

EVALUASI OPTIMALISASI BATUBARA SIDEWALL PIT X BERDASARKAN KAJIAN GEOTEKNIK METODE LIMIT EQUILIBRIUM

M. Zelandi^{1*}, H. Panggabean² dan Indra²

¹Teknik Geologi, Universitas Jambi, Jambi

²PT. Bhumi Rantau Energi, Jl. Bypass Rantau, Tapin Kalimantan Selatan

*Corresponding author e-mail: muhammadzelandi@unja.ac.id

ABSTRAK: Optimalisasi batubara perlu dilakukan dengan mempertimbangkan aspek geoteknik, khususnya analisis kestabilan lereng, agar didapatkan optimalisasi yang maksimal namun dapat mempertahankan keamanan pada lerengnya. Adapun penelitian ini dilakukan dengan mengambil data lapangan berupa sampel pada sekitar area *sidewall* Pit X, melakukan pengujian sampel untuk mendapatkan sifat fisik dan sifat mekanik pada sampel pada material *sidewall*, serta melakukan analisis kestabilan lereng menggunakan metode *limit equilibrium* dengan simulasi pada 4 kondisi: kondisi awal, kondisi dipotong sesuai desain, kondisi dipotong dengan sudut lereng 70°, serta kondisi dipotong dengan tinggi lereng 20 m. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai faktor keamanan yang paling aman pada kondisi lereng yang dipotong sesuai desain (FK = 1,111) dengan besar volume batubara tertambang 9.427 MT (*Metric Ton*). Setelah didapatkan kondisi yang aman, dilakukan simulasi penambangan pada area *sidewall* tersebut dengan membagi metode optimalisasi menjadi 2 tahap, yaitu metode penggalian material *overburden* sebanyak 10.475 BCM (*Bank Cubic Meter*) dan 9.427 MT batubara sembari memantau deformasi lereng menggunakan *prisma monitoring*, serta penimbunan dengan material *overburden* dari area lain sebanyak 10.475 BCM untuk menjaga agar lereng *sidewall* tidak mengalami kelongsoran.

Kata Kunci: Optimalisasi, *Sidewall*, *Limit Equilibrium*, Faktor Keamanan

ABSTRACT: Optimization in coal mining requires careful consideration of geotechnical aspects, particularly slope stability analysis, to optimize coal recovery while maintaining safety in mining activity. This study was conducted to evaluate optimization plan and other scenarios based on geotechnical analysis limit equilibrium method, thus recommend the staging plan for the coal optimization. This study held by collecting lithological samples from the *sidewall* area of Pit X, followed by geotechnical laboratory testing to determine the physical and mechanical properties of the materials. Geotechnical slope stability analysis was performed using the limit equilibrium method under four scenarios: the initial slope condition or actual condition, the design-based cut, a cut with a 70° slope angle, and a single bench with a height of 20 m. The results indicate that the design-based cut condition provides the highest safety factor (FoS = 1.111) with an estimated mineable coal volume of 9,427 metric tonnes. Further optimization simulations were conducted in two phases. The first phase involved removing approximately 10,475 BCM of *overburden* and extracting 9,427 MT of coal while applying prism monitoring system to observe slope deformation in surrounding area. The second phase involved placing 10,475 BCM of *overburden* material from another mining front to reinforce the *sidewall* Pit X and reduce the potential for slope failure.

Keywords: Optimization, *Sidewall*, *Limit Equilibrium*, Safety Factor

1 Pendahuluan

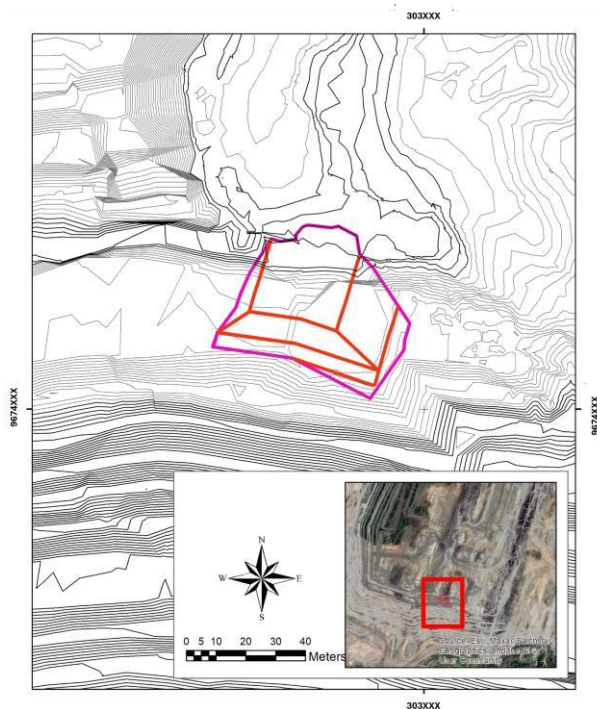
Aktivitas penambangan dilakukan untuk mendapatkan bahan galian produktif yang ekonomis. Dalam beberapa kasus, penambangan baru dapat dilakukan dengan mempertimbangkan harga maupun cadangan yang dapat diambil. Aktivitas tersebut dikenal sebagai optimalisasi penambangan. Kegiatan optimalisasi tersebut

dapat dilakukan salah satunya dengan mempertimbangkan faktor geoteknik pada proses sebelum penggalian dan setelah penggalian [1].

Adapun faktor material baik pada material dengan kondisi keras [2] maupun material lunak [3] dapat mempengaruhi seberapa efektif suatu sekuen penambangan di tambang terbuka, yang juga dipengaruhi oleh struktur geologi yaitu melihat kontrol struktur dan

arah dominannya [4], maupun muka airtanah dengan mempertimbangkan tingkat kejenuhan dari suatu lereng tambang [5].

Pada kondisi di *Sidewall* Pit X, terdapat *Seam* O yang belum tertambang dengan kuantitas 9.427 MT (*Metric Ton*) dan perlu diambil. Pengambilan tersebut berada pada RL-80 dari elevasi *original* AL+100 dengan ketebalan batubara 10 m. Optimalisasi dilakukan dengan mengambil batubara sampai sejajar RL-90 serta ditutup dengan material *Overburden* sebesar 10.475 BCM (*Bank Cubic Meter*) (Gambar 1).

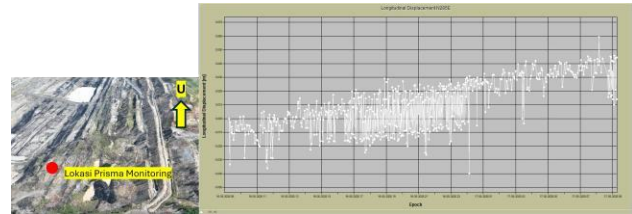


Gambar 1. Kenampakan desain optimalisasi *Seam* O pada *Sidewall* Pit X.

Area optimalisasi penambangan tersebut terdapat material longsoran di *Lowwall* dari Pit X, dengan properti material berupa kohesi dan sudut geser dalam yang mengalami penurunan 40% dari kondisi material awalnya yang didasarkan pada pengujian di lapangan. Kondisi material menunjukkan kondisi kekompakan *soft – medium soft*.

Monitoring lereng pada area tersebut dilakukan dengan memantau pergerakan longitudinal melalui pemasangan *prisma monitoring* yang diukur menggunakan *robotic total station* secara *real-time*. Dari hasil deformasi yang diukur per 16 Mei 2025, pergerakan deformasi secara longitudinal adalah 35 mm/hari, sementara *height*

displacement 25 mm/hari, sehingga diklasifikasikan sebagai kondisi “Waspada” berdasarkan *threshold* yang dimiliki perusahaan. Berdasarkan hal tersebut maka aktivitas di sekitar lokasi perlu dilakukan dengan pengawasan maksimal dengan mempertimbangkan aspek keselamatan (Gambar 2).



Gambar 2. Kondisi *prisma monitoring* yang diukur pada sisi *lowwall* Pit X serta berada sejajar dengan area optimalisasi *Seam* O.

Berdasarkan kondisi aktual di lapangan tersebut, dapat dilihat bahwa lokasi *sidewall* Pit X memiliki karakteristik yang kritis. Hal tersebut menandakan bahwa lereng apabila akan dilakukan optimalisasi perlu melakukan rekayasa desain lereng. Pada [3] dijelaskan bahwa desain lereng dengan geometri kritis perlu dilakukan rekayasa yang didasarkan dengan kajian geoteknik.

Oleh karena itu, maka penelitian ini memiliki hipotesis bahwa pada aktivitas optimalisasi lereng pada *sidewall* Pit X, perlu dilakukan desain lereng mengacu pada kondisi geoteknik dengan kondisi jenjang tunggal lebih kecil dari kondisi aktual, nilai faktor keamanan pada kondisi yang aman, serta perlu mempertimbangkan adanya penimbunan ulang atau *refill* setelah batubara di lereng *sidewall* selesai diambil. Proses tersebut perlu dilakukan guna menjaga agar tidak ada terjadi keruntuhan dari sisi *sidewall* maupun dari sisi *lowwall* di sebelah timur dari area tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimalisasi penambangan batubara pada area *Sidewall* Pit X dengan memperhitungkan adanya area kritis di area lokasi penambangan. Kondisi tersebut dapat dilihat dengan membuat analisis kestabilan geoteknik dan menambah *monitoring* lereng di sekitar lokasi agar tetap teroptimalisasi dan aman dari segi keselamatan. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi material *Sidewall* pada kondisi properti aktual dari lereng.

2 Metode Penelitian

2.1 Alur pelaksanaan penelitian

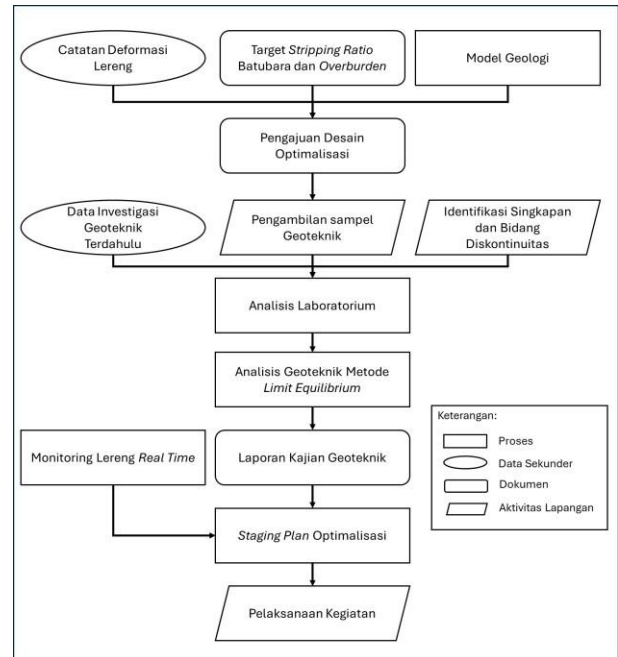
Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Adapun alur dari penelitian ini (Gambar 3) terdiri atas adanya target dari pengambilan batubara dan *overburden* yang dihitung sebagai *Stripping Ratio* dari aktivitas tambang, yang ditetapkan dalam skema tahunan. Dari dokumen tersebut ditetapkan adanya optimalisasi penambangan yang juga mengacu kepada kondisi aktual berupa model geologi aktual serta catatan deformasi lereng di area tambang.

Kemudian, berdasarkan target penambangan tahunan, model geologi, serta catatan deformasi lereng, maka didapatkan lokasi yang perlu dilakukan optimalisasi penambangan batubara, yaitu pada *Seam O* di sisi *Sidewall* Pit X, yang berada di sisi selatan tambang. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan desain optimalisasi penambangan yang dilanjutkan dengan penerbitan instruksi kerja analisis geoteknik di lokasi tersebut.

Adapun analisis geoteknik dimulai dengan tahapan pengambilan data geoteknik berupa sampel di area sekitar penelitian berupa sampel tidak terganggu sebanyak 4 sampel di 4 titik berbeda, kemudian dilakukan identifikasi kondisi singkapan beserta pemetaan bidang diskontinuitas pada area lereng. Data sekunder juga dipergunakan dengan melihat data hasil investigasi geoteknik terdahulu.

Hasil data yang diambil kemudian dipergunakan untuk analisis laboratorium geoteknik untuk mendapatkan parameter fisik dan mekanis dari lokasi penelitian. Data tersebut kemudian dijadikan sebagai dasar dalam analisis geoteknik dengan menggunakan metode *Limit Equilibrium*.

Langkah selanjutnya adalah penerbitan laporan kajian geoteknik yang berisi hasil analisis dari desain yang diajukan beserta opsi-opsi dari mekanisme optimalisasi yang diajukan sebagai perbandingan. Hasil laporan kemudian dipakai sebagai dasar dalam penyusunan langkah kerja optimalisasi penambangan batubara, yang juga mengacu laporan monitoring lereng yang diambil secara *real time* menggunakan *robotic total station* di sisi selatan Pit X dengan prisma monitoring yang terpasang. Setelah langkah kerja dan segala persiapan sudah disetujui, maka dilanjutkan dengan eksekusi oleh tim lapangan, dalam hal ini kontraktor serta tim produksi.



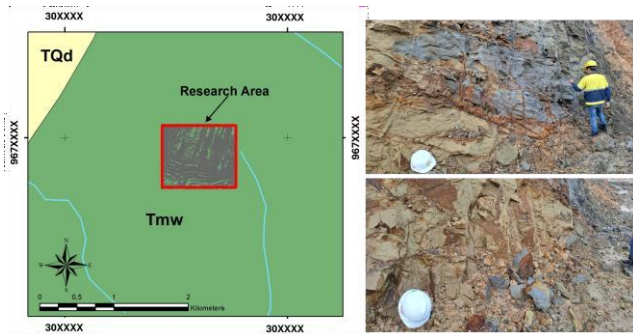
Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

2.2 Lokasi dan kondisi area penelitian

Area penelitian berada pada *Sidewall* dan *Lowwall* di Pit X PT. Bhumi Rantau Energi di Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geologi, lokasi tersebut masuk kedalam Cekungan Barito dan berada pada Formasi Warukin, dengan dominasi perlapisan batupasir dan lempung serta setempat Batubara [6].

Pada lokasi penelitian, terdapat beberapa formasi batubara yang terdiri dari *Seam A* hingga *Seam V* yang saat ini masih di tambang, dengan ketebalan lapisan Batubara bervariasi mulai dari sisipan <2 m hingga yang paling tebal pada beberapa blok yaitu 36 m berdasarkan kondisi aktual dan data bor eksplorasi. Pada penelitian ini *Seam O* yang akan ditambang memiliki tebal 10 m dan menjadi target optimalisasinya.

Sementara, pada kenampakan singkapan di lapangan berdimensi tinggi 10 meter dan lebar 35 m terdapat perselingan antara batulempung keabu-abuan dengan struktur masif, batuserpih berstruktur serpih dengan sisipan lensa pasir berukuran sedang, dominan batupasir berwarna kuning terang dengan struktur masif hingga gradasional berukuran butir sedang hingga halus, serta kondisi singkapan yang mengalami pelapukan sedang (Gambar 4)



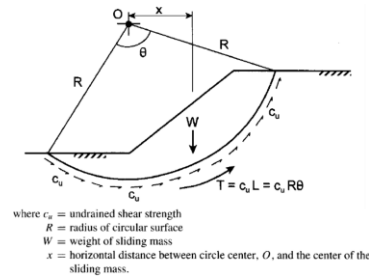
Gambar 4. Peta geologi area penelitian yang masuk dalam Formasi Warukin (Tmw), serta kenampakan singkapan pada area penelitian berupa batupasir berukuran sedang sisipan batulempung abu-abu, dan batuserpih kekuningan.

Material pada formasi ini memiliki kondisi batuan segar >150 kPa sehingga pada beberapa kondisi perlu dilakukan *blasting* atau pemberaian batuan *overburden*. Kondisi yang memerlukan aktivitas *blasting* tersebut dimasukkan kedalam pertimbangan dalam analisis, dengan didapatkan nilai g atau percepatan getaran 0,035 dari hasil pengukuran aktual di lapangan.

2.3 Mekanisme Longsoran

Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan menghitung faktor keamanan dan probabilitas longsoran. Hal tersebut dilaksanakan dengan metode *limit equilibrium* untuk mendapatkan hasil nilai faktor keamanan yang efektif [7]. Penggunaan pendekatan nilai faktor keamanan dengan pendekatan geometri lereng akan memberikan pengaruh signifikan terhadap seberapa terjalnya suatu lereng penambangan [8], yang berhubungan dalam melakukan optimalisasi penambangan.

Adapun berdasarkan [9], mekanisme longsoran dengan gambaran bidang gelincir lingkaran yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng *limit equilibrium* menunjukkan bagaimana bidang gelincir berbentuk lingkaran yang mendeskripsikan mekanisme longsoran pada suatu lereng, dengan Gambar 5 menunjukkan mekanisme bidang gelincir *circular* atau lingkaran.



Gambar 5. Analisis kestabilan lereng dengan bentuk bidang gelincir lingkaran [9].

Sementara dalam menentukan nilai kuat geser, [10] menjelaskan bahwa faktor yang menyebabkan suatu lereng mengalami perubahan kuat geser adalah seberapa besar nilai kohesi, sudut geser dalam, maupun air yang terinfiltrasi dalam suatu material. Adapun besaran nilai kuat geser dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \theta \quad (1)$$

dengan:

τ_f : Kuat Geser Tanah (kg/cm²)

c : Kohesi (kg/cm²)

θ : Sudut Geser Tanah (°)

σ : Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor (kg/cm²)

u : Tegangan air pori (kg/cm²)

Sementara berdasarkan aturan Kementerian ESDM yang diturunkan ke aturan perusahaan, analisis lereng pada lokasi penelitian menggunakan nilai Faktor Keamanan (FK) dinamik dengan kategori “Aman” minimal 1,10, apabila nilai 1,0 s/d 1,099 maka masuk dalam kategori “Kritis”, dan apabila nilai FK $<0,99$ masuk ke kategori “Tidak Aman” (Gambar 6).

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (maks) (FK ≤ 1)
Lereng tunggal	Rendah - Tinggi	1.1	Tidak ada	25 – 50 %
	Rendah	1.15 – 1.2	1.0	25 %
Inter-ramp	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 %

Gambar 6. Kriteria faktor keamanan lereng statis dan dinamik dengan menurunkan aturan Kepmen ESDM No.1827/K/30/MEM/2018.

2.4 Properti Material dan Pengujian Laboratorium

Properti material merupakan salah satu penentu suatu kondisi lereng masuk ke kondisi aman atau tidak yang sangat mempengaruhi kuat gesernya. Pada beberapa penelitian seperti pada [11] dan [12] menggunakan pendekatan analisis balik dari proses longsoran yang terjadi, yang diasumsikan pada kondisi jenuh dan nilai paling rendah. Sementara pada [13] dan [14] digunakan data analisis sampel yang diambil dari data bor, menunjukkan kondisi material pada kedalaman tertentu yang lebih detail dan terukur.

Pada lokasi penelitian, dilakukan pengambilan sampel di lokasi sekitar *Sidewall Pit X* sebanyak 5 sampel dengan melakukan pengambilan sampel menggunakan *shelby tube* dimensi 3x24 inci. Sampel tersebut bertujuan sebagai data primer yang menunjukkan kondisi aktual dari litologi penyusun lereng yang telah terekspos lebih dari 5 tahun yang akan mempengaruhi kondisi kesegaran dari sampel tersebut dibandingkan saat eksplorasi awal.

Pengujian laboratorium *direct shear* dari sampel lapangan, kemudian dengan data pengeboran eksplorasi geoteknik, serta data analisis balik kondisi material. Data tersebut diambil pada lereng, area longsoran, dan timbunan material jalan. *Shelby tube* yang sudah berisi sampel kemudian ditutup dengan penutup cincin besi agar kondisi sampel yang diambil dalam kondisi segar, dan dikirimkan ke laboratorium untuk dianalisis. Pengujian laboratorium dilaksanakan dengan melakukan pengujian sifat fisik material dan *direct shear test* (Gambar 7), dengan menggunakan 5 sampel material lereng di sekitar *Sidewall Pit X*.



Gambar 7. Pengujian sampel dari lapangan menggunakan alat *direct shear*.

Sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan nilai *unit weight* serta kondisi butiran, ketahanan material, dan kondisi plastisitasnya. Nilai tersebut digunakan dalam melihat kondisi dari material dan melakukan klasifikasi dari masing-masing material dari penyusun lereng. Berdasarkan klasifikasi kondisi fisiknya, diketahui terdapat material “*clay*”, “*sand*”, “*siltstone*”, “*coal*”, serta material tak dapat terdiferensiasi yang diklasifikasikan sebagai “Timbunan Bekas Longsoran”, dan material timbunan jalan yang diklasifikasikan dari hasil analisis balik dari kondisi aktual lapangan menjadi “Material Timbunan *Back Analysis*”.

Sementara pada pengujian *direct shear test* dilakukan dengan membuat sampel seperti keping-keping dan kemudian diuji dengan menggeser sampel tersebut untuk mendapatkan nilai properti yang dilakukan, yaitu kohesi dan sudut geser dalam dari sampel tersebut. Adapun hasil analisis laboratorium dan analisis balik menghasilkan data properti di sekitar lokasi penelitian, dengan kompilasi dari data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Data tersebut kemudian dijadikan dasar properti material dalam analisis kestabilan lereng di area penelitian.

Tabel 1. Properti dari material di *Sidewall Pit X*.

Jenis Material	Warna	Berat Jenis (kN/m ³)	Strength Type	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)	Tekanan Pori (Hu)
Clay		15,79	Mohr-Coulomb	44,34	30,78	1
Sand		18,05	Mohr-Coulomb	64,09	15,22	1
Siltstone		19,27	Mohr-Coulomb	53	34	1
Coal		14,22	Mohr-Coulomb	105	21	1

Jenis Material	Warna	Berat Jenis (kN/m ³)	Strength Type	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)	Tekanan Pori (Hu)
Timbunan Bekas Longsoran		20	Mohr-Coulomb	15	25	1
Material Timbunan Back Analysis		21	Mohr-Coulomb	18	10	1

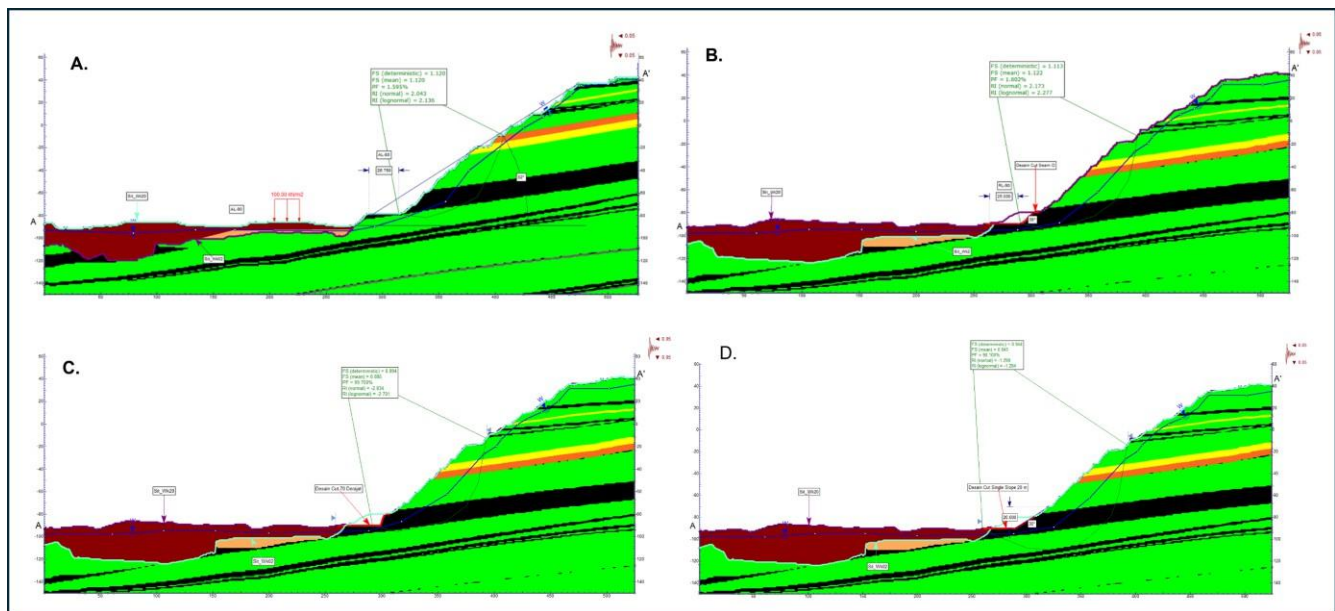
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Kestabilan Lereng Optimalisasi Seam O

Analisis dilakukan dengan beberapa kondisi, yaitu kondisi aktual, kondisi desain, kondisi kemiringan maksimal 70°, serta kondisi pemotongan lereng tanpa jenjang setinggi 20 m. Adapun analisis dilakukan dengan menggunakan Metode Bishop dan Metode Spencer, yang didasarkan kepada nilai analisis dihitung dengan

mempertimbangkan deformasi nilai kuat geser dari setiap *slice* pada bidang gelincir [15].

Hasil analisis *limit equilibrium* pada lereng di kondisi aktual dan kondisi desain yang diajukan menunjukkan nilai faktor keamanan yang masuk dalam kategori “Aman” atau diatas nilai 1,10. Sementara pada kondisi asumsi kemiringan maksimal 70° dan kondisi *single slope* hingga 20 m, didapatkan nilai faktor keamanan “Tidak Aman”. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Slide 7.0 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisis kestabilan lereng pada *Sidewall Pit x* dengan skenario: a. Kondisi awal, b. Kondisi desain, c. Kondisi kemiringan lereng maksimal 70°, dan d. kondisi *single slope* tinggi 20 m

Optimalisasi yang dilakukan pada *Sidewall Pit X* dilihat dari kondisi geoteknik akan lebih aman dengan menggunakan kondisi desain, yaitu penggalian sudut 350, tinggi lereng 10 m, serta memberikan *bench* selebar 5 m. Optimalisasi dengan membuat lereng menjadi semakin curam atau 70° tidak direkomendasikan karena nilai faktor keamanannya masuk dalam kategori “Tidak Aman”.

Lalu apabila dilakukan penggalian *single slope* 20 m masuk dalam faktor keamanan “kritis” yang sangat riskan untuk dilaksanakan. Dari data tersebut, maka kondisi desain masuk dalam kategori “aman” secara geoteknik dan dapat dilaksanakan optimalisasinya.

Tabel 2. Menunjukkan kumpulan data dari hasil analisis kestabilan lereng dari 4 kondisi yang telah

disimulasikan. Adapun data tersebut ditarik kondisi dinamik dengan nilai $g = 0,05$, nilai faktor keamanan, nilai

probabilitas longsoran (PoF), serta didapatkan nilai rata-rata dari masing-masing skenario kondisinya.

Tabel 2. Hasil analisis kestabilan lereng dari berbagai kondisi simulasi dengan metode perhitungan Bishop dan Spencer.

Simulasi	Metode Perhitungan	Faktor Keamanan		
		Kondisi Dinamis		
		Nilai keadaan gempa $g = 0,05$		
		FK Masing-masing	Nilai Probabilitas longsoran (PoF) (%)	Rata-rata
Kondisi Awal	Bishop	1,121	1,595	1,161
	Spencer	1,201	1,020	
Desain	Bishop	1,113	1,602	1,111
	Spencer	1,108	0,890	
Kemiringan maksimal 70°	Bishop	0,894	99,700	0.961
	Spencer	1,027	36,472	
Single slope 20 m	Bishop	0,944	90,100	1,026
	Spencer	1,107	1,564	

Pada masing-masing simulasi, terlihat bahwa kontrol dari geometri yang terjal mempengaruhi proses pembentukan dan kestabilan lereng. Hal tersebut juga ditunjukkan pada [3] yang menunjukkan perubahan geometri menjadi lebih landai akan membuat lereng menjadi stabil, [10] yang menyatakan kontrol geometri sangat berpengaruh dalam kestabilan suatu lereng, serta [16] yang menunjukkan pada kondisi model geometri yang tidak optimal akan menghasilkan penurunan nilai faktor keamanan yang signifikan.

Sementara adanya pengurangan nilai properti material penyusun lereng cukup mempengaruhi kestabilan lereng, meski tidak sebesar geometri dari lereng di *sidewall*. Faktor ini juga terbaca oleh [12] yang menjelaskan bahwa reduksi dari properti mempengaruhi kestabilan lereng yang secara awalan kokoh, serta dijabarkan pada [7] bahwa adanya reduksi sebesar 91% dari nilai kohesi dan 29% pada sudut geser dalam berdampak pada penurunan kestabilan lereng yang pada awalnya masih diatas 1,3 menjadi jatuh dibawah 1,0.

Lalu faktor perubahan tekanan pori di lokasi penelitian belum menunjukkan dampak yang signifikan. Hal tersebut disebabkan arah aliran air yang masih dikontrol kearah barat dan sedikitnya rembesan pada sisi *sidewall*, sementara di sisi *lowwall* ditemukan banyak sekali rembesan mata air pada masing-masing *bench* lereng. Kondisi tersebut diduga menjadi penyebab adanya longsoran besar di sisi timur dari *sidewall* yang mengalami kontrol muka airtanah yang fluktuatif. Faktor perubahan

muka airtanah ditemukan pada [8] yang menjelaskan bahwa kontrol kejenuhan dari lereng berperan dalam menurunkan nilai dari faktor keamanan suatu lereng.

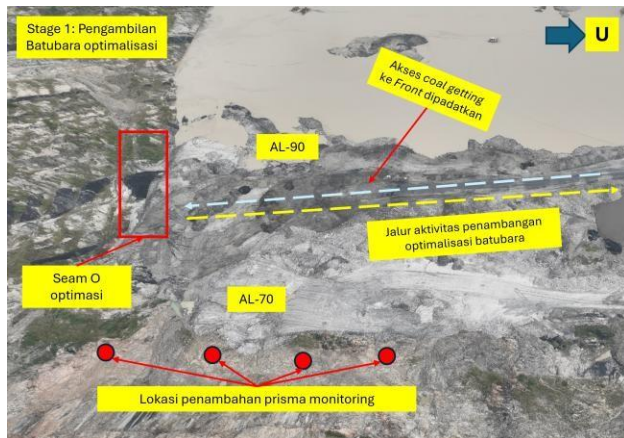
3.2 Staging Plan Optimalisasi

Rencana penambangan pada optimalisasi *Seam O* yang menggunakan kondisi desain (*single slope* 10 m, kemiringan lereng 35°, dan volume batubara terambil 9.427 MT), sehingga dapat dilakukan perencanaan dalam aktivitas pengambilannya. Rencana pengambilan ini dibuat dengan mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu: kondisi akses keluar masuk unit alat pengangkut material sebesar 100 Ton (HD sekelas Komatsu 777), kondisi jalan kering, posisi deformasi lereng di area bekas longsoran di *lowwall*, material yang diangkut, serta jalur evakuasi jika terjadi longsoran atau amblesan pada timbunan akses jalan. Adapun rencana penambang ini dapat dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu *Stage 1* dan *Stage 2*.

3.2.1 Stage 1

Pada tahapan ini, kegiatan dilakukan dengan memastikan timbunan jalan akses menuju *Sidewall Pit X* dalam kondisi aman. Tahapan ini juga dilakukan pemasangan prisma *monitoring* untuk mengukur deformasi yang terjadi di sekitar area akses jalan dan lereng yang dioptimalisasi. Tahapan yang dilakukan pada *Stage 1* adalah sebagai berikut (Gambar 9):

- (1) Pada AL-90 dilakukan pemadatan pada jalan akses menuju sisi *Sidewall*, dengan mempertimbangkan kondisi cuaca sekitar lokasi.
- (2) Kegiatan *coal getting* dilakukan dengan melakukan pengupasan *overburden* sebanyak 10.475 BCM terlebih dahulu, dan diangkut ke disposal yang telah ditentukan pada kondisi cuaca cerah, melalui jalan *dump truck* kosong.
- (3) Pemasangan 3 prisma *monitoring* di sisi timur jalan atau pada AL-70 untuk memantau aktivitas di sekitar area optimalisasi.



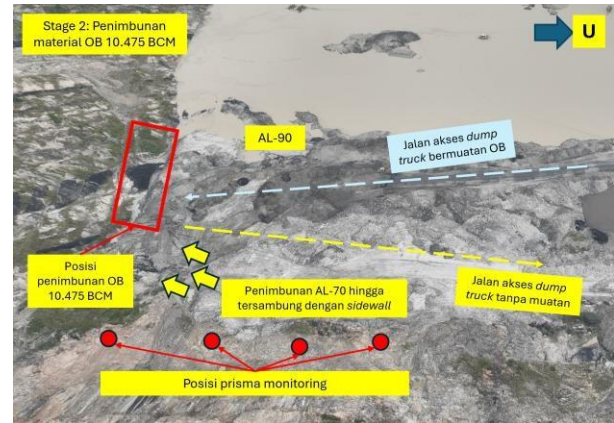
Gambar 9. Alur kegiatan Stage 1 pada optimalisasi batubara Seam O di Sidewall Pit X.

3.2.2 Stage 2

Tahapan selanjutnya dilakukan dengan mengambil batubara sebesar 9.427 MT pada sisi *Sidewall* Pit X dengan memastikan area sekitar aktivitas aman. Prisma *monitoring* yang dipasang pada AL-70 perlu dipastikan untuk tidak mengalami deformasi signifikan yang menandakan terjadinya deformasi. Adapun pada tahapan ini dapat dilaksanakan sebagai berikut (Gambar 10):

- (1) Setelah lapisan *overburden* sebesar 10.475 BCM diambil, lalu dilanjutkan dengan pengambilan batubara dengan jumlah 9.427 MT Seam O.
- (2) Unit pengangkut batubara melewati akses yang telah dibuat pada AL-90, yang sudah dalam kondisi aman untuk dilalui.
- (3) Setelah batubara diambil, dilanjutkan dengan penimbunan material *overburden* dari lokasi *front* lainnya dimulai dari AL-70 dan diarahkan ke sisi selatan menuju AL-90, dengan tujuan untuk menjaga lereng tetap aman dari potensi deformasi

- (4) Selama proses penimbunan, setiap personel di lapangan harus memastikan prisma *monitoring* tidak melewati *threshold* yang ada, melakukan penimbunan tidak melebihi batas acuan yang telah dipasang, dan memastikan tidak adanya *crack* baik pada timbunan AL-70, AL-90, maupun akses jalan dari dan ke lokasi.
- (5) Apabila terjadi hujan, maka semua kegiatan dihentikan dan tidak boleh ada unit yang parkir di sekitar area.



Gambar 10. Alur kegiatan Stage 2 pada optimalisasi batubara Seam O di Sidewall Pit X dengan fokus penimbunan di sisi Sidewall Pit X.

4 Kesimpulan

Berdasarkan desain yang diajukan dan analisis geoteknik pada lereng yang akan di optimalisasi, maka penggalian dapat dilaksanakan dengan nilai faktor keamanan 1,111 dan masih masuk dalam *threshold* kestabilan lereng. Adapun langkah kerja optimalisasi adalah dengan membagi menjadi 2 tahapan, yaitu pengambilan batubara dan lapisan *overburden* beserta pemasangan prisma *monitoring* lereng, kemudian melakukan penimbunan dari sisi timur AL-70 ke sisi selatan untuk menahan beban lereng agar tidak mengalami kelongsoran.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada optimalisasi penambangan batubara pada area kritis, kajian geoteknik yang dilakukan dengan data aktual terambil di lapangan serta pemantauan lereng secara aktual dapat memberikan tingkat kepercayaan lebih baik. Hal ini dapat menjadi pertimbangan dalam melakukan optimalisasi penambangan agar selalu melakukan kajian geoteknik yang didukung data dan monitoring di sekitar lokasi,

sehingga aspek ekonomi dan keselamatan pertambangan dapat dipenuhi secara maksimal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Heriyanto Panggabean, Indra, dan tim Geoteknik PT. BRE yang telah membantu dalam penelitian seperti pengambilan data, diskusi, dan analisis data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Departemen *Technical Service and Planning* dan Departemen *Mining Operation* yang telah membantu dalam diskusi, rekomendasi, serta eksekusi pelaksanaan di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] G. M. Simangunsong., S. H. Prassettyo, dan R. S. Pinem, “Relationship between blasting operation and slope stability: a case study at Borneo Indo Bara open pit coal mine”, *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, pp. 1–21, 2024.
- [2] S. Saptono, M. R. Yulianto, V. Vergiagara, dan H. Sofyan, “Rock Mass Rating and Geological Strength Index of Rock”, *Seminar Nasional Informatika 2020*, pp. 415–426, 2021.
- [3] V. Parissing, S. Hariyadi, S. Saptono, dan B. Dwinagara, “Evaluasi Analisis Geoteknik Pada Tambang Terbuka Batubara Pit North West Pt Anak Tambang Indonesia Job Site PT. Adimitra Baratama Nusantara, Kalimantan Timur”, *Indonesian Mining Professionals Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 7–14, 2024.
- [4] Y. C. Firmansyah, D. Y. Syaumi, dan L. Hakim, “Analisis Resiko Keruntuhan Lereng Menggunakan Discontinuity Mapping-Remote Sensing Dan Analisis Kinematik Di Pit C2Hs, Sambarata Mine Operation, PT Berau Coal”, *Indonesian Mining Professionals Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 135–144, 2022.
- [5] A. G. U. Dasa, A. P. Nugraha, dan M. O. Anriansyah, “Optimalisasi Disposal Opd Lowwall Pada Zona Rawa Sangat Lunak Dan Jenuh Air Berdasarkan Rekomendasi Geoteknik, PT. Barasentosa Lestari, Sinarmas Mining”, *Indonesian Mining Professionals Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 49–60, 2024.
- [6] R. Heryanto dan P. Sanyoto, “*Peta Geologi Lembar Amuntai, Kalimantan*”, Bandung: Pusat Sumberdaya Geologi, 1994.
- [7] A. Yanottama, M. F. Seprizal, J. Wiratama, Z. Navtalia, dan L. Lestari, “Analisis Balik Kestabilan Lereng Sidewall Pit Pandu PT. Putra Muba Coal Kabupaten Musi Banyuasin”, *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 4, no. 2, pp. 283–296, 2024.
- [8] P. D. Rumsowek dan I. Birawaputra, “Analisis Kestabilan Lereng Penambangan Nikel Pada PT. Gag Nikel Dengan Menggunakan Metode Bishop”, *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, vol. 2, no. 2, pp. 147–154, 2022.
- [9] L. W. Abramson, T. S. Lee, S. Sharma, dan G. M. Boyce, “*Slope Stability and Stabilization Methods (2nd ed.)*”, New York: John Wiley and Sons, 2002.
- [10] L. Fianti, M. Munirwansyah, dan H. Yunita, “Analisis Bentuk Geometri Terhadap Stabilitas Lereng Pada Tambang Terbuka Dari Aspek Geoteknik”, *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, vol. 3, no. 2, pp. 166–176, 2020.
- [11] D. M. Rezky, A. R. Khomeini, dan K. F. Balyani, “Geotechnical Analysis in the Case of Recovery Failure of West Out Pit Dump PT. Mifa Bersaudara”, *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 126–133, 2025.
- [12] M. A. Nugroho, Supandi, dan B. P. Putra, “Analisis Kestabilan Lereng Highwall Seam C Pada Area Pit B Tambang Batubara PT. Mifa Bersaudara Kabupaten Aceh Barat, Provinsi Aceh”, *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XVIII 2023*, pp. 340–346, 2023.
- [13] R. P. Munirwan, D. Sundary, Munirwansyah, B. Chairullah, dan R. P. Jaya, “Geoengineering Characteristics of Site Soil Profile Analysis using Cone Penetration Tests Data”, *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 38–42, 2025.
- [14] L. H. Maulana, dan J. D. Fajar, “Kajian Geoteknik Untuk Optimalisasi Desain Tambang Batubara Menggunakan Limit Equilibrium Method”, *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, vol. 1, no. 1, pp. 499–514, 2020.
- [15] A. Melodi, E. Ibrahim, S. dan Komar, “Desain Geometri Lereng Optimal Pada Rencana Penggalian Ulang Material Timbunan Berdasarkan Parameter Geoteknik Melalui Pendekatan Tingkat Pemadatan Timbunan”, *Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 7, no. 4, pp. 2277–2290, 2025.
- [16] M. Z. Arief, N. P. Widodo, S. dan S. H. Prassettyo, “Studi Pengaruh Geometri Lereng pada Analisis Kemantapan Lereng 2D dan 3D dengan Metode Kesetimbangan Batas”, *Indonesian Mining Professional Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 51–56, 2020.