



ZONASI GEOTEKNIK BERDASARKAN ANALISIS KESTABILAN LERENG HIGHWALL PADA TAMBANG TERBUKA BATUBARA

GEOTECHNICAL ZONATION BASED ON SLOPE STABILITY ANALYSIS AT HIGHWALL FOR OPEN PIT COAL MINE

E.Santoso¹, M.Arif², J.F.K. Anhar³

^{1,2}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714

³Departemen Engineering PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin

e-mail: eko@ulm.ac.id

ABSTRAK

Kestabilan lereng pada *highwall* perlu diidentifikasi, hal ini mengingat pentingnya keberlangsungan proses produksi dan keselamatan pekerja dan peralatan yang digunakan pada tambang terbuka batubara. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka tujuan utama pada penelitian ini adalah membuat sebuah zonasi geoteknik berdasarkan pada tingkat kestabilan lereng *highwall*. Zonasi geoteknik merupakan bagian dari manajemen resiko yang dapat membantu engineer geotek dalam mempercepat proses analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan dan skala prioritas penanganan pada blok atau zona yang diketahui kritis. Tinjauan lokasi penelitian dilakukan pada *highwall* pit Trembesi PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin mempunyai panjang ± 3000 m. Didapatkan gambaran mengenai kondisi situasi aktual seperti keterdapatn sungai, *creek*, *settling pond*, dan kondisi lainnya yang berpotensi berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Selain itu dilakukan juga pengukuran muka air tanah menggunakan alat *piezometer*. Data *properties* batuan meliputi sifat fisik dan mekanik merupakan data sekunder. Analisis kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak Geostudio 2007 dengan metode Keseimbangan Batas Morgenstern Price. Berdasarkan analisis tingkat kestabilan lereng *highwall* terhadap 18 blok didapatkan nilai faktor keamanan (FK) berkisar antara 1.127 hingga 1.475, dan terdapat 5 blok yang teridentifikasi dalam kondisi tidak stabil. Terhadap blok-blok yang tidak stabil tersebut diperlukan desain ulang untuk mendapatkan nilai FK yang aman. Perbaikan geometri lereng sebagai rekomendasi yaitu dengan cara menambah lebar lereng pada RL -40 untuk blok 08 dan 09 sebesar 15 meter, pada RL -60 untuk blok 12 sebesar 25 meter, dan pada RL -70 untuk blok 24 dan 25 sebesar 20 meter sehingga diperoleh tingkat kestabilan lereng yang aman.

Kata Kunci: Zonasi Geoteknik, Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Metode Keseimbangan Batas

ABSTRACT

Slope stability identification in open pit coal mine, especially highwall slopes, is very important for ensuring the safety of workers and equipments used. from this issue, a risk management at highwall slope is crucial for mine life. The advantages of Geotechnical zonation for the geotech engineer are it can help more faster in the process of analysis at factors that affect the instability of the highwall slope and the priority scale for handling unstable slope blocks. Field data collection and investigation at Highwall slope, Pit Trembesi, PT Arutmin Indonesia site Batulicin. There is a river, creek and settling pond in the study area. Measurements of ground water levels using a piezometer installation. Both physical and mechanical properties for slope stability analysis is adjusted to the insitu lithology of the highwall slope. Geotechnical zonation was made by making blocks throughout the research area, where each block was analysed their stability with limit equilibrium method using Geostudio 2007. Based on the slope stability analysis of the 18 blocks, the result shows that the value of safety factor on the range 1.27 - 1.475 and there are 5 blocks that identified in unstable conditions. Against these unsafe blocks new slope geometry is recommended, by increasing the width of the slope at RL -40 on blocks 08 and 09 for 15 meters, at RL -60 on block 12 for 25 meters, and at RL -70 on block 24 and 25 for 20 meters from the initial width of 10 meters become 30 meters to obtain a safer level of slope stability.

Keywords: Geotechnical Zonation, Slope Stability, Limit Equilibrium Method

PENDAHULUAN

Pit Trembesi PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin mempunyai panjang *highwall* ±3000 m dengan kondisi ketebalan lapisan batuan, situasi permukaan, geometri lereng dan kondisi air tanah yang berbeda-beda maka dari itu perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng pada setiap bloknya. Mengingat luasnya area pengamatan dan krusialnya lereng *highwall* pada tambang terbuka batubara, maka diperlukan pembuatan peta zonasi geoteknik dengan informasi grafis potensi kelongsoran di daerah penelitian.

Peta zonasi bahaya merupakan gambaran suatu daerah dengan batasan tertentu, dimana daerah tersebut mempunyai kemungkinan terjadinya ketidakstabilan [1], [2]. Peta zonasi geoteknik dibuat dengan cara membuat zonasi-zonasi pada lereng *highwall* berdasarkan nilai faktor keamanan yang didapatkan.

Dengan diperolehnya informasi mengenai daerah-daerah yang berpotensi terhadap ketidakstabilan, dapat dilakukan rekomendasi untuk menanggulangi masalah tersebut sehingga bahaya akan ketidakstabilan dimasa yang akan datang dapat diminimalisir. Permasalahan itulah yang melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian dengan judul Zonasi Geoteknik dengan Analisis Kestabilan Lereng.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan penelitian yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Studi literatur terkait metode-metode pada analisis kestabilan lereng batuan serta mempelajari teori kestabilan lereng.
2. Pengumpulan data geoteknik, yang terdiri atas:
 - a. *Properties* batuan, sifat fisik dan mekanik batuan meliputi bobot isi asli (γ), bobot isi jenuh (γ_{sat}), kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ).
 - b. Tinggi muka air tanah, geometri lereng
 - c. Kondisi permukaan, seperti keberadaan sungai, *creek* dan *settling pond*.
3. Proses analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) pada program Geostudio 2007.
4. Pembuatan peta zonasi potensi kelongsoran berdasarkan nilai FK.
5. Memberikan rekomendasi geometri lereng yang stabil pada daerah yang mempunyai potensi terjadinya longsor ($FK < 1.25$).
6. Pembuatan peta zonasi potensi kelongsoran berdasarkan nilai FK setelah perbaikan geometri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

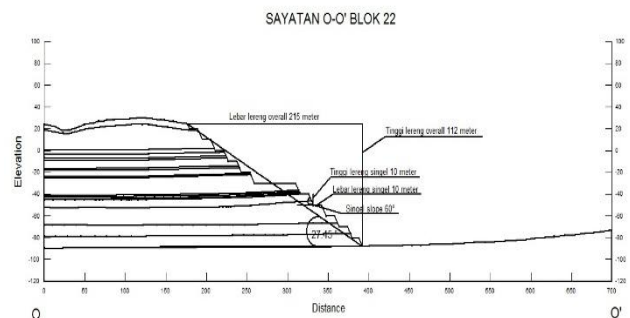
Tinjauan lokasi penelitian yang dilakukan berupa pemetaan situasi permukaan yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi situasi aktual di

daerah penelitian [1],[3],[4]. Pemetaan dilakukan di sekitar daerah *highwall* yang berpotensi menjadi daerah kritis. Hasil tinjauan lapangan menunjukkan beberapa kondisi di daerah penelitian, di antaranya:

1. Blok 08-09, terdapat sungai alami dan buatan dengan jarak terdekat ke rancangan akhir *crest highwall* adalah 10 meter dan jarak terjauh adalah 30 meter serta terdapat *settling pond* yang berjarak 20 m.
2. Blok 11-16, terdapat *creek* dengan kondisi di beberapa titik terdapat genangan air dengan material dasar berupa lumpur.
3. Tidak ditemukan adanya struktur geologi mayor di lokasi penelitian

Geometri Lereng

Geometri lereng diperoleh dari sayatan yang dibuat pada rancangan akhir *highwall* berjumlah total 18 sayatan, dimana setiap 1 blok dibuat 1 sayatan. Geometri lereng tunggal desain PT Arutmin Indonesia dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar lereng 10 meter dan kemiringan lereng 60°. Gambar 1 menunjukkan geometri lereng.



Gambar 1. Geometri lereng

Karakteristik Material

Dari data lubang bor PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin yaitu SRG1301GT diperoleh conto material yang selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium yang dilakukan oleh perusahaan, baik uji sifat fisik maupun sifat mekanik untuk mendapatkan parameter seperti kuat tekan (σ), bobot isi (γ), kohesi (C), dan sudut gesek dalam (ϕ). Sifat fisik dan mekanik material disajikan pada Tabel 1.

Material normal digunakan untuk permodelan pada daerah-daerah selain sungai maupun *creek*. Sedangkan material dengan kondisi jenuh digunakan untuk menggambarkan pengaruh air terhadap daerah-daerah yang terdapat *creek* dan sungai dengan pengaruh diasumsikan sejauh 7 meter dibawah dasar sungai dan *creek*.

Tabel 1. Sifat fisik dan mekanik material

No	Material	σ_N (Mpa)	γ (kN/m ³)	C (KPa)	ϕ (°)
Material Normal					
1	Soil	-	11	30	20
2	Claystone (1)	0.132	21.5	111	27.46
3	Carbonaceous Mudstone	0.138	20.84	114	25.21
4	Claystone (2)	0.135	21.3	110	23.6
5	Coal SU	0.138	13.4	131	39.35
6	Claystone (3)	0.139	21.4	125	27.1
7	Sandstone (1)	0.134	23.7	136	29.12
8	Coal SM	0.138	13.4	139	42.12
9	Claystone (4)	0.135	21.3	131	27.14
10	Sandstone (2)	0.134	23.6	111	30.64
11	Sandstone (3)	0.135	23.8	170	32.55
12	Claystone (5)	0.133	21.7	120	24.72
Material Jenuh					
13	Soil	-	18	30	20
14	Mud	-	17	20	0
15	Claystone	0.133	19.52	114	23.61
16	Sandstone	0.135	15.73	137	30.66
13	Soil	-	18	30	20

Kondisi Muka Air Tanah

Di lokasi penelitian terdapat dua *Standpipe piezometer* yang berguna untuk mengukur tinggi muka air tanah. Data yang diperoleh dari pengukuran kedua *Standpipe* ini dipakai sebagai data perbandingan untuk menentukan tinggi muka air tanah di dalam simulasi, sehingga dapat diketahui batasan tinggi muka air tanah yang menghasilkan nilai faktor keamanan minimum yang masih diperbolehkan [1]. Hasil pengukuran muka air tanah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran muka air tanah

No	Tanggal	Standpipe 1		Standpipe 2	
		Depth (m)	Elv (RL)	Depth (m)	Elv (RL)
1	7-Dec-17	1.23	18.71	5.49	35.47
2	14-Dec-17	1.25	18.69	5.69	35.27
3	21-Dec-17	1.24	18.70	5.96	35.00
4	28-Dec-17	1.25	18.69	6	34.96
5	4-Jan-18	1.25	18.69	5.96	35.00
6	11-Jan-18	1.25	18.69	5.92	35.04
7	18-Jan-18	1.25	18.69	5.98	34.98

Potensi Jenis Longsoran

Berdasarkan data nilai kuat tekan yang didapatkan dengan nilai antara 0.132 – 0.139 MPa antara lain yaitu *claystone* (0.132 – 0.139 MPa), *sandstone* (0.134 – 0.135 MPa), *carbonaceous mudstone* (0.138 MPa), dan batubara (0.138 MPa) (Lihat Tabel 1) dimana material dengan kuat tekan uniaksial < 25 MPa termasuk dalam klasifikasi material sangat lunak dan atau tanah [5], [6].

Material sangat lunak dan atau tanah mempunyai bidang-bidang lemah (rekahan) yang memiliki spasi sangat

rapat[4], sehingga berdasarkan hal tersebut maka kemungkinan terjadinya kelongsoran yang terjadi pada lereng di *Pit Trembesi* adalah longsoran busur.

Metode Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan asumsi bentuk longsoran pada lereng maka proses perhitungan untuk analisis kestabilan lereng menggunakan metode Kestimbangan Batas dengan metode *Morgenstren Price* [7] dan [2]. Metode *Morgenstren Price* dipilih karena pada perangkat lunak *Geostudio 2007* metode ini melakukan perhitungan dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan perhitungan gaya horizontal dan vertikal serta perhitungan momen [8].

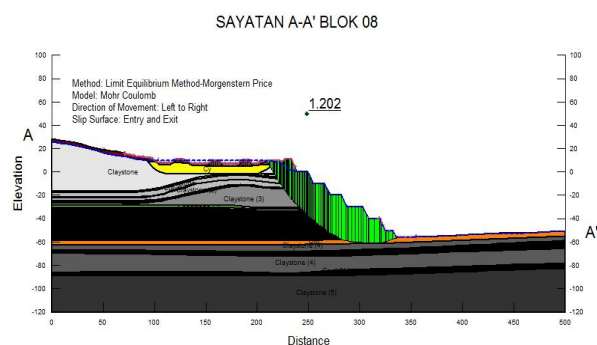
Sedangkan untuk kriteria runtuh batuan menggunakan pendekatan *Mohr-Coulomb* [9], [3] dan [4]. Pendekatan ini dipilih karena paling umum dan sesuai dengan data yang tersedia untuk melakukan permodelan rancangan lereng di PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin yaitu kohesi dan sudut gesek dalam.

Untuk mengetahui apakah lereng di lokasi penelitian dalam kondisi aman atau tidak, dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa kriteria seperti yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum untuk resiko terhadap lereng dengan tingkat kehilangan nyawa manusia dan kehilangan secara ekonomis pada tingkat rendah yaitu sebesar 1.2 [10]. Selanjutnya berdasarkan kriteria nilai faktor keamanan untuk lereng keseluruhan dari Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018 dengan tingkat keparahan rendah sebesar 1.2 – 1.3 [11].

Maka pada penelitian ini menggunakan *acceptance criteria* untuk kestabilan lereng sebesar 1.25 dan nilai tersebut sesuai dengan nilai faktor keamanan minimum kemantapan lereng yang ditetapkan oleh PT Arutmin Indonesia Tambang Batulicin.

Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Hasil analisis 18 sayatan menggunakan perangkat lunak *Geostudio 2007* pada sayatan A-A' Blok 08 diringkas pada Tabel 3, contoh hasil analisis sayatan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil analisis sayatan A-A' Blok 08

Tabel 3. Hasil perhitungan FK menggunakan perangkat lunak Geostudio 2007

No	Blok	Penampang	Nilai FK	Keterangan
1	Blok 08	A-A'	1.202	Tidak Aman
2	Blok 09	B-B'	1.130	Tidak Aman
3	Blok 10	C-C'	1.475	Aman
4	Blok 11	D-D'	1.366	Aman
5	Blok 12	E-E'	1.127	Tidak Aman
6	Blok 13	F-F'	1.278	Aman
7	Blok 14	G-G'	1.307	Aman
8	Blok 15	H-H'	1.280	Aman
9	Blok 16	I-I'	1.256	Aman
10	Blok 17	J-J'	1.280	Aman
11	Blok 18	K-K'	1.317	Aman
12	Blok 19	L-L'	1.362	Aman
13	Blok 20	M-M'	1.317	Aman
14	Blok 21	N-N'	1.285	Aman
15	Blok 22	O-O'	1.204	Tidak Aman
16	Blok 23	P-P'	1.241	Tidak Aman
17	Blok 24	Q-Q'	1.369	Aman
18	Blok 25	S-S'	1.289	Aman

Berdasarkan data nilai Faktor Keamanan pada Tabel-3, dari 18 penampang yang dibuat terdapat 5 nilai faktor keamanan yang nilainya dibawah 1.25 yaitu pada blok 08, blok 09, blok 12, blok 22 dan blok 23. Setelah didapatkan nilai Faktor Keamanan pada tiap-tiap blok, selanjutnya dibuatlah peta zonasi potensi kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan.

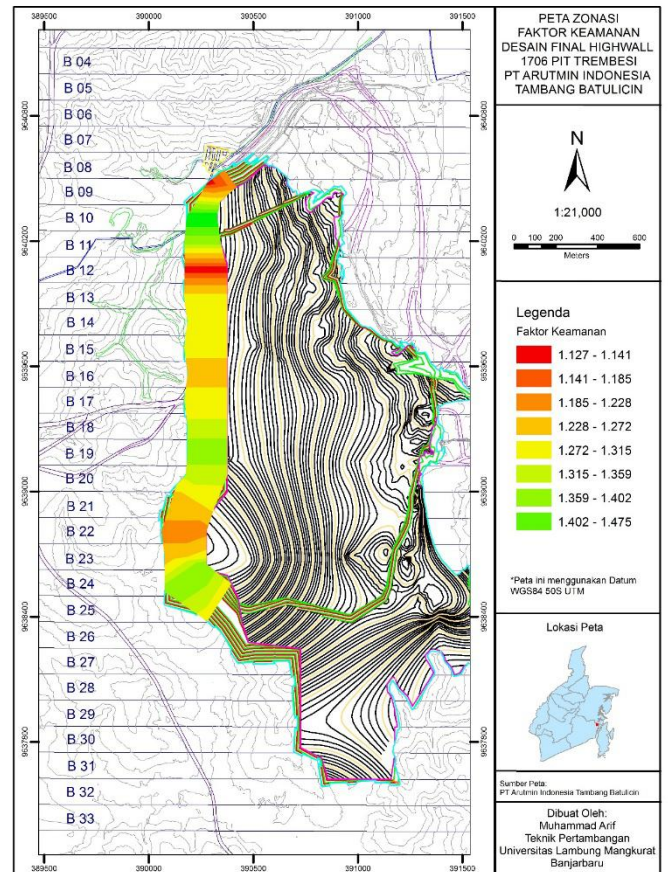
Zonasi Geoteknik

Peta zonasi geoteknik dibuat berdasarkan data nilai faktor keamanan yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan perangkat lunak Geostudio 2007. Nilai faktor keamanan yang berbeda-beda pada tiap blok nantinya akan digambarkan melalui warna yang berbeda pula [2]. Selanjutnya daerah akan dibagi menjadi dua yaitu zona aman dan zona tidak aman. Zona aman adalah blok yang mempunyai nilai faktor keamanan ≥ 1.25 sedangkan zona tidak aman yaitu blok yang mempunyai nilai faktor keamanan < 1.25 .

Hasil pembagian zona menurut faktor keamanan yang didapatkan dari hasil analisis kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak Geostudio 2007 adalah:

1. Zona aman, yaitu pada blok 10, blok 11, blok 13, blok 14, blok 15, blok 16, blok 17, blok 18, blok 19, blok 20, dan blok 21.
2. Zona tidak aman, yaitu pada blok blok 08, blok 09, blok 12, blok 22, dan blok 23.

Peta zonasi faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta zonasi faktor keamanan

PEMBAHASAN

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kemantapan Lereng

Berdasarkan analisis yang dilakukan, kemantapan lereng pada lereng batuan selalu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

- a. Geometri Lereng, Kemiringan dan lebar suatu lereng sangat mempengaruhi kemantapannya [12], [2] dan [3]. Seperti hasil analisis kestabilan lereng yang tertera pada Tabel-4 dan Tabel-5. Semakin besar kemiringan lereng, maka kemantapan lereng akan semakin berkurang sedangkan semakin besar lebar lereng, maka lereng semakin mantap.
- b. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan, Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah: bobot isi (*density*), kandungan air. Kohesi dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi kemantapan lereng [9].
 - 1) Bobot Isi, bobot isi batuan akan mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Sehingga semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor akan semakin besar. Dengan demikian, kemantapan lereng tersebut semakin berkurang.

- 2) Kandungan Air, semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi besar juga. Dengan demikian kuat geser batuan akan menjadi semakin kecil, sehingga kemantapannya pun berkurang.
- 3) Kohesi dan Sudut Geser Dalam, semakin besar kohesi dan sudut geser dalam, maka kekuatan geser batuan akan semakin besar juga. Dengan demikian lereng akan lebih mantap.

Tingkat Kestabilan Lereng

Hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan tingkat kestabilan lereng aman dan tidak aman. Berikut ini akan dibahas penyebab lereng aman dan tidak aman.

a. Lereng aman

Lereng aman yaitu pada blok 10, blok 11, blok 13, blok 14, blok 15, blok 16, blok 17, blok 18, blok 19, blok 20, dan blok 21. Lereng pada blok-blok tersebut aman karena pengaruh air cukup kecil karena tidak terdapat sungai. Selain itu lokasi creek cukup jauh sehingga pengaruh air tidak begitu besar. Selain itu juga karena geometrinya tidak terlalu tinggi sehingga beban yang diterima oleh lerengpun tidak terlalu besar.

b. Lereng tidak aman

Lereng tidak aman yaitu pada blok 08, blok 09, blok 12, blok 22, dan blok 23.

1) Blok 08 dan Blok 09

Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan, terdapat sungai alami dan buatan dengan jarak terdekat ke rancangan akhir *crest highwall* adalah 10 meter dan jarak terjauh adalah 30 meter. Serta terdapat *settling pond* berjarak 20 m dari *crest* rancangan akhir, sehingga menyebabkan desain lereng pada blok ini tidak stabil. Jarak sungai dan *settling pond* yang terlalu dekat dengan *crest* desain mengakibatkan pengaruh air yang cukup besar terhadap ketidakstabilan dengan *overall* sudut 33.35° untuk blok 08 dan 32.95° untuk blok 09, sehingga perlu dilakukan desain ulang.

2) Blok 12, Blok 22 dan Blok 23

Creek merupakan anak sungai yang kondisi airnya tidak selalu mengalir karena sumber air hanya tergantung dari hujan, namun biasanya mempunyai dasar lumpur karena menjadi tempat berkumpul air ketika terjadi hujan [13], hal ini dikarenakan *creek* mempunyai elevasi yang rendah. Jarak *creek* yang cukup jauh pada blok 12 membuat pengaruhnya tidak terlalu besar sehingga pengaruh *creek* dapat diabaikan. Ketidakstabilan dikarenakan geometri lereng *overall* yang terlalu tinggi yaitu sebesar 105 m pada blok 12, 112 m pada blok 22 dan 103 m pada blok 23, menyebabkan lereng pada blok-blok ini mempunyai beban lebih besar

dibandingkan blok yang lainnya sehingga lereng tidak aman.

Desain Ulang

Desain ulang dilakukan pada blok-blok dengan nilai faktor keamanan <1.25 , yaitu pada blok 08, blok 09, blok 12, blok 22, dan blok 23 dengan tujuan untuk mendapatkan geometri yang stabil dalam bentuk lebar dan sudut kemiringan lereng [12].

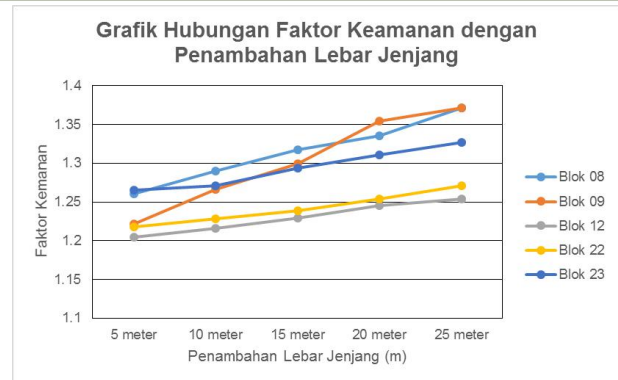
Desain ulang dilakukan dengan menambahkan lebar jenjang pada level -40 untuk blok 08 dan blok 09, level -60 untuk blok 12, 22 dan 23 dan menambahkan besar sudut pada level -30 untuk blok 08 dan blok 09, level -60 untuk blok 12, 22, dan 23 secara bertahap sehingga didapatkan geometri yang stabil. Hasil analisis desain ulang dapat diringkas pada Tabel 4 untuk desain ulang penambahan lebar dan Tabel 5 Untuk desain ulang dengan variasi sudut. Gambar 4 menunjukkan hubungan Faktor Keamanan dengan Pengurangan Sudut Jenjang dan Gambar 5 menunjukkan hubungan faktor keamanan dengan penambahan lebar jenjang.

Tabel 4. Desain ulang penambahan lebar

Blok	Penambahan Lebar	Nilai FK
Blok 08	5 meter	1.261
	10 meter	1.294
	15 meter	1.317
	20 meter	1.335
	25 meter	1.371
Blok 09	5 meter	1.222
	10 meter	1.266
	15 meter	1.299
	20 meter	1.354
	25 meter	1.371
Blok 12	5 meter	1.205
	10 meter	1.216
	15 meter	1.229
	20 meter	1.244
	25 meter	1.254
Blok 22	5 meter	1.218
	10 meter	1.228
	15 meter	1.239
	20 meter	1.254
	25 meter	1.271
Blok 23	5 meter	1.265
	10 meter	1.271
	15 meter	1.294
	20 meter	1.311
	25 meter	1.327

Tabel 5. Desain ulang variasi sudut

Blok	Variasi Sudut	Nilai FK
Blok 08	40°	1.295
	45°	1.272
	50°	1.240
	55°	1.239
	60°	1.202
Blok 09	40°	1.208
	45°	1.181
	50°	1.153
	55°	1.133
	60°	1.130
Blok 12	40°	1.158
	45°	1.145
	50°	1.161
	55°	1.129
	60°	1.127
Blok 22	40°	1.234
	45°	1.223
	50°	1.216
	55°	1.210
	60°	1.204
Blok 23	40°	1.280
	45°	1.271
	50°	1.262
	55°	1.262
	60°	1.241



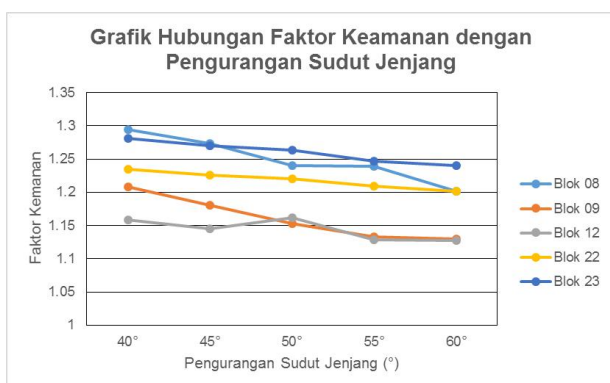
Gambar 5. Grafik hubungan faktor keamanan dengan penambahan lebar jenjang

Berdasarkan grafik hubungan faktor keamanan dengan penambahan lebar jenjang pada Gambar 5, bahwa penambahan lebar jenjang memiliki pengaruh yang positif terhadap nilai faktor keamanan, artinya semakin besar penambahan lebar jenjang maka nilai faktor keamanan akan semakin besar sehingga lereng semakin mantap [12] dan [2].

Dari percobaan desain ulang dengan penambahan lebar lereng dan pengurangan sudut kemiringan yang telah dilakukan, dipilihlah rekomendasi geometri berdasarkan penambahan lebar lereng. Rekomendasi ini dipilih karena mengingat kemudahan aplikatif di lapangan. Berikut ini rincian rekomendasi desain perbaikan pada tiap blok.

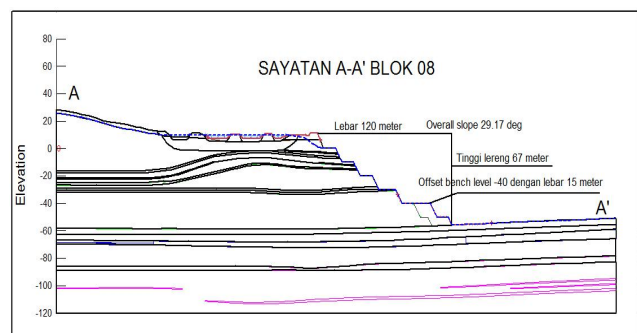
a. Blok 08 dan Blok 09

Desain ulang dilakukan dengan *offset bench* pada level -40 sejauh 15 meter dari lebar lereng awal 10 meter menjadi 25 meter, sehingga diperoleh geometri lereng yang aman dengan nilai faktor keamanan pada blok 08 sebesar 1.314 dan blok 09 sebesar 1.299, dengan *overall* sudut blok 08 sebesar 27.19° dan blok 9 sebesar 30.25°. *Overall* sudut dihitung dari *final crest* paling atas ke *final toe* paling bawah terhadap bidang datar. Desain ulang dapat dilihat secara grafis pada Gambar 6 dan Gambar 7.

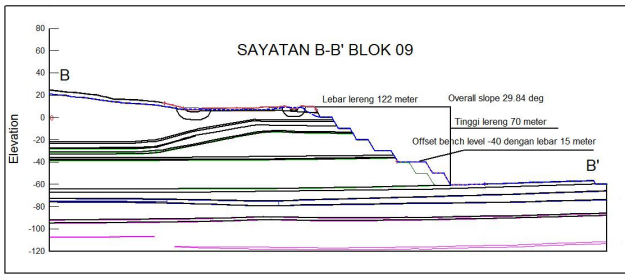


Gambar 4. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Pengurangan Sudut Jenjang

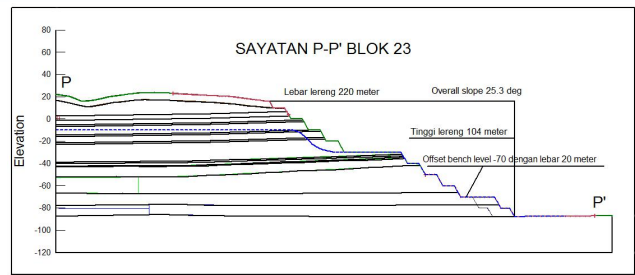
Berdasarkan grafik hubungan faktor keamanan dengan pengurangan sudut jenjang pada Gambar-4, bahwa pengurangan besaran sudut kemiringan lereng memiliki pengaruh yang positif terhadap nilai faktor keamanan, artinya semakin besar pengurangan sudut kemiringan lereng maka nilai faktor keamanan akan semakin besar sehingga lereng semakin mantap.



Gambar 6. Desain ulang Blok 08



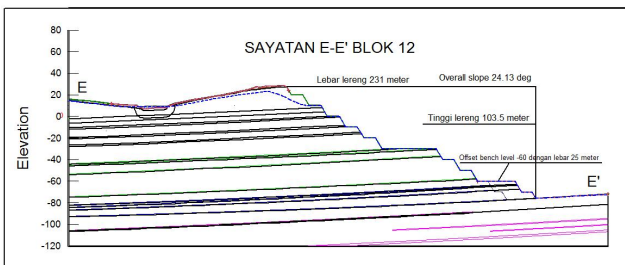
Gambar 7. Desain ulang Blok 09



Gambar 10. Desain ulang Blok 23

b. Blok 12

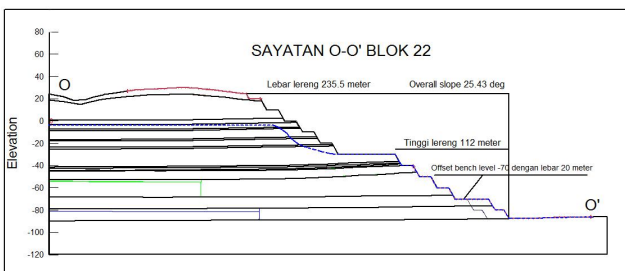
Terdapat *creek* pada blok 12 dengan jarak 108 meter ke desain *crest*. Desain ulang dilakukan dengan *offset bench* pada level -60 sejauh 25 meter dari lebar lereng awal 10 meter menjadi 35 meter, sehingga diperoleh geometri lereng yang aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 1.254, dengan tinggi lereng 103.5 m, lebar 231 m dan *overall* sudut 24.13°. Desain ulang dapat dilihat secara grafis pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain ulang Blok 12

c. Blok 22 dan Blok 23

Desain ulang dilakukan dengan *offset bench* pada level -60 sejauh 20 meter dari lebar lereng awal 10 meter menjadi 30 meter, sehingga diperoleh geometri lereng yang aman dengan nilai Faktor keamanan pada blok 22 sebesar 1.254, dengan tinggi lereng 112 m, lebar 235.5 m dan *overall* sudut 25.43° dan nilai Faktor keamanan pada blok 23 sebesar 1.311, dengan tinggi lereng 104 m, lebar 220 m dan *overall* sudut 25.3°. Desain ulang dapat dilihat secara grafis pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Desain ulang Blok 22

Beberapa perubahan geometri antara kondisi sebelum dan sesudah desain ulang pada blok 08, 09, 12, 22, dan 23 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai faktor keamanan setelah perubahan geometri lereng

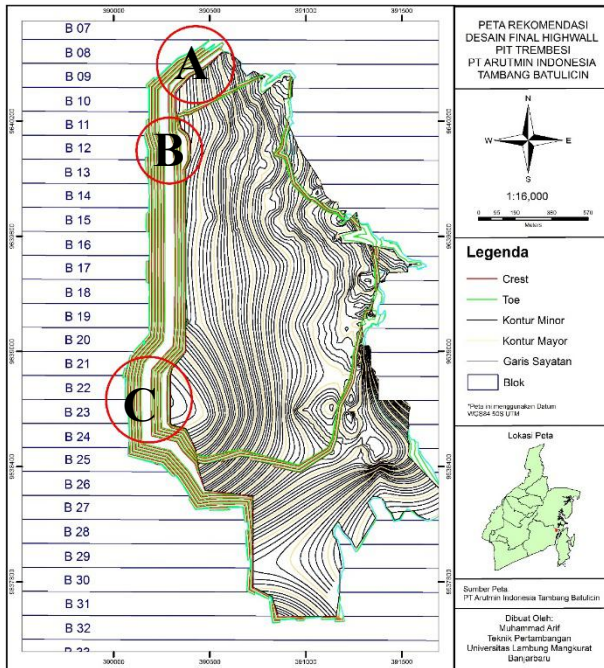
Parameter/ Blok	Tinggi Lereng overall	Lebar Lereng Overall	Sudut Lereng Overall	Nilai FK
Blok 08	67	120	29.17	1.317
Blok 09	70	122	30.25	1.299
Blok 12	103.5	231	24.13	1.254
Blok 22	112	235.5	25.43	1.254
Blok 23	104	220	25.3	1.311

Setelah dilakukan desain ulang, semua blok menunjukkan nilai faktor keamanan diatas 1.25, sehingga dapat disimpulkan semua lereng dalam kondisi stabil atau aman. Nilai Faktor Keamanan hasil desain ulang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai faktor keamanan hasil desain ulang

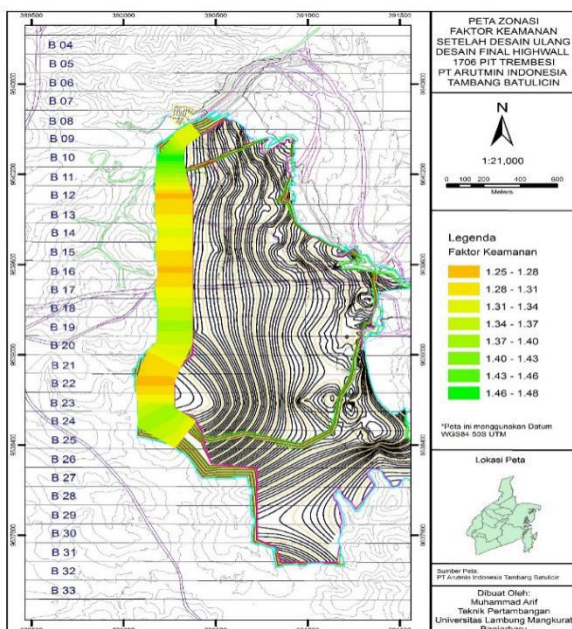
No	Blok	Penampang	Nilai FK	Keterangan
1	Blok 08	A-A'	1.317	Aman
2	Blok 09	B-B'	1.299	Aman
3	Blok 10	C-C'	1.475	Aman
4	Blok 11	D-D'	1.366	Aman
5	Blok 12	E-E'	1.254	Aman
6	Blok 13	F-F'	1.278	Aman
7	Blok 14	G-G'	1.307	Aman
8	Blok 15	H-H'	1.280	Aman
9	Blok 16	I-I'	1.256	Aman
10	Blok 17	J-J'	1.280	Aman
11	Blok 18	K-K'	1.317	Aman
12	Blok 19	L-L'	1.362	Aman
13	Blok 20	M-M'	1.317	Aman
14	Blok 21	N-N'	1.285	Aman
15	Blok 22	O-O'	1.254	Aman
16	Blok 23	P-P'	1.311	Aman
17	Blok 24	Q-Q'	1.370	Aman
18	Blok 25	S-S'	1.289	Aman

Setelah didapatkan nilai faktor keamanan hasil desain ulang pada blok 08, 09, 12, 22 dan 24, selanjutnya dibuatlah desain lereng penambangan baru baru disajikan pada Gambar 11



Gambar 11. Pitshell hasil desain ulang

Peta zonasi potensi kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan untuk menggambarkan secara grafis kondisi faktor keamanan setelah dilakukan desain ulang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Peta zonasi setelah desain ulang

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah hasil analisis tingkat kestabilan lereng menggunakan Metode Kesetimbangan Batas dengan Program Geostudio 2007 didapatkan nilai FK <1.25 atau tidak stabil pada blok 08, 09, 12, 22, dan 23. Hasil zonasi dari Blok 08 sampai blok 25, diperoleh zona aman yaitu pada blok 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, dan blok 21 dan zona tidak aman pada blok 08, 09, 12, 22, dan 23. Berdasarkan simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan nilai FK yang aman pada zona tidak aman maka diberikan rekomendasi sebagai berikut: a) Pada blok 08 dan 09, lebar bench pada level -40 ditambah 15 meter dari lebar awal 10 meter menjadi 25 meter, b) Pada blok 12, lebar bench pada level -60 ditambah 25 meter dari lebar awal 10 meter menjadi 35 meter dan c) Pada blok 22 dan 23, lebar bench pada level -70 ditambah 20 meter dari lebar awal 10 meter menjadi 30 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Read, J and Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Balkema : CRC Press.
- [2] Saptadi, B. (2004). *Pembuatan Peta Zonasi Daerah Bahaya Gerakan Tanah Berdasarkan Analisis Kestabilan Lereng dalam Upaya Pengelolaan Lingkungan (Ruas Jalan Tanjung Sari-Sumedang, Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat)*. Tesis, Ilmu Lingkungan : Universitas Diponegoro.
- [3] Wyllie, D. C. and Mah C. W. (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4th Edition)*. Page 188-191. New York : Spon Press Taylor & Francis Group.
- [4] Hoek, E. & Bray, J., (1981). *Rock Slope Engineering, 3rd edn*. London : IMM.
- [5] Hoek, E. & Bray, J., (2000). *Practical Rock Engineering*. London: The Institute of Mining and Metallurgy.
- [6] Bieniawski, Z.T., (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. New York.: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Das, M.B. (2002). *Principles of Geotechnical Engineering (Fifth Edition)*. Page 485-486. United States of America: Brooks/Cole.
- [8] Krahn, J. (2004). *Stability Modeling with SLOPE/W An Engineering Methodology (Edition Revision 1)*. Page 54-57. Canada:Geo-Slope/W International Ltd.
- [9] Rai, M. A., Kramadibrata S. dan Wattimena R. K.. (2011). *Mekanika Batuan*. Hal. 293-297. Bandung : Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung.
- [10] Anonim. (2005). *Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng Pada Tanah Residual dan Batuan*. Hal 25-26. Jakarta:Departemen Pekerjaan Umum.
- [11] Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik..
- [12] Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Hal. 4-6, 24-27, 105-106, 169-181, 134-140, 223-262. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.



- [13] Noor, D. (2009). *Pengantar Geologi (Edisi Pertama)*. Hal 11-12. Bogor :Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.