

Analisis Efek Rembesan Air Sungai Lawai terhadap Kestabilan Rencana Lereng dengan Metode *Morgenstern-Price* pada *Low Wall* Tambang Air Laya Blok Barat PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan

Triliani Utami^{1*}, Raimon Kopa¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*triliyani@live.nl

Abstract. Bukit Asam using open pit method. Slopes are one of the most important factors in mining activities. Seepage is considering occur in location of studies in low wall of TAL, there is lawai river at the slope's peak which can have an effect on the stability of the pit slope then analysis is needed. The analysis use Morgenstern-Price method with geotechnical software. The input data needed consists of rock lining material, material's permeability, volumetric water content and data of physical and mechanical properties. Analysis of seepage and slope dissociation stability in 3 conditions of the river. The output of analysis are seepage discharge and safety factors. Seepage discharge during dry river is $8,131 \times 10^{-6}$ m³/s with F/S 1,259, river conditions in partial height is $2,492 \times 10^{-4}$ m³/s with F/S 1,171 and the river conditions in maximum height is $4,792 \times 10^{-4}$ m³/s with F/S 1,110. The conclusion is water seepage has an effect on slope stability, the greater the seepage discharge so the smaller the F/S and the smaller the seepage discharge so the greater the F/S. Recommendation is needed by enlarging the slope angle, adding the benches, cutting peak's load around 556.43 m²/m and controlling river airflow at maximum height of 6 meters.

Keywords: Slope Stability, Factor of Safety, Seepage, Seepage Discharge, Morgenstern-Price

1. Pendahuluan

PT. Bukit Asam Tbk. adalah Perusahaan Pertambangan yang dimiliki oleh Pemerintah Indonesia. Perusahaan ini bergerak di bidang penambangan batubara yang didirikan pada tahun 1950 menggunakan sistem penambangan terbuka dengan menerapkan metode *open pit*.

Aktivitas penambangan pada tambang terbuka akan menghadapi masalah dengan lereng kerja (*working slope*) maupun lereng akhir (*final slope*)^[1]. Lereng atau dinding tambang merupakan salah satu faktor yang penting dalam menjamin keamanan dan kelancaran suatu operasi penambangan kegiatan penambangan pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya pada lereng tersebut sehingga dapat menimbulkan keruntuhan atau longsor. Timbulnya longsor dikarenakan gaya penggerak lebih besar dari gaya penahan.

Kestabilan lereng dalam suatu pekerjaan dalam tambang terbuka sangat perlu diperhatikan karena melibat kegiatan penggalian, penimbunan, maupun peledakan. Resiko terjadinya bahaya keruntuhan dan longsor dapat mengganggu keselamatan manusia, peralatan, dan fasilitas pada area penambangan. Dampak terhadap longsor juga dapat mengakibatkan gangguan kegiatan operasi penambangan dan kerugian biaya.

Lereng adalah salah satu faktor terpenting dalam keberlangsungan kegiatan penambangan dengan metode *open pit* sehingga diperlukannya analisis mengenai kestabilan lereng. Perhitungan nilai faktor keamanan merupakan cara untuk menganalisis kestabilan suatu lereng dengan menggunakan data sifat fisik tanah, mekanika tanah (geoteknik tanah) dan bentuk geometri lereng^[2]. Nilai faktor keamanan desain lereng pada

penelitian ini didasarkan pada nilai faktor keamanan (FK) lereng yang ditetapkan oleh PT. Bukit Asam Tbk. yaitu $FK > 1,25$ artinya lereng dalam kondisi aman, $FK < 1,07$ artinya lereng dalam kondisi tidak aman dan $FK > 1,07$; $< 1,25$ artinya lereng dalam kondisi kritis. Kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu geometri lereng, sifat fisik dan mekanik material, struktur geologi, hidrogeologi, cuaca/iklim dan gaya dari luar.

Rembesan berpeluang terjadi pada daerah penelitian di *low wall pit* Tambang Air Laya (TAL), PT. Bukit Asam karena terdapat sungai di puncak lereng yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng *pit* tersebut. Rembesan menyebabkan naiknya tekanan air pori sehingga mengakibatkan menurunnya kekuatan geser tanah^[3] sehingga berakibat masuknya air ke dalam lokasi tambang yang akan menyebabkan terganggunya kegiatan penambangan.

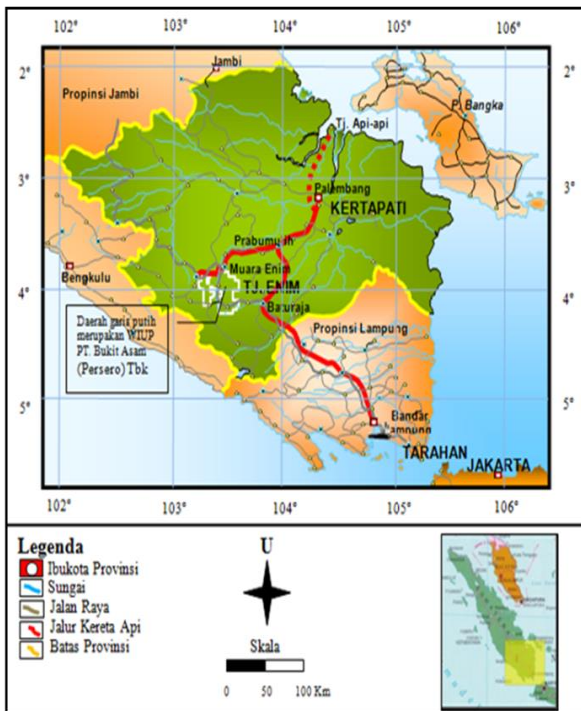
Dapat dilihat dari lokasi penelitian bahwa tambang ini akan dilakukan pengoptimalan galian karena masih banyak batubara yang dapat diambil sehingga dibutuhkan rancangan yang optimal dan aman untuk rencana lereng *low wall* ini. PT. Bukit Asam Tbk telah membuat rancangan rencana lereng yang akan dioptimalkan namun belum ada analisis mengenai efek rembesan terhadap kestabilan rencana lereng tersebut. Sehingga diperlukannya analisis efek rembesan air sungai lawai terhadap kestabilan rencana lereng yang telah dirancang oleh staff PT. Bukit Asam Tbk.

Analisis dilakukan menggunakan metode *Morgenstern Price* dengan bantuan *software* geoteknik. Metode ini akan menghasilkan nilai faktor keamanan sehingga dapat mengkaji efek rembesan terhadap kestabilan lereng dan memberikan rekomendasi sebagai solusi untuk mencegah terjadinya kelongsoran lereng.

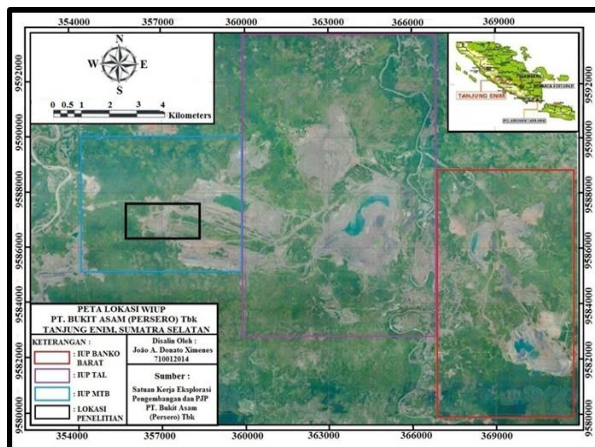
2. Tinjauan Umum

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Bukit Asam Tbk. yang terletak di daerah Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan pada posisi koordinat $3^{\circ} 42' 30'' - 4^{\circ} 47' 30''$ LS dan $103^{\circ} 45' 00'' - 103^{\circ} 50' 10''$ BT atau garis bujur 9.583.200 – 9.593.200 dan lintang 360.600 – 367.000 dalam sistem koordinat internasional. Untuk selengkapnya dapat dilihat peta regional PT. Bukit Asam Tbk UPTE (Gambar 1 dan Gambar 2). Lokasi penelitian difokuskan pada *Low Wall* Tambang Air Laya (TAL) blok Barat.



Gambar 1. Lokasi PT. Bukit Asam Tbk.^[4]



Gambar 2. Foto Udara Lokasi Tambang PT. BA^[4]

2.2. Kestabilan Lereng

Pengertian lereng adalah bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring. Sedangkan kemantapan lereng

didefinisikan sebagai suatu kondisi atau keadaan yang mantap/stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng^[5].

Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor^[5]. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \frac{R}{F_p} \quad (1)$$

Keterangan:

F = Faktor kestabilan lereng,

R = Gaya penahan

F_p = Gaya penggerak

2.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

2.3.1. Geometri Lereng

Geometri lereng terdiri dari tinggi dan sudut lereng. Sudut lereng yang makin besar akan memberikan volume material makin besar, sehingga beban lereng bertambah besar^[6]. Beban yang semakin besar akan memberi peluang terjadinya longsor. Untuk menghindari terjadinya longsor pada saat penambangan, perlu direncanakan geometri lereng yang aman dan realistis.

Geometri jenjang terdiri dari tinggi jenjang, sudut lereng jenjang tunggal, dan lebar dari jenjang penangkap (*catch bench*).

2.3.2. Sifat Fisik dan Mekanik Material

Pada tanah dan batuan dalam keadaan alamiah bekerja antara lain tegangan-tegangan dan tekanan air pori. Kedua hal tersebut mempunyai peranan penting dalam membentuk kestabilan lereng. Sedangkan tanah dan batuan sendiri mempunyai sifat-sifat fisik dan mekanik asli tertentu seperti sudut geser dalam (*angle of internal friction*), kohesi (c), kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, nisbah Poisson dan bobot isi (γ) serta sifat fisik dan mekanik lainnya yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan batuan dan juga mempengaruhi kestabilan lereng^[7].

2.3.3. Struktur Geologi

Struktur geologi yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah adanya bidang-bidang diskontinu atau bidang-bidang lemah seperti sesar dan kekar. Hal yang terpenting dalam bidang diskontinu adalah adanya pengaruh tekanan air yang berada pada rekahan tarik.

Selain adanya rembesan air bidang diskontinu tersebut, rekahan tarik juga akan terisi oleh material pengisi yang dapat memisahkan dua sisi batuan, batuan tersebut akan memiliki kuat geser yang kecil untuk menahan potensi longsor.

Kondisi bidang lemah dan penyebarannya perlu diketahui untuk menentukan arah dan jenis longsor yang terjadi pada massa batuan tersebut, bila jenis

longsor diketahui maka lebih mudah untuk menentukan geometri dan orientasi lereng yang mantap dengan melakukan analisa kestabilan lereng.

2.3.4. Hidrogeologi

Selain menaikkan tegangan air pori, air tanah juga dapat berfungsi sebagai pelarut dan media transportasi material pengisi pada rekahan batuan, sehingga akan mempercepat proses pelapukan batuan dan menambah beban pada bagian yang longsor.

Permeabilitas batuan mempengaruhi air yang akan meresap ke suatu massa batuan. Kondisi yang perlu di atasi untuk air permukaan adalah pengaturan *drainage* yang baik agar tidak terjadi genangan dipermukaan lereng.

2.3.5. Cuaca/iklim

Curah hujan sebagai salah satu komponen iklim, akan mempengaruhi kadar air (*water content*, %) dan kejenuhan air. Hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah, kemudian menyebabkan kondisi fisik material yang ada pada lereng berubah-ubah. Kenaikan kadar air ini akan memperlemah sifat fisik-mekanik tanah karena adanya pelapukan sehingga kondisi internal tubuh lereng berubah dan menurunkan faktor keamanan lereng^[8].

2.3.6. Gaya dari Luar

Salah satu gaya luar yang bekerja pada lereng yang harus diperhitungkan adalah faktor gempa, baik akibat gempa maupun peledakan. Faktor gempa ini dinyatakan dalam satuan g (gravitasi). Semakin besarnya faktor gempa yang dimasukkan dalam analisis kestabilan lereng, maka perjalanan gelombang seismik yang bersifat sementara dari adanya gempa tersebut juga akan semakin besar.

Pengaruh adanya faktor gempa ini yaitu memberikan gaya tarik terhadap lereng sehingga membuat kondisi lereng yang ikut tertarik membentuk suatu rekahan-rekahan kecil sebagai suatu deformasi batuan akibat pengaruh gempa tersebut.

Hal ini jelas meningkatkan gaya yang menyebabkan kelongsoran dan mengurangi gaya yang menahan kelongsoran, sebab dengan terbentuknya rekahan-rekahan tarik tersebut akan mengurangi kekuatan dari batuan tersebut untuk menahan beban dan apabila terjadi hujan, aliran air hujan yang tidak lancar dapat masuk melalui celah dari rekahan-rekahan tersebut yang akan menambah beban lereng dan memungkinkan terjadinya kondisi lereng yang tidak stabil. Semakin besar nilai faktor gempa yang dimasukkan, maka nilai faktor keamanan yang dihasilkan akan semakin menurun.

Pengaruh gaya luar lainnya yang juga harus diperhitungkan adalah beban yang dihasilkan dari lalu lintas alat gali-muat dan angkut serta aktifitas pembebanan lainnya pada lereng.

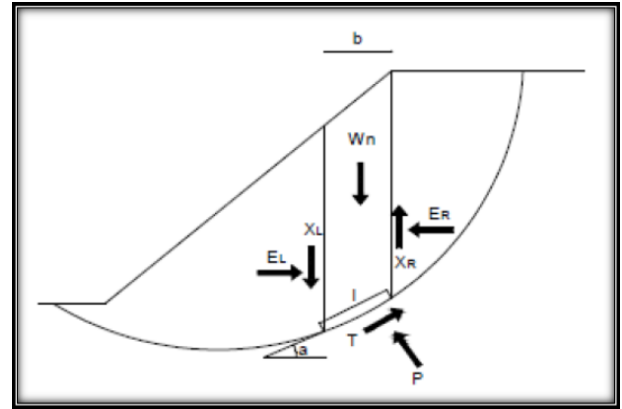
2.4. Metode Analisis Morgenstern-Price

Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh *Morgenstern* dan *Price* pada Tahun 1965. Metode ini

dapat digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan^[9].

Proses dalam metode ini dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser disekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E). dengan persamaan:

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (2)$$



Gambar 3. Gaya-gaya yang Bekerja pada Bidang Irisan Kelongsoran Metode Morgenstern-Price^[10]

Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan bidang kelongsoran ditunjukkan pada persamaanyang berlaku adalah^[10]:

$$P = \frac{[Wn (X_R - X_L) - \frac{1}{F} (c' (\sin \alpha - ul \tan \phi'))]}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{E})} \quad (3)$$

Keterangan:

- P = Gaya normal
- C = kohesi
- Wn = gaya akibat beban tanah ke-n titik pusat busur bidang longsor
- Φ = sudut geser tanah
- U = tekanan air pori
- XL, XR : gaya gesek yang bekerja di tepi irisan

Dalam metode ini analisis faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen adalah untuk bidang kelongsoran *circular*:

$$F_m = \frac{[c' l + p - ul \tan \phi']}{W \sin \alpha} \quad (4)$$

Dan nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan gaya :

$$F_f = \frac{[c' l + (p - ul) \tan \phi'] \cos \alpha}{\sum p \sin \alpha} \quad (5)$$

Pada proses iterasi pertama, gaya geser di sekitar irisan (XL dan XR) diasumsikan nol. Kemudian pada proses iterasi selanjutnya gaya tersebut didapatkan dari rumus :

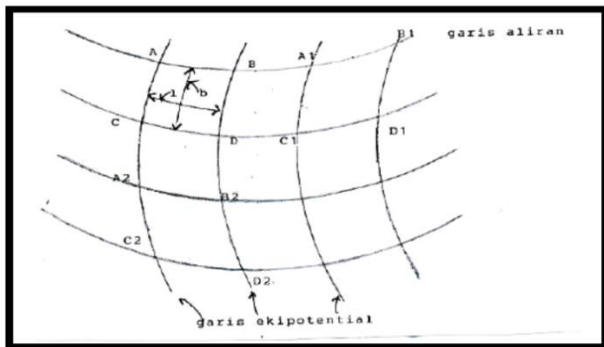
$$\frac{1}{F} c' + p - ul \tan \phi' \cos \alpha \quad (6)$$

Kemudian gaya geser tersebut dihitung dengan mengasumsikan nilai λ dan $f(x)$.

2.5. Jaringan Alir

Garis aliran adalah suatu garis sepanjang mana butir-butir akan bergerak dari bagian hulu ke bagian hilir sungai melalui media tanah yang tembus air (*permeable*). Garis ekipotensial adalah suatu garis sepanjang mana tinggi potensial di semua titik pada garis tersebut adalah sama. Jadi apabila alat-alat *piezometer* diletakkan di beberapa titik yang berbeda-beda di sepanjang suatu garis ekipotensial, air di dalam piezometer tersebut akan naik pada ketinggian yang sama.

Kombinasi dari beberapa garis aliran dan garis ekipotensial dinamakan jaringan aliran (*flow net*). Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa jaringan aliran dibuat untuk menghitung aliran air tanah.



Gambar 4. Garis Aliran dan Ekipotensial dari Jaringan Aliran^[11]

2.6. Metode Pencegahan Longsoran

Apabila diketahui suatu lereng tidak stabil, maka perlu dilakukan usaha mengatasi gejala kelongsoran. Usaha ini dapat dilakukan dengan cara:

2.6.1. Memperkecil Gaya Penggerak

2.6.1.1. Mengurangi Ketinggian Lereng

Pengurangan ketinggian lereng dilakukan dengan membuang sebagian massa batuan di bagian atas hingga lereng tersebut diperkirakan aman^[12].

2.6.1.2. Memperkecil Sudut Lereng

Usaha mencegah kelongsoran dapat juga dilakukan dengan memperkecil kemiringan lereng. Sudut lereng awal adalah α dan setelah dilandaikan menjadi β ^[12].

2.6.1.3. Menurunkan Muka Air Tanah dan Mengendalikan Air Permukaan

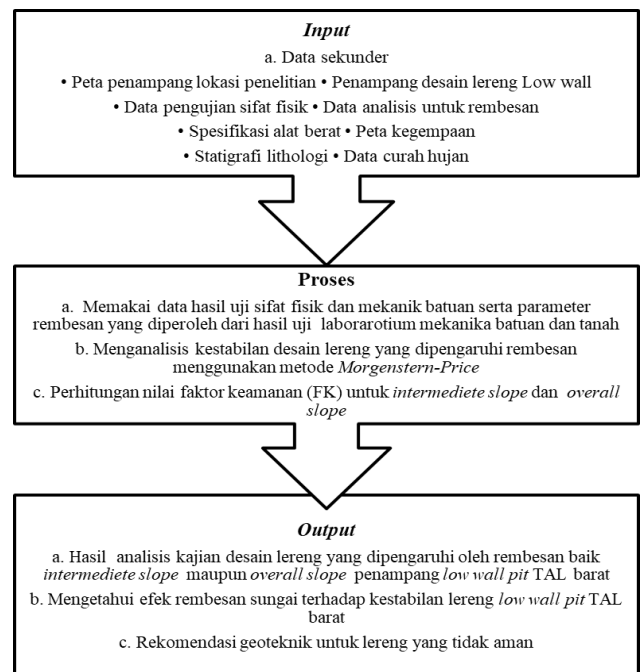
Keberadaan air tanah akan menaikkan tekanan air pori. Ada dua cara yang biasa dilakukan untuk menurunkan muka air tanah, yaitu membuat sumur horizontal dan membuat sumur vertikal. Pada sumur vertikal, air tanah dikeluarkan dengan cara memompa, sedangkan pada sumur horizontal air mengalir melalui saluran yang telah dibuat.

Air permukaan dapat di atasi dengan membuat saluran pada bagian bawah lereng dan menutup rekahan. Dengan demikian air tidak akan merembes ke dalam tanah^[12].

2.6.2. Peningkatan Gaya Penahan

Peningkatan gaya penahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan *Counterweight*, yaitu dengan menambahkan tanah pada kaki lereng. Tanah yang ditambah kemudian dipadatkan dengan alat mekanis seperti *roller*. Cara ini bertujuan untuk menambah gaya penahan di bagian bawah lereng^[13].

2.7. Kerangka Konseptual



Gambar 5. Kerangka Konseptual

3. Metodologi Penelitian

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif. Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik^[14].

Selain menggunakan jenis penelitian kuantitatif, pada penelitian ini juga digunakan jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) merupakan penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah^[15].

3.2. Sumber dan Data Penelitian

Jenis data penelitian merupakan data sekunder. Data sekunder merupakan data-data yang disiapkan dan diperoleh dari perusahaan atau sumber lain. Berikut data sekunder yang didapat dari PT. Bukit Asam Tbk yang mendukung penelitian:

- Peta penampang lokasi penelitian di Tambang Air Laya blok Barat
- Penampang (*cross section*) desain lereng *low wall* TAL barat
- Data parameter uji sifat fisik dan mekanik batuan berupa kohesi (c), bobot isi (γ) dan sudut geser dalam (ϕ) beserta jenis material lapisan.
- Data parameter analisis rembesan (*seepage*) berupa data kadar air volumetrik (θ), koefisien permeabilitas (k_x) dan koefisien pengecilan isi (mv)
- Spesifikasi alat berat
- Peta kegunaan
- Statigrafi dan litologi
- Data curah hujan lokasi penelitian.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendukung keperluan penganalisaan data penelitian ini, penelitian memerlukan sejumlah data pendukung. Teknik pengumpulan data yang dilakukan disesuaikan dengan jenis data yang diambil sebagai berikut:

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari bahan-bahan pustaka yang menunjang, yang diperoleh dari instansi terkait (data perusahaan), perpustakaan (literatur), brosur-brosur (spesifikasi alat).

3.3.2. Penyelidikan di Lapangan

Penyelidikan di lapangan meliputi kegiatan pengamatan dan deskripsi. Dari penyelidikan lapangan diperoleh data pengamatan berupa kondisi lereng penambangan *pit* tambang Air Laya blok barat serta kondisi sungai lawai yang berbatasan dengan tambang.

3.3.3. Pengumpulan Data Hasil Uji Laboratorium

Data yang didapat merupakan nilai bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam untuk analisis kestabilan lereng, sedangkan untuk analisis rembesan berupa kadar air volumetrik, koefisien permeabilitas dan koefisien pengecilan isi. Data tersebut berguna sebagai data masukkan dalam analisis kestabilan lereng dan rembesan.

3.4. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

3.4.1. Pengolahan Data

Mengolah data hasil uji sifat fisik dan mekanik batuan dari laboratorium mekanika batuan dan tanah sehingga menghasilkan parameter hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan

3.4.2. Analisis Kestabilan Lereng dan Rembesan

Analisis rembesan bertujuan untuk mengetahui arah rembesan, debit rembesan dan tinggi muka air tanah yang berefek terhadap kestabilan lereng tersebut. Analisis rembesan pada desain lereng galian pada penampang

melintang (*cross section*) menggunakan data kadar air volumetrik (θ), koefisien permeabilitas (k_x), koefisien pengecilan isi (mv). Sedangkan analisis kestabilan lereng bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (FK) lereng tersebut dimana lereng dikatakan aman jika nilai $FK > 1,25$. Analisis kestabilan lereng dalam penelitian ini dilakukan dengan metode *Morgenstern-Price*. Kedua analisis tersebut saling berhubungan dan dilakukan dengan bantuan *software Geostudio 2012 trial version* dengan dua *sub-program* yaitu *Slope/W* dan *Seep/W*. Analisis efek rembesan terhadap kestabilan lereng disimulasikan pada kondisi sungai lawai saat kering, terisi air pada ketinggian *partial* serta terisi air pada ketinggian maksimum. Data yang diperlukan adalah desain lereng galian, data parameter sifat fisik dan mekanik berupa kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), bobot isi (γ), nilai beban alat berat, nilai faktor kegunaan, muka air tanah dan hasil analisis rembesan^[16].

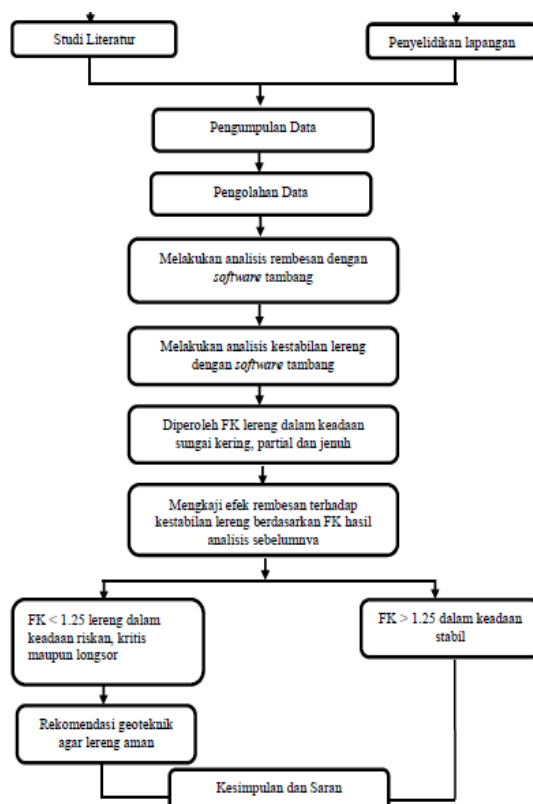
3.4.3. Mengkaji Efek Rembesan terhadap Kestabilan Lereng

Dari hasil analisis yang dilakukan sebelumnya maka didapatkan bagaimana efek rembesan terhadap kestabilan lereng berdasarkan hasil dari faktor keamanannya.

3.4.4. Memberi Rekomendasi Geoteknik

Memberi rekomendasi geoteknik untuk lereng yang tidak aman (≤ 1.25). Rekomendasi dapat berupa resloping, penurunan muka air tanah, peningkatan gaya penahan atau pemberian supporting pada lereng

3.5. Diagram Alir Penelitian



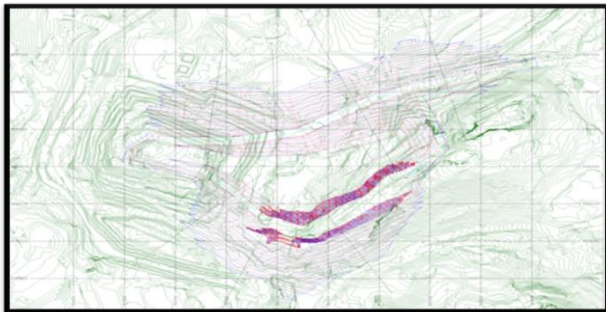
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kondisi Rencana Lereng Tambang pada Low Wall Pit TAL Barat

4.1.1. Peta Situasi dan Penampang Melintang

Penampang yang digunakan ada satu penampang dengan koordinat penampang lokasi (X,Y): (361802, 362337) dan (X',Y'): (9585833, 9586359). Peta situasi dan penampang dapat dilihat di bawah ini:



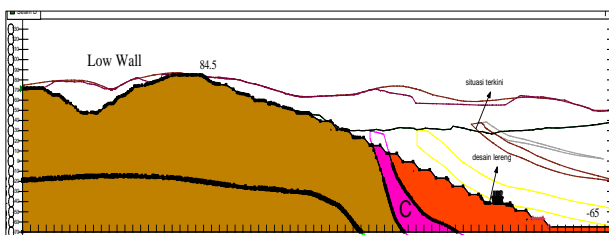
Gambar 7. Peta Situasi dan Penampang Melintang TAL

4.1.2. Geometri Rencana Lereng

Geometri lereng dari rencana penggalian ini memiliki 14 bench single slope, 5 intermediete slope, 1 overall slope dan 1 ramp dengan tinggi lereng keseluruhan 149 meter dan lebar berm 441.4 meter sedangkan tinggi lereng tunggal 7 s/d 8 meter, lebar berm 7 s/d 16 meter dan lebar bench 12 s/d 13 meter serta lebar ramp 31.6 meter dengan sudut lereng berkisar 18° s/d 46°. Berikut tabel dan gambar dari geometri rencana lereng:

Tabel 1. Geometri Lereng Rencana Low Wall TAL Barat

No. Slope	Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)
	Top (m)	Base (m)			
Single slope 1	47	39	8	26,6	16
Single slope 2	39	31	8	45	8
Single slope 3	31	23	6,98	45	6,98
Single slope 4	23	15	8	45	8
Single slope 5	15	7	8	45	8
Single slope 6	7	-1	8	45	8
Single slope 7	-1	-9	8	45	8
Single slope 8	-9	-17	8	45	8
Single Slope 9	-17	-25	8	45	8
Single slope 10	-25	-33	8	45	8
Single slope 11	-33	-42	9	45,971	8,7
Single slope 12	-42	-49	7	44,69	7,08
Single slope 13	-49	-57	8	44,82	8,05
Single slope 14	-57	-65	8	44,91	8,03
Int. Slope	84,5	15	69,275	17,9552	213,775
Int. Slope	84,5	-42	126	19,27	360,5
Overall slope	84,5	-65	149,3	18,69	441,4
Int. Slope	15	-42	56,825	23,02	133,73
Int. Slope	15	-65	80	20,44	214,63
Int. Slope	-42	-65	23	25,02	49,28



Gambar 8. Geometri Rencana Lereng pada Low Wall TAL Barat

4.1.3. Parameter Sifat Fisik dan Mekanik Batuan/Tanah pada Lapisan Lereng

Kuat geser tanah/batuan yaitu kekuatan yang sangat berperan dalam analisa kestabilan lereng terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanik dari batuan tersebut. Sifat fisik batuan yang digunakan dalam menganalisa kemantapan lereng adalah berat isi tanah/batuan (γ) yang dimana semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang akan menyebabkan kelongsoran juga semakin besar karena adanya berat dirinya sendiri yang semakin besar, dengan demikian kemantapan lereng akan berkurang. Sedangkan sifat mekanik yang digunakan adalah kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ). Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan^[17].

Nilai parameter sifat fisik dan mekanik lapisan lereng didapatkan dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah. Pengujian dilakukan oleh satuan kerja bidang geoteknik PT Bukit Asam Tbk. Berikut nilai sifat fisik dan mekanik serta jenis material penyusun lapisan lereng:

Tabel 2. Parameter input sifat fisik dan mekanik lereng TAL pit Barat

No.	Lapisan	Material	Sifat Fisik	Sifat Mekanik	
			γ_w (kN/m ³)	C (KPa)	ϕ (°)
1	Overburden	Clay Siltstone	20,41	77	20
2	Seam A1	Coal	12	200	30
3	Interburden A1-A2	Silty sand	19,9	80,75	13,51
4	Seam A2	Coal	12	200	30
5	Interburden A2-B	Sandy clay	20,78	104	15,97
6	Seam B	Coal	12	200	30
7	Interburden B-C	Silty clay	21,64	50	20
8	Seam C	Coal	12	200	30
9	Lower C	Sand Siltstone	20,68	58	20,44
10	Seam D	Coal	12	200	30

4.1.4. Parameter Analisis Rembesan

Pada low wall tambang Air Laya barat terdapat sungai lawai pada elevasi +47 untuk dasar sungai sampai +71.5 meter dengan jarak sungai ke badan tambang sebesar 279 meter dengan lebar dasar sungai sebesar 47.5 meter dan sudut kemirangan sungai sisi kiri sebesar 28.74° dan sisi kanan sebesar 26.23°. Rembesan dari sungai ini dapat berefek terhadap kestabilan lereng pada low wall Tambang Air Laya sehingga diperlukan analisis rembesan. Parameter yang dibutuhkan untuk analisis rembesan adalah kadar air volumetrik (θ), koefisien permeabilitas (kx) serta koefisien pengecilan isi (mv) yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter Analisis Rembesan

No.	Lapisan	Material	Vol. W.Content (m ³ /m ³)	MV (Kpa)	KX (m/s)
1	Overburden	Clay siltstone	0,3731	0,00001	0,00006184
2	Coal	Coal	0,0794	0,00001	0,00000002
3	Interburden A1-A2	Silty sand	0,3786	0,00001	0,00007704
4	Interburden A2-B	Sandy clay	0,3264	0,00001	0,00006637
5	Interburden B-C	Silty clay	0,2849	0,00001	0,00006372
6	Lower C	Sand/Siltstone	0,2815	0,00001	0,00008837

4.1.5. Tinggi Muka Air Tanah

Kondisi daerah penelitian memiliki iklim tropis dimana curah hujan cukup besar dan bervariasi setiap tahunnya. Pada saat musim kemarau ketinggian muka air tanah dapat mengalami penurunan sedangkan sebaliknya pada saat musim hujan ketinggian muka air tanah dapat mengalami peningkatan. Dengan adanya air tanah pada badan lereng, akan menambah beban lereng tersebut, sehingga meningkatkan gaya dorong material dan menimbulkan gaya angkat air yang mengurangi kekuatan geser material pada badan lereng untuk menahan longsor.

Ketinggian air yang semakin meningkat dapat mengakibatkan berkurangnya faktor keamanan pada lereng tersebut. Pada analisis kestabilan lereng ini muka air tanah dianggap sama dengan hasil analisis rembesannya.

4.1.6. Gaya Luar

Gaya luar yang bekerja pada lereng yang harus diperhitungkan adalah faktor getaran gempa dan beban dinamik lalu lintas alat angkut di tambang. Faktor getaran gempa dipengaruhi oleh gempa bumi maupun aktifitas yang terjadi disekitar lereng seperti kegiatan peledakan.

Pengaruh gaya luar yang dihasilkan dari lalu lintas alat angkut pada penambangan di TAL Barat berasal dari *Heavy Duty HD-785*. Spesifikasi alat angkut ini adalah lebar keseluruhan (*overall width*) per unit sekitar 6,885 m, tinggi roda ban 2 m, sedangkan tinggi total 5,05 m dan beban 450 KN/m³ (spesifikasi lengkap terlampir pada lampiran 2). Dengan demikian, nilai beban yang digunakan dalam analisis nilai faktor keamanan (FK) menggunakan software *GeoStudio Slope/w* adalah sebesar 450 KN/m³. Nilai ini dimasukkan pada beban dinamik di *surcharge load*.

Analisis getaran (*seismic*) pada perangkat lunak *Slope/w* dilakukan menggunakan metode *Pseudostatic* dan dinyatakan dalam satuan gravitasi (g). Berdasarkan data Dinas Pekerjaan Umum Sumatera Selatan, nilai faktor gempa wilayah Tanjung Enim tergolong ke 0,02 g^[18].

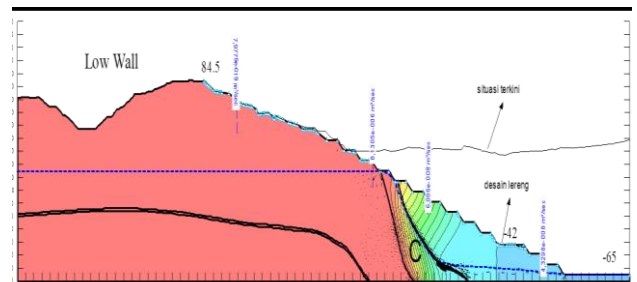
4.2. Efek Rembesan terhadap Kestabilan Lereng Rencana Low Wall Pit TAL Barat

4.2.1. Hasil Analisis Rembesan

Keluaran (*output*) dari analisis rembesan ini berupa nilai debit aliran rembesan. Analisis rembesan disimulasikan pada tiga kondisi ketinggian air sungai yaitu pada saat sungai kering (*minimum*), sungai terisi sebagian (*partial*) dan sungai terisi penuh (*maksimum*). Nilai debit aliran rembesan dapat berbeda-beda tergantung pada posisi lerengnya maka analisis ini dibatasi pada empat posisi yaitu puncak lereng (*flux section 1*), posisi diantara lapisan *lower C* dan *seam C* (*flux section 2*), posisi diantara *seam C* dan *interburden B-C* (*flux section 3*) dan posisi pada jenjang ke 13 (*flux section 4*). Berikut hasil analisis rembesan dari sungai lawai:

4.2.1.1. Kondisi Sungai Kering

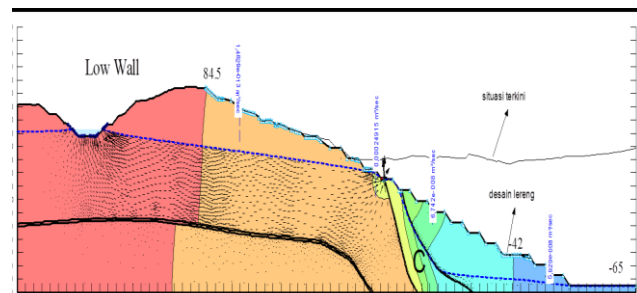
Hasil analisis rembesan saat kondisi sungai kering didapatkan bahwa nilai debit rembesan sangat kecil dan hampir mendekati angka nol. Nilai debit rembesan pada *flux section 1* adalah 7.978×10^{-19} m³/s, *flux section 2* adalah 8.131×10^{-6} m³/s, *flux section 3* adalah 6.086×10^{-8} m³/s dan *flux section 4* adalah 4.33×10^{-8} m³/s.



Gambar 9. Hasil Analisis Rembesan saat Sungai Kering

4.2.1.2. Kondisi Sungai Terisi Partial

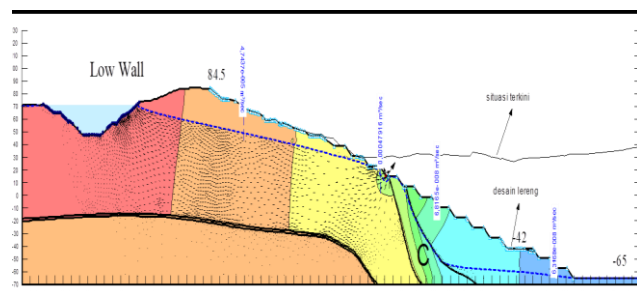
Muka air sungai diasumsikan pada elevasi +53 meter dengan dasar sungai pada elevasi +47 meter yang dimana kedalaman sungai sama dengan 6 meter. Nilai debit rembesan pada *flux section 1* adalah 1.483×10^{-13} m³/s, *flux section 2* adalah 2.492×10^{-4} m³/s, *flux section 3* adalah 6.742×10^{-8} m³/s dan *flux section 4* adalah 5.929×10^{-8} m³/s.



Gambar 10. Hasil Analisis Rembesan saat Sungai Terisi Partial

4.2.1.3. Kondisi Sungai Terisi Penuh

Muka air sungai berada pada elevasi +71 meter dengan dasar sungai pada elevasi +47 meter yang dimana kedalaman sungai sama dengan 24 meter. Nilai debit rembesan pada *flux section 1* adalah 4.744×10^{-5} m³/s, *flux section 2* adalah 4.792×10^{-4} m³/s, *flux section 3* adalah 6.817×10^{-8} m³/s dan *flux section 4* adalah 6.317×10^{-8} m³/s.



Gambar 11. Hasil Analisis Rembesan saat Sungai Terisi Penuh

4.2.2. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Faktor keamanan lereng yang dianalisis berupa lereng tunggal (*single slope*), lereng intermediet (*intermediate slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan ketentuan dari PT. Bukit Asam Tbk. lereng dinyatakan aman apabila $FK \geq 1.25$ sedangkan lereng riskan apabila $FK = 1.08-1.24$, lereng kritis apabila $FK = 1.00-1.07$ dan lereng tidak aman apabila $FK < 1$. Berikut hasil analisis kestabilan lereng pada tiga kondisi sungai di atas:

4.2.2.1. FK saat Sungai Kering

Faktor keamanan lereng rencana pada keadaan sungai kering dapat dinyatakan semua *single slope* dan *intermediate slope* pada elevasi 84.5 s/d 15 meter, 84.5 s/d -42 meter 15 s/d -42 meter, 15 s/d -65 meter dan -42 s/d -65 meter dan *overall slope* dalam kondisi aman. Nilai faktor keamanan lereng rencana dari *single slope*, *intermediate slope* hingga *overall slope* dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. FK Lereng Rencan saat Sungai Kering

Lapisan Batuan / Kondisi Material	No. Slope	Rencana Galian						
		Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)		
		Top (m)	Base (m)					
Lower C	SS 1	47	39	8	26,6	16	4,100	aman
	SS 2	39	31	8	45	8	3,340	aman
	SS 3	31	23	6,98	45	6,98	3,473	aman
	SS 4	23	15	8	45	8	3,319	aman
Seam C	SS 5	15	7	8	45	8	11,41	aman
Interburden B-C	SS 6	7	-1	8	45	8	4,268	aman
	SS 7	-1	-9	8	45	8	2,900	aman
	SS 8	-9	-17	8	45	8	2,892	aman
	SS 9	-17	-25	8	45	8	2,910	aman
	SS 10	-25	-33	8	45	8	2,899	aman
	SS 11	-33	-42	9	45,97	8,7	2,572	aman
	SS 12	-42	-49	7	44,69	7,08	3,093	aman
	SS 13	-49	-57	8	44,82	8,05	2,908	aman
	SS 14	-57	-65	8	44,91	8,03	2,906	aman
	Lower C	IS	84,5	15	69,28	17,96	213,7	1,777
Lower C/C/IB B-C	IS	84,5	-42	126	19,27	360,5	1,249	aman
	OS	84,5	-65	149,3	18,69	441,4	1,259	aman
C/IB B-C	IS	15	-42	56,83	23,02	133,7	1,852	aman
	IS	15	-65	80	20,44	214,6	1,685	aman
IB B-C	IS	-42	-65	23	25,02	49,28	1,713	aman

4.2.2.2. FK saat Sungai Terisi Partial

Faktor keamanan lereng rencana pada keadaan sungai terisi partial dapat dinyatakan semua *single slope* dan *intermediate slope* pada elevasi 84.5 s/d 15 meter, 15 s/d -42 meter, 15 s/d -65 meter dan -42 s/d -65 meter dalam kondisi aman. Namun faktor keamanan *intermediate slope* pada elevasi 84.5 meter sampai elevasi -42 meter dan *overall slope* dinyatakan riskan. Nilai faktor keamanan lereng rencana dari *single slope*, *intermediate slope* hingga *overall slope* dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. FK Lereng Rencana saat Sungai Terisi Partial

Lapisan Batuan / Kondisi Material	No. Slope	Rencana Galian						
		Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)		
		Top (m)	Base (m)					
Lower C	SS 1	47	39	8	26,6	16	4,099	aman
	SS 2	39	31	8	45	8	3,340	aman
	SS 3	31	23	6,98	45	6,98	3,473	aman
	SS 4	23	15	8	45	8	3,060	aman
Seam C	SS 5	15	7	8	45	8	10,40	aman
Interburden B-C	SS 6	7	-1	8	45	8	4,322	aman
	SS 7	-1	-9	8	45	8	2,900	aman
	SS 8	-9	-17	8	45	8	2,899	aman
	SS 9	-17	-25	8	45	8	2,910	aman
	SS 10	-25	-33	8	45	8	2,899	aman
	SS 11	-33	-42	9	45,97	8,7	2,572	aman
	SS 12	-42	-49	7	44,69	7,08	3,093	aman
	SS 13	-49	-57	8	44,82	8,05	2,908	aman
	SS 14	-57	-65	8	44,91	8,03	2,905	aman
	Lower C	IS	84,5	15	69,28	17,96	213,7	1,619
Lower C/C/IB B-C	IS	84,5	-42	126	19,27	360,5	1,145	risikan
	OS	84,5	-65	149,3	18,69	441,4	1,171	risikan
C/IB B-C	IS	15	-42	56,83	23,02	133,7	1,813	aman
	IS	15	-65	80	20,44	214,6	1,654	aman
IB B-C	IS	-42	-65	23	25,02	49,28	1,759	aman

4.2.2.3. FK saat Sungai Terisi Penuh

Faktor keamanan lereng rencana pada keadaan sungai terisi penuh dapat dinyatakan semua *single slope* dan *intermediate slope* pada elevasi 84.5 s/d 15 meter, 15 s/d -42 meter, 15 s/d -65 meter dan -42 s/d -65 meter dalam kondisi aman. Namun faktor keamanan *intermediate slope* pada elevasi 84.5 s/d -42 meter dinyatakan kritis dan *overall slope* dinyatakan riskan. Nilai faktor keamanan lereng rencana dari *single slope*, *intermediate slope* hingga *overall slope* dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. FK Lereng Rencana saat Sungai Terisi Penuh

Lapisan Batuan / Kondisi Material	No. Slope	Rencana Galian						
		Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)		
		Top (m)	Base (m)					
Lower C	SS 1	47	39	8	26,6	16	4,098	aman
	SS 2	39	31	8	45	8	3,340	aman
	SS 3	31	23	6,98	45	6,98	3,275	aman
	SS 4	23	15	8	45	8	2,863	aman
Seam C	SS 5	15	7	8	45	8	10,32	aman
Interburden B-C	SS 6	7	-1	8	45	8	4,323	aman
	SS 7	-1	-9	8	45	8	2,900	aman
	SS 8	-9	-17	8	45	8	2,899	aman
	SS 9	-17	-25	8	45	8	2,903	aman
	SS 10	-25	-33	8	45	8	2,876	aman
	SS 11	-33	-42	9	45,97	8,7	2,548	aman
	SS 12	-42	-49	7	44,69	7,08	2,920	aman
	SS 13	-49	-57	8	44,82	8,05	2,894	aman
	SS 14	-57	-65	8	44,91	8,03	2,883	aman
	Lower C	IS	84,5	15	69,28	17,96	213,7	1,454
Lower C/C/IB B-C	IS	84,5	-42	126	19,27	360,5	1,068	kritis
	OS	84,5	-65	149,3	18,69	441,4	1,110	risikan
C/IB B-C	IS	15	-42	56,83	23,02	133,7	1,797	aman
	IS	15	-65	80	20,44	214,6	1,645	aman
IB B-C	IS	-42	-65	23	25,02	49,28	1,761	aman

4.2.3. Efek Rembesan terhadap Kestabilan Lereng

Hasil di atas menunjukkan bahwa parameter nilai debit rembesan yang berefek terhadap kestabilan lereng adalah permeabilitas material penyusun lereng yang merupakan

kemampuan tanah atau batuan dalam meloloskan air dan tinggi air di sungai yang mempengaruhi tinggi muka air pada lereng. Dapat dilihat pada hasil analisis di atas lereng yang terkena efek dari rembesan menunjukkan nilai faktor keamanan yang berbeda-beda disetiap kondisi sungai.

Sehingga dapat dilihat pada penampang lereng rencana dan hasil analisis bahwa rembesan hanya berefek pada nilai faktor keamanan lereng yang berada di *lower C* pada elevasi +84.5 s/d +15 meter dengan material penyusun berupa *sand* dan *siltstone* yang memiliki nilai permeabilitas 0,00008837 m/s. Sedangkan nilai faktor keamanan lereng yang berada pada perlapisan batubara C dan *interburden* B-C hampir tidak mendapatkan efek dari rembesan karena permeabilitasnya dapat dinyatakan kecil yaitu 0,0000002 m/s.

Pembahasan difokuskan pada lereng yang mendapat efek dari rembesan yaitu lereng yang berada di *lower C*. Hasil kajian mendapatkan bahwa selain permeabilitas, ketinggian air pada sungai juga berefek pada kestabilan lereng. Hasil analisis mendapatkan bahwa ketinggian air sungai pada kondisi maksimum memiliki debit rembesan lebih besar dibanding dengan kondisi *partial* dan kering namun memiliki nilai faktor keamanan lereng lebih kecil dibandingkan dengan kondisi *partial* dan kering.

Sehingga didapatkan kesimpulan nilai debit rembesan berbanding terbalik dengan faktor keamanan lereng dimana semakin besar nilai debit rembesan maka semakin kecil nilai faktor keamanan lereng tersebut sebaliknya semakin kecil nilai debit rembesan maka semakin besar nilai faktor keamanan lereng tersebut. Maka, dari pembahasan di atas menunjukkan rembesan memberi efek terhadap kestabilan lereng.

4.3. Rekomendasi Lereng Rencana yang Aman

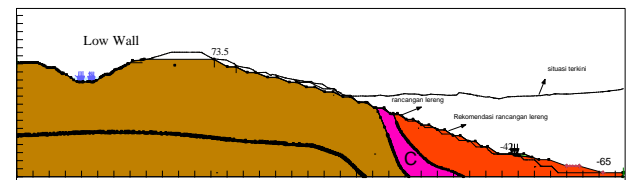
Rekomendasi dari penulis adalah lebar jenjang (*bench*) menjadi sekitar 10.5 s/d 15 meter dengan tinggi jenjang menjadi sekitar 7 s/d 10 meter dan lebar *berm* sekitar 10.5 s/d 22 meter untuk lereng tunggal sehingga sudut lereng menjadi lebih landai sekitar dari 17° s/d 35°.

Selain *re-sloping*, penulis juga merekomendasikan untuk mengurangi beban di puncak lereng dengan memotong puncak dari elevasi +84.5 meter ke +75 meter dengan volume penggalian sebesar 556.43 m²/m dan lereng tunggal ditambah pada elevasi +75 meter sampai +47 meter. Pada jalan tambang terdapat perpotongan dengan batubara seam B sehingga diperlukan juga sebuah *counter weight* untuk menggantikan lapisan batubara seam B karena adanya perpotongan dengan batubara dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng dan untuk alasan optimalisasi galian juga.

Rekomendasi selanjutnya adalah agar ketinggian sungai dijaga pada ketinggian maksimal di elevasi +53 meter dengan kedalaman air 6 meter karena menurut analisis kestabilan lereng ketinggian air sungai memberi efek terhadap kestabilan lereng. Rekomendasi ini disarankan agar rancangan lereng rencana aman namun tetap optimal dengan tidak mengganggu batubara yang telah direncanakan untuk digali.

Tabel 7. Rekomendasi Geometri Lereng Rencana

Lapisan Batuan / Kondisi Material	No. Slope	Rekomendasi Geometri Lereng						
		Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)		
		Top (m)	Base (m)					
Lower C	SS 1	75	66	10	31,2	16,5	3,443	aman
	SS 2	66	59	7	26,6	14	4,450	aman
	SS 3	59	53	6	21,8	15	5,384	aman
	SS 4	53	47	6	21,8	15	5,434	aman
	SS 5	47	41	6	27,6	11,5	4,999	aman
	SS 6	41	35	6	26,6	12	5,056	aman
	SS 7	35	29	6	26,6	12	5,054	aman
	SS 8	29	22	7	33,7	10,5	3,988	aman
	SS 9	22	15	7	33,7	10,5	3,681	aman
Seam C	SS 10	15	8	7	43,0	7,5	12,55	aman
interburden B-C	SS 11	8	1	7	35,8	9,7	5,815	aman
	SS 12	1	-6	7	33,7	10,5	3,445	aman
	SS 13	-6	-12	6	29,7	10,5	4,114	aman
	SS 14	-12	-19	7	35,0	10	3,386	aman
	SS 15	-19	-26	7	35,0	10	3,386	aman
	SS 16	-26	-33	7	43,0	7,5	3,053	aman
	SS 17	-33	-42	9	34,7	13	2,917	aman
	SS 18	-42	-49	7	20,7	18,5	5,556	aman
	SS 19	-49	-57	8	19,6	22,5	3,948	aman
	SS 20	-57	-65	8	15,2	29,5	4,007	aman
Lower C	S	75	15	60	16,8	198,5	1,729	aman
Lower c/IB	S	75	-42	117	18,4	351,5	1,250	aman
B-C	DS	75	-65	140	16,2	481	1,266	aman
C/IB B-C	S	15	-42	57	22,1	140,5	1,858	aman
	S	15	-65	80	16,5	270	1,814	aman
IB B-C	S	-42	-65	23	13,2	98	2,524	aman



Gambar 12. Rekomendasi Geometri untuk Rencana Lereng Low Wall TAL Barat

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

- *Low wall* TAL barat berbatas langsung dengan sungai lawai dan geometri rencana lereng memiliki 14 *bench single slope*, 5 *intermediate slope*, 1 *overall slope* dan 1 *ramp* dengan tinggi lereng 7 s/d 149.5 meter, lebar *berm* 7 s/d 441 meter, lebar *bench* 12 s/d 13 meter dan lebar *ramp* 31.6 meter dengan sudut lereng berkisar 18° s/d 46°. Material penyusun berupa *sand*, *siltstone*, *silty clay* dan *coal*.
- Hasil analisis rembesan dan kestabilan lereng pada tiga kondisi sungai adalah sebagai berikut:
 - Nilai debit rembesan saat sungai kering adalah 8.131×10^{-6} m³/s dengan nilai faktor keamanan *overall slope* yaitu 1.259, *intermediate slope lower C* yaitu 1.777 dan *intermediate slope IB B-C* yaitu 1.685.
 - Nilai debit rembesan saat sungai terisi sebagian adalah 2.492×10^{-4} m³/s dengan nilai faktor keamanan *overall slope* yaitu 1.171, *intermediate slope lower C* yaitu 1.619 dan *intermediate slope IB B-C* yaitu 1.654.
 - Nilai debit rembesan saat sungai terisi penuh adalah 4.792×10^{-4} m³/s dengan nilai faktor

keamanan *overall slope* yaitu 1.110, *intermediate slope lower C* yaitu 1.454 dan *intermediate slope IB B-C* yaitu 1.645

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi air dalam sungai berpengaruh terhadap nilai debit rembesan sehingga berefek terhadap kestabilan lereng yaitu nilai faktor keamanan. Semakin besar nilai debit rembesan maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng tersebut sedangkan semakin kecil nilai debit rembesan maka semakin kecil pula nilai faktor keamanan lereng tersebut.

- Hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan bahwa rancangan rencana lereng pada *low wall* TAL barat dinyatakan belum aman sehingga diperlukan rekomendasi. Upaya yang dilakukan agar rencana lereng galian aman adalah memangkas beban puncak lereng rencana sebanyak 556.43 m²/m, mengganti geometri lereng dengan lebar jenjang (*bench*) menjadi sekitar 10.5 s/d 15 meter dengan tinggi jenjang menjadi sekitar 7 s/d 10 meter dan lebar *berm* sekitar 10.5 s/d 22 meter untuk lereng tunggal sehingga sudut lereng menjadi lebih landai sekitar 17° s/d 35°, penambahan jenjang lereng dan menjaga ketinggian sungai tetap pada elevasi 53 meter dengan kedalaman maksimal 6 meter.

5.2. Saran

- Lakukan kegiatan *monitoring* terhadap ketinggian air di dalam sungai agar ketinggian sungai tidak melebihi ketinggian yang telah direkomendasikan yaitu pada elevasi +53 meter dengan kedalaman 6 meter.
- *Monitoring* terhadap lereng juga harus dilakukan karena saat kegiatan penggalian berpotensi terjadinya pergerakan batuan atau tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor.

Daftar Pustaka

- [1] Arif, I. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama (2016).
- [2] Zakaria, Z. *Analisis Kestabilan Lereng*. Bandung: Universitas Padjadjaran (2009)
- [3] Ariana, D., Pudjihardjo, H., Fahrudin, F., & Tunggal, J. *Pengaruh Seepage dan Kestabilan Lereng terhadap Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Bukit M Air Laya Blok Timur, Unit Pertambangan Tanjung Enim*. Geological Engineering E-Journal, **Vol.3, No.1** (2014).
- [4] Anonim. *Arsip Satuan Kerja Geoteknik dan Eksplorasi PT. Bukit Asam Tbk* (2017).
- [5] Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press (2004).
- [6] R.B. Pratama dkk. *Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150 – Sta 3+200, Karanganyar)*. Jurnal Karya Teknik Sipil, **Vol. 3, No. 3** (2014).
- [7] Vert Hoek and John Bray. *Rock Slope Engineering (Third Edition)* (1981).
- [8] Hirnawan, R.F. Zakaria, Z. *Sikap fisik tanah lapukan breksi volkanik terhadap kadar air sebagai dasar simulasi geometris lereng kupasan stabil di Jatiningor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Ahli Geologi Indonesia ke-20: 553-571 (1991).
- [9] Manurung, R., Surjandari, N.S., Djarwati, N. *Analisis Stabilitas Lereng berdasarkan Hujan 3 Hari Berurutan di Das Tirtomoyo (Studi kasus Desa Damon, Hargorejo, Wonogiri)*. Jurnal Matriks Teknik Sipil UNS, **Vol. 4 No. 1** (2016).
- [10] Takwin, G.A., Turangan, A.E., Randonuwu, S.G. *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (studi kasus: Diamond Hill Citraland)*. Jurnal Tekno Unstrat, **Vol. 16 No. 67** (2017).
- [11] Kementerian PUPR. *Modul Analisa Stabilitas Bendungan: Perhitungan Rembesan*. Bandung: PUSDIKLAT SDAK (2017).
- [12] Sandra, H., Anaperta, Y.M. *Analisis Kesetabilan Lereng Studi Kasus Area Tambang Rakyat di Bukit Tui S0°28'43.15" E100°24'16.24"-S0°28'43.15" E100°24'15.28" Kecamatan Padang Panjang Barat Kabupaten Padang Panjang*. Jurnal Bina Tambang **Vol. 3 No. 4** (2018).
- [13] A.S. Wardhana. *Analisa Stabilitas Lereng dengan Metode Counterweight Lokasi STA 25+750 Ruas Jalan Sp.Perdau-Batu Ampar*. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, **Vol. 1, No. 2** (2013).
- [14] Septian, R., Heriyadi, B., Prabowo, H. *Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang di Pt. Sumbar Calcium Pratama Jorong Atas Halaban, Nagari Halaban, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat*. Jurnal Bina Tambang, **Vol. 3 No.2** (2018).
- [15] Sugiyono. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta (2010).
- [16] *Geostudio Slope/W Manual Book*.
- [17] Haris, V.T., Lubis, F., Winayati. *Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Tanah pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning*. SIKLUS (Jurnal Teknik Sipil UNILAK) **Vol. 4 No. 2** (2018).
- [18] Kementerian Pekerjaan Umum. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*.