

Optimasi Cadangan Batubara pada Area Dekat Sungai

Jangkung Wibowo¹, Surya Hermawan²

¹Program Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra,
jangkungwibowo.770@gmail.com

²Prodi Teknik Sipil dan Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Kristen Petra
shermawan@petra.ac.id

Abstract—The optimization of coal reserves is carried out to determine the mining design boundaries adjacent to the river. The optimization boundaries in areas close to the river are the river border areas regulated by government regulations. In the study area, the river border area is 50 meters from the riverside to the right and left of the river. The river border area prevents some economically valuable coal reserves from being mined. The objective of this study is to ensure that the company prioritizes professionalism and ethics in engineering aspects and prioritizes K3LH (Health, Work Safety, and Environmental) aspects in coal mining. The optimization results show that the coal reserves within the river border area have economic value from the company's perspective, with a potential margin of 7,625,100 USD. This margin is derived from the difference in coal reserves between two optimization methods amounting to 2,075,000 tons of coal. The company, in terms of engineering, is willing to forgo coal reserves and potential margins to maintain compliance with prevailing regulations. The company also shows great concern for environmental conservation by maintaining the existing river. In terms of work safety, the company always uses geotechnical studies conducted by competent experts in the field to analyze the stability of the mine slope to prevent geotechnical failures of the mine slope. Geotechnical failures on the mine slope can cause material losses and even fatalities. The company also continuously monitors and evaluates the implementation of mining design in the field.

Keywords: optimization, coal reserves, river borders, margins, mine design, slope stability, work safety

Abstrak—Optimasi cadangan batubara dilakukan untuk menentukan batas desain penambangan yang berdekatan dengan sungai. Batas optimasi di area yang dekat dengan sungai adalah area sempadan sungai yang telah diatur oleh peraturan perundungan pemerintah. Pada area penelitian, area sempadan sungai sejauh 50 meter dari tepi sungai ke arah kanan dan kiri sungai. Area sempadan sungai membuat sebagian cadangan batubara yang memiliki nilai ekonomis tidak dapat dilakukan penambangan. Tujuan dari penelitian ini adalah memastikan dalam hal ini perusahaan mengutamakan profesionalisme dan etika dalam aspek keinsiyuran serta mengutamakan aspek K3LH (Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup) dalam melakukan penambangan batubara. Hasil optimasi menunjukkan bahwa cadangan batubara yang berada di dalam area sempadan sungai memiliki nilai ekonomis dari sisi perusahaan dimana memiliki potensi marjin sebesar 7,625,100 USD. Marjin tersebut dihasilkan dari selisih cadangan batubara antara 2 metode optimasi sebesar 2,075,000 ton batubara. Perusahaan dalam hal espek keinsiyuran merelakan kehilangan cadangan batubara dan potensi marjin demi menjaga ketaatan dan kepatuhan terhadap peraturan perundungan yang berlaku. Perusahaan juga menunjukkan besarnya kepedulian terhadap kelestarian lingkungan dimana menjaga keberadaan sungai yang ada. Pada aspek keselamatan kerja, perusahaan selalu menggunakan kajian geoteknik yang dilakukan oleh tenaga ahli yang kompeten di bidangnya untuk melakukan analisa kestabilan lereng dinding tambang agar tidak terjadi kegagalan geoteknik lereng tambang. Kegagalan geoteknik pada lereng dinding tambang dapat menimbulkan kerugian materi hingga korban jiwa. Perusahaan juga secara berkelanjutan melakukan monitoring dan evaluasi terhadap implementasi desain penambangan di lapangan.

Kata Kunci : optimasi, cadangan batubara, sempadan sungai, marjin, desain tambang, kestabilan lereng, keselamatan kerja

I. PENDAHULUAN

Pertambangan batubara sebagaimana pertambangan secara umum adalah serangkaian kegiatan yang meliputi tahapan kegiatan penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, kontruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta pasca tambang. Kegiatan pertambangan merupakan kegiatan usaha yang kompleks dan sangat rumit, sarat resiko, merupakan kegiatan jangka panjang, melibatkan teknologi tinggi, padat modal dan aturan regulasi yang dikeluarkan beberapa sektor. Selain itu, karakteristik mendasar industri pertambangan adalah membuka lahan dan mengubah bentang alam sehingga

mempunyai potensi merubah tatanan ekosistem suatu wilayah baik dari segi biologi, geologi dan fisik maupun tatanan sosio ekonomi dan budaya masyarakat. Keberadaan industri pertambangan batubara dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat setempat [1].

Penambangan batubara secara umum berada di area terpencil yang jauh dari pemukiman yang dilewati oleh satu atau lebih aliran sungai alami yang terbentuk oleh proses-proses geologi. Tidak jarang beberapa lokasi pertambangan mengharuskan melakukan pengalihan atau pemindahan sungai untuk mendapatkan cadangan batubara dan melakukan konservasi cadangan batubara. Sungai adalah alur

atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai merupakan sumber air yang dikuasai negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat yang pengelolaannya diselenggarakan oleh Pemerintah Pusat, pemerintah daerah provinsi atau pemerintah daerah kabupaten/kota sesuai dengan wewenang dan tanggung jawabnya dalam pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai bersangkutan. Pengalihan alur sungai adalah kegiatan mengalihkan alur sungai dengan cara membangun alur sungai baru atau meningkatkan kapasitas alur sungai yang ada yang mengakibatkan terbentuknya alur sungai baru atau berpindahnya aliran sungai lama. Permohonan izin pengalihan alur sungai dan/atau pemanfaatan ruas bekas sungai diajukan kepada Menteri untuk sungai yang berada pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara, atau wilayah sungai strategis [2].

Pada rangkaian proses perencanaan penambangan, salah satu prosesnya adalah optimasi cadangan batubara. Optimasi cadangan batubara adalah usaha untuk menentukan batas tambang terbaik (*ultimate pit limit*) dan menentukan cadangan optimum yang memberikan keuntungan terbaik. Dalam proses optimasi ini dapat dimasukkan batas-batas sungai, sempadan sungai, pemukiman, dan hal-hal lain yang memiliki nilai atau biaya khusus selain biaya penambangan batubara inti (biaya pemindahan batuan penutup dan penambangan batubara). Selain biaya yang muncul akibat adanya hal-hal tersebut yang berada di permukaan, ada juga batasan yang berada di bawah permukaan seperti keberadaan batubara itu sendiri secara dimensi, kualitas batubara dan yang paling penting adalah sifat mekanika tanah / batuan yang akan mempengaruhi geometri dan kestabilan lereng tambang.

Penambangan batubara khususnya pada tahap eksplorasi, harus memperhatikan tingkat kestabilan lereng tambang demi terciptanya lingkungan penambangan yang aman dan kondusif. Tingkat kestabilan lereng tambang sendiri dapat diketahui setelah dilakukan penyelidikan geoteknik yang meliputi pengeboran geoteknik, pengujian sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Kestabilan lereng tambang dipengaruhi oleh faktor internal maupun eksternal. Faktor internal meliputi kondisi massa batuan, desain tambang yang digunakan dan kondisi geologi lokasi penambangan, sedangkan faktor eksternal meliputi intensitas curah hujan dan tingkat pelopukan [3].

Lokasi penambangan yang dilewati aliran sungai memiliki 2 pilihan yaitu dengan melakukan pengalihan sungai dan tidak melakukan penambangan pada aliran sungai. Pilihan pertama yaitu pengalihan sungai memiliki proses yang rumit dan panjang, dibutuhkan waktu yang lama dalam proses pengurusan izin sehingga berpotensi tidak sejalan dengan waktu penambangan yang direncanakan oleh suatu perusahaan. Pilihan kedua yaitu tidak melakukan penambangan pada aliran sungai memiliki risiko kehilangan cadangan batubara yang dapat mengurangi pendapatan perusahaan bahkan pendapatan negara dari royalti. Untuk meminimalisir kehilangan cadangan batubara yang besar di bawah sungai maka perlu dilakukan upaya memaksimalkan desain penambangan di sisi sungai. Dalam upaya

memaksimalkan desain penambangan itu tentu sangat dipengaruhi oleh kestabilan lereng tambang khususnya yang bersinggungan terhadap sungai.

Permasalahan dari penelitian ini adalah desain penambangan batubara yang berada di jalur sungai sehingga terdapat potensi cadangan batubara yang tidak terambil di bawah sungai.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

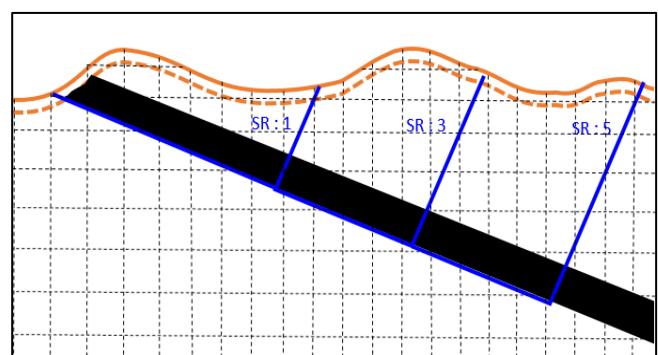
- Secara profesionalisme dan etika lingkungan melakukan optimasi desain penambangan yang bersinggungan dengan sungai.
- Dari aspek K3LH (Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup), memperhatikan keselamatan atau kestabilan lereng tambang berdasarkan analisa geoteknik.

Penelitian ini dilakukan pada tambang di area Binungan agar cadangan batubara dapat tertambang secara maksimal dan tidak terjadi kegagalan geoteknik akibat aliran sungai.

II. LANDASAN TEORI

A. Optimasi Cadangan Batubara

Optimasi cadangan batubara adalah usaha untuk menentukan batas tambang terbaik (*ultimate pit limit*) dan menentukan cadangan optimum yang memberikan Profit Margin terbaik. Metode yang sering diterapkan dalam optimasi pit adalah metoda *Learch Grossman*, kerucut mengambang (*floating/moving cone*), dan metoda penambahan ekspansi pit (*incremental pit expansion*). Metoda *Learch-Grossman* dan kerucut mengambang (*floating/moving cone*) lebih sering diterapkan pada tambang bijih, sementara optimasi pit pada tambang terbuka batubara secara praktis menerapkan metoda penambahan ekspansi pit (*incremental pit expansion*) [4].



Gambar 1. Ilustrasi *Incremental SR* pada Penambangan Batubara

Metode optimasi pit yang secara praktis digunakan dalam tambang terbuka batubara adalah *incremental pit expansion*. Metode tersebut dilakukan dengan metoda *trial and error* yaitu dengan melakukan simulasi dan iterasi untuk menghitung keuntungan pada beberapa skenario skala produksi atau *stripping ratio*. *Stripping ratio* adalah perbandingan dari volume batuan yang harus dikeluarkan atau dipindahkan untuk mendapatkan 1 ton batubara. Sebagai contoh jika nilai SR = 5, artinya diperlukan 5 meter kubik batuan yang menutupi batubara yang harus dipindahkan untuk mendapatkan 1 ton batubara.

Topografi Permukaan											
-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	42	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	42	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	42	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	42	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	-3	42	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	-3	-3	42	-3	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	42	-3	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	42	-3	-3	-3
-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	42	-3	-3
Cost	3 \$/ton										
Coal Price	45 \$/ton										

Gambar 2. Ilustrasi Penilaian Biaya Pada Setiap Blok Penambangan

Pada ilustrasi diketahui biaya penambangan pada masing-masing blok sebesar 3 \$/ton sedangkan harga batubara sebesar 45 \$/ton. Angka negatif menunjukkan bahwa di blok tersebut tidak terdapat lapisan batubara sehingga hanya muncul total biaya sebesar 3 \$/ton. Sedangkan pada blok warna kuning menunjukkan angka positif dimana angka tersebut hasil dari harga batubara dikurang biaya, dalam ilustrasi ini 45 \$/ton – 3 \$/ton sehingga hasilnya 42 \$/ton.

Topografi Permukaan											
-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
-6	39	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
-9	36	36	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
-12	33	33	33	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
-15	30	30	30	30	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
-18	27	27	27	27	27	27	-18	-18	-18	-18	-18
-21	24	24	24	24	24	24	24	24	-21	-21	-21
-24	21	21	21	21	21	21	21	21	21	-24	-24
-27	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	-27
-30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

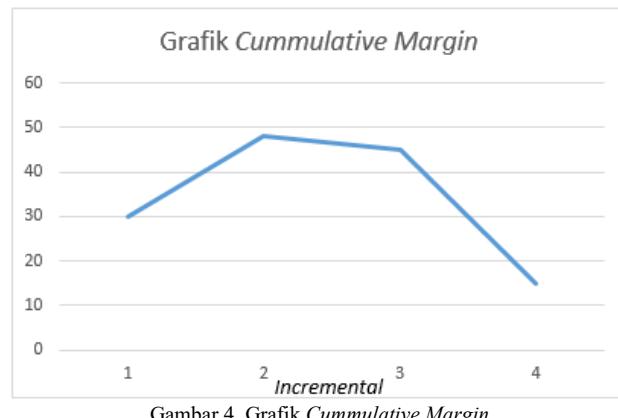
Gambar 3. Ilustrasi Penilaian dalam Metode *incremental pit expansion*

Incremental pit expansion dapat digambarkan seperti ilustrasi gambar 3, dimana masing-masing warna menggambarkan setiap penambahan / pengembangan dimensi penambangan. Bertambahnya kedalaman penambangan berbanding lurus dengan penambahan biaya penambangan untuk mendapatkan 1 blok batubara. Selisih antara penjumlahan biaya penambangan dengan harga batubara disebut sebagai marjin / laba bruto.

Tabel 1. Perbandingan antara *Incremental Margin* dan *Cummulative Margin*

Incremental Step	Incremental Margin	Cummulative Margin
Increment 1	30 \$	30 \$
Increment 2	18 \$	48 \$
Increment 3	-3 \$	45 \$
Increment 4	-30 \$	15 \$

Pada tabel di atas diketahui bahwa penambahan *incremental* memiliki penurunan nilai marjin. *Cummulative Margin* didapatkan pada *incremental* kedua sebesar 48 US\$ sehingga *incremental* kedua tersebut merupakan batas optimum untuk dilakukan penambangan yang akan diterjemahkan dalam batas desain penambangan.



Gambar 4. Grafik Cummulative Margin

B. Sungai

Sungai memiliki pengertian adalah saluran air alami yang mengalir dari hulu ke hilir. Sungai memiliki berbagai macam bentuk, lebar, dan panjang. Sungai berperan sebagai sumber air yang banyak digunakan untuk keperluan manusia [5]. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Tentang Pengalihan Alur Sungai dan / atau Pemanfaatan Ruas Bekas Sungai, Nomor 26/PRT/M/2015, sungai adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan [2].

Sungai memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan ekosistem. Beberapa peran utama sungai adalah:

- Sumber Air :** Sungai menyediakan air bagi kebutuhan rumah tangga, pertanian, dan industri. Air sungai digunakan untuk minum, irigasi, dan berbagai proses industri.
- Transportasi :** Banyak sungai yang digunakan sebagai jalur transportasi untuk mengangkut barang dan orang. Di beberapa daerah, sungai merupakan sarana transportasi utama.
- Pertanian :** Sungai menyediakan air untuk irigasi lahan pertanian, membantu tanaman tumbuh dengan baik dan meningkatkan hasil panen.
- Habitat :** Sungai adalah habitat bagi banyak jenis ikan, burung, dan organisme air lainnya. Habitat mendukung keanekaragaman hayati dan ekosistem yang sehat.
- Pariwisata dan Rekreasi :** Sungai sering menjadi tempat wisata dan rekreasi, seperti berperahu, memancing, dan berenang, yang dapat meningkatkan perekonomian lokal.
- Pengendalian Banjir :** Sungai dapat berperan dalam pengendalian banjir dengan menampung air hujan dan aliran air dari daerah sekitarnya, mencegah genangan air yang berlebihan di daratan.
- Pembangkit Listrik :** Sungai dapat digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga air (PLTA), yang merupakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.
- Budaya dan Sejarah :** Banyak peradaban besar tumbuh di sekitar sungai. Sungai sering kali memiliki nilai budaya dan sejarah yang penting bagi komunitas yang tinggal di sekitarnya.

C. Sempadan Sungai

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau, Nomor 28/PRT/M/2015, Garis sempadan sungai adalah garis maya di kiri dan kanan palung sungai yang ditetapkan sebagai batas perlindungan sungai. Sempadan sungai meliputi ruang di kiri dan kanan palung sungai di antara garis sempadan dan tepi palung sungai untuk sungai tidak bertanggul, atau di antara garis sempadan dan tepi luar kaki tanggul untuk sungai bertanggul. Penetapan garis sempadan sungai dan garis sempadan danau dimaksudkan sebagai upaya agar kegiatan perlindungan, penggunaan, dan pengendalian atas sumber daya yang ada pada sungai dan danau dapat dilaksanakan sesuai dengan tujuannya [6].

Terdapat 4 kriteria penentuan garis sempadan sungai, yaitu :

- a. sungai tidak bertanggul di dalam kawasan perkotaan;
- b. sungai tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan;
- c. sungai bertanggul di dalam kawasan perkotaan;
- d. sungai bertanggul di luar kawasan perkotaan.

Pada penelitian ini, area penelitian merupakan area sungai tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan. Sungai tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan sebagaimana dimaksud terdiri atas:

1. Sungai besar dengan luas daerah aliran sungai lebih besar dari 500 (lima ratus) km². Garis sempadan sungai besar tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan ditentukan paling sedikit berjarak 100 (seratus) meter dari tepi kiri dan kanan palung sungai sepanjang alur sungai.
2. Sungai kecil dengan luas daerah aliran sungai kurang dari atau sama dengan 500 (lima ratus) km². Garis sempadan sungai kecil tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan ditentukan paling sedikit 50 (lima puluh) meter dari tepi kiri dan kanan palung sungai sepanjang alur sungai.

Area penelitian masuk dalam kategori sungai kecil.

D. Kestabilan Lereng Tambang

Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Nomor 1827 K/30/MEM/2018, Geoteknik Tambang adalah pengelolaan teknis pertambangan yang meliputi penyelidikan, pengujian conto, dan pengolahan data geoteknik serta penerapan rekomendasi geometri dan dimensi bukaan tambang, serta pemantauan kestabilan bukaan tambang. Setiap area penambangan baik itu berupa dinding tambang, lereng penimbunan, jalan tambang dan termasuk infrastruktur diwajibkan telah melalui kajian untuk memastikan keamanan dan keselamatan pekerjaan [7]. Terdapat 3 kajian yang umum dalam pertambangan batubara, yaitu :

- a) Kajian Geoteknik adalah kegiatan penyelidikan di laboratorium dan/atau di lapangan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan dan/atau tanah yang diperlukan dalam rangka perencanaan dan desain tambang.
- b) Kajian Hidrologi adalah kegiatan penelitian untuk mempelajari dan mengetahui pergerakan, distribusi,

kuantitas, dan kualitas air permukaan dalam rangka perencanaan dan kegiatan pertambangan.

- c) Kajian Hidrogeologi adalah kegiatan penelitian untuk mengidentifikasi dan mempelajari lapisan batuan yang mengandung air tanah (akuifer), karakteristik hidrologi air tanah, serta kuantitas dan kualitas air tanah dalam rangka perencanaan dan kegiatan pertambangan.

Dalam penelitian ini akan berfokus pada kajian geoteknik sebagai metode analisa untuk menentukan penambangan di area sungai. Geoteknik tambang paling kurang terdiri atas:

- a) Penyelidikan geoteknik yang meliputi jumlah, kedalaman, dan lokasi pengeboran inti, deskripsi litologi, preparasi conto geoteknik, pengukuran dan analisis struktur geologi, kegempaan, pengaruh peledakan, serta hasil penyelidikan hidrologi dan hidrogeologi;
- b) Pengujian conto geoteknik yang meliputi laboratorium pengujian dan hasil dari uji sifat fisik dan sifat mekanik conto;
- c) Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian conto geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan.

Suatu lereng atau dinding tambang memiliki potensi untuk mengalami kegagalan geoteknik atau yang biasa disebut longsor. Probabilitas Longsor (*Probability of Failure*) adalah tingkat kemungkinan suatu lereng berpotensi longsor akibat nilai dari satu atau lebih parameter geoteknik yang menyimpang dari perhitungan faktor keamanan lereng ($FK \leq 1$). Suatu lereng atau dinding tambang dapat dikatakan aman jika memiliki faktor keamanan lereng (*Factor of Safety/FoS*) lebih besar dari 1 ($FK \geq 1$).

Menurut John Read dan Peter Stacey dalam bukunya berjudul “*Guidelines For Open Pit Slope Design*” secara sederhana Faktor Keamanan adalah perbandingan antara Gaya Penahan dengan Gaya Pendorong [8].

$$FK = \text{Gaya Penahan} / \text{Gaya Pendorong} \quad (1)$$

Gaya Penahan di sini diterjemahkan sebagai kekuatan internal massa batuan pada lereng atau dinding tambang seperti tahanan dan sudut geser. Gaya Pendorong diterjemahkan sebagai kekuatan yang eksternal yang mempengaruhi kekuatan batuan seperti tegangan geser akibat berat tanah.

Beberapa faktor keamanan penting dalam desain lereng tambang terbuka. Berikut adalah beberapa faktor utama yang disebutkan dalam buku tersebut:

- a) Faktor Keselamatan: Menjamin bahwa lereng tambang aman bagi pekerja dan lingkungan sekitar.
- b) Faktor Ekonomi: Memastikan bahwa desain lereng tidak mengurangi efisiensi operasi tambang dan memungkinkan pengambilan bijih yang optimal.
- c) Faktor Lingkungan: Mengelola dampak lingkungan dari operasi tambang, termasuk pengelolaan air dan pengurangan erosi.
- d) Faktor Regulasi: Memenuhi persyaratan hukum dan peraturan yang berlaku untuk operasi tambang.

- e) Faktor Risiko: Mengidentifikasi dan mengelola risiko yang terkait dengan stabilitas lereng, termasuk risiko longsor dan *rockfall*.

Faktor Keamanan dibagi menjadi dua sifat yaitu Faktor Kemanan Statis dan Faktor Keamanan Dinamis. Perbedaan utama antara faktor keamanan statis dan dinamis dalam analisis stabilitas lereng adalah kondisi dan beban yang dipertimbangkan.

a) Faktor Keamanan Statis

Kondisi Diam: Analisis dilakukan dengan asumsi bahwa lereng dalam keadaan diam tanpa adanya beban tambahan atau perubahan kondisi secara tiba-tiba.

Beban Tetap: Hanya mempertimbangkan beban tetap seperti berat sendiri tanah dan tekanan air tanah.

Perhitungan: Menggunakan data statis dari kondisi lapangan untuk menentukan kekuatan geser dan beban geser pada lereng.

b) Faktor Keamanan Dinamis

Kondisi Berubah: Analisis mempertimbangkan perubahan kondisi secara tiba-tiba, seperti gempa bumi atau ledakan.

Beban Tambahan: Menyertakan beban dinamis tambahan yang terjadi akibat kejadian eksternal seperti getaran, gempa, atau aktivitas seismik lainnya.

Perhitungan: Menggunakan data dinamis yang mencakup respons lereng terhadap beban dinamis untuk menentukan kekuatan geser dan beban geser pada kondisi berubah.

Secara umum, faktor keamanan dinamis biasanya lebih kecil daripada faktor keamanan statis karena mempertimbangkan beban tambahan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan. Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Nomor 1827 K/30/MEM/2018, berikut adalah kriteria Faktor Keamanan.

Tabel 2. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Pada tabel 2, terdapat klasifikasi tingkat keparahan yang dihubungkan dengan faktor keamanan. Adapun kriteria keparahan longsor (*consequences of failure*) :

1. Tinggi bila ada konsekuensi terhadap:

- i. kematian manusia;

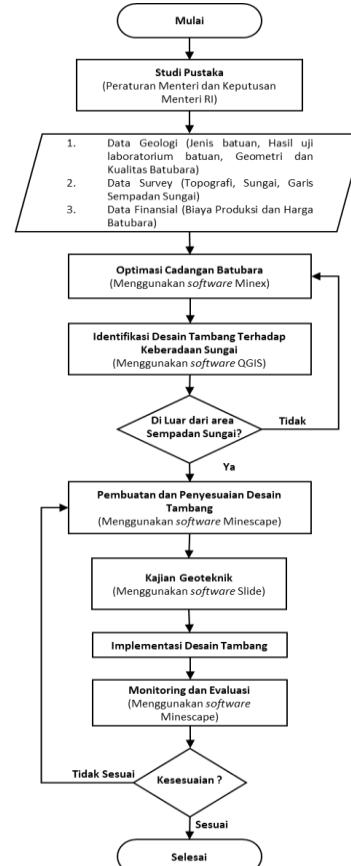
- ii. cidera berat manusia lebih dari 3 (tiga) orang;
- iii. kerusakan sarana dan prasarana pertambangan lebih dari 50% (lima puluh persen);
- iv. terhentinya produksi lebih dari 24 (dua puluh empat) jam;
- v. cadangan hilang dan tidak bisa diambil; dan/atau
- vi. kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman;

2. Menengah bila ada konsekuensi terhadap:
 - i. cidera berat manusia;
 - ii. kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% (dua puluh lima persen) sampai 50% (lima puluh persen);
 - iii. terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas) jam sampai kurang dari 24 (dua puluh empat) jam;
 - iv. cadangan tertimbun tetapi masih diambil; dan/atau
 - v. kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP.

3. Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
 - i. cidera ringan manusia;
 - ii. kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25% (dua puluh lima persen); dan/atau
 - iii. terhentinya produksi kurang dari 12 (dua belas) jam.

III. METODOLOGI PENELITIAN

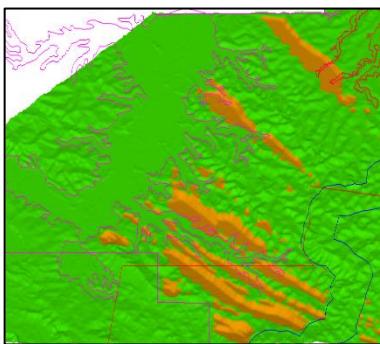
Proses perencanaan penambangan di sekitar area sungai dapat dijelaskan melalui tahapan perencanaan penambangan, adapun tahapan-tahapannya dapat digambarkan pada bagan alir di gambar 4 :



Gambar 4. Bagan Alir Proses Perencanaan Penambangan di Area Aliran Sungai

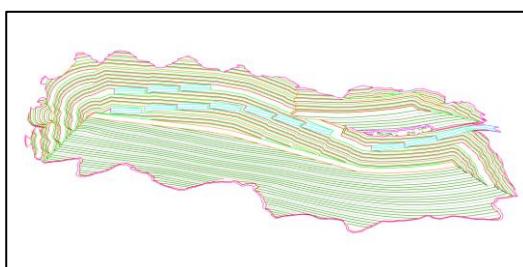
Penjelasan dari bagan alir di gambar 4 adalah sebagai berikut :

- Studi pustaka, khususnya mencari referensi terkait penambangan di sekitar area sungai, perizinan pemanfaatan sungai. Referensi ini umumnya didapatkan pada Peraturan Perundangan-undangan seperti Peraturan Menteri dan Keputusan Menteri Republik Indonesia.
- Penentuan cadangan batubara melalui proses optimasi, metode ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak/software Minex dan Minescape. Kedua software ini resmi dan berbayar.



Gambar 5. Contoh Hasil Optimasi Menggunakan *Software* Minex

- Pembuatan desain tambang menggunakan *software* Minescape. Dalam pembuatan design ini harus sudah memasukkan kaidah-kaidah geoteknik seperti maksimum tinggi jenjang penambangan, kemiringan lereng tambang baik tunggal ataupun keseluruhan, keberasaan material lunak seperti endapan rawa atau timbunan masa lampau.



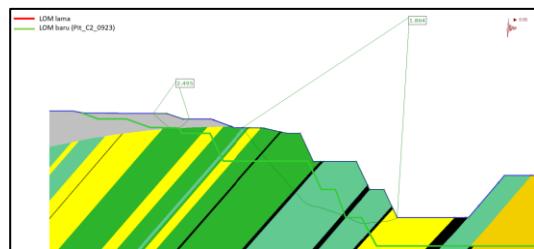
Gambar 6. Contoh Bentuk Desain Tambang di *Software* Minescape

- Identifikasi area rencana penambangan terhadap keberadaan sungai. Pada metode ini penelitian menggunakan *software* Minescape dan QGIS (*Quantum Geographic Information System*). Khusus untuk QGIS merupakan *software* tidak berbayar (*freeware*).



Gambar 7. Contoh Foto Udara Kombinasi dengan Alur Sungai

- Analisa kajian geoteknik terhadap desain tambang yang telah memperhitungkan posisi sungai dan sempadan sungai sesuai perundang-undangan.



Gambar 8. Contoh Analisa Lereng Tambang Menggunakan *Software* Slide

- Implementasi di lapangan dengan menggunakan bantuan surveyor untuk pemasangan batas-batas acuan pembentukan lereng desain tambang.



Gambar 9. Pemasangan Patok Acuan Survei di Lapangan

Evaluasi kesesuaian aktual penambangan terhadap desain penambangan menggunakan bantuan perangkat lunak Minescape.

IV. HASIL DAN ANALISIS

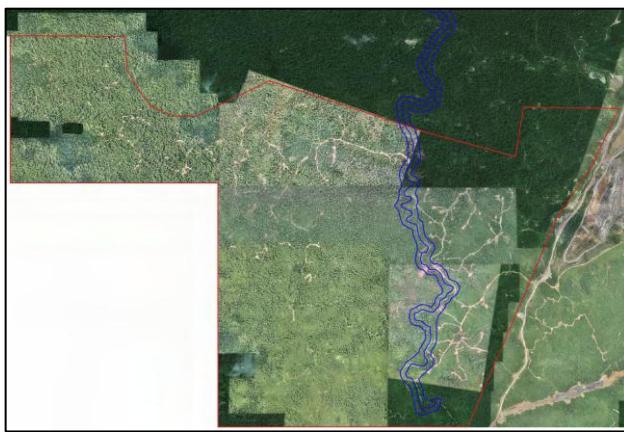
Penelitian ini menganalisa profesionalisme dan etika dalam pembuatan desain tambang serta tetap memperhatikan aspek K3LH (Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup) khususnya dibidang geoteknik terkait kestabilan lereng dinding tambang. Profesionalisme dan etika keinsiyuran dilakukan pada bagian optimasi cadangan batubara termasuk di dalamnya proses optimasi itu sendiri, penentuan batas desain penambangan, pembuatan desain penambangan. Aspek K3LH pada bagian analisa kestabilan lereng tambang dan aktualisasi desain penambangan.

A. Optimasi Cadangan Batubara

A.1. Data Persiapan Optimasi

Lokasi rencana penambangan sebelum dilakukan eksplorasi/ kegiatan penambangan merupakan area hutan yang masih hijau dengan morfologi berupa perbukitan dan di tengah area tersebut mengalir sebuah Sungai dengan lebar \pm 10 meter. Sungai ini ada dalam daftar Sungai yang dimiliki Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional) sehingga dalam proses optimasi wajib memperhatikan peraturan perundang-undangan yang berlaku

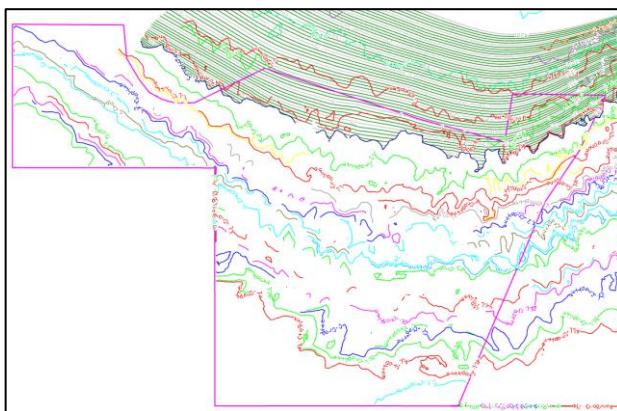
dimana area sempadan sungai merupakan area yang beas dari rencana penambangan (Area Penggalian dan Penimbunan).



Gambar 10. Rona Awal Area Penelitian dan Batas Sempadan Sungai

Proses eksplorasi telah dilakukan yang didahului dengan proses studi geologi regional, pemetaan singkapan di permukaan, pemboran untuk pengambilan sampel batuan, geofisika bawah permukaan hingga pembuatan model batubara. Pemodelan batubara ini yang kemudian menjadi acuan sebuah kegiatan rencana penambangan dalam menentukan lokasi, dimensi dan jumlah cadangan batubara yang ekonomis untuk dilakukan penambangan.

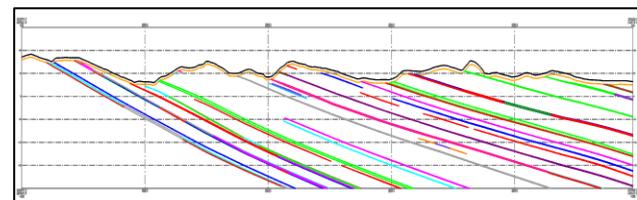
Daerah penelitian merupakan area pengembangan penambangan dari area yang telah dilakukan sebelumnya. Rona area penelitian berupa hutan yang masih hijau dengan aliran sungai di bagian tengah. Batas-batas daerah penelitian, pada bagian utara dibatasi dengan batas IPPKH (Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan) yang dimiliki perusahaan. Pada bagian timur dibatasi oleh jalan angkut batubara milik perusahaan lain. Pada bagian selatan dibatasi oleh batas izin tambang perusahaan lain dan sedangkan di sisi barat dibatasi oleh batas KHDTK (Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus). Batas-batas tersebut secara tidak langsung juga membatasi area optimasi daerah penelitian.



Gambar 7. Penyebaran Lapisan Batubara di Area Penelitian

Pada area penelitian memiliki 14 lapisan batubara atau biasa disebut *seam* batubara. Masing-masing *seam* memiliki karakteristik dimensi dan kualitas yang berbeda. Dimensi dan kualitas *seam* ini yang akan menentukan besarnya harga batubara dan pendapatan yang dapat diperoleh perusahaan dari penjualan batubara. Lapisan batuan penutup atau batuan selain batubara yang berada di atas lapisan batubara biasa

disebut juga *overburden*, sedangkan lapisan batuan yang berada di antara lapisan batubara biasa disebut juga dengan *interburden*. Dimensi atau ketebalan *overburden* dan *interburden* inilah yang akan menentukan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk mendapat batubara.



Gambar 8. Penampang Melintang Perlapisan Batubara dan Batuan Penutup

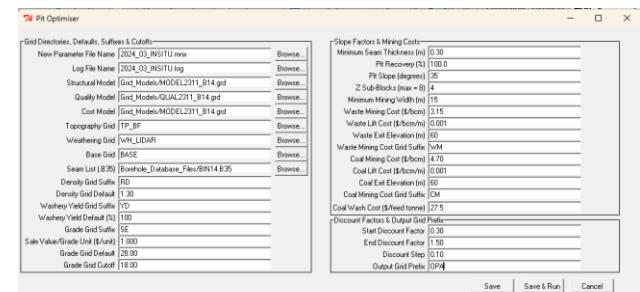
Kedua lapisan batuan, baik lapisan batubara ataupun lapisan batuan penutup dilakukan pengambilan contoh batuan yang kemudian dilakukan analisa di laboratorium. Tujuan dari analisa laboratorium ini dikhususkan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan sifat mekanik batuan seperti uji kuat tekan, uji kuat geser dan uji kuat tarik.

Tabel 3. Data Sifat Batuan yang Didapatkan di Area Penelitian

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (MPa)	Phi (deg)	Cohesion Type	UCS (kPa)	GSI	ml	D	Water Surface	Hu Type	Hu
Soil		16	Mohr-Coulomb	40	5						Water Surface	Custom	1
Sandstone I		23.6	Generalized Hoek-Brown				2670	60	17	0.7	Water Surface	Custom	1
Sandstone II		23.6	Generalized Hoek-Brown				3880	60	17	0.7	Water Surface	Custom	1
Mudstone I		21.6	Generalized Hoek-Brown				2890	50	7	0.7	Water Surface	Custom	1
Mudstone II		21.6	Generalized Hoek-Brown				3730	66	7	0.7	Water Surface	Custom	1
Mudstone III		21.6	Generalized Hoek-Brown				4730	60	7	0.7	Water Surface	Custom	1
coal	■	13	Mohr-Coulomb	175	36						Water Surface	Custom	1
Mud		17	Undrained	25		Constant					Water Surface	Custom	0

A.2. Proses Optimasi dan Evaluasi

Proses optimasi menggunakan perangkat lunak Minex. Pada aplikasinya, proses optimasi membutuhkan kompetensi dalam pengoperasian perangkat lunak dan pemahaman dasar-dasar ekonomi atau komersial penambangan. Dalam prosesnya diperlukan data-data seperti model geologi batubara area penelitian termasuk di dalamnya geometri batubara dan kualitas batubara, harga jual batubara, biaya penambangan batubara, kemiringan lereng dinding tambang secara keseluruhan, dan batas-batas area optimasi.

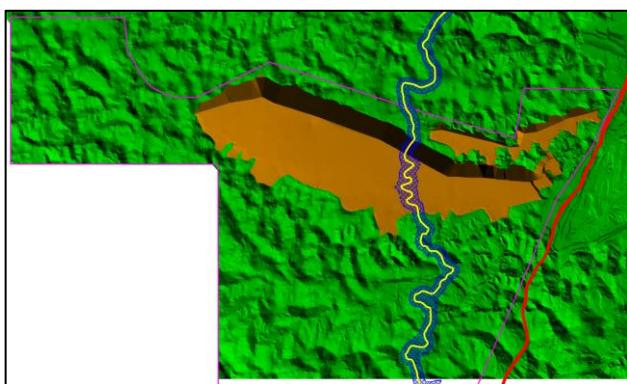


Gambar 9. Parameter Optimasi yang Digunakan dalam software Minex

Hasil dari optimasi ada 2 jenis, yaitu geometri atau visualisasi dan perhitungan kuantitas serta kualitas. Hasil dari optimasi berupa geometri adalah kenampakan potensi bentuk tambang yang menggambarkan bentuk, luas dan kedalaman tambang. Hasil dari optimasi berupa perhitungan kuantitas dan kualitas dari potensi pit yang terbentuk dari hasil optimasi. Perhitungan tersebut meliputi volume batuan penutup, volume batubara, kualitas batubara seperti nilai

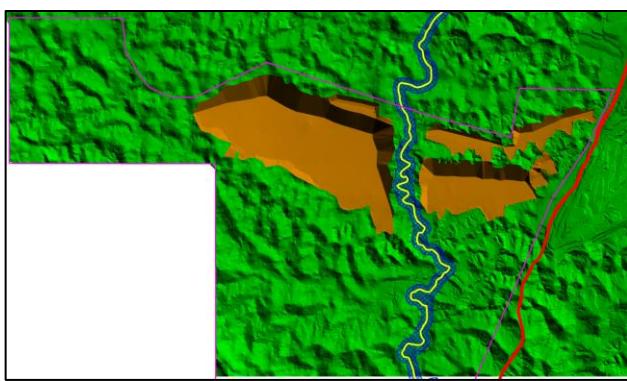
kalori, kandungan batubara, kandungan abu dan kandungan sulfur.

Proses optimasi di daerah penelitian dilakukan dengan 2 kondisi. Kondisi yang pertama adalah dimana area sempadan sungai tidak dijadikan sebagai batas optimasi, dengan kata lain sungai dan area sungai dapat menjadi area potensi penambangan. Kondisi yang kedua adalah dimana sungai dan area sempadan sungai menjadi batas optimasi, artinya sungai dan area sempadan sungai tidak akan menjadi area potensi penambangan. Hasil dari optimasi di daerah penelitian dengan kondisi pertama menunjukkan bahwa potensi pit berada di dalam alur sungai dan di dalam area sempadan sungai, artinya di bawah aliran sungai yang ada saat ini cadangan batubara yang ada masih ekonomis untuk dilakukan penambangan. Volume batuan penutup pada kondisi pertama sebesar 117,1350,000 m³, jumlah batubara sebesar 18,937,000 ton, *stripping ratio* 6.19.



Gambar 10. Hasil Optimasi Tanpa Batas Area Sempadan Sungai

Pada kondisi kedua, dimana proses optimasi dengan menggunakan batas area sempadan sungai sehingga hasil optimasi tidak akan berada di dalam area sempadan sungai dan badan sungai. Volume batuan penutup pada kondisi kedua ini sebesar 106,388,000 m³, jumlah batubara sebesar 16,862,000 ton, *stripping ratio* 6.31. Terdapat selisih volume batuan penutup sebesar 10,747,000 m³ dan batubara sebesar 2,075,000 ton atau setara dengan *stripping ratio* 5.18 antara kondisi pertama dibandingkan kondisi kedua.



Gambar 11. Hasil Optimasi dengan Batas Area Sempadan Sungai

Jika dibandingkan secara marjin, kedua kondisi yang diterapkan pada masing-masing optimasi memiliki selisih nilai marjin yang cukup signifikan. Pada grafik (gambar 12) dapat diketahui bahwa optimasi kondisi pertama dimana optimasi dilakukan tanpa menggunakan batas area sempadan sungai memiliki nilai marjin sebesar 100,366,100 USD. Pada

kondisi kedua dimana optimasi dilakukan dengan menggunakan batas area sempadan sungai, nilai marjin yang didapatkan hanya sebesar 92,741,000 USD. Terdapat selisih marjin sebesar 7,625,100 USD, nilai yang cukup besar untuk sebuah potensi bisnis perusahaan. Nilai tersebut setara dengan 118 miliar rupiah (pada kurs 15,500 rupiah / USD).



Gambar 12. Grafik Perbandingan antara 2 Metode Optimasi

Berdasarkan data penelitian di atas dapat diketahui bahwa dari sisi perusahaan masih sangat memperhatikan profesionalisme untuk selalu patuh terhadap peraturan perundangan-undangan yang berlaku yaitu tidak adanya aktivitas penambangan di dalam area sempadan sungai tanpa izin dari pemerintah. Dari sisi etika, perusahaan menunjukkan komitmennya dalam menjaga kelestarian lingkungan dengan tidak melakukan penambangan di area sempadan sungai. Aliran sungai yang ada dipertahankan untuk dapat selalu digunakan oleh masyarakat yang ada di hilir sungai.

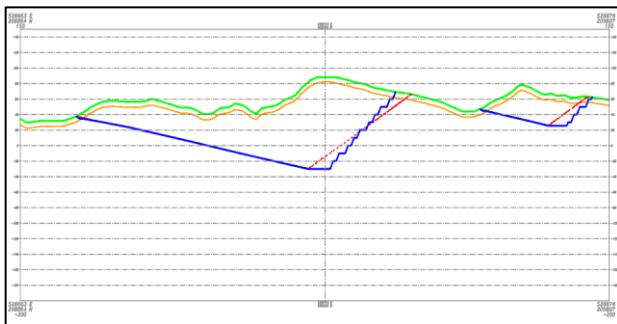
B. Pembuatan Desain dan Analisa Geoteknik

Setelah memiliki ilustrasi dasar bentuk desain tambang dari sisi geometri, prose selanjutnya adalah pembuatan desain tambang yang akan dijadikan acuan pekerjaan di lapangan. Desain tambang wajib mengikuti dimensi dasar geoteknik yang telah ditetapkan departemen geoteknik perusahaan. Desain dibuat menggunakan perangkat lunak Minescape. Pada proses pembuatan desain tambang dibutuhkan kompetensi pengoperasian perangkat lunak, dasar-dasar pengoperasian alat berat dan dasar-dasar kestabilan lereng tambang dari sisi geoteknik.

Tabel 4. Standar Geometri Lereng pada Perusahaan

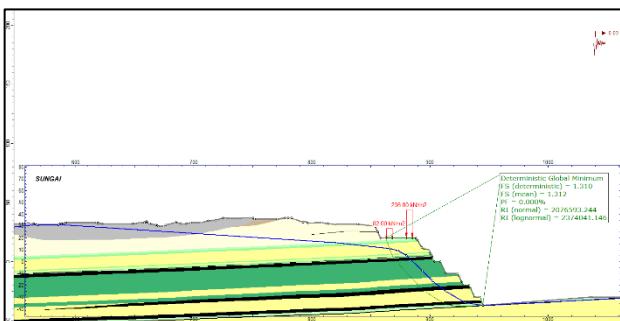
Parameter	Remarks
Dip of Coal Seam	11° – 20°
Geometry	
1 Single Slope (High Wall)	10 m
2 Single Slope Angle (High Wall)	65°
3 Single Slope Angle (Low Wall)	Depend on dip of coal seam
4 Berm Highwall	5 m
5 Overall Slope (High Wall)	120 m
6 Overall Slope (Low Wall)	130 m
7 Overall Slope Angle (High Wall)	30°
8 Overall Slope Angle (Low Wall)	Depend on dip of coal seam
9 Intermediate Catchberm (Highwall)	10 m – 15 m
10 Working Floor	15 m – 25 m

Perbandingan jumlah total volume antara hasil optimasi terhadap desain tambang yang dibuat tidak boleh melebihi dari 3%. Selisih yang cukup besar pada jumlah volume batuan penutup dan batubara antara hasil optimasi dan desain tambang akan mengakibatkan perubahan nilai marjin. Selain dari sisi volume, desain tambang yang dibuat juga wajib menjaga kesesuaian dimensi lereng tambang khususnya kemiringan lereng tambang secara keseluruhan (*overall slope*). *Overall slope* yang digunakan pada proses optimasi adalah 30°, sehingga desain tambang wajib memiliki *overall slope* maksimum 30° atau dapat berlaku berbeda yang dapat dijelaskan dalam kajian teknis geoteknik. Pembuatan desain tambang yang presisi terhadap hasil optimasi juga akan mejaga kepatuhan penambangan terhadap area sempadan sungai.



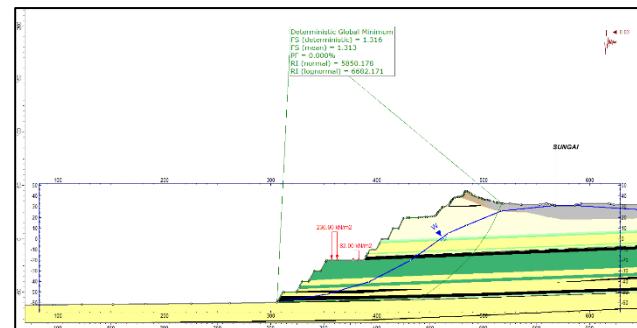
Gambar 13. Penampang Melintang Perbandingan Desain Tambang terhadap Hasil Optimasi

Proses selanjutnya setelah desain tambang dibuat adalah melakukan kajian geoteknik oleh geoteknik departemen. Kajian geoteknik dibuat menggunakan sifat-sifat material yang telah didapatkan pada proses uji laboratorium pada sampel batuan yang didapatkan dari proses pemboran. Tujuan dari kajian geoteknik adalah untuk mendapat nilai faktor keamanan (FK) yang memenuhi dipersyaratskan dalam peraturan perundang-undangan pemerintah yaitu Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Berdasarkan kajian atau analisa geoteknik menggunakan perangkat lunak Slide (gambar 14) didapatkan nilai FK sebesar 1.310. Nilai FK tersebut termasuk dalam kriteria yang dapat diterima dan desain dinyatakan aman untuk diaplikasikan di lapangan. Diketahui pada simulasi analisa geoteknik, faktor keberadaan sungai telah dimasukkan sehingga dapat dipastikan bahwa desain tambang tidak akan menimbulkan dampak terhadap keberadaan sungai.



Gambar 14. Penampang Melintang Analisa Geoteknik Desain Tambang Sisi Timur

Pada desain penambangan sisi barat juga diketahui bahwa nilai FK yang didapatkan dari analisa geoteknik sebesar 1.316. Nilai FK tersebut juga termasuk dalam kriteria yang dapat diterima dan desain dinyatakan aman untuk diaplikasikan di lapangan.



Gambar 15. Penampang Melintang Analisa Geoteknik Desain Tambang Sisi Barat

C. Implementasi, Monitoring dan Evaluasi Desain Tambang

Tahap berikutnya setelah desain tambang dinyatakan aman oleh tim geoteknik adalah penerapan atau implementasi desain tambang, monitoring dan evaluasi desain tambang. Tahap ini sangat bergantung kepada tim survei tambang di lapangan. Terdapat 2 pekerjaan penting oleh tim survei dalam tahap ini yaitu yang pertama adalah penentuan titik atau lokasi penggalian yang biasa disebut sebagai *stake out data survey*, dan yang kedua adalah pengambilan data survei aktual situasi penambangan yang biasa disebut sebagai *pick up data survey*.



Gambar 16. Pita Batas Acuan Penggalian di Area Penelitian

Tahap yang pertama adalah *stake out data survey*, tahap ini adalah kegiatan pemasangan pita-pita tanda batas penggalian yang akan digunakan sebagai acuan tim operasional atau alat berat melakukan penggalian. Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk menghindari kesalahan atau deviasi dalam penggalian tambang sehingga penambangan memiliki akurasi geometri penambangan yang baik. Akurasi geometri penambangan sendiri sangat penting agar batas-batas area sempadan sungai yang telah ditetapkan secara actual di lapangan tidak masuk dalam area penambangan. Dalam aspek K3LH keinsinyuran, tahap ini sangat penting karena kesalahan atau deviasi dalam geometri penambangan juga dapat berdampak pada kestabilan lereng dinding tambang.

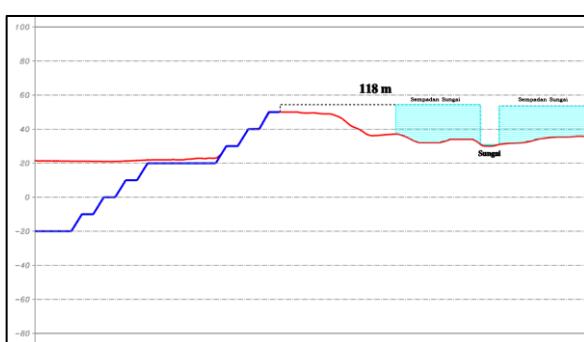
Tahap kedua adalah *pick up data survey*, tahap ini adalah kegiatan pengambilan data koordinat dan elevasi situasi area penambangan secara aktual. Data yang didapatkan berupa data titik-titik yang kemudian akan dijadikan peta kontur dan peta atau bentuk 3 dimensi permukaan area penambangan. Pada tahap kedua ini tim survei dapat mengetahui adanya deviasi atau sesuai kondisi aktual penambangan terhadap desain penambangan.

Terdapat 2 kondisi deviasi dalam implementasi desain tambang yang dapat menimbulkan kerugian secara keinsinyuran yaitu :

1. Kondisi kelebihan penggalian terhadap desain tambang atau biasa disebut *overcut*. Kelebihan penggalian dapat membuat kemiringan lereng dinding tambang menjadi lebih terjal sehingga dapat menyebabkan kegagalan geoteknik atau longsor pada dinding tambang.
2. Kondisi kurang penggalian terhadap desain lereng tambang atau biasa disebut *undercut*. Kurangnya penggalian dapat membuat lereng dinding tambang menjadi lebih landai sehingga dapat mengakibatkan adanya cadangan batubara yang tidak tertambang pada bagian desain tambang yang paling bawah. Kondisi ini tentu sangat merugikan perusahaan karena cadangan batubara yang dapat diambil dapat berkurang.

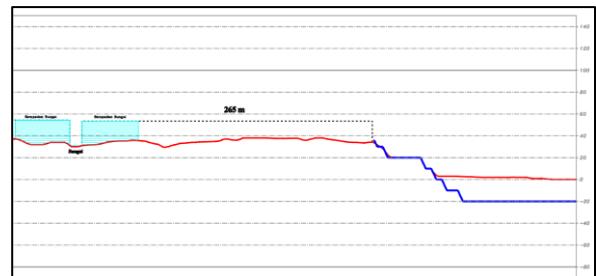
Kesesuaian aktual penambangan terhadap desain penambangan dapat dilihat dalam kegiatan monitoring dan evaluasi yang dilakukan oleh tim survei. Dari data-data koordinat dan elevasi yang telah diambil di lapangan, kemudian dilakukan monitoring dan evaluasi dengan menggunakan perangkat lunak Minescape. Monitoring dan evaluasi dilakukan dengan membuat penampang melintang di beberapa area pada desain tambang atau area-area yang kritis untuk dilakukan monitoring dan evaluasi. Pada penelitian ini, area kritis yang terus dilakukan monitoring dan evaluasi adalah pada lereng dinding tambang yang berdekatan dengan keberadaan sungai atau area sempadan sungai. Kegagalan geoteknik pada area tersebut akan berdampak sangat besar terhadap keberlangsungan penambangan karena dapat mengakibatkan sungai Jebol dan aliran sungai masuk ke area penambangan. Potensi yang dapat timbul dari kegagalan geoteknik ini adalah :

1. Pekerja dapat terluka atau bahkan timbulnya korban jiwa.
2. Kerusakan peralatan penambangan.
3. Hilangnya potensi cadangan batubara di area penambangan sehingga terjadi kerugian pada perusahaan dan juga negara.
4. Penghentian operasional penambangan oleh pemerintah.



Gambar 17. Evaluasi Kesesuaian Implementasi Terhadap Desain Penambangan Sisi Barat Sungai

Jika terjadi deviasi pada implementasi desain penambangan maka wajib dilakukan kajian ulang desain penambangan secara geoteknik untuk mengevaluasi kestabilan lereng tambang. Hasil evaluasi kajian geoteknik akan menentukan perlu atau tidak adanya revisi pada desain penambangan. Pada area penelitian tidak ditemukan adanya deviasi yang signifikan pada implementasi desain penambangan sehingga tidak memerlukan adanya evaluasi secara geoteknik ataupun revisi desain pembangan.



Gambar 18. Evaluasi Kesesuaian Implementasi Terhadap Desain Penambangan Sisi Timur Sungai

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pelaksanaan optimasi cadangan batubara di area penelitian yang dekat dengan area sungai dan sempadan sungai yang dilakukan oleh perusahaan mengedepankan ketiga aspek keinsinyuran yaitu :

- Aspek profesionalisme dan etika dimana perusahaan patuh dan taat terhadap peraturan perundangan yang berlaku khususnya terkait dengan keberadaan area sempadan sungai dan sungai meskipun kehilangan potensi cadangan batubara yang berada di bawah area tersebut.
- Aspek K3LH (Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan Hidup) dimana perusahaan selalu memprioritaskan keselamatan dalam melakukan penambangan yaitu dengan selalu melakukan kajian teknis berupa kajian geoteknik terhadap lereng dinding penambangan untuk mencegah terjadinya korban jiwa dan kerugian materi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih karunia-Nya yang luar biasa sehingga jurnal ini mampu diselesaikan dengan baik. Jurnal ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat, terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Dr.rer.nat., Ir., Surya Hermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing, memberikan saran dan kritiknya serta memotivasi penulis dalam penyusunan jurnal ini.
2. Seluruh staff kependidikan dan dosen program studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Kristen Petra, baik yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyusunan jurnal ini.
3. Seluruh Rekan-Rekan Seangkatan Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Kristen Petra

- Tahun 2024-2025 yang telah menjadi teman belajar dan berdiskusi dalam penyusunan jurnal ini.
4. Istri dan anak-anak saya yang telah memberikan waktu dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan jurnal ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitriyanti Reno, "Pertambangan Batubara : Dampak Lingkungan, Sosial dan Ekonomi", Jurnal Redoks Teknik Kimia, Vol.1, No.1, Hal. 34 – 40, Januari-Juni, 2016.
- [2] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Tentang Pengalihan Alur Sungai dan / atau Pemanfaatan Ruas Bekas Sungai, Nomor 26/PRT/M/2015, 2015.
- [3] Sabdono Agus Sabar, Analisis Kestabilan Lereng Pit 7 West B Tambang Batubara PT.BUMA Site Binungan Berau Kalimantan Timur, Tugas Akhir Universitas Diponegoro, Semarang, Juni 2017.
- [4] Rifandy Akhmad dan Sutan Syamsidar, Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara dengan Pendekatan Incremental Pit Expansion, BESR dan Profit Margin, Jurnal Geologi Pertambangan, September 2018 [5] Ginting, I. P., Sungai, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2022.
- [6] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau, Nomor 28/PRT/M/2015, 2015.
- [7] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Nomor 1827 K/30/MEM/2018, 2018.
- [8] J. Read dan P. Stacey, Guidelines For Open Pit Slope Design, Collingwood, Australia, 2010.