterusnya. Blok dapat mewakili posisi membujur dan Strip mewakili posisi melintang. Sayatan secara otomatis akan terbentuk setelah update dan refresh data.

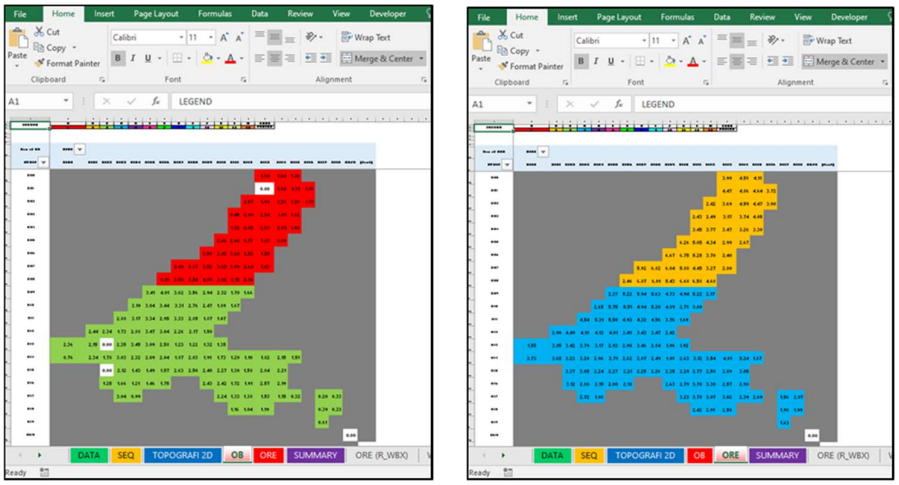
Hasil dari penjadwalan tambang dapat secara langsung termonitor pada tab-tab yang ada di atas cell

Blok – Strip. Parameter yang termonitor antara lain adalah jumlah waste galian, produksi recovery wet bauxite (RWBx), produksi crude bauxite (CBx), kadar Al2O3, kadar $RSiO_2$, kadar $TSiO_2$, kadar Fe_2O_3, kadar TiO_2, correction factor (CF), dan stripping ratio (SR). Monitoring secara langsung ini dapat sangat membantu fleksibilitas dalam mengatur penjadwalan tambang sehingga mampu memberikan indikator kesesuaian target yang akan dicapai. Hasil yang tidak sesuai dengan target (tonase maupun kadar) akan berwarna merah.

Setelah melakukan penjadwalan selanjutnya dilakukan refresh data kembali tampilan untuk melihat hasil dari kegiatan penjadwalan tersebut. Hasilnya dapat memberikan informasi berupa ketebalan ore dan waste di setiap blok yang diwakili dengan angka serta periode tambang yang diwakili dengan warna. Informasi ini sangat berguna untuk pengawas tambang (eksekutor) di lapangan dalam menentukan arah bukaan yang aman dan strategis. Rekomendasi dan desain geoteknik di dalam AUTOS 2.0 Scheduler ini sama sekali tidak dilakukan perubahan sehingga desain tetap mengacu pada rekomendasi geoteknik yang ada.

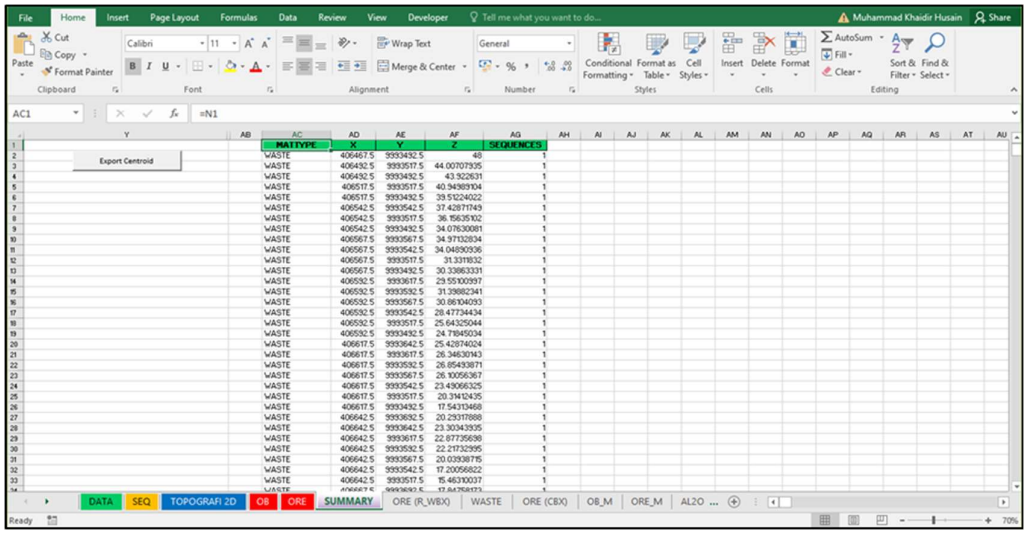


Gambar 10. Penjadwalan menggunakan AUTOS 2.0 Scheduler.



Gambar 11. Informasi ketebalan ore (kiri) dan waste (kanan) dalam AUTOS 2.0 Scheduler

Setelah proses penjadwalan selesai selanjutnya dilakukan export data. Export data ini berupa ekspor data centroid dengan ID periode dari masing-masing blok. Export data dilakukan dengan menekan tombol export data centroid. Data hasil export inilah yang menjadi boundary detail yang dapat diolah dengan menggunakan Software tambang lain seperti Datamine, Surpac, ataupun ArcGIS.

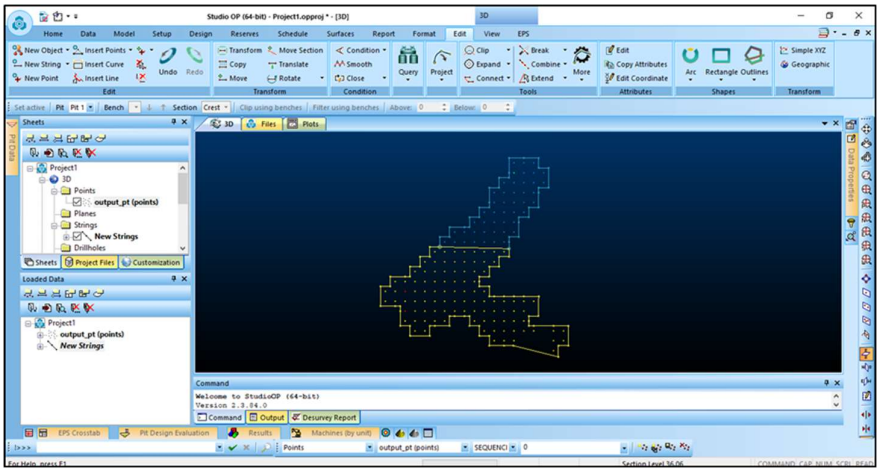


Gambar 13. Export data centroid AUTOS 2.0 Scheduler

Dengan dilakukannya seluruh proses pekerjaan di atas, metode perbaikan ini dapat menjawab permasalahan yang terjadi. Sebagai bentuk perbaikan dalam standar pekerjaan, metode perbaikan ini disahkan dalam Petunjuk Kerja (PK) dan Instruksi Kerja (IK) di internal perusahaan tim penulis.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil boundary detail didapatkan melalui pengolahan data block model menggunakan AUTOS 2.0 Scheduler berupa titik-titik koordinat centroid. Koordinat centroid tersebut kemudian diolah menggunakan Software Datamine. Untuk contoh hasil pengolahan koordinat centroid menggunakan Software Datamine dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 14. Boundary pengolahan koordinat centroid menggunakan Software Datamine

Boundary dari hasil pengolahan menggunakan AUTOS 2.0 Scheduler dan Software Datamine dapat membantu dalam kegiatan pendetailan penjadwalan penambangan. Berbagai manfaat dari adanya inovasi ini dapat membantu kegiatan mine planning yang dilakukan di internal perusahaan. Manfaat dari adanya AUTOS 2.0 Scheduler adalah dapat mempercepat pekerjaan dari semula 1 bulan menjadi 2 minggu. Selain itu, inovasi ini memberikan dampak terhadap Quality, Safety, dan Morale. Secara Quality hasil scheduling LTMP bauksit dapat termanfaatkan 100%. Untuk Safety melalui informasi ketebalan waste dan ore dari AUTOS 2.0 Scheduler dapat ditentukan metode penambangan yang tepat dan aman sebelum dilakukan penambangan, dan secara Morale terjalin komunikasi teknis yang lebih baik antara perencana jangka panjang hingga jangka pendek dengan bagian operation di lapangan melalui SOP. Untuk lebih jelasnya, manfaat dari inovasi ini secara QDSM dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. List Aspek QDSM Setelah Perbaikan

Aspek	Data Masalah	Setelah Perbaikan
Quality	Hasil Scheduling LTMP Bauksit Baru Termanfaatkan 50%	Hasil Scheduling LTMP Bauksit Termanfaatkan 100%
Delivery	Pengolahan Data Block Model Cadangan ke Dalam Short Term Mine Plan Membutuhkan Waktu yang Lama (1 Bulan)	Pengolahan Data Block Model Cadangan ke Dalam Short Term Mine Plan Lebih Cepat dengan Menggunakan AUTOS 2.0 Scheduler (2 Minggu)
Safety	Penentuan Metode Penambangan Dilakukan Berdasarkan Eksekusi Langsung di Lapangan	Melalui Informasi Ketebalan Waste dan Ore dari AUTOS 2.0 Scheduler Dapat Ditentukan Metode Penambangan yang Tepat dan Aman Sebelum Dilakukan Penambangan
Morale	Hambatan Komunikasi Teknis Terutama Jika Terjadi Kendala Operasional Penambangan di Lapangan	Terjalin Komunikasi Teknis yang Lebih Baik Antara Perencana Jangka Panjang Hingga Jangka Pendek dengan Bagian Operation di Lapangan Melalui SOP

Manfaat lainnya dari AUTOS 2.0 Scheduler ini adalah memungkinkannya untuk dapat diterapkan pada komoditas lain seperti nikel dan batubara. Penerapan pada komoditas nikel dapat dilakukan dengan mengubah parameter kadar sesuai dengan parameter yang digunakan pada kegiatan penambangan nikel. Sedangkan untuk penerapan pada komoditas batubara dapat dilakukan dengan mengubah parameter kadar menjadi target kalori, tonase, dan stripping ratio. Pengembangan AUTOS 2.0 Scheduler ini masih dapat dilakukan dengan sangat luas sehingga dapat bermanfaat kepada unit bisnis pertambangan ANTAM yang lain ataupun perusahaan tambang yang lain.

D. KESIMPULAN

AUTOS 2.0 Scheduler membuat kegiatan pendetailan scheduling dapat dilakukan secara cepat, tepat, dan terintegrasi. Empat tahap utama dalam kegiatan mine scheduling masing-masing tetap dilakukan, dengan beberapa penambahan metode pengerjaan. Dengan AUTOS 2.0 Scheduler, block model cadangan LoM dapat dengan mudah dilakukan pendetailan scheduling baik bulanan, mingguan maupun harian. AUTOS 2.0 Scheduler ini juga dapat memberikan informasi ketebalan ore dan waste sehingga praktis, efektif, dan efisien untuk keperluan operasional penambangan. Integrasi antara long term mine plan dengan mine operation dapat terjalin dengan baik melalui AUTOS 2.0 Scheduler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini, kami mengucapkan terima kasih kepada PT ANTAM, Tbk khususnya Unit Geomin & Technology Development atas segala bantuan dan kesempatan untuk melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga kami ucapkan kepada PERHAPI yang telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Datamine Corporate Limited (2018): *Datamine Studio OP*. Brisbane, Datamine.

PT ANTAM Tbk (2021): *Studi Kelayakan Unit Bisnis Penambangan Bauksit Kalimantan Barat (Tayan – Sanggau).* Kalimantan Barat. PT ANTAM Tbk.

Unit Geomin & Technology Development (2020): *Long Term Mine Planning Unit Bisnis Penambangan Bauksit Kalimantan Barat (Tayan – Sanggau).* Kalimantan Barat, PT ANTAM Tbk.

PERANAN DRILL & BLAST ENGINEER DI TAMBANG TERBUKA MINERAL

Heru Utama[1)] dan Awang Suwandhi[2)]

1) PT. Indo Muro Kencana (IMK), Kalimantan Tengah
2)Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia (STTMI), Bandung

ABSTRAK

Peledakan secara ore waste blasting diterapkan pada kegiatan peledakan di area tambang terbuka mineral PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK). Peledakan di PT. IMK dilakukan dengan 2 metode, yaitu: peledakan konvensional (sistem inisiasi nonel) dan peledakan tidur (sleep blast, sistem inisiasi nonel). Ore waste blasting dapat diterapkan pada tambang terbuka mineral, dimana peledakan bijih (ore) dan waste dilakukan pada peledakan yang sama. Section/divisi khusus yang bertugas untuk mengelola perencanaan, pelaksanaan dan evaluasi kegiatan pengeboran dan peledakan disebut sebagai Drill & Blast section, yang terdiri dari Drill & Blast Engineer dan para pengawas Drill & Blast. Permasalahan pokok yang dibahas dalam tulisan ini adalah peranan Drill & Blast Engineer di tambang terbuka mineral dan penerapan Drill & Blast Engineering pada peledakan (ore waste blasting) di tambang terbuka mineral PT. IMK. Tujuan dari tulisan ini adalah sebagai kajian mengenai peranan D&B Engineer dan kaidah-kaidah D&B Engineeering yang digunakan pada kegiatan peledakan di tambang terbuka mineral PT. IMK. Diharapkan tulisan ini berguna sebagai referensi bagi mahasiswa Teknik Pertambangan, fresh graduate mining engineer dan Junior D&B Engineer. Metode yang digunakan untuk pemecahan masalah dalam penulisan ini adalah studi literatur, wawancara narasumber dan pengalaman penulis selama bekerja di bidang drilling & blasting di tambang terbuka mineral PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK, Muro Gold Mine, Murung Raya, Kalimantan Tengah) dan pengalaman sebelumnya di PT. Kasongan Bumi Kencana (PT. KBK, Mirah Gold Mine, Katingan, Kalimantan Tengah). Sebagai kesimpulan dari tulisan ini, peranan D&B Engineer dan penerapan kaidah D&B Engineering pada kegiatan ore waste blasting di tambang terbuka mineral sangat mutlak diperlukan, terutama dalam hal mengelola perencanaan (D&B planning), pelaksanaan peledakan, evaluasi dan pelaporan kegiatan terkait pengeboran dan peledakan.

Kata Kunci: D&B Engineer, tambang terbuka mineral, ore waste blasting

ABSTRACT

Ore waste blasting method is applied to blasting activities in open pit mining PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK). Ore waste blasting at PT. IMK is carried out by using two methods, specifically: conventional blasting method (with nonel initiation system) and sleep blasting method (with nonel initiation system). Ore waste blasting can be applied to open pit mineral mine, where the ore and waste blasting are blasted in the same blasting process. The section that tasked with managing the D&B planning, blasting operation, evaluation and reporting of drilling and blasting activities is called the Drill & Blast section. This section consists of D&B Engineers and D&B supervisors. Next, the main issues that will be discussed in this paper are the role of D&B Engineer in open mineral mines and the application of D&B Engineering in ore waste blasting in PT. IMK. In addition, the purpose of this paper is to study the role of D&B Engineer and the principles of D&B Engineering used in ore waste blasting at PT. IMK. Furthermore, it is expected that this paper will be valuable as a reference for mining engineering students, fresh graduate mining engineers and junior D&B Engineers in order to develop their professional development. Methods that are used to solve the problem in this paper are literature study, interview with D&B professionals and writer's Drilling & Blasting experiences in PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK, Muro Gold Mine, Murung Raya, Central Kalimantan) and PT. Kasongan Bumi Kencana (PT. KBK, Mirah Gold Mine, Katingan, Central Kalimantan. In conclusion, it is clear that the role of D&B Engineer and the application of D&B Engineering procedures in ore waste blasting

activities in PT. Indo Muro Kencana are completely essential, especially in terms of managing D&B planning, blasting implementation, evaluation and reporting of drilling and blasting activities.

***Keywords**: D&B Engineer, open pit mineral mining, ore waste blasting*

A. PENDAHULUAN

Peledakan tambang secara *ore waste blasting* diterapkan di PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK) untuk menunjang kegiatan penambangan. Peledakan secara *ore waste blasting* adalah peledakan dimana peledakan bijih *(ore)* dan batuan penutup *(waste)* dilakukan dalam proses peledakan yang sama. Kegiatan peledakan yang diterapkan di PT. IMK adalah peledakan tambang dengan menggunakan metode peledakan konvensional *(nonel initiation system)* dan penerapan peledakan tidur *(sleep blasting)*. Selanjutnya fragmentasi hasil peledakan bijih *(blasted ore)* dimuat dan diangkut oleh tim *Mining Operation (loading and hauling)* untuk dipindahkan ke *ROM Pad* di area pabrik pengolahan. Pada kegiatan peledakan di tambang terbuka PT. IMK, *section* yang bertugas untuk mengelola perencanaan peledakan dan pelaksanaan peledakan disebut sebagai *Drill & Blast section*. *D&B section* merupakan salah satu *section* dari *Mining Department* di PT. IMK. Dalam hal ini, dapat dikatakan bahwa yang menjadi *user* atau *customer* (pengguna jasa) dari tim *Drill and Blast* ini adalah *Mine Operation section (loading and hauling), Grade Control Geologist* dan pabrik pengolahan *(Process Plant Department)*. Di area pabrik pengolahan, material bijih hasil peledakan tersebut akan dimanfaatkan untuk proses-proses selanjutnya *(crushing, grinding, ore processing)*. Di PT. IMK, *D&B section* terdiri dari personil berikut ini:

1. *D&B Superintendent*
2. *D&B Engineer* (*Senior D&B Engineer* dan *Junior D&B Engineer*)
3. *D&B Supervisor*
4. Kepala Gudang Bahan Peledak
5. *D&B Foreman*
6. *D&B Helper/Crew*
7. Penanggung Jawab Operasional dari perusahaan jasa pengeboran lubang ledak *(drilling service)* dan jasa peledakan *(onsite blasting service)*.

Tugas dari *Drill & Blast Section* ini adalah:

1. Melakukan kegiatan peledakan tambang *(ore waste blasting)* dalam rangka menyediakan material hasil peledakan untuk keperluan produksi tambang.
2. *D&B section* bertugas melakukan peledakan *(ore waste blasting)* sesuai dengan target *(mine planning)* dan mengacu kepada kaidah *optimum blasting*.
3. Kegiatan perencanaan pengeboran dan peledakan *(drill design, blast design, explosive charging sheet)* dilakukan oleh *D&B Engineer*.
4. Kegiatan preparasi area pengeboran *(drill area preparation)*, pengamanan area pengeboran *(securing drilling area)* dan pengawasan operasional pengeboran dilakukan oleh *D&B Supervisor* dan *D&B Foreman*.
5. Pada saat kegiatan pelaksanaan peledakan, *D&B Engineer* bertugas sebagai pemimpin peledakan *(blast coordinator)*
6. *D&B Supervisor/D&B Foreman* bertugas sebagai petugas penyisiran *(sweeper)* pada saat pra peledakan.

Tulisan ini akan membahas mengenai definsi *D&B Engineer*, persyaratan untuk menjadi *D&B Engineer*, *skill* dan kompetensi yang diperlukan dan tugas *D&B Engineer* pada kegiatan peledakan di tambang terbuka PT. Indo Muro Kencana. Permasalahan pokok yang dibahas dalam tulisan ini adalah peranan *D&B Engineer* di tambang terbuka mineral PT. IMK, penerapan *D&B Engineering* dan *Scaled Depth of Burial* (SDoB) pada kegiatan perencanaan, pelaksanaan peledakan, evaluasi dan pelaporan peledakan di tambang terbuka mineral PT. Indo Muro Kencana. Tujuan dari tulisan ini adalah sebagai kajian mengenai peranan *D&B Engineer* dan kegiatan *Drill & Blast Engineering* pada kegiatan pengeboran dan peledakan di tambang terbuka mineral di PT. IMK. Selanjutnya, tulisan ini juga bertujuan untuk

memberikan gambaran mengenai penerapan *Scaled Depth of Burial* (SDoB) sebagai salah satu *engineering tool* pada kegiatan perencanaan peledakan di tambang terbuka PT. IMK. Diharapkan tulisan ini akan berguna sebagai sarana referensi bagi mahasiswa teknik pertambangan, *fresh graduate mining engineer* dan *junior D&B Engineer.*

B. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk pemecahan masalah dalam penulisan ini adalah:

1. Studi Literatur.
2. Wawancara Narasumber.
   Narasumber yang diwawancara dalam penulisan ini adalah:
   - Para *D&B Engineer* yang saat ini bekerja di tambang terbuka mineral PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK, Muro Gold mine, Kalimantan Tengah).
   - *D&B Engineer* serta para pengawas pengeboran dan peledakan *(D&B Supervisor dan D&B Foreman)* yang sebelumnya bekerjasama dengan penulis di site PT. Kasongan Bumi Kencana (PT. KBK, Kalimantan Tengah).
   - *D&B Professional* dari Indonesia.
   - *D&B Engineer, D&B Supervisor* dan *D&B Superintendent* yang sebelumnya bekerjasama dengan penulis dalam hal *Drill & Blast Engineering (TSB/Through Seam Blasting Project* dan *Blasting with Air Decking application)* di site LCI Wahana Mine Project, PT. Leighton Contractors Indonesia (Kalimantan Selatan).
3. Pengalaman penulis di bidang *D&B Engineering (ore waste blasting)* dan *D&B Management* di tambang terbuka di PT. Indo Muro Kencana (PT. IMK, Muro Gold mine, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah).
4. Pengalaman penulis di bidang *D&B Engineering (ore waste blasting)* dan *D&B Management* selama bekerja di *D&B section* di tambang terbuka emas dan perak di PT. Kasongan Bumi Kencana (PT. KBK, Mirah gold mine, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Drill & Blast Engineer

D&B Engineer adalah karyawan setingkat pengawas (level *Supervisor*) dengan kualifikasi Sarjana Teknik (umumnya adalah S1 Teknik Pertambangan) dengan pengalaman kerja lebih dari 2 (dua) tahun di bidang pertambangan. Persyaratan umum untuk menjadi seorang *D&B Engineer* adalah:

1. Pendidikan formal S1 (Teknik Pertambangan)
2. Kompetensi Juru Ledak Kelas 2 (KJL 2)
3. Kompetensi Pengawas Operasional Pertama (POP).
4. Pengalaman di bidang *Drilling & Blasting* di pertambangan selama 2 tahun.
5. *D&B Engineer* kompeten untuk membuat perencanaan *(D&B planning)*, memimpin kegiatan peledakan, sebagai *evaluator* (evaluasi hasil peledakan) dan melakukan pelaporan terkait kegiatan peledakan *(D&B reporting)*.

C.2. Keahlian (Skill) dan Kompetensi

Keahlian *(Skill)* yang diperlukan oleh seorang *D&B Engineer* di tambang terbuka PT. IMK adalah:

1. Keahlian bidang teknik pertambangan *(Mining Engineering)*
2. Keahlian bidang *D&B Engineering*.
3. *Geoblast.* Pengetahuan bidang mekanika batuan *(rock mechanics)* dan interakasinya dengan pengeboran dan peledakan *(explosive engineering, rock breakage & fragmentation)*.
4. *Commercial explosives*. Pengetahuan mengenai bahan peledak komersial.
5. *Surpac software. Computer software* untuk perencanaan tambang.
6. *JKSimblast software. Computer software* perencanaan dan desain peledakan.
7. Pengetahuan di bidang Peraturan Pemerintah RI (Undang-Undang, Keputusan Menteri ESDM) mengenai peraturan perijinan, penggunaan dan penimbunan bahan peledak komersial *(Explosive permit)* yang digunakan di industri pertambangan Indonesia.

8. Peraturan dari Kepolisian RI/ PerKap / Peraturan KAPOLRI yang terkait dengan peraturan perijinan, pembelian, penggunaan dan penyimpanan bahan peledak komersial *(Explosive permit)* yang digunakan di industri pertambangan Indonesia.
9. *Forecasting explosive usage and explosive order.* Perencanaan kebutuhan dan penggunaan bahan peledak di site).
10. Kemampuan untuk membuat *engineering report*, kemampuan komunikasi *(communication skill)* dan kemampuan presentasi *(presentation skill).*

C.3. Tugas D&B Engineer

Secara umum tugas dari seorang *D&B Engineer* adalah:

1. *D&B proposal.* Pembuatan proposal pengeboran dan peledakan.
2. *Blast Geometry Selection*. Pemilihan desain geometri peledakan (*burden*, spasi, tinggi jenjang, *Stemming*). Geometri peledakan dapat dilakukan *adjustment* berdasarkan kondisi batuan di lapangan *(actual rock mass condition)*. Salah satu *engineering tool* yang dapat digunakan oleh *D&B Engineer* untuk melakukan adjustment terhadap *basic blast design* adalah dengan menggunakan pendekatan *Blastability Index* (BI).
3. *Drill Design.* Desain pengeboran *(drill design* menggunakan *Surpac software).* Desain pengeboran ini akan digunakan oleh pengawas pengeboran dan *drill operator* sebagai acuan dalam pengeboran lubang ledak. Informasi yang terdapat dalam desain pengeboran ini adalah target kedalaman lubang ledak dan informasi teknis pengeboran.
4. *Explosive Charging Sheet.* Lembar acuan pengisian lubang ledak *(Explosive charging sheet)*. *D&B Engineer* dalam pembuatan *Explosive charging sheet* menggunakan SDoB *(Scaled Depth of Burial)* sebagai *engineering tool* untuk merancang ketinggian *stemming*. *Scaled Depth of Burial* diterapkan sebagai langkah antisipatif untuk mengurangi potensi terjadinya *over energy.*
5. *Explosive requirements and Explosive Forecast*. Perencanaan keperluan penggunaan bahan peledak yang diperlukan untuk tiap peledakan (kuantitas bahan peledak curah/*bulk explosives, surface detonator, in hole detonator, dinamit/booster, LIL/Lead in Line*).
6. *Tie up design.* Desain peledakan *(tie up design)* menggunakan *JKSimblast software*.
7. Prediksi dampak peledakan (prediksi *ground vibration*, *estimated max rock projection* berdasarkan SDoB, *estimated blast clearance radius* berdasarkan SDoB).
8. *Prediction of Fragmentation Distribution*. Prediksi distribusi fragmentasi hasil peledakan (menggunakan metode Kuz-Ram, Cunningham, 1983).
9. Koordinasi harian dengan *D&B Supervisor/Foreman* mengenai rencana pengeboran harian, rencana peledakan harian, komunikasi dan koordinasi untuk area pengeboran selanjutnya.
10. *D&B Engineer* bertugas sebagai *Blast Coordinator* (Pemimpin peledakan /*Blast Controlling)* pada hari peledakan.
11. Melakukan *monitoring* dampak peledakan menggunakan alat pemantauan dampak peledakan.
12. Melakukan evaluasi hasil pengeboran *(drill performance).*
13. Evaluasi hasil peledakan (fragmentasi hasil peledakan). *D&B Engineer* berkoordinasi dengan *Mine Production Engineer* dalam hal evaluasi hasil peledakan dan pengaruhnya terhadap produktifitas alat gali yang menggali material hasil peledakan tersebut.
14. Laporan evaluasi performa pengeboran dan peledakan *(monthly report drilling and blasting).*
15. Laporan mengenai biaya pengeboran dan peledakan *(blasting economics).*

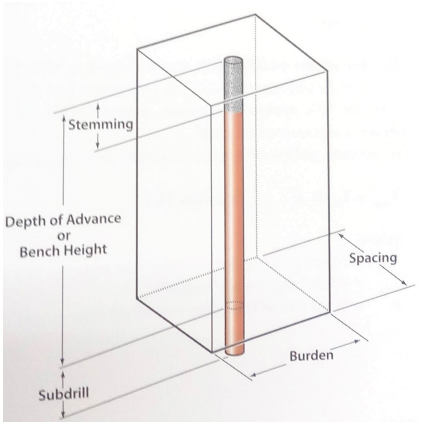
C.4. Drill & Blast Engineering

C.4.1. Geometri Peledakan

Di tambang terbuka PT. IMK, *D&B Engineer* bertugas untuk membuat perencanaan pengeboran dan peledakan, termasuk pemilihan geometri peledakan yang diterapkan. Secara umum, geometri peledakan di tambang terbuka adalah:

1. D - Diameter lubang ledak *(blast hole diameter)*
2. B - Burden
3. S - Spasi *(spacing)*
4. H atau BH - Tinggi jenjang *(bench height)*

5. J - *Sub drill*
6. T - Tinggi stemming *(stemming height)*.
7. L - *Kedalaman lubang ledak (blast hole depth)*



Gambar 1. Geometri Peledakan (ISEE Blaster's Handbook, hal. 345)

Dalam pemilihan desain *burden*, pendekatan (desain *burden*) yang umum digunakan oleh para *D&B Engineer* di PT. IMK adalah dengan menggunakan pendekatan *burden* menurut C.J. Konya (1990, ISEE Blasters' Handbook, 2011). Pendekatan rumus burden menurut C.J. Konya (1990) adalah pendekatan yang dapat digunakan dalam merancang burden dan geometri peledakan lainnya.

Burden menurut C.J. Konya (1990, ISEE Blaster's Handbook, hal. 367)

$$B = [((2 \times SG\_{explosive})/SG\_{rock}) + 1{,}5] \times D\_{explosive} \quad (1)$$

Dimana:

B	= Burden (feet)
$D\_{explosive}$	= Diameter bahan peledak (inchi)
$SG\_{explosive}$	= Densitas bahan peledak
SG_{rock}	= Densitas batuan

Diameter lubang ledak yang digunakan di PT. IMK adalah 127 mm *(5 inchi)*. Densitas batuan rata-rata yang diledakkan adalah 2,5 ton/m^3. Untuk Spasi, digunakan pendekatan secara *Spacing to Burden ratio* = SB ratio = 1,15. (*Spacing* = 1,15 x *Burden*). Geometri pengeboran lubang ledak yang diterapkan kegiatan peledakan di PT. Indo Muro Kencana dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Geometri Pengeboran Lubang Ledak di PT. Indo Muro Kencana.

No	Burden (m)	Spasi (m)	Sub drill (m)	Tinggi Jenjang (m)	Kedalaman lubang (m)	Diameter lubang ledak (mm)
1	3,5	4,0	0,5	5,0	5,5	127
2	3,5	4,5	0,5	5,0	5,5	127
3	3,5	4,0	0,5	6,0	6,5	127
4	4,0	4,5	0,5	6,0	6,5	127
5	4,0	5,0	0,5	7,5	8,0	127
6	4,5	5,0	0,5	7,5	8,0	127
7	5,0	6,0	0,5	7,5	8,0	127

C.4.2. Bahan Peledak

Peledakan tambang dilakukan dengan metode konvensional dengan sistem iniasi nonel dan metode peledakan tidur *(sleep blast)* dengan sistem iniasi nonel. Pada kegiatan peledakan di PT. IMK, baik

peledakan konvensional maupun peledakan tidur *(sleep blast)*, jenis bahan peledak curah yang digunakan adalah Bahan peledak curah *(bulk explosive):*

1. Jenis *Emulsion Blend*
2. Campuran 30% ANFO dan 70 % *Emulsion (Emulsion Matrix)*
3. Densitas bahan peledak 1,15 gr/cc
4. Explosive diameter 127 mm (5 *inchi*).
5. *Explosive loading density* 14,57 kg/meter
6. *Emulsion Blend* 70:30 seri FRG *(For Reactive Ground)*
7. Produksi dari PT Dahana (Persero).

Alasan penggunaan bahan peledak jenis *Emulsion Blend* ini karena bahan peledak jenis *emulsion* memiliki ketahanan yang tinggi terhadap air *(water resistant)* sebagai antisipasi lubang ledak basah *(wet holes)*. Kondisi batuan di area tambang PT. IMK terdapat potensi batuan reaktif *(reactive ground),* maka bahan peledak curah tersebut dilengkapi dengan *inhibitor* sebagai antisipasi terhadap batuan mempunyai potensi *reactive ground* tersebut. Bahan peledak curah dan aksesories peledakan yang digunakan pada kegiatan peledakan di tambang terbuka PT. IMK dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Bahan Peledak yang digunakan di PT. Indo Muro Kencana.

No	Bahan Peledak	Jenis	Satuan	Keterangan	Keterangan
1	Bahan Peledak Curah	Emulsion blend	Densitas 1.15 gr/cc	Emulsion matrix 70%, ANFO 30 %	Dabex FRG series, For Reactive Ground, Produksi PT. Dahana (Persero)
2	Dinamit	Cast booster	200 gram	Dayaprime Pentolite Booster	Produksi PT. Dahana (Persero)
3	Dinamit	Cast booster	400 gram	Dayaprime Pentolite Booster	Produksi PT. Dahana (Persero)
4	Dinamit	Package booster	1,000 gram	Dayagel Magnum	Produksi PT. Dahana (Persero)
5	In Hole Delay Detonator	Detonator (Nonel)	6,0 meter	500ms	Produksi PT. Dahana (Persero)
6	In Hole Delay Detonator	Detonator (Nonel)	9,0 meter	500ms 3,000ms	Produksi PT. Dahana (Persero)
7	In Hole Delay Detonator	Detonator (Nonel)	12,0 meter	500ms 3,000ms	Produksi PT. Dahana (Persero)
8	Surface Delay detonator	Detonator (Nonel)	6,0 meter	17 ms, 25 ms, 42 ms, 67 ms, 109 ms	Produksi PT. Dahana (Persero)
9	Lead in Line	Detonator (Nonel)	500 meter	Nonel	Produksi PT. Dahana (Persero)

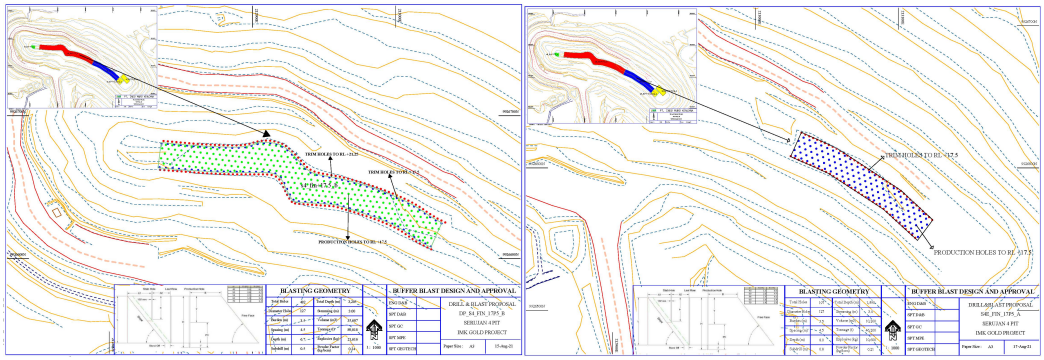
C.5. Pembahasan

C.5.1. Peranan D&B Engineer di tambang terbuka PT. Indo Muro Kencana

Di tambang terbuka PT. IMK, peran serta dan kontribusi dari *D&B Engineer* ini terlihat dalam hal:

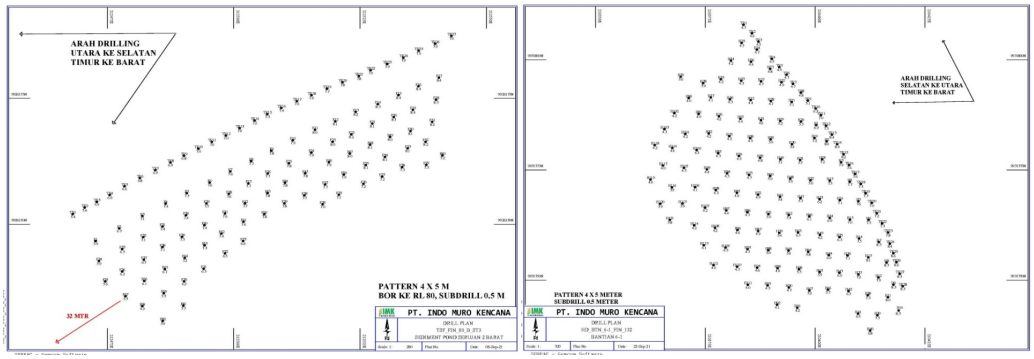
1. **D&B planning (Perencanaan peledakan).**
   D&B Engineer dalam kegiatan *Drill & Blast planning* di PT. IMK berperan dalam hal perencanaan peledakan:
   - ***D&B Proposal*** **(Proposal pengeboran dan peledakan).**
     D&B Proposal dibuat oleh *D&B Engineer* menggunakan *Surpac software*. Proposal ini berisi informasi perencanaan pengeboran dan peledakan yang diajukan oleh *D&B Engineer*, direview oleh *Mine Plan Engineer*, *Geotechnical Engineer*, *Grade Control*

Geologist dan *Survey,* selanjutnya *D&B proposal* direview dan disetujui oleh *D&B Superintendent*.



Gambar 2. Drill & Blast Proposal.

- ***Drill design*** **(Desain pengeboran).**
  Drill design dibuat oleh *D&B Engineer* dengan menggunakan *Surpac software. D&B Engineer* membuat *drill design* sesuai dengan area dan elevasi yang sudah ditentukan oleh *Mine Planning Engineer. Drill design* ini selanjutnya disosialisasikan kepada pihak terkait, seperti *Mine Surveyor*, *D&B Supervisor/Foreman* dan *drill operator*. Selanjutnya informasi target kedalaman bor pada patok-patok tersebut digunakan sebagai acuan bagi *drill operator* untuk mengebor lubang ledak sesuai dengan rencana dari *D&B Engineer*.



Gambar 3. Desain Pengeboran.

- ***Explosive Charging Sheet.***
  Explosive charging sheet dibuat oleh *D&B Engineer* menggunakan *Microsoft Excel.* Pembuatan lembar acuan pengisian bahan peledak ini, *D&B Engineer* menggunakan SDoB *(Scaled Depth of Burial)* sebagai acuan desain *stemming* dan sebagai *engineering tool* dalam rangka mengurangi potensi terjadinya *over energy* dan sebagai langkah antisipatif. Lembar acuan pengisian lubang ledak ini digunakan oleh Juru Ledak *(Blaster)* dan operator pengisian bahan peledak/kru peledakan *(operator MMU/charging crew)* dalam kegiatan pengisian bahan peledak *(explosive charging).* Kaidah *Scaled Depth of Burial (SDoB)* sebagai langkah antisipatif untuk mengurangi potensi terjadi *over energy* dan *fly rock* yang berlebihan *(excessive fly rock)* sudah konsisten dilakukan oleh *D&B Engineer* PT. IMK dalam pembuatan *Explosive Charging Sheet* ini. Pada peledakan dekat dinding *(trim blasting)* dan peledakan *secondary (boulder blasting/secondary blasting)*, D&B Engineer melakukan adjustment berdasarkan kondisi aktual di lapangan dan menggunakan kaidah *stemming*

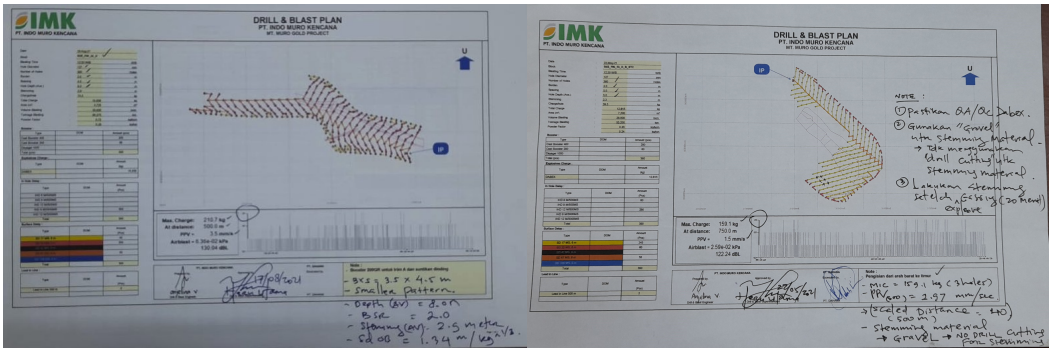
control dalam rangka antisipasi potensi terjadinya *over energy* dan *fly rock* yang berlebihan *(excessive fly rock).*



Gambar 4. Explosive Charging Sheet

- ***Blasting Design/Tie Up Design*** **(Desain rangkaian peledakan).**
  Blasting design (tie-up design) dibuat oleh *D&B Engineer menggunakan JKSimBlast software. Tie up design* ini berfungsi sebagai acuan bagi Juru Ledak *(Blaster)* dalam melakukan perangkaian lubang ledak di area peledakan. Desain rangkaian peledakan ini bertujuan untuk mengontrol peledakan untuk mencapai kondisi peledakan optimum. Peledakan optimum adalah kondisi dimana fragmentasi hasil peledakan dapat dimanfaatkan untuk proses selanjutnya, keselamatan peledakan terjamin dengan dampak peledakan yang terkontrol dan biaya peledakan yang terkontrol).

  Desain peledakan juga mencantumkan:
  1. Informasi tambahan dan arahan dari *D&B Engineer* bagi Juru Ledak untuk diaplikasikan di lokasi peledakan.
  2. Perencanaan jumlah bahan peledak curah yang diperlukan
  3. Perencanaan aksesories peledakan
  4. Estimasi dampak peledakan (Prediction of *Ground vibration, Air blast*).
  5. Validasi dan arahan dari *D&B Superintendent Engineer* untuk diaplikasikan di lokasi peledakan.



Gambar 5. Desain Peledakan.

- **Prediksi distribusi fragmentasi hasil peledakan.**
  D&B Engineer membuat prediksi fragmentasi hasil peledakan (metode Kuz-Ram, Cunningham, 1983) menggunakan lembar kerja *MS Excel*. Pemilihan desain geometri peledakan (*burden*, spasi, tinggi jenjang, *Stemming*). Geometri peledakan dapat dilakukan *adjustment* berdasarkan kondisi batuan di lapangan *(actual rock mass condition)*. Salah satu *engineering tool* yang dapat digunakan oleh *D&B Engineer* untuk melakukan adjustment terhadap *basic blast design* adalah dengan menggunakan pendekatan *Blastability Index* (BI). Pada pembuatan prediksi distribusi fragmentasi

hasil peledakan, *D&B Engineer* menggunakan metode Kuz-Ram (Cunningham, 1983). Nilai *Rock Factor* yang digunakan dalam prediksi fragmentasi hasil peledakan Kuz-Ram (Cunningham, 1983) ini adalah *Rock Factor* yang didapatkan dari 0.12 x nilai *Blastability Index.*

Ratings for Blastability Index Parameters

Parameter		Rating
1.	Rock mass description (RMD)	
1.1	Powdery/Friable	10
1.2	Blocky	20
1.3	Totally massive	50
2.	Joint Plane Spacing (JPS)	
2.1	Close (<0.1m)	10
2.2	Intermediate (0.1 to 1m)	20
2.3	Wise (>1m)	50
3.	Joint Plane Orientation (JPO)	
3.1	Horizontal	10
3.2	Dip out of face	20
3.3	Strike normal to face	30
3.4	Dip into face	40
4.	Specific Gravity Influence (SGI)	
	SGI = 25 SG - 50 (where SG is in tonnes/cu metre)	
5.	Hardness (H)	1 to 10

Gambar 6. Blastability Index (P. A. Lilly, 1986, the AusIMM/IE Aust Newman Combined Group Large Open Pit Mining Conference, October 1986)

$$\text{Blastability Index (BI)} = 0.5 \times (\text{RMD} + \text{JPS} + \text{JPO} + \text{SGI} + \text{HD}) \quad (2)$$

RMD = Rock Mass Desription
JPS = Joint Plane Spacing
JPO = Joint Plane Orientation
SGI = Specific Gravity Influence
H = Hardness

$$\text{RDI} = 25\,(\text{D}) - 50 \quad (3)$$

D = Rock Density (ton/m^3)
RDI = Rock Density Influence
SGI = Specific Gravity Influence = RDI

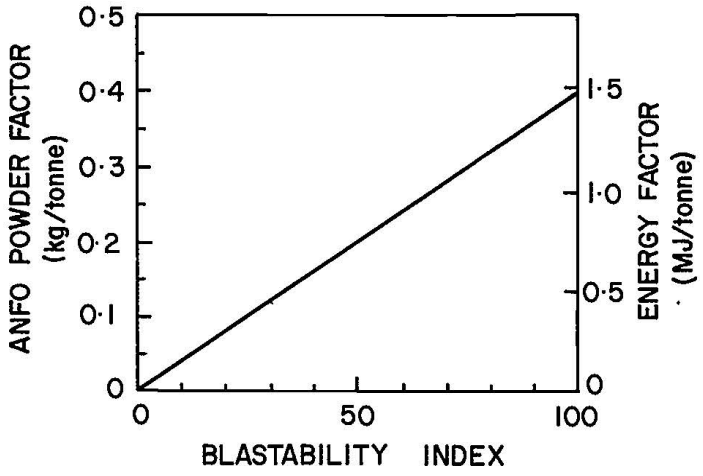
$$\text{S} = 0.05 \times (\text{UCS}) \quad (4)$$

UCS = Rock UCS (MPa)
H = Hardness = S = Rock Strength Influence

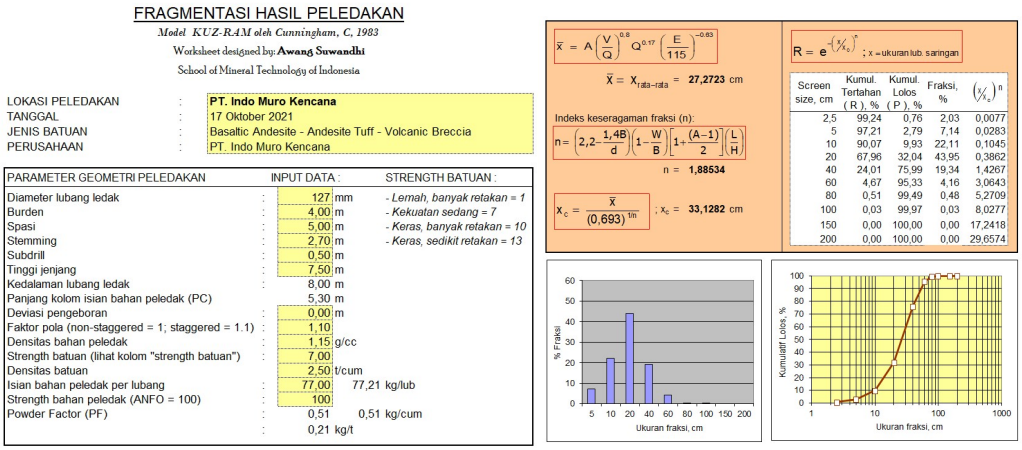
$$\text{Powder Factor (CE)} = \text{CE (Kg ANFO/t)} = 0.004 \times \text{BI} \quad (5)$$

$$\text{Energy Factor (FE)} = \text{FE (MJ/t)} = 0.015 \times \text{BI} \quad (6)$$

$$\text{Rock Factor of the Model Kuz-Ram of Cunningham (1983)} = 0.12 \times \text{BI} \quad (7)$$



Gambar 7. Blastability Index Versus Powder / Energy Factor (P. A. Lilly, 1986, the AusIMM/IE Aust Newman Combined Group Large Open Pit Mining Conference, October 1986)



Gambar 8. Prediksi distribusi fragmentasi hasil peledakan (metode Kuz-Ram, Cuningham, 1983)

- **Prediksi Dampak Peledakan**
  D&B Engineer membuat prediksi dari dampak peledakan:
  1. Prediksi *ground vibration*
  2. Prediksi *air blast*.
  3. Perhitungan *Scaled Depth of Burial* (SDoB *Calculation*)
  4. Prediksi *fly rock* berdasarkan nilai SDoB (*Estimated Max Rock Projection* dan *Estimated Blast Clearance Radius*). *D&B Engineer* di PT. IMK menggunakan kaidah *Scaled Depth of Burial (SDoB)* sebagai *engineering tool*, *stemming control* dan sebagai langkah antisipatif untuk mengurangi potensi terjadi *over energy* dan *fly rock* yang berlebihan *(excessive fly rock)*.

- **Biaya pengeboran dan peledakan (D&B Cost)**
  D&B report. Pada setiap kegiatan pengeboran dan peledakan, *D&B Engineer* membuat database mengenai:
  1. Laporan kuantitas/konsumsi pengeboran lubang ledak *(meter drilled)*.
  2. Pemakaian bahan peledak curah *(bulk explosives usage)*

3. Laporan kuantitas/konsumsi pemakaian aksesories peledakan *(usage of surface delay detonator, in delay hole detonator, booster, Lead in Line)*.
4. Volume peledakan, tonase peledakan, PF *(powder factor)* dan estimasi biaya pengeboran dan peledakan *(blasting economics)*.

2. **Pelaksanaan Peledakan (Pemimpin Peledakan).** Pada hari peledakan, *D&B Engineer* bertugas sebagai pemimpin peledakan *(blast coordinator)* pada saat kegiatan peledakan harian maupun pada saat kegiatan peledakan tidur *(sleep blast)*.



Gambar 10. D&B Engineer sebagai Pemimpin Peledakan.



Gambar 11. D&B Engineer sebagai Pemimpin Peledakan.

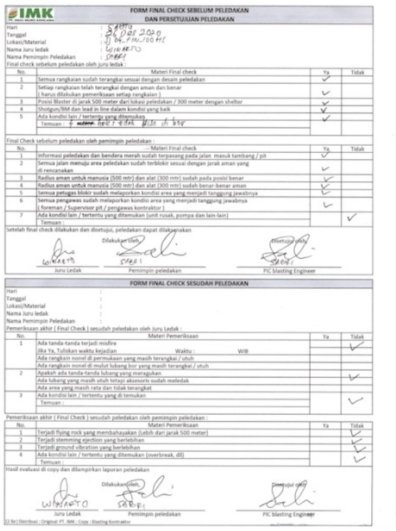


Gambar 12. D&B Engineer sebagai Pemimpin Peledakan.

3. **Evaluator.** *D&B Engineer* melakukan evaluasi paska kegiatan peledakan (analisa hasil peledakan).



Gambar 13. D&B Engineer sebagai Evaluator (Evaluasi paska peledakan)



Gambar 14. Form Final Check Sebelum Peledakan dan Sesudah Peledakan.

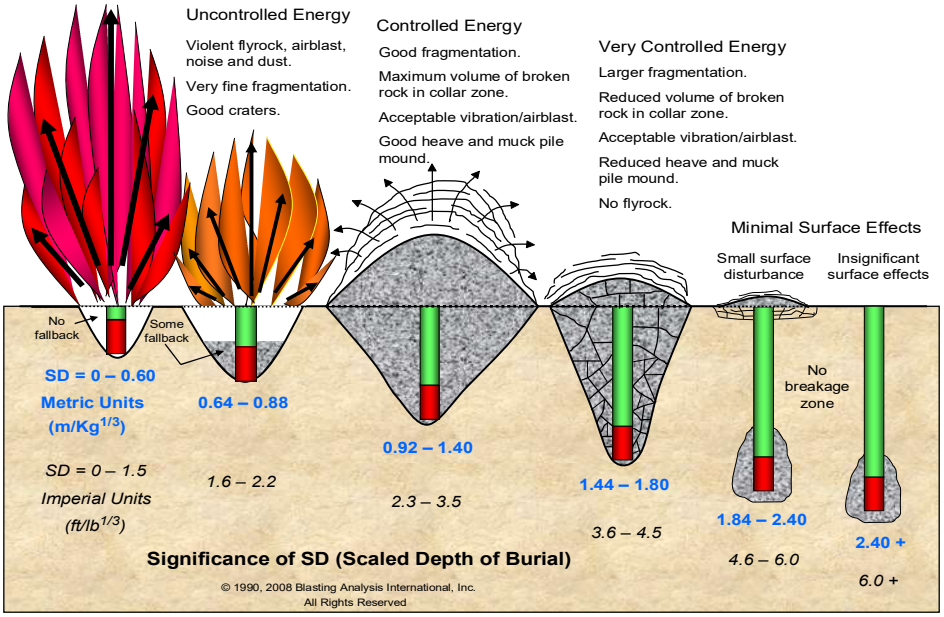


Gambar 15. Fragmentasi Hasil Peledakan.

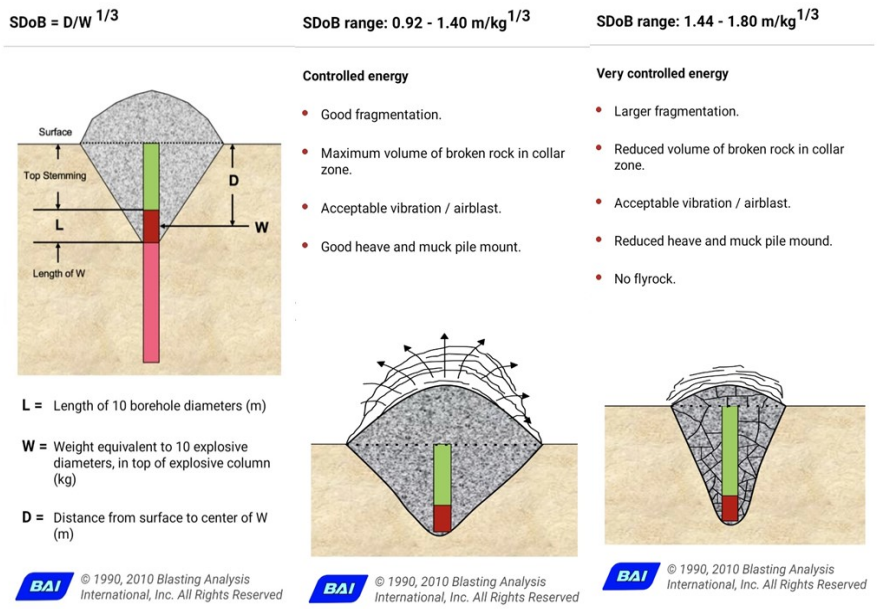
4. **Pelaporan (D&B Reporting).**
   D&B Engineer melakukan pelaporan (reporting) yang terkait kegiatan pengeboran dan peledakan. Pelaporan paska peledakan harian, laporan mingguan *(weekly report)* serta laporan bulanan *(Drill & Blast monthly report).*

C.5.2. Scaled Depth of Burial (SDoB)

Pada peledakan di tambang terbuka, salah satu kunci keberhasilan peledakan ditentukan oleh *stemming.* Dalam kegiatan peledakan, *stemming* berperan sebagai *energy confinement.* Pada kegiatan *D&B Engineering* di PT. IMK, desain *stemming (stemming height)* adalah hal yang menjadi perhatian dalam desain peledakan. SDoB (*Scaled Depth of Burial*) dapat digunakan sebagai salah satu *engineering tool* dalam desain *stemming (stemming height)* untuk desain awal peledakan (Chiappetta, 2014). Selanjutnya, SDoB juga merupakan langkah antisipatif untuk desain *stemming height* utk mengontrol energi ledakan agar terbentuk fragmentasi optimum dan tdk terjadi *over energy* (Suwandhi, 2020). Kondisi *over energy* yang tidak terkontrol ini berpotensi menyebabkan terjadinya *excessive fly rock.* Pada praktek *D&B Engineering* yang diterapkan oleh *D&B Engineer* di PT. Indo Muro Kencana (IMK), dapat dilihat bahwa SDoB *(Scaled Depth of Burial)* sudah secara konsisten diterapkan sebagai *engineering tool* dalam pembuatan *Explosive Charging Sheet* dalam rangka merancang *stemming height.* Pembuatan *Explosive Charging Sheet* oleh *D&B Engineer* menggunakan *Microsoft Excel dan* selanjutnya, *explosive charging sheet* digunakan oleh Juru Ledak *(Blaster)*, kru peledakan *(charging crew)* dan operator *Explosive Truck* dalam kegiatan pengisian bahan peledak *(explosive charging).*



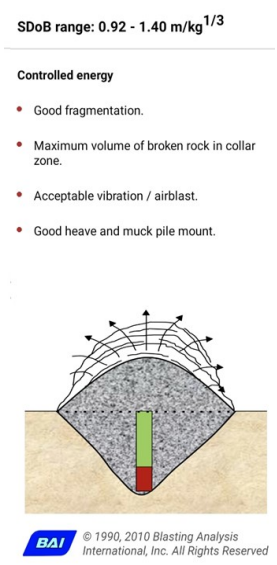
Gambar 16. Scaled Depth Burial (SDoB).



Gambar 17. Scaled Depth Burial (SDoB)

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan SDoB (*Scaled Depth of Burial*) :

Blast Hole diameter	:	127	mm
Stemming	:	2,5	meter
Explosive Density	:	1,15	gr/cc
Explosive Loading density	:	14,57	kg/meter
L_Length of 10 borehole diameter	:	0,127 x 10	meter
L_Length of 10 borehole diameter	:	1,27	meter
W_Weight equivalent to 10 explosive diameters	:	14,57 x 1,27	kg
W_Weight equivalent to 10 explosive diameters	:	18,50	kg
D_Distance from surface to center of W	:	Stemming + (0.5 x L)	meter
D_Distance from surface to center of W	:	2,5 + (0.5 x 1,27)	meter
	:	2,5 + (0,635)	meter
D_Distance from surface to center of W	:	3,135	meter
SDoB_Scaled Depth of Burial	:	$D / (W^{0,333})$	
	:	$3,135 / (18,50^{0,333})$	$m/kg^{0,333}$
SDoB_Scaled Depth of Burial	:	1,2 Controlled Energy	$m/kg^{0,333}$



Selanjutnya, pada praktek *D&B Engineering* yang diterapkan oleh *D&B Engineer* di IMK dapat dilihat bahwa SDoB *(Scaled Depth of Burial)* juga dapat diterapkan sebagai *engineering tool* untuk prediksi

Estimated max rock projection dan *Estimated blast clearance radius*.

Estimated max rock projection (Range Max)
Range max = 11 x SDoB $^{-2,167}$ x D ^{0,667} (8)

Estimated blast clearance radius (BCR = Blast Clearance Radius)
Blast clearance radius = FoS x 11 x SDoB $^{-2,167}$ x D ^{0,667} (9)

Scaled Depth of Burial (SDoB) = 1,2 m/kg ^{0,333}, *Explosive diameter* (D) = 127 mm
Range max = 11 x SDoB $^{-2,167}$ x D ^{0,667}
Range max = 11 x (1,2) $^{-2,167}$ x (127) ^{0,667}= 187,5 meter
Blast clearance radius = FoS x 11 x SDoB $^{-2,167}$ x D ^{0,667}
Blast clearance radius = (2) x 11 x (1,2) $^{-2,167}$ x (127) ^{0,667}= 375 meter

D. KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan mengenai peranan *D&B Engineer* di tambang terbuka mineral:

1. Peranan *D&B Engineer* pada kegiatan pengeboran dan peledakan di tambang terbuka *(ore waste blasting)* di PT Indo Muro Kencana (IMK):
    - Perencanaan *(D&B planning.)*
    - Pelaksanaan peledakan.
    - *Evaluator.*
    - Pelaporan *(D&B Reporting).*
2. *D&B Engineer* yang kompeten:
    - Dilengkapi dengan sertifikat KJL 2 (Juru Ledak Kelas 2) dan kompetensi POP (Pengawas Operasional Pertama)
    - Kompeten dan konsisten dalam hal penerapan *D&B Engineering.*
    - *Skill* yang wajib dimiliki oleh *D&B Engineer: D&B Engineering*, *blast design software*, *Geoblast (rock breakage & fragmentation, rock mechanics, explosive engineering)*
    - Pengetahuan mengenai bahan peledak komersial *(commercial explosives)*.
    - Pengetahuan mengenai peraturan Pemerintah (Kepmen ESDM RI) dan peraturan Kepolisian RI mengenai aturan dan perijinan terkait bahan peledak komersial *(explosive permit)*.
3. Pengembangan sumber daya manusia. Pengembangan *professional* untuk *D&B Engineer* dalam hal *D&B Engineering* mutlak dilakukan terus menerus, terutama dalam hal meningkatkan keahlian/skill *D&B Engineer* dalam rangka mampu bersaing secara komersial *(be commercially competitive)*.
    - Pelatihan *blasting software (advanced blast design)*
    - Pelatihan *Blast Design & Management*
    - Pelatihan *blast hole drilling (technique, technology, management).*
    - Pelatihan di bidang *D&B Engineering (D&B Master Class Blasting, D&B conference)*
    - GeoBlast *(Rock Engineering/Geotechnical Engineering & Explosive Engineering).*
4. Penerapan *Scaled Depth of Burial* (SDoB) sebagai *engineering tool* sudah konsisten diterapkan oleh *D&B Engineer* PT.IMK dalam pembuatan *Explosive Charging Sheet*. *D&B Engineer* dalam kegiatan pembuatan *Explosive Charging Sheet* menggunakan SDoB sebagai *engineering tool* & langkah antisipatif untuk mengurangi potensi kondisi *over energy*. SDoB pada *Explosive Charging Sheet* di PT. IMK: $Stemming_{waste}$ = 2.5m– 3.0 m, $SDoB_{waste}$ = 0,92 – 1.4 kg/m^$^{0.33}$, *Controlled Energy*. $Stemming_{ore}$ = 3.2m– 4.0m, $SDoB_{ore}$ = 1.44 – 1.68 kg/m^$^{0.33}$, *Very Controlled Energy*.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tim *Drill & Blast* PT. Indo Muro Kencana (PT.IMK, Muro Gold Mine, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah).

2. *Drill & Blast Professional* Indonesia yang memberikan masukan, arahan dan pendapat selama proses penulisan.
3. Para *Drill & Blast Engineer* dan pengawas *Dril & Blast* yang sebelumnya pernah bekerjasama dengan penulis di tim *Drill & Blast* PT. Kasongan Bumi Kencana (PT.KBK, Mirah Gold Mine, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah).

DAFTAR PUSTAKA

Bhandari, S., (1997): Engineering Rock Blasting Operations, A.A. Balkema, Rotterdam, 185 – 207.

Chiappetta, R.F., (2014): Master Class Blasting, *Drill & Blast Queensland,* Brisbane, Queensland, Australia.

International Society of Explosive Engineers, (2011): ISEE Blasters' Handbook 18th Edition, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, USA

Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carcedo, F. J., (1995): Drilling and Blasting of Rocks, A.A. Balkema, Rotterdam.

Konya, C. J., Walter, E. J., (1990): Surface Blast Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Lilly, P. A., (1986): An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability, the AusIMM/IE Aust Newman Combined Group, Large Open Pit Mining Conference 1986, AusIMM, Newman, Western Australia, 89-92

Lilly, P. A., (1992): The use of the Blastability Index in the design of blasts for open pit mines, Western Australian Conference on Mining Geomechanics, Kalgoorlie, pp. 421–426

Suwandhi, A., (2012): Mengoptimasi Pengeboran dan Fragmentasi Batuan oleh Peledakan, *Prosiding Rock Breakage and Fragmentation Workshop 2012*, Yogyakarta.

Suwandhi, A., (2013): Peledakan dalam Konsep Mine-to-Mill, *Prosiding Rock Breakage and Fragmentation Workshop 2013*, Yogyakarta, 78 - 82.

Suwandhi, A., (2019): Blast Design Techniques – Coal and Mineral Analysis, *PPSDM Geominerba*, Bandung.

Tobin, G., (2013): The Importance of Energy Containment to the Blast Outcome, *Prosiding Rock Breakage and Fragmentation Workshop 2013*, Yogyakarta, 30 – 38.

PENGUATAN SUMBER DAYA MANUSIA YANG UNGGUL DAN BERBUDAYA K3 PADA DRILL BLAST OPERATION DENGAN KONSEP K-S-A

Kiagus Nirwan, ST, MBA

Departemen Drill and Blast, PT. Kaltim Prima Coal

ABSTRAK

Sumber daya manusia merupakan penggerak utama organisasi yang diberdayakan untuk mencapai target perusahaan. Hal ini menjadi parameter terdepan dalam rangka memastikan setiap rencana kerja dapat dieksekusi dengan baik dan tepat sasaran, karena individu dalam organisasi akan diberikan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan dengan tujuan untuk pencapaian, peningkatan dan pengembangan tujuan-tujuan organisasi. Drill and Blast departemen, adalah salah satu departemen pada divisi Operasional tambang (Mining Operation Division) yang mengelola aktivitas pengeboran dan peledakan. Mengingat aktifitas ini termasuk kegiatan kritis, manajemen drill blast department perlu memastikan seluruh kegiatan dikelola sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Salah satu usaha untuk memastikan seluruh penggerak sumber daya manusia yang unggul dan kompeten, manajemen drill blast departemen khususnya tim Drill blast operasional melakukan beberapa hal dalam rangka penguatan kapasitas dengan metoda yang sederhana dan aplikatif dengan merujuk pada pemenuhan dan penguatan konsep KSA (knowledge, skill, attitude) untuk sumber daya operasional drill blast. Beberapa program penguatan ini harus secara langsung menyentuh dan mengikat seluruh individu yang berada dalam organisasi, dimana tujuan akhirnya adalah memastikan individu dalam organisasi dapat menjalankan tugas dengan aman dan produktif serta mendukung organisasi mencapai target. Implementasi konsep K-S-A dengan program tersebut diatas dirasa cukup efektif dan efisien dalam membawa drill blast mencapai target safety dan produksi di tahun 2020.
Kata Kunci: KSA (knowledge, skill, attitude), Sumber daya manusia

ABSTRACT

Human resources are the prime mover of an organization that is empowered to achieve company targets. This is a leading parameter in order to ensure that every work plan can be executed properly and on the target, because individuals in the organization will be given the responsibility for carrying out work with the aim of achieving, improving and developing organizational goals. Drill and Blast department is one of the departments in the Mining Operation Division that manages drilling and blasting activities. Considering that this activity is a critical activity, the drill blast department management needs to ensure that all activities are managed according to predetermined rules. One of the efforts to ensure that all human resource activists are proper and competent, the drill blast leader, especially for drill blast operational section, has done several things in order to strengthen capacity with a simple and applicable method by referring to the fulfillment and strengthening of the KSA concept (knowledge, skills, attitude) for drill blast operational resources. Some of these strengthening programs must directly touch and bind all individuals in the organization, where the ultimate goal is to ensure that individuals in the organization can carry out their duties safely, productively and support the organization to achieve its targets. The implementation of the K-S-A concept with the aforementioned program is considered quite effective and efficient in bringing drill blasts to achieve safety and production targets in 2020.
Key Word: KSA (knowledge, skill, attitude), Human resources

A. PENDAHULUAN

Sumber daya manusia merupakan penggerak utama organisasi yang diberdayakan untuk mencapai target perusahaan. Hal ini menjadi parameter terdepan dalam rangka memastikan setiap rencana kerja dapat dieksekusi dengan baik dan tepat sasaran, karena individu dalam organisasi akan diberikan tanggung

jawab dalam melaksanakan pekerjaan dengan tujuan untuk pencapaian, peningkatan dan pengembangan tujuan-tujuan organisasi. Sedangkan untuk dapat dikatakan sebagai manusia yang unggul, diartikan individu dalam organisasi haruslah memiliki kapasitas dan kompetensi yang memadai sesuai dengan tugas pokoknya. Sementara terkhusus dengan berbudaya K3 sudah barang tentu hal ini berkaitan erat dengan kebiasaan untuk bekerja dengan sehat, bekerja dengan selamat sehingga bisa lebih produktif kapanpun, dimanapun, tanpa atau dengan pengawasan.

PT. Kaltim Prima Coal dalam melakukan aktivitasnya baik dari hulu ke hilir dengan resiko kerja yang tinggi, sehingga sangat menuntut tersedianya sumber daya manusia dengan kapasitas unggul yang menjadikan Keselamatan, Kesehatan kerja bagian dari keseharian pekerjanya. Perangkat kontrol dalam rangka memastikan Individu di organisasi agar unggul dan berbudaya K3 haruslah dimulai dengan Sistem yang kuat dan pengawasan yang menyeluruh di setiap unit bisnisnya.

Drill and Blast departemen, adalah salah satu departemen pada divisi Operasional tambang (*Mining Operation Division)* yang mengelola aktivitas pengeboran dan peledakan. Aktifitas ini dikategorikan sebagai aktivitas dengan resiko tinggi dan dapat berakibat fatal apabila tidak dikelola dengan benar. PT. Kaltim Prima Coal menampilkan aktivitas pengeboran dan peledakan secara spesifik dalam aturan baku atau yang disebut *Golden Rules point* aturan 11. Selain itu Perusahaan memberikan perhatian lebih dengan menempatkan aktifitas ini dalam salah satu Elemen Pencegahan Kecelakaan yang berakibat Fatal (*Fatality Preventive Elemen*t) F.PE 2.2 terkait dengan Penggunaan dan Penanganan bahan peledak yang secara rinci mengatur langkah kerja aman pada tahapan pekerjaan diatas.

Departemen drill blast bertanggung jawab untuk memastikan tercukupinya material tanah yang diledakkan (*OB Blasted*) untuk dipindahkan (*OB moved*) pada masing-masing pit area dengan jumlah alat gali lebih dari 100 unit per harinya. Organisasi ini mengelola keseluruhan sumber daya (4M, *Man, Machine, Method, Money*) yang dimiliki seperti total 350 orang dibawah pengawasan langsung departemen maupun kontraktor peledakan, total 18 alat berat, 21 truk pengangkut bahan peledak, 15 mobil pengangkut aksesoris bahan peledak, 4 komplek gudang peledak, Plant bahan peledak, gudang bahan peledak, kontraktor penyedia jasa peledakan, bermacam SOP/Instruksi, dan alokasi dana untuk mendukung pelaksanaan kegiatan pengeboran dan peledakan.

Mengingat aktifitas ini termasuk kegiatan kritis, manajemen drill blast department perlu memastikan seluruh kegiatan dikelola sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Dan disadari betul pelaksanaan kegiatan ini harus dicakup oleh Individu-individu yang handal di seluruh tingkatan level dalam organisasi dari operator, helper, blast crew, blasting coordinator, pengawas, berikut kontraktor-kontraktor yang bekerja dalam pengawasannya. Salah satu usaha untuk memastikan seluruh penggerak sumber daya manusia yang unggul dan kompeten, manajemen drill blast departemen khususnya tim Drill blast operasional melakukan beberapa hal dalam rangka penguatan kapasitas dengan metoda yang sederhana dan aplikatif dengan merujuk pada pemenuhan dan penguatan konsep KSA (*knowledge, skill, attitude*) untuk sumber daya operasional drill blast.

Pendekatan penguatan dengan konsep KSA ini tidak lepas dari pendekatan komprehensif pada konsep knowledge management dimana menurut Nonaka dan Hirotaka (1995) dalam Tjakraatmadja dan Lantu (130; 2006) yaitu dengan **S-E-C-I** model. Berdasarkan S-E-C-I model ada 4 tipe interaksi antara dan diluar sebuah organisasi yang didasarkan pada perbedaan yang jelas antara tacit knowledge dan explicit knowledge, yaitu:

- ***Socialization***, yaitu transfer dari tacit ke tacit knowledge. Sebagai contoh adalah transfer informasi diantara orang-orang dengan percakapan.
- ***Externalization***, yaitu transfer dari tacit ke explicit knowledge. Sebagai contoh adalah menulis buku atau suatu standard manual procedure.
- ***Combination***, yaitu transfer dari explicit ke explicit knowledge. Sebagai contoh adalah merangkum buku.
- ***Internalization***, yaitu transfer dari explicit ke tacit knowledge. Sebagai contoh adalah trainer mengajar di kelas atau pendampingan lapangan

Implementasi penguatan sumberdaya manusia dengan Konsep KSA adalah bagian dari penerapan

konsep knowledge management sederhana yang menyasar pada level pengawas di operasional drill and blast. Kenapa pengawas menjadi subjek utama karena merekalah sebagai penggerak organisasi dan memastikan pelaksanaan standar operasional dijalankan oleh masing-masing tim nya. Dalam perjalanannya dilihat kebutuhan penguatan pengetahuan, keterampilan dan sikap harus segera diberikan kepada pengawas agar dapat menjadi contoh bagi para anggotanya.

B. PEMBAHASAN

Knowledge (pengetahuan), *Skill* (keterampilan), dan *attitude* (sikap) adalah tiga kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh manusia unggul yang tergabung dalam sebuah organisasi. Ketiga aspek ini menjadi perhatian penting oleh atasan agar tim yang bekerja dibawah kendalinya mengikuti alur sesuai dengan tanggungjawab masing-masing. Ketiga kompetensi dasar ini harus terus dipenuhi, dijalankan, diawasi dengan komitmen dan konsisten.

Pada tabel dibawah diperlihatkan sumber daya manusia pada operasional yang dimiliki oleh tim Drill and Blast PT. Kaltim Prima Coal.

Tabel 1. Rangkuman Sumber daya manusia operasional

No	Struktur	Jenis Pengawasan	Jumlah
1	Supervisor	Pengawasan langsung	6
2	Leading Hand	Pengawasan langsung	18
3	Operator DB	Pengawasan langsung	42
4	Asisten DB	Pengawasan langsung	50
5	Supervisor	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A)	9
6	Blaster In Charge	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A)	18
7	Shot firer	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A)	12
8	Operator MMU	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A)	15
9	Blaster Crew	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A)	52
10	Supervisor	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor B)	3
11	Blaster In Charge	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor B)	7
12	Shot firer	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor B)	6
13	Operator MMU	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor B)	8
14	Blaster Crew	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor B)	19
15	Plant Crew	Pengawasan tidak langsung (Kontraktor A dan B)	18

Catatan :

- *Pengawasan langsung dilakukan oleh Drill blast KPC*
- *Pengawasan tidak langsung dilakukan oleh struktur pengawasan Kontraktor Drill Blast KPC*

Khusus untuk *knowledge* dan *skill* akan disesuaikan dengan tugas kunci pada setiap posisi individu dalam organisasi, sementara *attitude* berkaitan dengan sikap atau perilaku seseorang sehari-hari yang tentunya sikap ini harus sesuai aturan yang berlaku di organisasi. Karena itulah penguatan KSA) untuk sumber daya operasional drill blast menjadi sangat diperlukan.

B.1. Program Penguatan Knowledge (Pengetahuan)

Penulis mengartikan bahwa *Knowledge* merupakan proses untuk melengkapi kemampuan dasar dengan memberikan tambahan pemahaman untuk mendukung tugas anggota, pemahaman ini dapat diberikan berdasarkan kemampuan dan pengalaman, penjelasan *job description*, *sharing knowledge* pengawas, *safety talk* dan lainnya. Pada Operasional penguatan tim operasional drill blast dititikberatkan pada peran pengawas (Supervisor dan Leading hand) dan peran berjenjang oleh Superintendent Operasional. Beberapa program penguatan knowledge (pengetahuan) yang diberikan kepada tim operasional adalah sebagai berikut:

a. "Pengawas Bicara", sebuah program sharing knowledge dari pengawas ke Tim.

Program pengawas bicara merupakan program yang dirancang untuk memastikan *knowledge* (pengetahuan) pengawas drill blast dan kontraktornya terus terasah. Program ini memberikan kesempatan pengawas untuk menyampaikan materi terkait dengan pekerjaan masing-masing di hadapan tim nya (operator, asisten, pengawas lainnya, pengawas kontraktor dan superintendent drill blast operation). Dari kegiatan ini pengawas, menyiapkan materi presentasi yang merupakan intisari dari beberapa standar operasi prosedur, MOD *high risk* dan instruksi yang berlaku di Operasional Drill blast. Pelaksanaan kegiatan ini telah dilakukan dengan memberikan jadwal 6 level Supervisor dan 18 level Leading hand blasting yang mengambil waktu sekitar 30 – 45 menit setelah aktivitas peledakan selesai dilaksanakan, hal ini diberikan berbeda dengan safety talk yang diberikan pada setiap awal shift crew dengan durasi sekitar 10 menit.

Konsep sharing knowledge adalah 4M – 1B "membaca – menulis – menyampaikan dan berdiskusi". Dari aktivitas ini punya dampak baik untuk penguatan pengetahuan dan pemahaman anggota terkhusus untuk level pengawas sebagai subjek dan tim lapangan sebagai objeknya.

Tabel 2. Pemenuhan program Pengawas bicara Q3 - Q4 2020 dan Q1 – Q2 2021

Struktur	Materi Sharing Knowledge	Jumlah Pertemuan	Status Pemenuhan
Supervisor Blasting	SOP-MOD-Blast01 Blast Loading	3	100%
	SOP-MOD-Blast03ind-Blast Firing	2	100%
	SOP-MOD-Blast02ind-Peledakan Tidur	2	100%
	SOP-MOD-DB-111ind-Operasional Stemming Truck	2	100%
Supervisor Drill	SOP-MOD-Blast08ind-Pengeboran Lubang Ledak	3	100%
	SOP-MOD-DB157ind-Pergantian Mata Bor	1	100%
	SOP-MOD-162ind-Mobile Crusher screener	1	100%
	SOP-MOD-Blast168ind-Pembersihan Mata Bor	1	100%
Leading hand Blasting	SOP-MOD-Blast21ind-Serah Terima Aksesoris Bahan Peledak	2	100%
	Instruksi – CSA Serah terima lokasi Drill ke Blast dan *On bench Inspection*	2	100%
	SOP-MOD-Blast04ind-Tanah yang reaktif	2	100%
Leading hand Drilling	SOP-MOD-Blast159ind-Pergantian Pipa Drill	2	100%
	MOD High Risk 1 s/d 5	2	100%
	Standar Teknis Penyiapan Drill Pad	2	100%

b. "Sharing Teknis" untuk asisten drill dan blast

Asisten merupakan tim-tim lapangan dasar yang bertugas untuk memastikan kualitas pekerjaan pada aktivitas pengeboran dan peledakan berjalan sesuai dengan target. Asisten drill memiliki tanggung jawab untuk melakukan pengukuran kedalaman lubang ledak yang dibuat oleh operator, menuliskan ID lubang sebagai acuan untuk kontraktor peledakan dalam pengisian bahan peledak, memastikan akurasi geometri lubang ledak dan melakukan audit untuk geometri peledakan sebagai dasar untuk tim teknis dalam melakukan perencanaan selanjutnya, sedangkan asisten blasting memiliki tanggung jawab untuk melakukan persiapan lokasi sebelum di loading, memastikan proses pengisian handak sesuai loading

sheet teknikal, memastikan gassing bahan peledak, merecord jumlah lubang, memastikan proses perangkaian dan melakukan audit terhadap kontraktor. Mengingat tugas asisten memiliki peran kritis, maka manajemen drill blast melakukan sharing teknis untuk membekali asisten dalam menjalankan tugas sehingga penguatan pemahaman terhadap tugas akan terlaksana secara konsisten dan terukur.

Sharing teknis dilakukan dengan memberikan presentasi, memutar video dan diskusi rutin yang dilakukan oleh Superintendent dan Pengawas, untuk mengukur keberhasilan juga dilakukan dengan mengobservasi, mengumpulkan data dan menganalisis aktifitas dalam bentuk laporan mingguan Sistem Manajemen Kerja (SMK) asisten drill dan Blasting.

c. Penguatan Pengawasan OBI – CSA Provider peledakan dan implementasi di lapangan

Kegiatan penguatan pengawasan dalam membuat *On Bench Inspection* (OBI) – *Customer Service Agreement* (CSA) secara langsung dilakukan oleh Superintendent Drill blast operasional ke Pengawas, Blaster In charge, Shotfirer Incharge provider peledakan (Kontraktor A dan B), poin ini untuk meyakinkan ke pihak kontraktor untuk memastikan pelaksanaan standar dan penilaian lokasi peledakan sebelum diisi sesuai dengan checklist aman. Hal ini menjadi penguatan kepada personil kontraktor peledakan untuk dapat menolak permintaan Pit User apabila ada hal yang tidak standar. Kelanjutan dari proses ini dilakukan oleh tim manajemen provider peledakan dengan secara reguler melakukan *on spot monitoring (*OSM) dan memberikan penilaian kepada tim masing-masing dengan membuat skoring kepatuhan kesesuaian lokasi peledakan dengan standar.

On Bench Inspection merupakan salah satu media inspeksi rutin berbasis harian yang dilakukan oleh *blaster in charge* kontraktor penyedia jasa peledakan untuk menilai kelayakan lokasi peledakan sebelum dilakukan pengisian bahan peledak. Proses penilaian dokumen OBI dilakukan bersama dengan pihak pit sebagai customer. Cakupan penilaian dokumen OBI meliputi

Tabel 3. Matrix Checklist Pengecekan On Bench Inspection

A. Location Compliance		D. Blast Hole Condition
A. 1. Blast Sign		D. 1. Hole less than 1.5x of height active wall?
A. 2. Barricade not installed		D. 2. Hole distance <10 m from windrow
		D. 3. Hole close to unstable wall (potential slide)
B. Location Status		D. 4. Hole <2 meters for toe/crest
B. 1. Unplanned location		D. 5. Heat source/hot hole
B. 2. Unclear status (Sleepload/Blasting)		D. 6. Hole ID provided
B. 3. Same condition after being left (Sleep location)		D. 7. potential collapse hole
B. 4. Last drawing not provided (Sleep location)		D. 8. Hanging rock at hole collar
B. 5. Missing hole (Sleep location)		
B. 6. inhole cut off (sleep location)		E. Vehicle Management
B. 7 Design tie up not provided		E. 1. No parking area
B. 8. Tie up design not match with actual		E. 2. Only one acces for entrance and go out
B. 9. Last drawing not provided (T.U location)		E. 2. Only one acces for entrance and go out
B. 10. Potential rushing		E. 3. No sign provided
		E. 4. Position of parking area
C. Condition of Blast Location		E. 5. Inadequate parking space
C. 1. Entrance/access point < 10 meters		E. 6. Other vehicle/equipment, unable to set safe distance
C. 2. Slope exceeding 12%		
C. 3 No Water management sketch provided		
C. 4 Potential Inundation or flooding		
C. 5 Potential runoff from outside		
C. 6 Insufficient for maneuvering MMU		
C. 7 Terrace, one access only		
C. 8 Surface condition not safe for MMU		
C. 9 Sandy location, not safe for MMU		
C. 10. uneven/sloping location		
C. 11. Cracks on free face or terrace, not safe for MMU		
C. 12. Distance <30 m from loading point, proper demarcation		
C. 13. Falling material from upper bench activity		
C. 14. Weather have been concidered and allowed		
C. 15. Location not safe from coal smoke		
C. 16. Gas methane history		
C. 17. Burden and Spacing (random check)		

d. Program Senin Inspeksi dan Jumat Selamat

Program penguatan ini dilakukan untuk memastikan setiap program Inspeksi yang harus dilakukan lebih terpantau implementasinya, pada setiap hari senin Pengawas (Supervisor Drill and Blasting) memberikan beberapa form inspeksi K3 yang dilakukan setiap minggu pada hari senin, form inspeksi ini berupa Inspeksi Blast firing, Inspeksi sabuk pengaman dan tempat parkir, form *Plan Task Observation,* dan *form On Spot Monitoring* kepada seluruh leading hand. Hal ini dimaksudkan sebagai reminder/pengingat akan form inspeksi regular yang harus dijalankan, dan sebagai media untuk memperkuat pemahaman tentang tugas harian. Sedangkan Program Jumat Selamat merupakan program untuk memastikan Inspeksi yang diberikan hari senin akan diselesaikan dan dikumpulkan pada hari Jumatnya. Dari Proses ini juga terjadi interaksi lebih sering antara Pengawas level 1 dan pengawas level 2.

Tabel 4 . Pemenuhan program OTP Pengawas Drill Blast Q3 – Q4 2020 dan Q1 – Q2 2021

Jenis OTP	Target	Struktur	Status Pemenuhan
On Spot Monitoring	1 per minggu per orang	Supervisor	100%
	1 per bulan per orang	Leading hand	100%
Plan Task Observation	1 per minggu per orang	Supervisor	100%
	1 per bulan per orang	Leading hand	100%
Fatigue Monitoring Inspection	1 per shift per orang	Leading hand	100%
Inspeksi Parkir dan HP	1 per shift per orang	Leading hand	100%

Review and JSA Monitoring	1 per bulan per orang	Supervisor	100%
Inspeksi berjenjang	1 per shift per orang	Supervisor	100%

e. Media Komunikasi aktif melalui WA grup

Hal ini dilakukan untuk memastikan terjadinya komunikasi langsung antar pengawas, pengawas dengan teknikal dan pengawas dengan atasan pada media whatsapp. Tujuan pengaktifan Media Komunikasi aktif melalui WA grup dimaksudkan untuk menambah dan mempermudah penyampaian informasi dari lapangan, apabila ada hal yang substandar akan segera didiskusikan untuk diperbaiki segera dan apabila ada hal yang standar tentunya akan diapresiasi.

B.2. Program Penguatan Skill (Keterampilan)

Skill (keterampilan) pada operasional pengeboran dan peledakan menjadi salah satu aspek yang harus terpenuhi, karena pada parameter menuntut pemenuhan keahlian secara teknis maupun non teknis yang didapat melalui pembelajaran, melalui penugasan, melalui interaksi dan komunikasi dan kemampuan untuk memecahkan permasalahan di lapangan. Untuk Sumber daya manusia Drill blast yang unggul dan berbudaya K3 setidaknya dilakukan hal berikut :

a. Pemenuhan Keterampilan Dasar

Manajemen Drill blast dan tim safety memastikan terpenuhinya kompetensi dasar seluruh individu yang bekerja. Hal ini dilakukan dengan memastikan TNA (training need analysis) dan persentase pemenuhan matrik training di semua bidang kerjanya. Pemenuhan keterampilan setidaknya dibagi menjadi pemenuhan Hard skill, soft skill dan Mandatory skill.

Untuk Hard skill disini diartikan seluruh sumber daya operasional sudah pasti mendapatkan Kimper yang valid dan relevan; Untuk soft skill beberapa level yang menuntut komunikasi dan mengambil keputusan, diberikan tambahan keterampilan terkait dengan konsep kepemimpinan dasar, pengambilan keputusan, dan beberapa hal teknis yang relevan dengan kegiatan pengeboran dan peledakan. Sedangkan Mandatory skill merupakan keterampilan tambahan wajib untuk pekerja di bidang pengeboran dan peledakan yang harus dipegang yang kontrolnya diatur dalam Kepmen 1827K, Peraturan Kapolri yakni Ketentuan pemenuhan KPP (Kartu Pekerja Peledakan), KIM, Uji Kompetensi KJL 2, assessment blast sentry dan assessment blasting coordinator.

b. Penguatan Keterampilan dengan program Sharing and Discuss

Program ini merupakan bagian penguatan keterampilan tim operasional drill blast yang digagas dan didukung oleh manajemen dan tim teknis. Beberapa aktivitas dimaksudkan untuk memperkuat keterampilan teknis dengan memberikan presentasi, berikut dengan penjelasan langsung dilapangan terkait dengan pekerjaan pengeboran, penggunaan drill navigasi, penggunaan remote firing, diskusi desain rangkaian lubang ledak, sharing diskusi terkait dengan standar kerja aman di area pengeboran peledakan dan sebagainya. Proses penguatan keterampilan teknis ini membantu tim operasional dalam melakukan tugas hariannya.

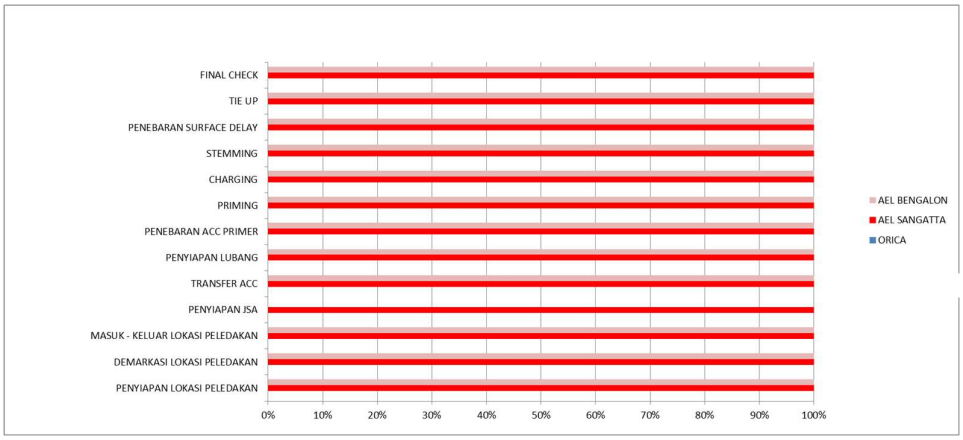
B.3 Program Penguatan Attitude (Sikap)

Attitude (sikap) merupakan parameter akhir yang kemudian menjadi paling penting untuk dipastikan, mengingat sikap mempengaruhi keseluruhan implementasi standar yang ada dengan menunjukan sikap positif, berkomitmen dan konsisten dalam pelaksanaan tugas yang aman dan produktif. Penguatan sikap untuk sumber daya manusia di Drill blast operation dilakukan dengan konsep “dicatat – diukur dan dinilai”, dengan beberapa program diantaranya :

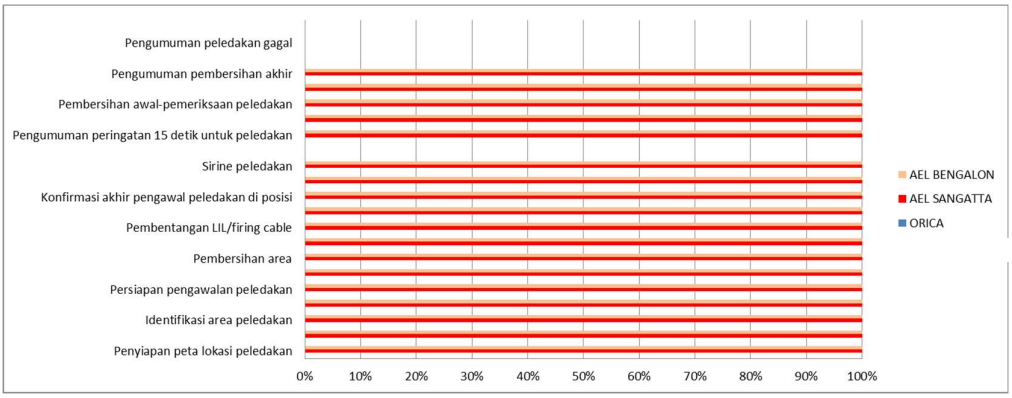
a. Audit Mingguan Rutin

Program audit mingguan rutin dilakukan dengan menjalankan OSM mingguan dan Audit we-did (*weekly performance audit*) yang melibatkan management Drill blast, tim safety berikut dengan manajemen kontraktor Drill blast. Proses ini meminta koreksi langsung dengan memberikan apresiasi atau perbaikan untuk setiap temuan yang ada. Untuk pelaksanaan OSM Mingguan dilakukan dengan melihat aspek pemenuhan implementasi standar yang mencakup Kondisi, Tindakan, serta implementasi pelbagai standar operasi.

Program we-did (*weekly performance audit*) dilakukan oleh pengawas yang melakukan pengawasan dan berhubungan langsung dengan aktivitas peledakan di lapangan. Pengawas yang melaksanakan audit berasal dari tim Drill & blast KPC, tim kontraktor tambang dan tim kontraktor penyedia jasa peledakan. Sistem pelaksanaan audit ini mengacu ke system monitoring 360 derajat dimana pengawas dapat melakukan audit secara vertikal dimana dapat mengaudit atasan atau bawahannya dan dapat melakukan audit secara horizontal dimana dapat melakukan audit tidak hanya pada area yang menjadi tanggungjawab langsungnya. Program ini dilakukan dengan berfokus pada implementasi Standar operasional pengisian bahan peledak (*Blast loading*) dan penyalaan peledakan (*blast firing*).



Gambar 1. Grafik pemenuhan Audit *we-did* Pengisian bahan peledak



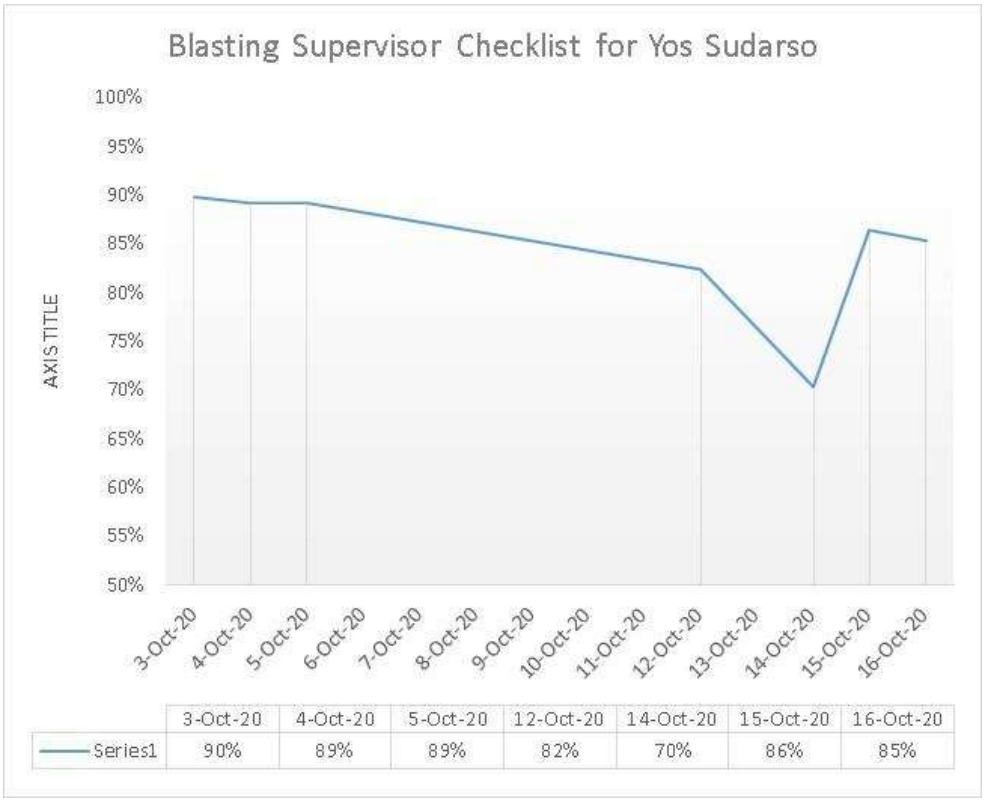
Gambar 2. Grafik pemenuhan Audit *we-did* penyalaan peledakan

b. Penilaian Pribadi Pengawas dengan Konsep P-D-C-A

Program ini adalah program harian yang meminta seluruh Pengawas melakukan penilaian KPI personal dengan konsep P-D-C-A. Supervisor drill atau Blasting akan diminta untuk melakukan audit terhadap tim yang diawasinya dengan membagi item pekerjaan sejak dalam tahap Perencanaan (P = Plan); Tahap Eksekusi (D = Do); tahap monitoring (Check = C); Aksi (A = Act). dan seluruh supervisor akan memberikan penilaian Pribadi untuk mengukur pelaksanaan KPI dengan nilai yang ditetapkan. Dari proses ini kemudian akan di analisa dan divalidasi oleh atasan langsung sebagai fungsi kontrolnya.



Gambar 3. Contoh Output Grafik penilaian P-D-C-A Supervisor Drilling



Gambar 4 . Contoh Output Grafik penilaian P-D-C-A Supervisor Drilling

C. PENUTUP

Penguatan Sumber daya manusia yang Unggul dan berbudaya K3 di Operasional Drill blast dapat dilakukan dengan memastikan konsep manajerial K-S-A (*knowledge – skill –attitude*). Beberapa program penguatan ini harus secara langsung menyentuh dan mengikat seluruh individu yang berada dalam organisasi. Yang tujuan akhirnya adalah memastikan individu dalam organisasi dapat menjalankan tugas dengan aman dan produktif serta mendukung organisasi mencapai target.

D. DAFTAR PUSTAKA

Tjakraatmadja, Jaan & Bekti, Rudy, Why & What KM, Materi Kuliah Knowledge Management, SBM ITB, 2013.

Suzianti, Amalia, Dr. Ing. Msc. Knowledge Management, Materi Kuliah, janupriambodo.wordpress.com, 2011. (diakses pada bulan Juli 2017)

www.umy.ac.id, Attitude sebagai kunci sukses dalam bekerja, Universitas Muhammadiah Yogjakarta, 2020. (diakses pada bulan Juni 2021).

Dokumen internal Perusahaan, Drill and Blast department, 2020.

PENERAPAN METODE SCRUM UNTUK PROYEK PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PADA PERUSAHAAN MEDIA DIGITAL PERTAMBANGAN

[1)]Mayang Sari*, [2)]Faris Primayudha

[1)]PT Dunia Tambang Digital,
[2)]PT Dunia Tambang Digital,

**E-mail: mayangsari1996.ms@gmail.com*

ABSTRAK

Media Pertambangan mengedukasi pembaca dan mendorong peningkatan kualitas dan kapabilitas sumber daya manusia. Keberhasilan peran media tersebut dapat dilihat dari banyaknya jumlah pengunjung pada portal *website*. Sementara itu, keterbatasan jumlah karyawan dan tingginya beban kerja berpotensi menyebabkan penurunan jumlah konten yang secara langsung berdampak pada penurunan jumlah pengunjung portal *website*. Oleh karena itu, diperlukan kerangka kerja yang bersifat kompleks dan inovatif yang sesuai dengan karakteristik organisasi. Kerangka kerja tersebut memiliki tiga pilar empiris yakni transparansi, inspeksi, dan adaptasi yang dinamakan sebagai metode scrum. Studi menunjukkan bahwa penerapan metode scrum dapat memberikan pengaruh pada pola pikir dan perilaku karyawan. Ada korelasi positif antara kedisiplinan, *agility*, dan kolaborasi antar karyawan dengan peningkatan produktivitas sehingga dapat meningkatkan jumlah kunjungan *website*. Persentase peningkatan jumlah kunjungan *website* ini menjadi tolak ukur keberhasilan penerapan metode scrum. Penelitian ini menggunakan pendekatan empiris dengan metode scrum. Implementasi penelitian terbagi menjadi tiga tahapan terdiri dari *product backlog*, *sprint planning*, dan *sprint review*. Dimulai dari mengidentifikasi daftar pekerjaan dan komitmen, menganalisis umpan balik pihak-pihak terkait, dan mengevaluasi temuan sebagai proses pengembangan berkelanjutan. PT Dunia Tambang Digital (duniatambang.co.id) adalah perusahaan startup media pertambangan yang mempunyai visi menjadi rumah berita untuk industri pertambangan di Indonesia diharapkan mampu mendorong peranan pertambangan mineral dan batubara demi menunjang industri strategis dan ketahanan nasional. Penelitian ini menjadi salah satu proyek pengembangan dalam dunia digital dan informasi khususnya di sektor pertambangan untuk meningkatkan kualitas dan kapabilitas sumber daya manusia.

Kata kunci: Metode scrum, media pertambangan, proyek pengembangan, pertambangan, sumber daya manusia

ABSTRACT

Mining Media educates readers and encourages the improvement of the quality and capability of human resources. The success of the media's role can be seen from the large number of visitors on the website portal. Meanwhile, the limited number of employees and the high workload have the potential to cause a decrease in the amount of content which directly impacts the number of website portal visitors. Therefore, a complex and innovative framework is needed that fits the characteristics of the organization. The framework has three empirical pillars namely transparency, inspection, and adaptation which is called the scrum method. Studies show that the application of the scrum method can have an influence on the mindset and behavior of employees. There is a positive correlation between discipline, agility, and collaboration between employees and increased productivity so as to increase the number of website visits. The percentage increase in the number of visits to this website is a measure of the success of the implementation of the Scrum method. This study uses an empirical approach with the scrum method. The research implementation is divided into three stages consisting of product backlog, sprint planning, and sprint review. Starting from identifying work lists and

commitments, analyzing feedback from stakeholders, and evaluating findings as a continuous development process. PT Dunia Tambang Digital (duniatambang.co.id) is a mining media start-up company that has a vision of becoming a news house for the mining industry in Indonesia, which is expected to be able to encourage the role of mineral and coal mining to support strategic industries and national security. This research is one of the development projects in the digital and information world, especially in the mining sector to improve the quality and capability of human resources.

***Keywords**: scrum method, mining media, development projects, mining, human resources*

A. PENDAHULUAN

A.1. Latar Belakang

Media pertambangan mempunyai peran untuk mengedukasi pembaca. Media pertambangan bisa untuk mendorong peningkatan kualitas dan kapabilitas sumber daya manusia. Tolak ukur keberhasilan media dapat dilihat dari banyaknya jumlah pengunjung pada portal *website*. Sementara itu, keterbatasan jumlah karyawan dan tingginya beban kerja berpotensi menyebabkan penurunan jumlah konten yang secara langsung berdampak pada penurunan jumlah pengunjung portal website.

A.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah kunjungan *website* pada perusahaan startup media pertambangan yang mempunyai visi menjadi rumah berita untuk industri pertambangan di Indonesia diharapkan mampu mendorong peranan pertambangan mineral dan batubara demi menunjang industri strategis dan ketahanan nasional. Penelitian ini menjadi salah satu proyek pengembangan dalam dunia digital dan informasi khususnya di sektor pertambangan untuk meningkatkan kualitas dan kapabilitas sumber daya manusia.

A.3. Pendekatan Pemecahan Masalah

Penulis melakukan pendekatan masalah dengan menerapkan metode scrum. Metode ini memiliki kerangka kerja yang terdiri tiga pilar empiris yakni transparansi, inspeksi, dan adaptasi. Studi menunjukkan bahwa penerapan metode scrum dapat memberikan pengaruh pada pola pikir dan perilaku karyawan. Ada korelasi positif antara kedisiplinan, *agility*, dan kolaborasi antar karyawan dengan peningkatan produktivitas sehingga dapat meningkatkan jumlah kunjungan website. Persentase peningkatan jumlah kunjungan website ini menjadi tolak ukur keberhasilan penerapan metode scrum. Penelitian ini menggunakan pendekatan empiris dengan metode scrum. Implementasi penelitian terbagi menjadi tiga tahapan terdiri dari *product backlog sprint planning,* dan *sprint review.* Dimulai dari mengidentifikasi daftar pekerjaan dan komitmen, menganalisis umpan balik pihak-pihak terkait, dan mengevaluasi temuan sebagai proses pengembangan berkelanjutan

B. METODOLOGI PENELITIAN

B.1. Metode Kuantitatif

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan data primer yang ada di arsip perusahaan. Pengumpulan data dikumpulkan melalui eksperimen implementasi teori metode scrum dalam pembuatan artikel di perusahaan selama tiga bulan.

Untuk menunjang kelengkapan tim pada penerapan metode scrum ini, perusahaan melakukan rekrutmen anggota magang. Anggota magang yang dilibatkan adalah penulis artikel di *website*. Penerapan metode scrum ini mengembangkan pola perilaku karyawan dengan meningkatkan produktivitas kerja.

Tahapan penelitian (Sudarwan Danim dan Darwi, 2003:80) karya tulis ini secara garis besar adalah sebagai berikut:

a) Perumusan masalah
b) Pengumpulan data lapangan
c) Penganalisisan data
d) Perumusan hasil studi
e) Penyusunan rekomendasi

B.2. Tahapan Penelitian

B.2.1 Perumusan Masalah

Keberhasilan suatu media pertambangan ditunjang melalui jumlah kunjungan *website* yang tinggi. Sementara itu, PT Dunia Tambang Digital selaku media pertambangan memiliki keterbatasan jumlah karyawan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan jumlah konten yang dipublikasikan sehingga berdampak pada penurunan jumlah jumlah pengunjung portal *website*.

Adanya kendala keterbatasan jumlah karyawan ini memerlukan strategi yang tepat untuk tetap memproduksi konten yang banyak sehingga dapat meningkatkan jumlah kunjungan ke portal *website*. Di sisi lain, ada metode yang dapat meningkatkan efektivitas kerja meski dengan keterbatasan sumber daya. Metode tersebut disebut dengan metode scrum. Untuk merespon permasalahan yang dihadapi oleh PT Dunia Tambang Digital, penelitian perlu dilakukan untuk mengidentifikasi pengembangan sumber daya manusia melalui metode scrum sehingga bisa meningkatkan jumlah kunjungan portal *website*. Hal ini ditujukan agar media digital pertambangan mampu mendorong peranan pertambangan mineral dan batubara demi menunjang industri strategis dan ketahanan nasional.

B.2.2 Pengumpulan Data Lapangan

Data yang dikumpulkan merupakan data primer perusahaan dari jejak histori kunjungan *website* selama Januari – Maret 2021 yang diambil dari perangkat Google Analytics, data kolektif pembagian tugas sumber daya manusia di Trello, waktu kerja tim, dan data produksi artikel selama Januari - Maret 2021 di perusahaan media PT Dunia Tambang Digital. Portal website yang digunakan yaitu duniatambang.co.id.

B.2.3. Penganalisisan Data

Data dianalisis secara kuantitatif dengan membuat penelusuran data dari hasil produksi artikel selama periode Januari sampai Maret 2021 yang didapatkan dari Google Analytic. Selanjutnya, penulis melakukan analisis grafik yang membandingkan *estimated effort* atau target dengan aktualisasi yang dihasilkan.

Penulis menganalisis data pembagian tugas tim untuk melihat waktu kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas. Kemudian, data peran tim bertujuan untuk menganalisis jalur koordinasi tim sehingga hasil kerja tim lebih efektif.

B.2.4 Perumusan Hasil Studi

Perumusan hasil studi dituangkan dalam poin–poin berikut (1) pengembangan sumber daya manusia melalui pembagian peran tim (2) produksi aktual artikel lebih banyak dibandingkan dengan target sebelumnya sebelum diterapkan metode scrum, (3) Adanya perbedaan kunjungan *website* tiga bulan sebelum dengan tiga bulan setelah diterapkan metode scrum

B.2.5 Penyusunan Rekomendasi

Rekomendasi disusun berdasarkan hasil dari penelitian ini. Implementasi dan rekomendasi penulis mengenai penerapan kerangka kerja ini sesuai untuk perusahaan media dengan bidang khusus. Adapun monitor dan evaluasi produksi artikel setiap hari perlu dilakukan oleh perusahaan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Studi Kasus dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Melalui Peran Tim dalam Penerapan Metode Scrum

Sumber daya manusia dalam sebuah perusahaan maupun organisasi adalah salah satu hal yang sangat penting diperhatikan. Sumber daya manusia merupakan faktor penting pada performa suatu perusahaan. Pada penelitian, PT Dunia Tambang Digital melakukan pengembangan sumber daya manusia melalui pembagian peran tim, manajemen kerja, dan waktu kerja.

PT Dunia Tambang Digital melalui *website* memiliki target 3000 pengunjung per hari dengan target produksi artikel dengan rata–rata produksi dua artikel per hari untuk regenerasi. Jumlah penulis di duniatambang.co.id hanya dua orang sehingga dilakukan rekrutmen anggota magang sebanyak tiga orang. Dari tiga orang tersebut, PT Dunia Tambang Digital menargetkan tiga artikel per hari dengan menerapkan kerangka kerja metode scrum.

Metode scrum merupakan metode yang dikembangkan oleh Jeff Sutherland (1993). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan pengembangan suatu pekerjaan dengan transparansi, inspeksi, dan adaptasi. Konsep kerja dari metode ini adalah para pekerja bergerak sebagai satu unit yang *agile* yang bekerja dalam *sequence* yang akan dimonitor dan dievaluasi oleh Scrum Master.

Metode scrum menjadi seperangkat metodologi yang dapat membantu kinerja tim lebih efektif, bekerja lebih efisien, dan membuat keputusan lebih baik.

Sumber daya manusia pada perusahaan dibagi menjadi tiga peran sebagai berikut.

1) Product Owner (PO)

   Product Owner terdiri dari Managing Director dan Chief Operating Officer (COO) PT Dunia Tambang Digital. Product Owner memiliki tanggung jawab untuk memaksimalkan nilai perusahaan dan hasil kerja Scrum Master (SM). Product Owner adalah bagian dari tim scrum yang dapat bekerja sama dengan anggota tim lainnya. Product owner memastikan pekerjaan yang ditugaskan kepada tim berhasil diselesaikan dengan sesuai keinginan.

2) Scrum Master (SM) terdiri dari Head Editor

   Scrum Master adalah Head Editor, seseorang yang bertanggung jawab atas semua konten artikel yang diterima dari The Team. Scrum Master memastikan The Team melakukan tugas sesuai peran, memberikan pelatihan kepada The Team, memastikan komunikasi yang efektif antara The Team dan Product Owner, memberikan fasilitas kepada The Team untuk setiap kegiatan yang berhubungan dengan tujuan bersama.

3) The Team terdiri dari editor dan anggota magang

   The Team terdiri dari editor dan tiga anggota magang. The Team adalah kerja sama kelompok antarindividu untuk menghantarkan dan menaikkan nilai perusahaan. Pada penelitian ini, The Team difokuskan untuk menaikkan jumlah kunjungan pada portal *website* PT Dunia Tambang Digital.

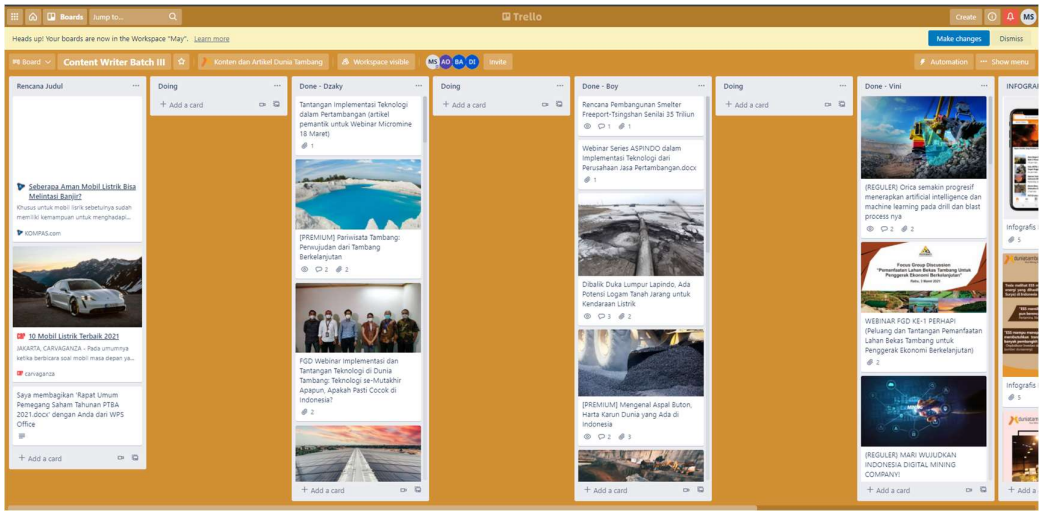
Semua anggota The Team dapat berpartisipasi, mampu berkomunikasi dengan baik, dan memiliki tujuan yang sama.

C.2. Tahapan Metode Scrum

1) Product backlog
Product backlog adalah langkah awal yang harus dilakukan pada penerapan metode scrum ini. Product backlog ditentukan oleh Product Owner (PO) dan dikoordinasikan kepada Scrum Master (SM) sebagai fungsi monitoring dari jalannya suatu sprint.

Product backlog pada penelitian menggunakan aplikasi Trello. Semua anggota tim diundang pada aplikasi Trello. Scrum Master (SM) membuat rencana tugas dan topik yang pada masing-masing lembar kerja The Team.

Pada penelitian ini, Scrum Master membuat (1) *To Do* adalah tugas yang dikerjakan oleh anggota The Team (2) *Doing* adalah tugas yang sedang dikerjakan oleh anggota The Team (3) *Done* adalah tugas yang telah diselesaikan oleh The Team. Pembagian lembar kerja ini memudahkan Scrum Master untuk memantau performa kerja dari anggota The Team.



Gambar 1. Monitoring kerja anggota tim (the team)

2) Sprint planning
Strategi sprint yang dilakukan adalah Scrum Master (SM) yaitu menulis beberapa topik besar yang perlu dibuat artikel pada backlog. Tim lalu akan membagi topik yang harus diselesaikan pada hari tersebut di mana satu orang akan membuat satu artikel sehingga minimal artikel yang dihasilkan dalam sehari adalah tiga artikel. Draft artikel lalu akan langsung ditinjau oleh Scrum Master (SM) dan diumpan balikkan ke tim agar direvisi dan dipublikasi ke platform *website* duniatambang.co.id.

3) Sprint review
Sprint review dilakukan dengan dua metode (1) Secara daring melalui platform Trello (2) Rapat koordinasi dua kali dalam seminggu untuk monitoring dan evaluasi tim oleh Scrum Master (SM).

C.3. Waktu Kerja Tim

Metode scrum pada yang diterapkan di PT Dunia Tambang Digital selama 12 pekan. Dengan jumlah lima hari kerja dalam satu pekan. Total hari selama 12 pekan tersebut adalah 60 hari. Setiap orang yang terlibat dalam penerapan metode scrum ini mempunyai peran masing-masing dengan jumlah jam kerja yang berbeda-beda. Berikut ini pembagian jumlah kerja masing-masing anggota tim.

Tabel 1. Jam kerja anggota tim

Peran Tim	Hari	Jam/Hari	Total Jam Sprint
Managing Director	12	2	24
Chief Operation Officer	12	2	24
Head Editor	24	3	72
Editor	36	3	108
Anggota Magang 1	36	4	144
Anggota Magang 2	36	4	144
Anggota Magang 3	36	4	144

C.4. Proses dan Hasil Implementasi Metode Scrum

Setiap anggota tim menjalankan tugasnya masing-masing. Anggota tim menulis tugas artikel harian dengan target per pekan adalah 5 artikel.

Tabel 2. Detail Produksi Artikel Per Minggu

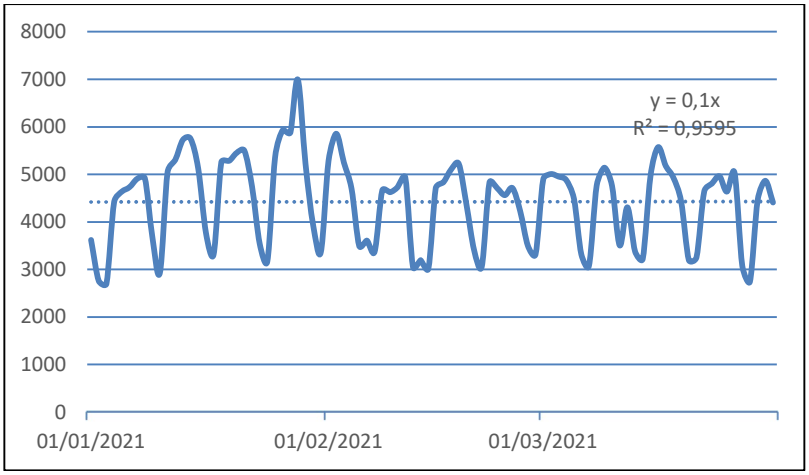
The Team	Target per minggu	Rata – rata produksi artikel/minggu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Editor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Anggota Magang 1	5	5	4	6	5	5	5	5	3	4	5	5	5
Anggota Magang 2	5	6	3	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4
Anggora Magang 3	5	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	4

Berdasarkan Tabel 2. Terdapat kenaikan produksi secara berkala pada setiap kurun waktu produksi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan scrum memiliki tingkat keefektifitasan sebesar 94% dibandingkan dengan target yang telah diterapkan.

Tabel 3. Perbandingan Target Produksi dan Durasi dengan Produksi dan Durasi Aktual

Target Total Produksi	Target Durasi Waktu	Total Produksi Aktual	Durasi Kerja Aktual
240 Artikel	700 Jam	227 Artikel	540 Jam

Dibandingkan dengan target dengan diterapkannya metode ini, tingkat keefektifitasan waktu pengerjaan berkisar pada 42% dari waktu yang ada (target sebesar 34%). Hasil dari peningkatan ini juga membuat hasil pengunjung naik karena performa dalam *website* PT Dunia Tambang Digital meningkat. Oleh karena itu, untuk peningkatan yang signifikan diperlukan waktu yang lebih lama untuk penerapannya.



Gambar 2. Hasil Jumlah Pengunjung duniatambang.co.id selama Januari-Maret 2021

D. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Penerapan metode scrum pada PT Dunia Tambang Digital meningkatkan kinerja sumber daya manusia melalui manajemen kerja yang lebih teratur.
2. Produksi artikel pada *website* meningkat sebesar 42% dan terjadi kenaikan jumlah pengunjung *website* duniatambang.co.id;
3. Peningkatan waktu pengerjaan artikel berbanding lurus dengan hasil produktivitas artikel dalam periode penerapan scrum;
4. Waktu penerapan Metode Scrum yang lebih lama diperlukan untuk peningkatan jumlah pengunjung yang lebih lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan YME yang telah memberikan kesehatan dan ilmu kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini. Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada PERHAPI karena telah menyelenggarakan TPT XXX PERHAPI 2021. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan PT Dunia Tambang Digital yang telah memberikan arahan dan dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini. Apresiasi yang tinggi penulis sampaikan kepada anggota magang: Dzaky, Vini, dan Boy yang telah memberikan kontribusi maksimal untuk meningkatkan kunjungan ke portal *website* Dunia Tambang. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pembimbing makalah, Dian Istanto, yang telah mendukung penuh pada penulis untuk menyelesaikan makalah ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan penelitian ini masih banyak kekurangan. Hasil penelitian ini penulis berharap mampu mendorong peranan pertambangan mineral dan batubara demi menunjang industri strategis dan ketahanan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, P. (2015): *Scrum Method Implementation in a Software Development Project Management*" , Indonesia. Researchgate.

Barron, J. (2019): *The Visual MBA*. UK Penguin Business.

Dingsøyr, T., et al. (2010): *Agile software development: current research and future directions*. Berlin, Springer.

Opelt, A. , Books24x7 Inc., 2013: *Agile contracts creating and managing successful projects with Scrum*. Hoboken, N.J., Wiley.