



Analisis Kestabilan Lereng Penambangan Ex *Disposal* Cv Gudang Hitam Prima Kecamatan Sanga Sanga Kabupaten Kutai Kartanegara

Shalizam¹, Tommy Trides², Albertus Juvensius Pontus³, Revia Oktaviani⁴, Agus Winarno⁵

Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia

shalizam27@gmail.com

Abstrak:

Kegiatan penambangan terbuka tidak lepas dari lereng tambang. Lereng tambang tidak lepas dari faktor keamanan. Untuk menentukan faktor keamanan digunakan metode kesetimbangan batas yaitu *Morgenstern-Price* dengan simulasi *Monte-Carlo* dengan dua kondisi, yaitu statis dan dinamis. Dari 3 *section* yang telah di analisis didapatkan 2 *section* yang tidak aman, yaitu pada *section A-A'* dengan nilai FK pada kondisi statis untuk lereng utara sebesar 0,599 dengan PK 83,1% dan dalam kondisi dinamis FK sebesar 0,360 dengan nilai PK 93,1%, lereng selatan dengan nilai FK dalam kondisi statis sebesar 1,29 dengan PK 35,4% dan kondisi dinamis FK 0,662 dengan PK 76,5%. *Section E-E'* pada lereng sisi utara didapatkan FK kondisi statis 1,3 dengan nilai PK 12,9% dan dalam kondisi dinamis dengan nilai FK 1,2 dan nilai PK 26,1%. Dari hasil analisis tersebut kemudian dilakukan *redesign* geometri lereng agar mendapatkan lereng yang stabil. Hasil *redesign* geometri setelah dilakukan simulasi, didapatkan geometri lereng *overall* sisi selatan yang stabil dengan tinggi lereng *overall* 88 m, sudut *overall* 40° dengan FK statis 1,8 dengan PK 0,1% dan FK dinamis 1,8 dengan PK 0,0%. dan lereng sisi utara dengan tinggi *overall* 118 m dengan sudut *overall* 35° dengan FK statis 1,5 dengan PK 0,4% dan FK dinamis 2,0 dengan PK 0,3%.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Probabilitas Kolongoran, *Morgenstern-Price*

Abstract:

Open pit mining activities cannot be separated from the slopes of the mine. The slope of the mine cannot be separated from the safety factor. To determine the safety factor, the boundary equilibrium method is used, namely Morgenstern-Price with Monte-Carlo simulation with two conditions, namely static and dynamic. Of the 3 sections that have been analyzed, 2 unsafe sections were obtained, namely in sections A-A' with FK values in static conditions for the north slope of 0.599 with PK 83.1% and in dynamic conditions FK of 0.360 with PK values of 93.1%, the southern slopes with FK values in static conditions of 1.29 with PK 35.4% and dynamic conditions of FK 0.662 with PK 76.5%. Section E-E' on the north side slope obtained FK static conditions 1.3 with a PK value of 12.9% and in dynamic conditions with a FK value of 1.2 and a PK value of 26.1%. From the results of the analysis, a slope geometric redesign was then carried out to obtain a stable slope. The results of the geometry redesign after simulation, obtained a stable south side overall slope geometry with an overall slope height of 88 m, an overall angle of 40 ° with a static FK of 1.8 with a PK of 0.1% and a dynamic FK of 1.8 with a PK of 0.0%. and the north side slope with an overall height of 118 m with

an overall angle of 35° with a static FK of 1.5 with a PK of 0.4% and a dynamic FK of 2.0 with a PK of 0.3%.

Keywords: *Slope Stability, Factor of Safety, Probability Failure, Morgenstern-Price*

Pendahuluan

Ilmu geoteknik merupakan salah satu aspek yang sangat penting karena terdapat suatu masalah yang berkaitan dengan kestabilan lereng, khususnya pada tambang terbuka. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya produksi pada perusahaan tambang di Indonesia. Dalam penambangan terbuka, semakin luas dan dalam kita menggali, maka semakin banyak material *overburden* yang akan dipindahkan ke area *disposal* serta akan meningkatkan risiko keselamatan. Maka dari itu, area *disposal* harus dipastikan dalam keadaan stabil dan aman.

Longsoran pada lereng disebabkan oleh beberapa faktor, mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, serta kondisi air tanah. Maka dari itu, diperlukan analisis kestabilan lereng yang baik dan aman yang sesuai dengan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung nilai dari faktor keamanan (FK).

Lokasi penelitian ini merupakan daerah bekas penambangan yang telah melakukan kegiatan *mine out*, namun pada saat ini akan dilakukan penambangan kembali pada area IUP CV. Gudang Hitam Prima, yaitu pada area *pit* 3. Area *pit* 3 dikelilingi oleh material *overburden*, atau material timbunan yang telah ditinggalkan oleh perusahaan sebelumnya, yaitu PT. Leighton Contractors Indonesia. Kegiatan *mine out* dilakukan pada tahun 2015 dan penambangan kembali dilakukan pada awal tahun 2023. Jarak waktu antara pada saat *mine out* dan akan dilakukan kegiatan penambangan kembali sekitar 8 tahun.

Area *sidewall* akan dilakukan penambangan dimana dibutuhkan kajian geoteknik kembali pada sisi *sidewall* tersebut karena telah mengalami penarikan dinding lereng, yang dimana dominan materialnya merupakan material timbunan (*overburden*), sehingga dibutuhkan rekomendasi dari hasil analisis kestabilan lereng dengan geometri yang sesuai dengan standar Kepmen No. 1827 K/30/MEM/2018.

Oleh karena itu, tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran pada lereng *disposal* serta memberikan rekomendasi geometri lereng *disposal* agar tercapainya keamanan yang baik yang sesuai dengan Kepmen No. 1827 K/30/MEM/2018 dan standar perusahaan.

Lokasi Penelitian

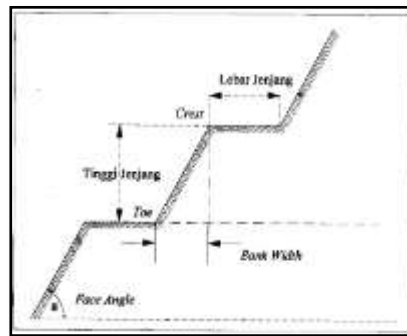
Lokasi penelitian yang merupakan operasi penambangan batubara milik CV. Gudang Hitam Prima yang secara administratif terletak pada Kelurahan Sanga Sanga Muara, Kecamatan Sanga Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis letak dan kedudukan CV. Gudang Hitam Prima berada pada 117°16'26" BT dan 0°36'34" LS.

Tinjauan Pustaka

Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya, lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka (Putri & Saldy, 2022).

Sudut lereng jenjang hasil penggalian oleh alat gali mekanis seperti *loader* atau *shovel* dipermukaan jenjang pada umumnya akan menghasilkan sudut lereng antara 60-65 derajat. Sudut lereng yang lebih curam biasanya memerlukan peledakan *pre-splitting* (Bargawa, 2018).



Gambar 1 Crest dan Toe (Bargawa, 2018)

Kestabilan Lereng

Menurut (Nurhidayat et al., 2019) lereng yang alami ataupun lereng buatan memiliki nilai kestabilan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja dalam kestabilan lereng tersebut. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng untuk bergerak ke bawah dan gaya-gaya yang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi pergerakan atau longsoran.

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan suatu lereng. Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuh (*collapsing*) maupun gelinciran (*sliding*) (Arif, 2021).

Disposal

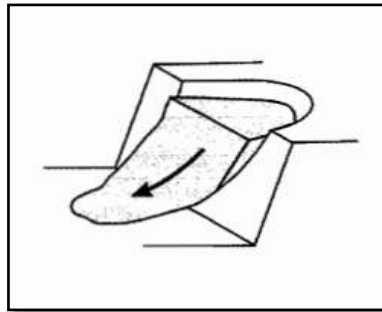
Waste dump atau *disposal* adalah daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat membuang kadar rendah dan material bukan bijih. *Disposal* biasanya dapat dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan ataupun bekas penambangan luar (Farrand, 2019).

Disposal atau tempat penimbunan ini harus direncanakan dengan baik agar timbunan tanah tersebut berada dalam kondisi stabil. Stabilitas lereng disposal tergantung pada faktor utama karakteristik material timbunan. Karakteristik material ini memuat perilaku material yang berbeda dengan

perilaku batuan, sehingga stabilitas lereng disposal akan berbeda dengan stabilitas lereng batuan pada lokasi penambangan batubara (Prasetyo, 2011).

Longsor Busur (Circular Failure)

Longsor busur sering terjadi pada lereng batuan yang lapuk atau yang sudah sangat terkekarkan dan pada lereng-lereng timbunan. Bentuk bidang gelincir pada longsor busur sesuai namanya akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang. Longsor jenis ini sering terjadi jika ukuran fragmen tanah atau massa batuan sangat kecil dibandingkan dengan ukuran lereng. Maka dari itu, lereng yang tersusun oleh material pasir, lanau, atau partikel lain yang lebih kecil memiliki kemungkinan besar untuk mengalami longsor busur (Arif, 2016).



Gambar 2 Skema Longsor Busur (Arif, 2016)

Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulumb

Teori ini disuguhkan oleh Mohr pada tahun 1980 tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan (Braja, 1985).

Analisis Probabilitas

Probabilitas kelongsoran adalah peluang terjadinya peristiwa kelongsoran lereng tambang dan atau alami. Semakin tinggi nilai probabilitas kelongsoran (PK) lereng, maka semakin besar peluang lereng tersebut untuk longsor (Azizi dkk, 2019).

$$PK = \frac{N - M}{N}$$

Keterangan :

PK = Probabilitas kelongsoran

N = Banyaknya simulasi

M = Jumlah kemunculan nilai gaya penahan > gaya penggerak

Metode Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium Method)

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran translasional dan rotasional. Metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya dalam praktik rekayasa selama bertahun-tahun. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik

dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu (Arif, 2021).

Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung metode perhitungan yang dipakai (Arif, 2021).

Metode Morgenstren-Price

Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965, dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya (Takwin, 2017).

Menurut KEPMEN ESDM No 1827 K/30/MEM/2018 terdapat ambang batas nilai probabilitas kelongsoran untuk kestabilan lereng. Ada tiga kategori dalam usulan ambang batas FK dan PK, yaitu dampak longsor, FK rata-rata, dan PK maksimum.

**Tabel 1 Nilai Ambang Batas FK dan PK Lereng Tambang
(KEPMEN ESDM No 1827 K/30/MEM/2018) Lampiran II**

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		FK Statis (Min)	FK Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (Maks)
Lereng Tunggal	Rendah s.d Tinggi	1,1	Tidak Ada	20–50%
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 penelitian ini untuk jenis lereng keseluruhan menggunakan keparahan longsor tinggi, dengan FK statis 1,3-1,5 dan FK dinamis 1,1 dengan PK 5%.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, di mana teknik pengumpulan data terbagi menjadi 2 yaitu data primer yang diperoleh secara langsung di lapangan dan data sekunder yang didapatkan dari arsip data perusahaan pada tempat penelitian dilakukan.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dalam memperoleh data, yaitu tahapan lapangan dengan mengambil sampel *core* pada area *pit* 3 dengan melakukan pengeboran

geoteknik, kemudian melakukan sampling, lalu dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik pada laboratorium.

. Analisis kestabilan lereng ini menggunakan metode kesetimbangan batas, di mana untuk melakukan perhitungan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dengan metode kesetimbangan batas *Morgenstern-Price* dengan penerapan simulasi *Monte Carlo* 1000 kali percobaan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian data yang di dapatkan dari pengujian sifat fisik dan mekanik di mana digunakan dalam parameter masukan dalam melakukan analisis dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 2 Hasil Uji Baik Suai

Material	Parameter	Uji Data Statistik				Jenis Distribusi
		Mean	Std. Deviasi	Rel. Min	Rel. Maks	
Disposal	Bobot Isi (kN/m^3)	2,11	0,18	1,87	2,35	Gamma
	Kohesi (kN/m^3)	87,05	64,01	50,5	2,14	Gamma
	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	35,38	8,58	24,61	43,95	Beta
Claystone	Bobot Isi (kN/m^3)	1,87	0,045	1,83	1,92	Beta
	Kohesi (kN/m^3)	186,6	51,73	151	246	Lognormal
	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	26,82	1,940	25,7	29,06	Uniform
Sandstone	Bobot Isi (kN/m^3)	1,7	0,139	1,5	1,8	Beta
	Kohesi (kN/m^3)	98,21	68,31	29,67	162	Lognormal
	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	41,15	2,689	38,42	44,86	Uniform
Coal	Bobot Isi (kN/m^3)	1,03	0,04	1,0	1,07	Uniform
	Kohesi (kN/m^3)	287,8	105,23	143,2	419,70	Normal
	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	41,45	10,03	35,3	48,80	Lognormal

Berdasarkan Tabel 1 di atas merupakan hasil dari rekapitulasi dari data sifat fisik dan mekanik yang kemudian di lakukan uji baik suai untuk menentukan nilai *mean*, standar deviasi, relatif minimal, relatif maksimal dan jenis distribusi. Nilai bobot isi, kohesi, sudut geser dalam dan jenis distribusi merupakan data sifat fisik mekanik yang digunakan sebagai parameter dalam melakukan analisis kestabilan lereng.

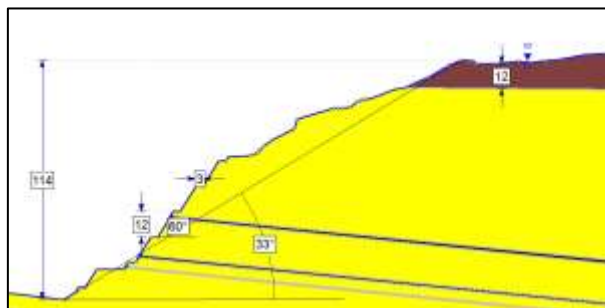
Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng ini dilakukan dengan membuat 3 *section*, di mana *section* atau sayatan mewakili dari titik pengeboran pada area *disposal*. Sayatan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :

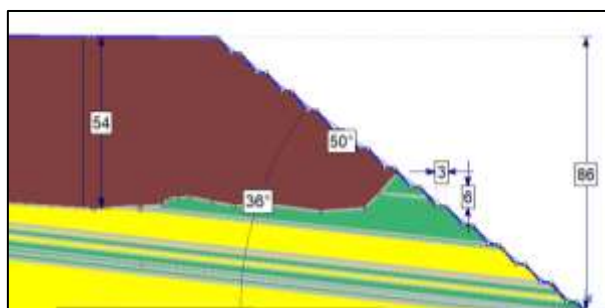


Gambar 1 Peta Section Area Pit 3

Pada peta *section* di atas, pemodelan lereng akan dibagi menjadi 3 sayatan yaitu *section A-A'*, *B-B'* dan *E-E'* di mana dalam setiap sayatan akan di bagi menjadi 2 lereng *sidewall*, yaitu sisi utara dan sisi selatan. Untuk melihat litologi dari *section A-A'* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2 Stratigrafi Section A-A' Sisi Utara



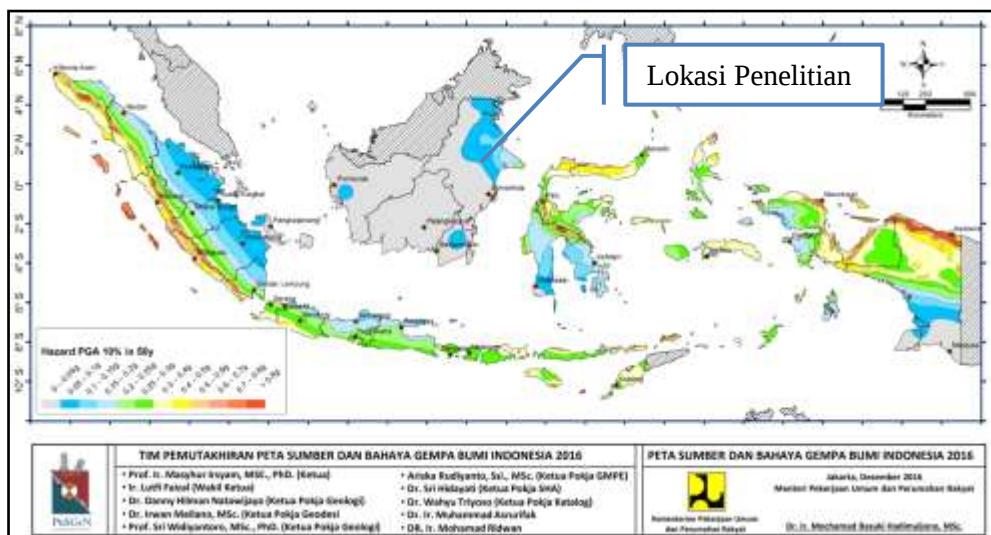
■ : Disposal ■ : Claystone ■ : Sandstone ■ : Coal

Gambar 3 Stratigrafi Section A-A' Sisi Selatan

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng, diasumsikan tinggi permukaan air mengikuti permukaan lereng, dalam kondisi jenuh. Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pada kondisi statis dan kondisi dinamis.

Pada kondisi dinamis di tambahkan faktor ketergangguhan yaitu distribusi *load* dan *seismic load* di mana diasumsikan bahwa kendaraan *dump truck* yaitu (*Articulated Dump Truk*) tipe A406 melewati lereng, maka digunakan nilai *distribusi load* sebagai pembebanan pada lereng dengan nilai 240,62 kPa.

Nilai *seismic load* merupakan koefisien getaran gempa, di mana nilai koefisien di dapatkan berdasarkan peta gempa wilayah Indonesia, pada lokasi penelitian, yaitu Kalimantan Timur menunjukkan nilai 0.05 g. Peta kegempaan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4 Peta Zona Gempa Indonesia (Irsyam dkk, 2016)

Hasil Analisis Faktor Keamanan

Setelah data-data dikumpulkan dan di *input* dalam *software* analisis kestabilan lereng, dilakukan analisis terlebih dahulu pada desain lereng awal untuk melihat kondisi lereng apakah dalam kondisi tidak aman atau aman. Faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 3 FK Desain Awal Sisi Selatan

Dimensions of the south side slope										
Cross Section	Single Height	Berm Width	Overall Height	Overall Slope	Single Slope	FK Statis	PK Statis (%)	FK Dinamis	PK Dinamis (%)	Ket.
	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)					
A-A'	6	3	85	36	50	1,29	35,1	0,66	76,6	Tidak Aman
B-B'	6	4,4	29	32	42	4,4	0,0	4,4	0,0	Aman
E-E'	6	3	68	33	50	5,1	0,0	4,7	0,0	Aman

Tabel 4 FK Desain Awal Sisi Utara

Cross Section	Dimensions of the south side slope					FK Statis	PK Statis (%)	FK Dinamis	PK Dinamis (%)	Ket.
	Single Height	Berm Width	Overall Height	Overall Slope	Single Slope					
	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)					
A-A'	12	3	114	33	60	0,59	83	0,36	93,1	Tidak Aman
B-B'	12	3	29	51	60	2,4	0,0	2,4	0,0	Aman
E-E'	12	3	99	50	60	1,3	12,8	1,2	26,1	Tidak Aman

Setelah dilakukan analisis pada desain lereng awal, diketahui bahwa lereng sisi utara pada *section* A-A' dan *section* E-E', pada lereng sisi selatan pada *section* A-A' dalam kondisi tidak aman karena lereng tersebut merupakan material timbunan sehingga berpengaruh pada kestabilan lereng itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dilakukan *redesain* geometri lereng tersebut untuk mendapatkan FK dan PK dalam kondisi stabil dan aman sesuai dengan acuan dan ketentuan yang telah ditetapkan Kepmen ESDM No. 1827/K/30/MEM/2018.

Kemudian untuk melihat hasil analisis faktor keamanan geometri setelah di *redesign* dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5 Rekomendasi Geometri Lereng Selatan

Cross Section	Dimensions of the south side slope					FK Statis	PK Statis (%)	FK Dinamis	PK Dinamis (%)	Ket.
	Single Height	Berm Width	Overall Height	Overall Slope	Single Slope					
	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)					
A-A'	8	7	87	35	60	2,42	0,0%	2,39	0,2%	Aman
B-B'	8	7	34	36	60	2,46	0,1%	2,42	0,3%	Aman
E-E'	8	7	68	36	60	2,14	0,0%	2,10	0,0%	Aman

Tabel 6 Rekomendasi Geometri Lereng Utara

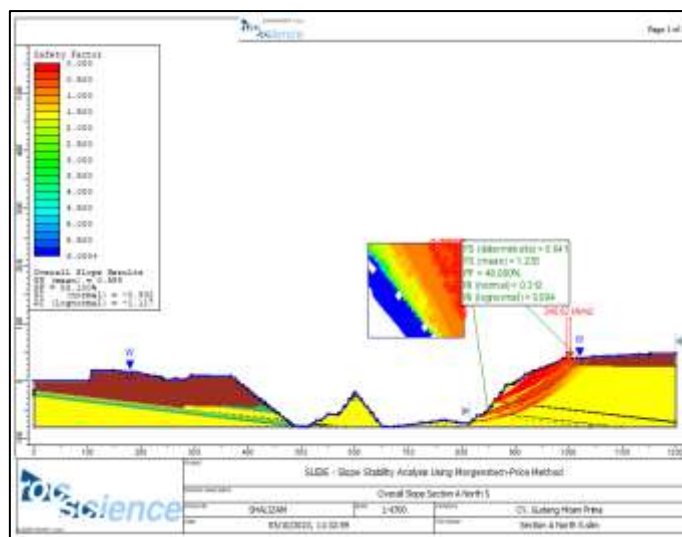
Cross Section	Dimensions of the south side slope					FK Statis	PK Statis (%)	FK Dinamis	PK Dinamis (%)	Ket.
	Single Height	Berm Width	Overall Height	Overall Slope	Single Slope					
	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)					
A-A'	8	7	114	30	50	2,81	0,0%	2,02	2,7%	Aman
B-B'	8	7	30	33	50	2,21	0,0%	2,22	0,0%	Aman
E-E'	8	7	102	31	50	2,24	0,1%	2,06	0,5%	Aman

Hasil analisis pada simulasi yang telah dilakukan, direkomendasikan pada lereng sisi selatan tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 meter, sudut tunggal 60°, dengan sudut lereng keseluruhan 35°. Pada lereng sisi utara tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 dan 5 meter, sudut tunggal 50°, sudut lereng keseluruhan 31°

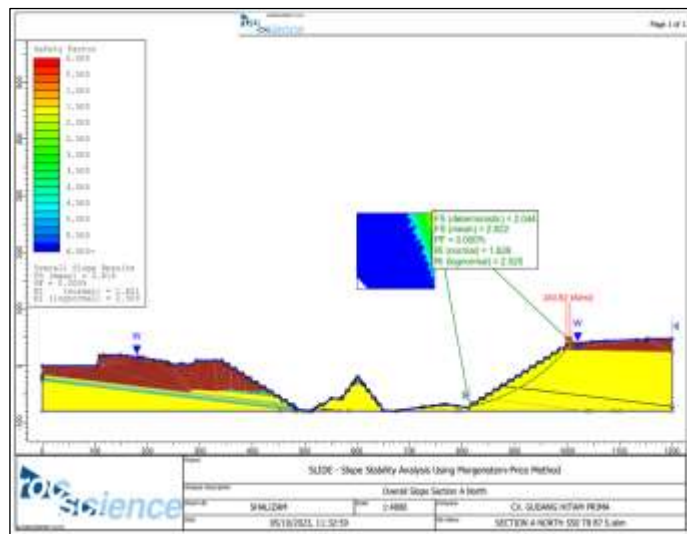
Hasil analisis pada simulasi yang telah dilakukan, direkomendasikan pada lereng sisi selatan tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 meter, sudut tunggal 60°, dengan sudut lereng keseluruhan 35°. Pada lereng sisi utara tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 dan 5 meter, sudut tunggal 50°, sudut lereng keseluruhan 31°.

Interpretasi Hasil Analisis Section A-A'

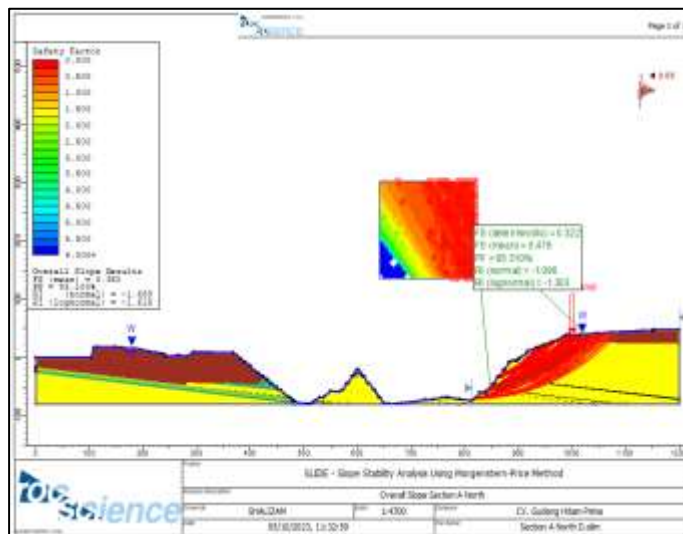
Hasil analisis lereng utara tersebut didapatkan nilai FK statis sebesar 0,599 dan FK dinamis sebesar 0,360. Nilai PK statis sebesar 83,1% dan nilai PK dinamis sebesar 93,1%. Hasil analisis lereng sisi selatan didapatkan nilai FK statis sebesar 1,29 dan FK dinamis sebesar 0,662. Nilai PK statis 35,4% dan PK dinamis sebesar 76,50%. Hasil analisis lereng awal dapat dilihat bahwa kondisi lereng utara pada *section A-A'* tidak aman. Interpretasi hasil analisis geometri awal *section A-A'* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, dan interpretasi hasil analisis geometri setelah *redesign* pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini.



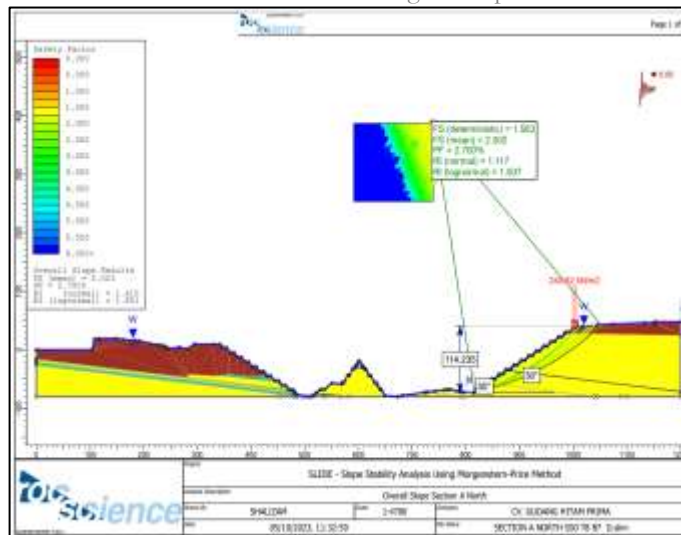
Gambar 5 FK Desain Awal Section A-A' Sisi Utara dalam Kondisi Statis



Gambar 6 FK Geometri Rekomendasi Section A-A' Lereng Sisi Utara Kondisi Statis



Gambar 7 FK Desain Awal Section A-A' Sisi Utara dalam Kondisi Dinamis



Gambar 8 FK Geometri Rekomendasi Section A-A' Lereng Sisi Utara Kondisi Dinamis

Setelah dilakukan perbaikan geometri lereng pada section A-A', B-B' dan E-E', direkomendasikan tinggi lereng tunggal sebesar 8 meter, lebar *berm* 7 meter, *single slope* 50°, *overall slope* 30°, maka pada section A-A' didapatkan FK dalam kondisi statis sebesar 2,81 dengan PK statis 0,0%. Dalam kondisi dinamis didapatkan FK dinamis sebesar 2,02 dengan nilai PK dinamis 2,7%, dimana FK dan PK sudah memenuhi standar diambang batas aman. Untuk nilai FK dan PK dalam kondisi dinamis maupun statis section B-B' dan E-E' dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Kesimpulan

Nilai FK statis dan FK dinamis pada lereng sisi selatan section A-A' dalam kondisi tidak aman, sedangkan section B-B' dan E-E' dalam kondisi aman. Untuk lereng sisi utara didapatkan FK statis dan FK dinamis section A-A' dan E-E' dalam kondisi tidak aman, dan section B-B' dalam kondisi aman. Hasil analisis simulasi, didapatkan nilai PK statis pada lereng sisi selatan, pada section A-A' 35,4%, B-B' 0,0%, dan E-E' 0,0%. PK dinamis section A-A' 76,50%, B-B' 0,0% dan E-E' 0,0%, dan pada lereng sisi utara didapatkan PK statis pada section A-A' 83,1%, B-B' 0,0% dan E-E' 12,9%. PK dinamis section A-A' 93,1%, B-B' 0,0% dan E-E' 26,1%. Berdasarkan hasil analisis pada simulasi, direkomendasikan pada lereng sisi selatan tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 meter, sudut tunggal 60°, dengan sudut lereng keseluruhan 30°, dan pada lereng sisi utara tinggi lereng tunggal 8 meter, lebar *berm* 7 dan 5 meter, sudut tunggal 50°, dan sudut lereng keseluruhan 30°.

Daftar Pustaka

- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Arif, Irwandi. 2021. *Geoteknik Tambang*. PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Azizi, M. A. 2014. *Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka di Indonesia*. Disertasi Institut Teknologi Bandung : Bandung.
- Braja, M. D. 1985. *Mekanika Tanah Jilid 2*. The University of Texas : El Paso.
- Bargawa, Waterman Sulistiyana. 2018. *Perencanaan Tambang*. Yogyakarta.
- Farrand, R A. 2019. *Analisis Kestabilan Lereng pada Desain Diposal Suwota Tahun 2018 di Tambang PT ANTAM TBK UBPB Maluku Utara, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara*. Skripsi. UIN Syarif Hidayatullah : Jakarta.
- Kepmen Esdm No 1827 K/30/Mem/2018. *Pedoman Pelaksanaan Teknik*.
- Morgenstern, N.R & Price, V. E. 1965. *The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces*. Volume 15, Issue 1. Ice Publishing.
- Nurhidayat, Teguh, Edo Syawaluddin, Muchtar Arifin, Iwan Oktariansyah. 2019. *Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng tambang Timah Primer Blok Pemali, Bangka, Indonesia*. Prosiding TPT XXVIII Perhapi 2019.
- Putri, Nadila, Tri Gamela Saldy, 2021. *Analisis Kestabilan Lereng Disposasi Dengan Menggunakan Metode Bishop Di Site Puncak Jaya CV.Tekad Jaya Sago Halaban Lima Puluh Kota*. Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia.
- Prasetyo, S. I., Hariyanto, R., Cahyadi, T. A. 2011. *Studi Kasus Analisa Kestabilan Lereng Disposasi di Daerah Karuh, Kec. Kintap, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan*. Seminar Nasional ke 6 Tahun 2011 : Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. UPN Veteran Yogyakarta : Yogyakarta.
- Partington, Mark & Ryans Mark. 2010. *Understanding The Nominal Ground Pressure of Forestry Equipment*. Vol. 12 No. 5. FPInnovations.

- Porsinsky, Tomislav, Pentek Tibor, Bosner Andreja, Stankic Igor. 2015. *Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils*. Forestry Faculty of Zagreb University. Croatia.
- Rai, M. A., Suseno K, Ridho K W. 2014. *Mekanika Batuan*. Institut Teknologi Bandung : Bandung.
- Ridha, M., & Darminto, D. 2016. *Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok Dengan Variasi Lokasi dan Kedalaman*. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS): Surabaya
- Saptono, Singgih. 2021. *Sistem Klasifikasi Massa Batuan*. LPPM UPN Veteran Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sebayang, W., Sutriyono, E., Jati, S.N., 2020. *Analisis Kestabilan Lereng Disposal PT. Bara Anugrah Sejahtera Muara Enim Sumatera Selatan*. Jurnal Geomine, 8(1): 51-58
- Steffen, O., Contreras, L.-F., Terbrugge, P. J., & Venter, J. 2008. A Risk Evaluation Approach For Pit Slope Design in the 42nd U.S. Rock Mechanics - 2nd U.S. Canada Rock Mechanics Symposium: San Fransisco.
- Takwin, G. A, Turangan A. E., Rondonuwu S. G. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price Studi Kasus Diamond Hill Citraland*. Universitas Sam Ratulangi : Manado. Jurnal Tekno, Vol. 15, No. 67.
- Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4rd. (ed)*. New York: Spoon Press. London.
- Wahyuni, Sri., Nurliah Jafar, Habibie Anwar, Abd. Salam Munir. 2021. *Analisis Kestabilan Lereng Disposal IPD PQRT Pit West Menggunakan Metode Bishop Pt Buma Job Site Lati Kabupaten Berau Kalimantan Timur*. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia. Jurnal Geosapta Vol. 7 No. 1 Januari 2021.