JURNAL
GEOSAINS DAN TEKNOLOGI
Volume 9 Nomer 2, Oktober 2026

Restorasi *Working Geometry* dan Penanganan *Soft Soil* dalam Perencanaan Jalan *Low-Wall Pit* DP *Middle* PT Dizamatra Powerindo: Integrasi Geometri Jalan, Daya Dukung Tanah, dan Stabilitas Lereng

Muhammad Tio[1], Harizona Aulia Rahman[2*], Bambang Heriyadi[1], Ichsan Innvanni Baharuddin[2], Roro Rasi Putra[3]

[1]Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia
[2]Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia
[3]PT Dizamatra Powerindo, Indonesia

Abstrak

PT Dizamatra Powerindo menghadapi kendala kritis dalam pencapaian target produksi batubara sebesar 378.000 ton di Pit DP Middle akibat hambatan geometri penambangan. Jalan eksisting di sisi *high-wall* membatasi penggalian hingga elevasi RL+60, padahal desain awal menargetkan RL+30. Solusi pembangunan jalan alternatif di sisi *low-wall* terkendala keberadaan material *soft soil* bekas jalur aliran sungai (*creek*), yang berisiko menyebabkan penurunan tanah, kerusakan struktur jalan, dan ketidakstabilan lereng. Penelitian ini bertujuan merancang konstruksi jalan *low-wall* yang memenuhi aspek keamanan, efisiensi operasional, dan standar geoteknik. Pendekatan yang digunakan meliputi: (1) analisis geometri jalan berbasis spesifikasi alat angkut Komatsu HD 785-7, (2) pengujian daya dukung tanah in-situ menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), (3) simulasi stabilitas lereng dengan *software Slide* 6.0, dan (4) desain teknis tiga dimensi menggunakan *Minescape* 5.7 untuk optimasi volume *cut-fill*. Hasilnya, diperoleh desain jalan sepanjang 751 m dengan lebar 30 m, *grade* 7,72%, *superelevasi* 1 m, dan *bundwall* setinggi 2 m. Pengangkatan material *soft soil* secara signifikan meningkatkan faktor keamanan lereng dari 1,282 menjadi 1,448 pada elvasi RL+75. Material *surfacing* yang digunakan berasal dari *disposal* DP *South* dengan nilai CBR 38,5%, melebihi syarat minimum 36,68%. Konstruksi direncanakan selesai dalam waktu 37 hari melalui empat tahap utama. Solusi ini berhasil memulihkan geometri kerja yang terhambat dan memastikan keberlanjutan operasional dalam pencapaian target produksi.

Kata kunci: jalan tambang; *soft soil*; stabilitas lereng; daya dukung tanah; perencanaan geometri

Abstract

PT Dizamatra Powerindo faces critical challenges in achieving its coal production target of 378,000 tons at Pit DP Middle due to mining geometry constraints. An existing high-wall road obstructs excavation to the planned RL+30 elevation, forcing operations to halt at RL+60. The proposed alternative access via the low-wall is hindered by soft soil from former creek channels, posing risks of ground settlement, road deformation, and slope instability. This study aims to design a low-wall mine road that integrates safety, operational efficiency, and geotechnical compliance. The methodology involves: (1) geometric road design based on Komatsu HD 785-7 haul truck specifications, (2) in-situ soil bearing capacity testing using the Dynamic Cone Penetrometer (DCP), (3) slope stability simulation using Slide 6.0 software, and (4) 3D road design with Minescape 5.7 for cut-fill optimization. The resulting design comprises a 751-m-long road with a width of 30 m, 7.72% grade, 1-m superelevation, and 2-m bundwalls. Soft soil removal significantly improves the slope safety factor from 1.282 to 1.448 at RL+75. Surfacing material sourced from the DP South disposal site, with a CBR of 38.5%, exceeds the minimum requirement of 36.68%. Construction is scheduled for completion within

[*] Korespondensi : harizonarahman@ft.unp.ac.id
Diajukan : 4 Juli 2025
Diterima : 9 Januari 2026
Diterbitkan : 30 Oktober 2026
DOI: 10.14710/jgt.9.2.168-176

37 days, divided into four main phases. This solution successfully restores the working geometry and ensures operational continuity toward achieving production targets.

Keywords: *mine road design; soft soil; slope stability; soil bearing capacity; geometric planning.*

PENDAHULUAN

PT Dizamatra Powerindo, sebagai perusahaan pertambangan batubara di bawah naungan Priamanaya Group, beroperasi di Desa Kebur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan (Gambar 1), dengan Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) seluas ±971 hektar sejak tahun 2010. Dalam upaya mencapai target produksi batubara sebesar 378.000 ton dan pengupasan *overburden* 2.872.800 bcm pada tahun 2025 di Pit DP Middle, perusahaan menghadapi kendala teknis signifikan terkait desain *working geometry*. Keberadaan jalan eksisting di sisi *high-wall* membatasi penggalian batubara hanya hingga elevasi RL+60, padahal target desain mencapai RL+30. Restriksi ini mengancam pencapaian target produksi tahun 2025 secara keseluruhan.

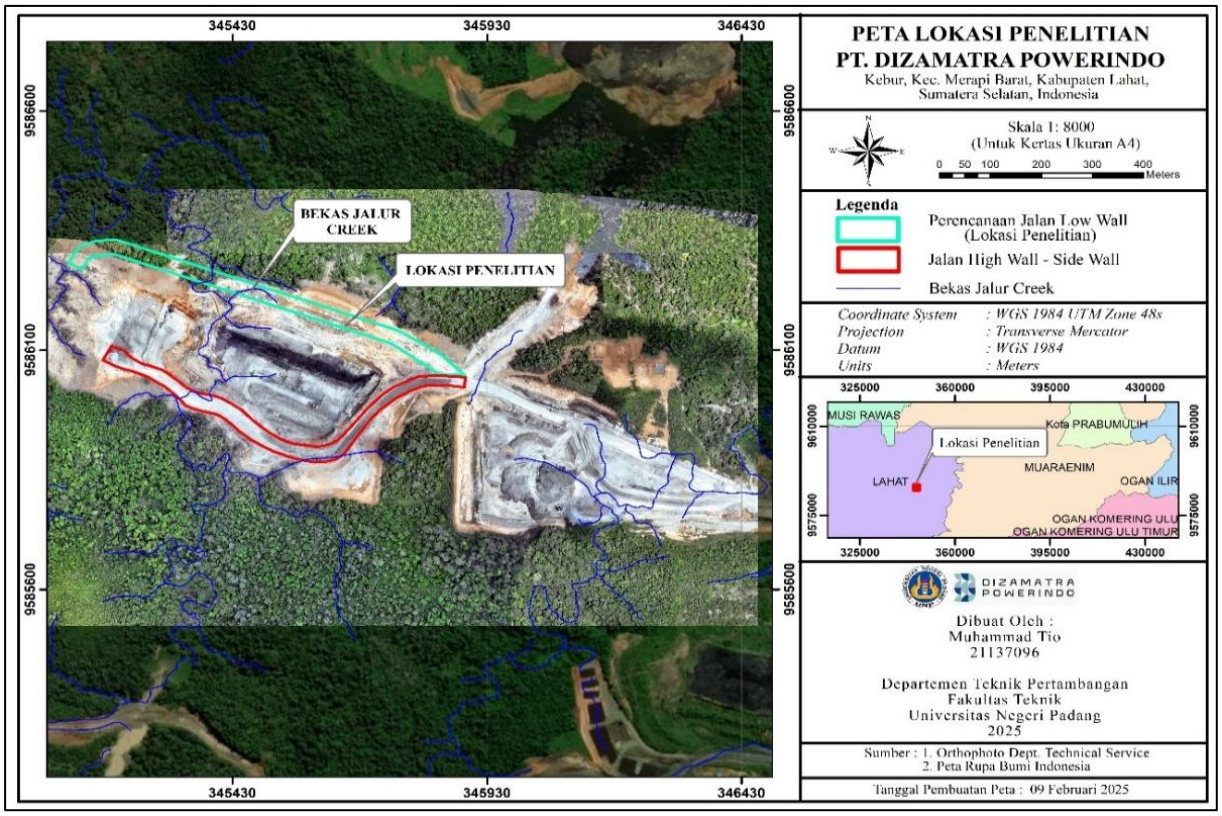
Sebagai solusi, pengalihan akses jalan menuju sisi *low-wall* dipilih karena tidak mengganggu urutan penambangan (*sequence*) dan desain *Life of Mine* (LOM), serta berada pada lahan bebas operasi. Namun, implementasi solusi ini dihadapkan pada kompleksitas geoteknik, terutama keberadaan material lunak (*soft soil*) yang merupakan bekas jalur aliran sungai (*creek*). Material ini memiliki tingkat konsolidasi tinggi (Terzaghi et al., 1996), daya dukung rendah (Das, 2016), dan berisiko mengalami penurunan tanah (*settlement*) serta deformasi struktural jalan seperti *rutting*, *potholes*, dan permukaan bergelombang (Thompson et al., 2019). Selain itu, klasifikasi batuan di area ini termasuk dalam kategori *extremely–very weak rock* (Wesley, 1973), yang menyulitkan pencapaian pemadatan optimal.

Apabila tidak ditangani secara tepat, kondisi tersebut dapat menyebabkan deformasi struktural, gangguan keselamatan operasi alat angkut, serta penurunan produktivitas dan peningkatan risiko kecelakaan kerja (Hartman & Mutmansky, 2002). Oleh karena itu, studi ini merancang jalan *low-wall* melalui pendekatan integratif yang mempertimbangkan spesifikasi geometri jalan (lebar, *crossfall*, *grade*, *superelevasi*, *bundwall*) sesuai dimensi alat angkut, karakteristik daya dukung tanah, serta stabilitas lereng dan efisiensi konstruksi dalam kondisi material lunak. Tujuan akhirnya adalah menghasilkan desain jalan tambang yang memenuhi standar stabilitas geoteknik, mendukung kelancaran operasional, dan menjamin pencapaian target produksi 2025.

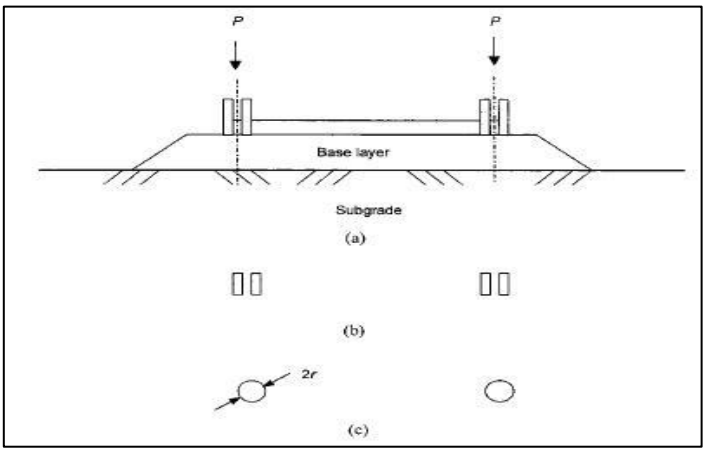
METODOLOGI

Metodologi penelitian ini mencakup empat pendekatan utama, yaitu analisis geometri jalan tambang, evaluasi daya dukung tanah, simulasi kestabilan lereng, dan pemodelan 3D. Desain geometri jalan mengacu pada spesifikasi alat Komatsu HD 785-7 serta standar AASHTO (1993), Suwandhi (2004), dan Kepmen ESDM No. 1827K/30/MEM/2018, dengan parameter utama seperti lebar jalan minimum (3,5 × lebar alat), *grade* maksimum 8%, *superelevasi* $v^2/(127\times R)$, *crossfall* 20mm/m, dan *bundwall* setinggi ¾ × diameter roda. Evaluasi daya dukung dilakukan dengan uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) secara *in-situ* dan konversi nilai penetrasi ke CBR menggunakan rumus $CBR = 2.8135 - 1.313\text{Log}_{10}(DCP)$ (Giroud & Han, 2004a).

Kebutuhan daya dukung untuk material subgrade adalah minimal CBR 36,68% (Benmebarek et al., 2016), dengan beban roda alat 35 ton dan tekanan ban 550 kPa (Gambar 2). Simulasi kestabilan lereng menggunakan *Slide 6.0* dengan pendekatan metode *Morgenstern Price*, memperhitungkan kondisi eksisting, pasca-pengangkatan *soft soil*, dan pasca-perkuatan lereng, dengan parameter geoteknik seperti kohesi dan sudut geser yang diperoleh dari data lapangan dan laboratorium. Standar minimum faktor keamanan yang digunakan adalah 1,3 dan model juga memperhitungkan pengaruh air tanah serta getaran operasional (Putra, 2024). Pemodelan 3D dilakukan dengan *Minescape 5.7* melalui impor data topografi, desain jalur jalan dengan batasan *grade* maksimum 8% dan radius tikungan minimum 19,82 m, serta analisis volume *cut-fill* menggunakan algoritma *grid-based*. Jadwal konstruksi ditentukan berdasarkan produktivitas ekskavator 350 bcm/jam dan kapasitas angkut 5 rit/jam. Model ini divalidasi dengan integrasi desain terhadap urutan penambangan (*sequence mining*). Jalan *low-wall* didesain sepanjang 751 m



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Idealisasi Penyaliran Beban Roda ke *Lapisan Base Coarse* (Benmebarek dkk, 2016).

dengan lebar efektif 30 m (termasuk 2 m *bundwall* dan area perawatan). *Grade* jalan maksimum adalah 7,72% dengan *superelevasi* 1 m dan *crossfall* 0,25 m. Parameter ini sesuai spesifikasi HD 785-7 dan standar keselamatan operasional.

HASIL

Perencanaan Geometri Jalan dan Daya Dukung Jalan

Perhitungan geometri jalan tambang didasarkan pada alat angkut utama yang digunakan yaitu Komatsu HD 785-7. Berdasarkan analisis spesifikasi alat angkut utama Komatsu HD 785-7 dan standar industri (AASHTO, 1993; Kepmen ESDM 1827K/2018) parameter kunci yang dihitung meliputi: lebar jalan lurus dan tikungan yang ideal, superelevasi, *grade*, *crossfall*, serta *bundwall* diperoleh parameter geometri jalan optimal dapat dilihat pada Tabel 1. Evaluasi daya dukung *subgrade* dilakukan melalui uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) di lapangan, kemudian dikonversi ke nilai CBR menggunakan pendekatan empiris (Giroud & Han, 2004a), yang

menghasilkan nilai ambang batas sebesar 36,68% (Benmebarek et al., 2016), mengindikasikan bahwa *subgrade* cukup stabil untuk menopang beban gandar alat berat Komatsu HD 785-7 yang mencapai 35 ton.

Pengelolaan Material *Soft Soil*

Berdasarkan hasil analisis didapatkan pengelolaan penanggulangan material *soft soil* bisa dilakukan dengan cara menghilangkan atau *removal* terlebih dahulu sehingga tinggi maksimal timbunan tidak terbatas. Tabel 2 menunjukkan perbandingan rekayasa tinggi timbunan sebelum dan sesudah *soft soil removal*. Intervensi *removal soft soil* memberikan peningkatan signifikan pada kapasitas timbunan. Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan *Removal soft soil* menghilangkan risiko *settlement* dan deformasi jalan dan memungkinkan pembangunan jalan hingga elevasi RL+328,82.

Analisis Kestabilan Lereng Jalan

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng pada timbunan sebelum dan setelah dihilangkan *soft soil* tiap tinggi timbunan 5 m didapatkan faktor keamanan yang berbeda. Tabel 3 menunjukkan perbandingan faktor keamanan lereng pada dua kondisi yang berbeda setiap tinggi timbunan per 5 m (Gambar 3-6). Simulasi dengan *Slide 6.0* (metode *Morgenstern Price*) menunjukkan peningkatan faktor keamanan (FK) setelah dilakukan intervensi.

Berdasarkan hasil perbandingan faktor keamanan lereng pada berbagai elevasi timbunan, direkomendasikan bahwa kondisi paling aman dan efisien dicapai pada elevasi RL+75 (lihat Gambar 5) setelah dilakukan pengangkatan material *soft soil* dikarenakan pada RL+65 dan RL+70 melewati batas *grade* yaitu 8%. Pada kondisi ini, nilai faktor keamanan mencapai 1,448 melebihi ambang batas standar pertambangan (FK >1,3) dengan *probability of failure* sebesar 0%.

Pemilihan RL+75 sebagai elevasi optimal juga mempertimbangkan efisiensi biaya konstruksi, karena penggalian pada elevasi ini lebih dangkal dibanding RL+80 (Gambar 6) namun tetap memenuhi kriteria kestabilan. Untuk mendukung kestabilan jangka panjang pada elevasi RL+75, tindakan mitigasi yang disarankan meliputi pemasangan *geogrid* pada zona transisi antara timbunan dan tanah asli, implementasi sistem drainase permukaan serta *sub-surface*, dan pemantauan deformasi secara berkala setiap bulan.

Perencanaan *Surfacing* Jalan *Low-Wall*

Berdasarkan uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) di area *disposal*, diperoleh perbandingan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian DCP, nilai CBR pada *disposal* Pit DP Middle hanya mencapai 22,17%, yang berada di bawah ambang batas minimum daya dukung jalan *low-wall* sebesar 36,68%. Kondisi ini berpotensi menimbulkan deformasi permukaan (*rutting*) dan penurunan daya dukung di bawah beban alat berat Komatsu HD 785-7.

Tabel 1. Parameter Geometri Jalan Ideal

Parameter	Nilai Standar Komatsu HD 785-7	Satuan
Lebar Jalan Lurus	25	meter
Lebar Tikungan	25	meter
Superelevasi	1	meter
Grade Jalan	<8	persen
Crossfall	0,25	meter
Bundwall	2	meter

Tabel 2. Perbandingan Tinggi Timbunan Sebelum dan Setelah *Remove Soft Soil*

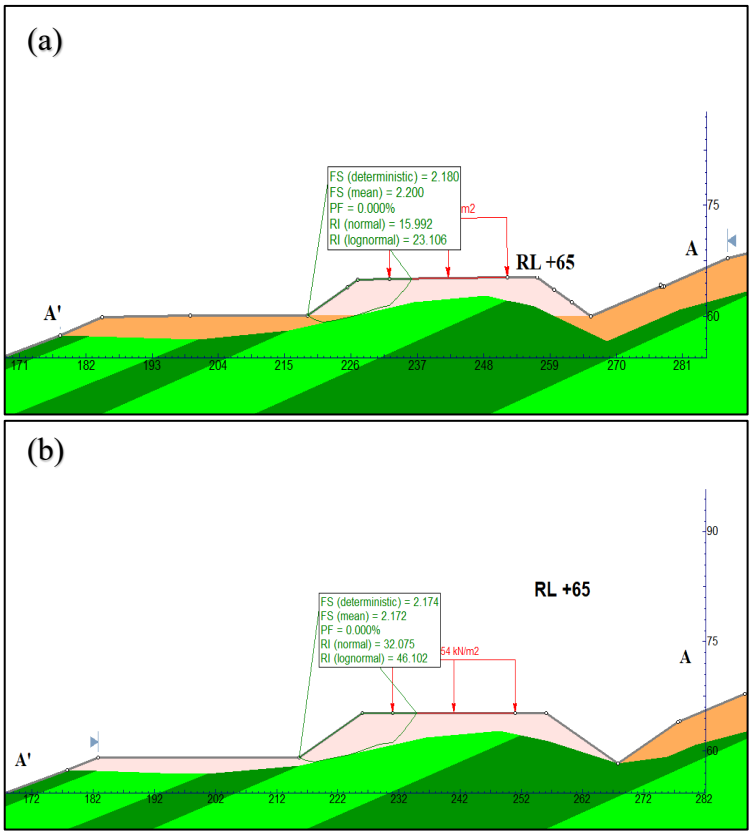
Aktivitas	Maksimal Tinggi Timbunan (m)
Sebelum *Remove Soft Soil*	12,15
Setelah *Remove Soft Soil*	328,82

Tabel 3. Perbandingan Kestabilan Lereng Jalan Berdasarkan Kondisi

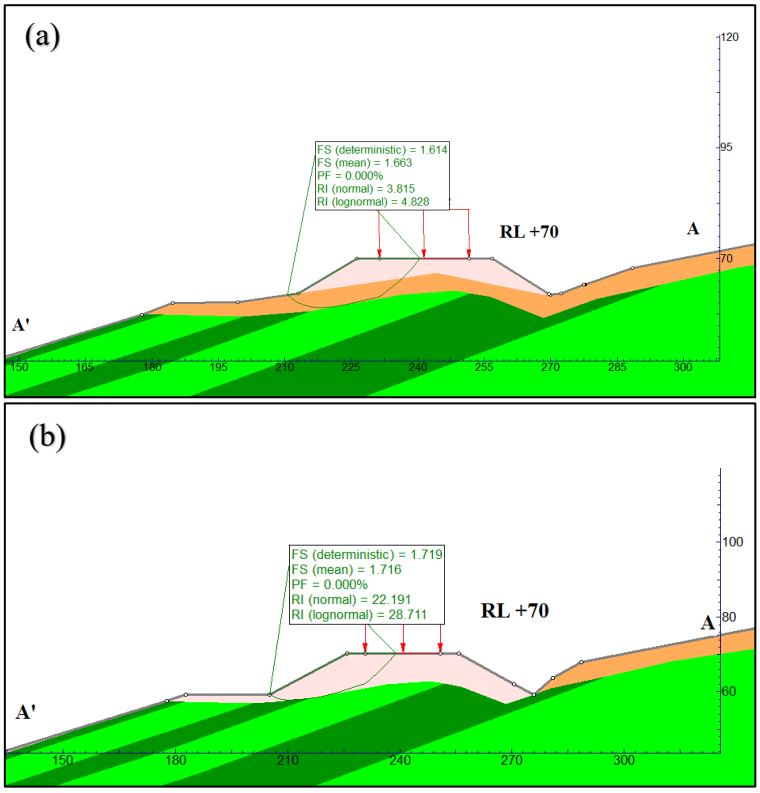
Kondisi	Ketinggian Timbunan	Nilai FK	*Probability of Failure*
Sebelum *Remove Soft Soil*	RL +65	2,2	0%
	RL +70	1,663	0%
	RL +75	1,282	0%
	RL +80	1,185	2%
Setelah *Remove Soft Soil*	RL +65	2,172	0%
	RL +70	1,716	0%
	RL +75	1,448	0%
	RL +80	1,366	0%

Tabel 4. Perbandingan Nilai CBR pada *Disposal* DP *Middle* dan DP *South*

Lokasi *Disposal*	Nilai *California Bearing Ratio* (CBR)
Pit DP Middle	22,17%
Pit DP South	38,5%



Gambar 3. (a) Analisis Lereng Jalan Sebelum *Remove Soft Soil* RL+65 (b) Analisis Lereng Jalan Setelah *Remove Soft Soil* RL+65.



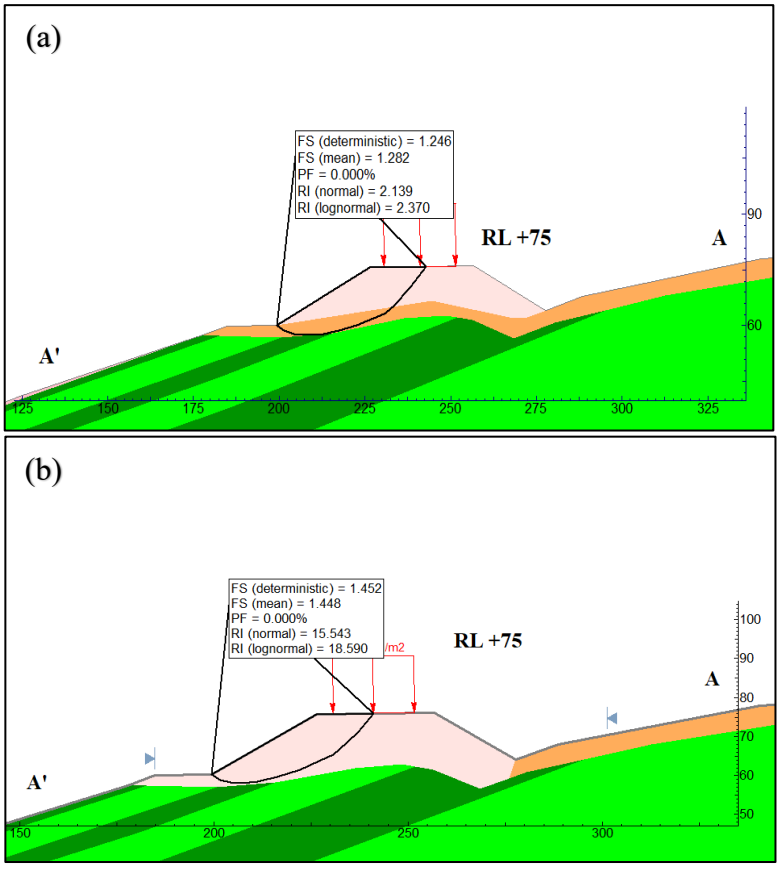
Gambar 4. (a) Analisis Lereng Jalan Sebelum *Remove Soft Soil* RL+70 (b) Analisis Lereng Jalan Setelah *Remove Soft Soil* RL+70.

Sebaliknya, material dari Pit DP South menunjukkan nilai CBR sebesar 38,5%, yang memenuhi dan melampaui standar minimum, serta memiliki faktor keamanan sebesar 1,3 terhadap tekanan roda 550 kPa. Oleh karena itu, material dari Pit DP South direkomendasikan untuk digunakan sebagai lapisan *surfacing* jalan. Strategi implementasi mencakup pengambilan material secara selektif dari Pit DP South, penyusunan lapisan *surfacing* setebal 1 m, serta pemadatan hingga mencapai 95% dari *Modified Proctor* untuk menjamin kekuatan struktural dan kestabilan jangka panjang jalan tambang.

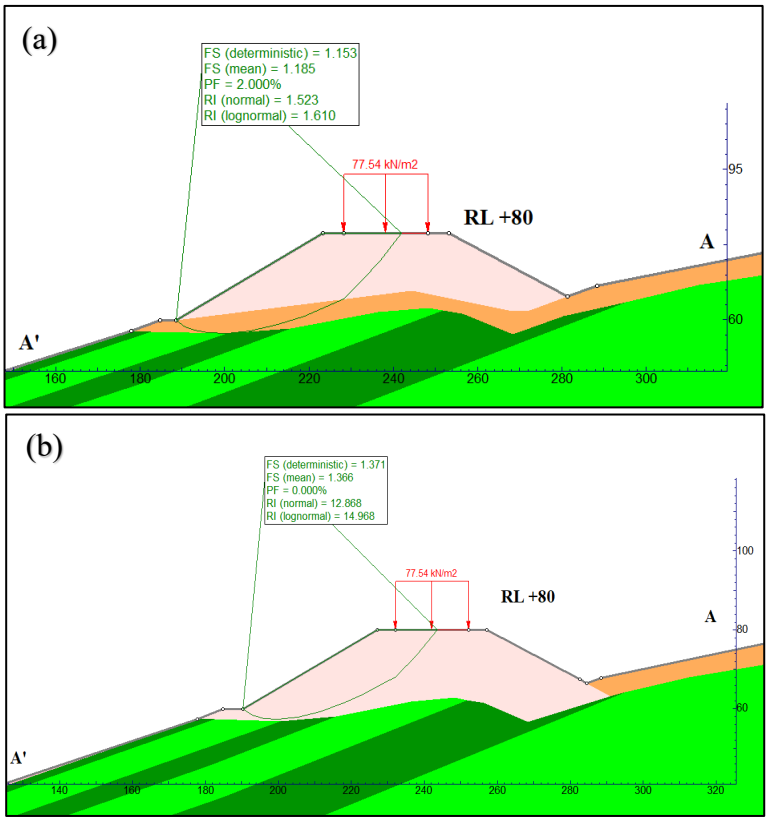
Desain Akhir dan Jadwal Konstruksi Jalan Low-Wall

Desain perencanaan konstruksi jalan *low-wall* di Pit DP Middle mempertimbangkan kebutuhan operasional alat berat dan keamanan geometrik, dengan lebar jalan total 30 m yang mencakup jalur utama, area pemeliharaan, dan *bundwall* selebar 2 m sebagai pelindung tepi. Jalan dirancang sepanjang 751 m dengan elevasi berkisar antara RL+58 hingga RL+89,86, menghasilkan *grade* rata-rata 7,72%. Desain ini menggunakan sudut kemiringan lereng (*bench face angle*) sebesar 30°, serta menghasilkan volume galian (*cut*) sebesar 21.232,77 BCM dan volume timbunan (*fill*) sebesar 134.990,16 BCM. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5 berdasarkan perhitungan dari model *Minescape 5.7* (dapat dilihat pada Gambar 7).

Konstruksi direncanakan selesai dalam waktu 37 hari, terdiri atas empat tahap utama: *land* clearing selama 2 hari dengan menggunakan *bulldozer* 85; pengangkatan *soft soil* selama 5 hari menggunakan *excavator* PC850; penimbunan dan pemadatan selama 20 hari dengan PC1250 dan *Compactor*; serta pengerasan permukaan (*surfacing*) selama 10 hari menggunakan *vibratory roller*. Material untuk *surfacing* diambil dari disposal Pit DP South yang telah terbukti memenuhi spesifikasi daya dukung dan stabilitas. Desain ini tidak hanya menjawab tantangan medan, tetapi juga memastikan integrasi konstruksi dengan efisiensi sumber daya dan urutan kerja penambangan.



Gambar 5. (a) Analisis Lereng Jalan Sebelum *Remove Soft Soil* RL+75 (b) Analisis Lereng Jalan Setelah *Remove Soft Soil* RL+75



Gambar 6. (a) Analisis Lereng Jalan Sebelum *Remove Soft Soil* RL+80 (b) Analisis Lereng Jalan Setelah *Remove Soft Soil* RL+80.

Tabel 5. Parameter Desain Utama

Parameter	Nilai	Satuan
Lebar Jalan	30	meter
Panjang Jalan	751	meter
Elevasi Terendah (RL)	+58	-
Elevasi Tertinggi (RL)	+89.86	-
Grade Rata-rata	7.72	%
Bench Face Angle	30	°
Volume Galian (*Cut*)	21,232.77	BCM
Volume Timbunan (*Fill*)	134,990.16	BCM

PEMBAHASAN

Perencanaan geometri jalan tambang yang disesuaikan dengan spesifikasi alat Komatsu HD 785-7 menghasilkan parameter teknis optimal, termasuk lebar jalan 25 m untuk menjamin kelancaran dua arah alat berat, superelevasi 1 m berdasarkan kecepatan operasional 25 km/jam dan radius tikungan 19,82 m, serta *grade* maksimum 8% untuk menjaga *rolling resistance* di bawah 200 kg/ton (Rifai, 2021). Nilai CBR minimal 36,68% dari hasil uji DCP memastikan kemampuan jalan menahan beban gandar hingga 55,855 ton dengan tekanan ban 760 kPa, dan membatasi risiko deformasi (*rutting*) di bawah 2,5 cm (Giroud & Han, 2004a; Giroud & Han, 2004b).

Penanganan *soft soil* melalui metode pengangkatan (*removal*) menghasilkan peningkatan kapasitas timbunan sebesar 2.606%, dari 12,15 m menjadi 328,82 m. Hal ini dicapai dengan menghilangkan lapisan lempung organik berkonsolidasi tinggi (cu = 50,65 kPa), yang berpotensi menyebabkan konsolidasi sekunder berkepanjangan (Terzaghi et al., 1996), serta menggantinya dengan lapisan dasar *claystone* (cu = 1.370,58 kPa) yang jauh lebih stabil. Secara ekonomis, pendekatan ini memiliki rasio manfaat-biaya (BCR) lebih tinggi dibandingkan metode stabilisasi menggunakan *geogrid* yang hanya mampu meningkatkan kapasitas timbunan sebesar 40–60% (Thompson et al., 2019).

Simulasi kestabilan lereng menggunakan metode *Morgenstern Price* dalam perangkat lunak *Slide 6.0* menunjukkan peningkatan faktor keamanan (FK) sebesar 12,9% pada elevasi RL+75, dari 1,282 menjadi 1,448 setelah pengangkatan *soft soil*. Nilai ini melampaui ambang batas Kepmen ESDM (>1,3), dengan pengurangan nilai *pore pressure ratio* (ru) sebagai kontributor utama peningkatan stabilitas

(Putra, 2024). FK 1,448 juga tetap aman terhadap beban dinamis sebesar 77,54 kN/m² dari alat berat



Gambar 7. Desain Jalan *Low-Wall*

yang beroperasi pada kecepatan 25-30 km/jam.

Pemilihan material *surfacing* dari disposal DP South dengan CBR 38,5% memberikan margin keamanan 4,9% terhadap ambang minimal 36,68%, sekaligus mengurangi risiko *rutting* hingga 83% dibandingkan material dari DP *Middle* (CBR 22,17%). Secara logistik dan ekonomi, penggunaan material ini lebih efisien dengan penghematan biaya angkut hingga 23%, mengingat jarak DP *South* hanya 3,2 km dibandingkan 15 km untuk sumber material eksternal. Karakteristik gradasi seragam (Cu = 4,2) juga ideal untuk mencapai kepadatan 95% menurut *Modified Proctor*.

Desain akhir jalan terintegrasi dengan sistem operasional tambang: lebar total 30 m mencakup *bundwall* 2 m kiri dan kanan serta margin perawatan 1 m, sementara *grade* 7,72% memungkinkan kecepatan alat optimal 25–30 km/jam. Rasio *cut-to-fill* sebesar 1:6,36 mengindikasikan efisiensi penanganan material. Implementasi konstruksi dijadwalkan selama 37 hari: *land clearing* dilakukan secara paralel dengan mobilisasi alat (2 hari), pengangkatan *soft soil* menggunakan *excavator* PC850 (5 hari), penimbunan dan pemadatan dengan PC1250 dan *Compactor* (20 hari), serta pelapisan *surfacing* dari material DP *South* (10 hari).

Solusi jalan *low-wall* ini berdampak langsung pada peningkatan produktivitas tambang, termasuk terbukanya akses penggalian hingga RL+30 yang sebelumnya terhambat pada RL+60, pengurangan waktu tunda operasional harian sebesar 70% (dari 45 menit menjadi 14 menit), serta tambahan produksi sebesar 95.000 ton dari zona RL+30 hingga RL+60. Temuan ini tidak hanya menguatkan teori Das (2016) mengenai *critical height of clay* dalam konteks tambang terbuka, tetapi juga memberikan kontribusi praktis berupa protokol teknis penanganan *soft soil* terintegrasi yang dapat diterapkan pada kondisi geologi serupa di wilayah Sumatera Selatan.

KESIMPULAN

Penelitian perencanaan konstruksi jalan *low-wall* di Pit DP Middle PT Dizamatra Powerindo membuktikan bahwa hambatan geometri penambangan dapat diatasi secara efektif melalui pembangunan jalan alternatif di sisi *low-wall* sepanjang 751 m dengan parameter teknis yang memenuhi standar operasional alat Komatsu HD

785-7 dan regulasi pertambangan (AASHTO, 1993; Kepmen ESDM 1827K/2018), termasuk lebar 30 m (dengan *bundwall* dan ruang *maintenance*), *grade* 7,72%, *superelevasi* 1 m, dan *crossfall* 0,25 m. Penanganan material *soft soil* bekas jalur *creek* melalui metode *removal* terbukti krusial, menghasilkan peningkatan kapasitas timbunan sebesar 2.606% dan peningkatan faktor keamanan lereng sebesar 12,9% di RL+75 (FK dari 1,282 menjadi 1,448), sekaligus mengeliminasi risiko *settlement* dan deformasi struktural jalan. Material *surfacing* dari *disposal* DP *South* dengan nilai CBR 38,5% dipilih karena memenuhi syarat daya dukung minimal (CBR 36,68%) dengan margin keamanan 4,9%, mengurangi risiko *rutting* hingga 83% dibanding DP *Middle*, serta menghemat biaya transportasi sebesar 23% dengan pemanfaatan sumber daya internal. Konstruksi jalan dirancang selesai dalam 37 hari melalui empat fase: *land clearing* (2 hari), pengangkatan *soft soil* (5 hari), penimbunan dan pemadatan (20 hari), serta pelapisan akhir menggunakan material dari DP *South* (10 hari). Solusi ini secara signifikan memulihkan akses penggalian hingga RL+30, mengurangi keterlambatan operasional harian sebesar 70%, dan membuka potensi tambahan produksi sebesar 95.000 ton batubara dari zona RL+30–RL+60. Temuan ini tidak hanya berkontribusi sebagai protokol teknis penanganan *soft soil* untuk tambang-tambang di Formasi Muara Enim, tetapi juga memperkuat aplikasi teori *critical height of clay* (Das, 2016) dalam konteks operasional pertambangan terbuka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Dizamatra Powerindo yang membantu pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Benmebarek, S., Remadna, M. S., & Belounar, L. (2016). Numerical modeling of reinforced unpaved roads by geogrid. *TOJSAT*, *3*(2), 109-116.

Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering* (8th ed.). Cengage Learning.

Giroud, J. P., & Han, J. (2004a). *Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. I: Development of design method. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130*(8), 775–786. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:8(775)

Giroud, J. P., & Han, J. (2004b). *Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. II: Calibration and applications. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130*(8), 787–797. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:8(787)

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory Mining Engineering* (2nd ed.). Wiley.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.

Putra, D., Hartami, P. N., Cokro, N. F., Tuheteru, E. J., Herdyanti, M. K., (2024). Analisis Geoteknik Metode RMR dan Q-System pada Bukaan Area Batching Plant Tambang Bawah Emas. *Jurnal GEOSAPTA*, 10(1). DOI: 10.20527/jg.v10i1.16918.

Rifai, I. (2021). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck pada Penambangan Batu Andesit PT. Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Disertasi. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

Suwandhi, A. (2004). *Perencanaan Jalan Tambang* (Diklat Perencanaan Tambang Terbuka). Universitas Islam Bandung.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). Wiley.

Thompson, R., Peroni, R., & Visser, A. T. (2019). *Mining Haul Roads: Theory and Practice*. Leiden: CRC Press/Balkema.

Wesley, L. D. (1973). *Geotechnical Properties of Two Volcanic Soils*. New Zealand Geotechnical Society.