



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENGARUH REMBESAN (*SEEPAGE*) DAN KESTABILAN
LERENG TERHADAP OPTIMALISASI GEOMETRI LERENG
TAMBANG BUKIT M AIR LAYA BLOK TIMUR
UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG ENIM**

**NASKAH PUBLIKASI
TUGAS AKHIR**

**DIANA ARIANA
NIM. L2L 009 051**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
MARET 2014**

PENGARUH SEEPAGE DAN KESTABILAN LERENG TERHADAP OPTIMALISASI GEOMETRI LERENG TAMBANG BUKIT M AIR LAYA BLOK TIMUR, UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG ENIM

Oleh :

*Diana Ariana**, *Henarno Pudjihardjo**, *Fahrudin** dan *Joko Tunggal***
(*corresponding email : Dianaariana919@gmail.com*)

* Program Studi Teknik Geologi Universitas Diponegoro, Semarang.

**Divisi Geoteknik Unit Pertambangan Tanjung Enim, PT.Bukit Asam(Persero),Tbk.

Kestabilan lereng merupakan salah satu hal terpenting dalam proses eksploitasi tambang batubara. Diperlukan penyelidikan geoteknik dalam perancangan desain yang aman dan efektif sehingga penambangan batubara dapat dioptimalisasikan. Daerah penelitian dilakukan pada tambang Bukit M Air Laya Blok Timur Unit Pertambangan Tanjung Enim. Lokasi tambang ini berada disebelah barat sungai, penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pola aliran dan kestabilan lereng dalam optimalisasi geometri lereng.

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan cara melakukan interpretasi data log bor untuk mengetahui karakteristik tiap lapisan penyusun daerah tersebut meliputi data permeabilitas, kohesi, sudut geser serta bobot isi yang nantinya akan diolah menggunakan *software Geoslope Seep/w* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar debit yang akan merembes dan *Geoslope Slope/w* dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan suatu lereng.

Analisis rembesan terhadap kestabilan lereng dimodelkan dengan 2 penampang dengan jarak *boundary* tambang dari sungai yaitu 100m. Dua penampang memiliki elevasi tambang dibawah sungai Enim yaitu penampang C-C' menghasilkan debit sebesar $3.186e-08 \text{ m}^3/\text{s}$, penampang D-D' menghasilkan debit sebesar $4.768e-08 \text{ m}^3/\text{s}$. Analisa *Slope/w* dihasilkan Fk Penampang C-C' = 1.754 (Stabil) Penampang D-D' = 2.509 (Stabil). Penampang E-E' = 2.310 (Stabil). Untuk desain pelebaran lereng /*boundary* tambang dilakukan pula analisa kelerengan pada lereng utara dan selatan sebanyak 3 penampang dihasilkan Fk penampang G-G' memiliki FK 1.992 (U) dan 1.583 (S). penampang H-H' 1.855 (S) dan penampang I-I' 1.608 (U) dan 1.904 (S). Dari hasil kajian optimalisasi pelebaran dengan jarak 100 m dari Sungai Enim ke *boundary* tambang memiliki FK overall slope > 1.72 dengan pengaruh pola aliran dari sungai ke tambang maupun tambang ke sungai dikategorikan tidak terlalu besar sehingga pada daerah ini layak untuk diperlebar atau dioptimalkan.

Kata kunci: *Seepage*, log bor, *seep/w*, *slope/w*, debit, faktor keamanan

I. PENDAHULUAN

Dalam tahap eksploitasi penambahan batubara diperlukan perencanaan yang matang dengan mempertimbangkan berbagai aspek. Antara lain aspek geoteknik meliputi geometri lereng, faktor keamanan dan aspek hidrogeologi yang mempengaruhi pola pengaliran serta penataan regulasi yang mengatur penambangan. Lokasi penelitian merupakan sebuah tubuh tambang yang berpeluang untuk terjadinya rembesan. Rembesan menyebabkan naiknya tekanan air pori sehingga mengakibatkan menurunnya kekuatan geser tanah (ikhdan 2005). Hal tersebut dapat mengganggu kestabilan lereng untuk itu diperlukan kontrol debit air yang masuk pada lokasi tambang.

II. LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan pada PT. Bukit Asam. Tbk Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan. Terletak kurang lebih berjarak 190 km di sebelah barat

daya ibukota propinsi Sumatera Selatan/Palembang.

III. GEOLOGI REGIONAL

Lokasi penelitian termasuk dalam kawasan Sumatera Selatan termasuk pada zona dataran rendah dan berbukit. Secara umum tersusun oleh perbukitan terjal, perbukitan bergelombang, dataran rendah yang tersebar di beberapa tempat.

Kegiatan tektonik tersebut menyebabkan terbentuknya cekungan sedimen yang berumur Tersier dan terletak di belakang busur gunung api atau sebelah timur Pegunungan Barisan serta termasuk dalam cekungan belakang busur/busur-belakang. Salah satu cekungan tersebut adalah Cekungan Sumatera Selatan, tempat terendapkannya batuan sedimen pembawa batubara berumur Tersier Akhir yaitu Formasi Muara Enim. Pada akhir Tersier sampai Kuartar, kegiatan tektonik berlanjut dan menyebabkan batuan sedimen yang berada di Sumatera terangkat, tersesarkan dan terlipat. Pada kala itu

terbentuklah Antiklinorium Muara Enim (Tim Geologi PTBA, 2008).

IV. TINJAUAN PUSTAKA

Perembesan air secara lateral (*seepage*) dan secara vertikal (perlokasi) dipengaruhi oleh permeabilitas, porositas, tekstur kedalaman pori, struktur, kelembaban dan muka air tanah. (Fukuda dan Tutsui, 1973 ; dalam Ikhdam 2005). Garis rembesan atau *Seepage line* dipengaruhi oleh faktor faktor yaitu permeabilitas, jarak dari tempat air kelerengan dan posisi muka air tanah.

Menurut Ikhdam (2005) rembesan pada tubuh tambang akan membentuk suatu pola aliran air yang akan menyebabkan naiknya tekanan air pori sehingga mengakibatkan menurunnya kekuatan geser tanah. Hal tersebut dapat mengganggu kestabilan lereng untuk itu diperlukan kontrol debit air yang masuk pada lokasi tambang.

Kemantapan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan dengan gaya penahan dan gaya penggerak. Keamanan lereng dinyatakan dengan nilai FK (faktor

keamanan). Apabila $F > 1,0$ yaitu gaya penahan $>$ gaya penggerak maka lereng dalam keadaan aman. Tetapi bila $F < 1,0$ yaitu gaya penahan $<$ gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam kondisi tidak aman.

Faktor faktor pembentuk gaya penahan adalah jenis batuan, sifat fisik dan mekanik batuan (Bobot isi, Sudut geser dalam, kohesi). Sedangkan faktor pembentuk gaya penggerak adalah bobot isi, kandungan air tanah, sudut lereng, proses pelapukan, bidang lemah, dan aktifitas manusia.

V. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam perhitungan rembesan dengan menggunakan interpretasi sifat fisik dan mekanik log bor pada daerah penelitian. Untuk permodelan rembesan menggunakan software Geostudio (*seep/w*) kemudian untuk kestabilan lereng menggunakan (*slope/w*) dengan metode bishop dan janbu.

VI. PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji tentang optimalisasi tambang yang akan

ditunjang dari aspek kelerengan dan hidrogeologi dari daerah tersebut serta asas pentaatan terhadap regulasi yang mengatur penambangan yang berdekatan dengan sungai.

Stratigrafi pada daerah penelitian merupakan Formasi batubara Muara Enim subbagian anggota M2 lapisan C (Petai), lapisan B yang ter-*splitting* menjadi 2 yaitu B2 dan B1, kemudian lapisan A yang terpecah juga menjadi 2 yaitu A2 dan A1.

Berdasarkan asas pentaatan terhadap regulasi yaitu : Kepres no 32 tahun 1990. Pasal 16 berbunyi : “ Kriteria Sempadan sungai adalah sekurang kurangnya 100 meter dari kiri kanan sungai besar dan 50 meter di kiri kanan anak sungai yang berada diluar pemukiman”.

Kondisi umum daerah penelitian dibagian utara adalah daerah tambang, timur adalah Sungai Enim, Barat adalh Tambang Air Laya, dan Selatan adalah Sungai Bangau, Diklat. Penelitian ini menggunakan 7 titik bor yaitu titik bor ALB 103, ALB 183, ALB 186, BGT 21, MR 01, MR 02, dan MR 03.

Analisis masing masing litologi :

Pada analisis kelerengan masing - masing litologi dapat dikondisikan menjadi dua kondisi yang berbeda yaitu :

Pertama dikondisikan bahwa litologi tersebut jenuh air hal ini dikarenakan kita memasukan faktor air permukaan. Menggunakan kohesi residu.

Kedua menghubungkan antara *seep/w* dan *slope/w*. litologi yang akan dikaji terdiri dari Lapisan OB, A1, Int.A1-A2, A2, A2-B1, B1, Int.B1-B2, B2, Int.B2-C, dan C. Menggunakan kohesi *peak*.

Tabel 1. Data Parameter Lapisan

Lapisan	Ketebalan	Parameter Lapisan			Permeabilitas	
	Rata rata m	γ_w kN/m ³	Cp kPa	ϕ_p deg	m/s	Kriteria
Batubara	6.97	12	300	30	9.600e-09	Sangat Rendah
Int.A1-A2	2.41	20.2	102.77	22.11	4.242e-07	Rendah
Int.A2-B1	7.17	20.99	93.59	22.44	3.981e-07	Rendah
Int.B1-B2	2.39	21.65	158.37	25.97	2.855e-07	Rendah
Int.B2-C	37.59	22.06	146.83	26.29	4.121e-05	Sangat Cepat

Tabel 1 menjelaskan tentang data parameter lapisan yaitu data hasil bor ini diinput pada tabel kemudian dilakukan analisis geostatistik sehingga didapatkan nilai *average* dan *median*.

Dari hasil titik bor tersebut diperoleh hasil faktor keamanan lereng

tunggal pada masing - masing lapisan sebagai berikut:

a. Lapisan Overburden

Lapisan overburden tersusun oleh *sandy silty claystone*. Pada simulasi faktor keamanan dilakukan dengan tinggi jenjang 2 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 16,02$ kPa, $\phi : 16.07^0$, $\gamma : 20.22$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 2,729.

b. Lapisan Batubara

Lapisan Batubara dengan tinggi jenjang 8 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 300$ kPa, $\phi : 30^0$, $\gamma : 12$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 23,351.

c. Lapisan Int.A1-A2

Lapisan Int.A1-A2 tersusun oleh *silty sandy claystone*. Pada simulasi faktor keamanan dilakukan dengan tinggi jenjang 2 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 97.80$ kPa, $\phi : 22.05^0$, $\gamma : 20.20$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 16,385.

d. Lapisan Int.A2-B1

Lapisan Int.A2-B1 tersusun oleh *sandy silty claystone*. Pada simulasi faktor keamanan dilakukan dengan

tinggi jenjang 7 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 60.90$ kPa, $\phi : 21.16^0$, $\gamma : 20.99$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 3,087.

e. Lapisan Int.B1-B2

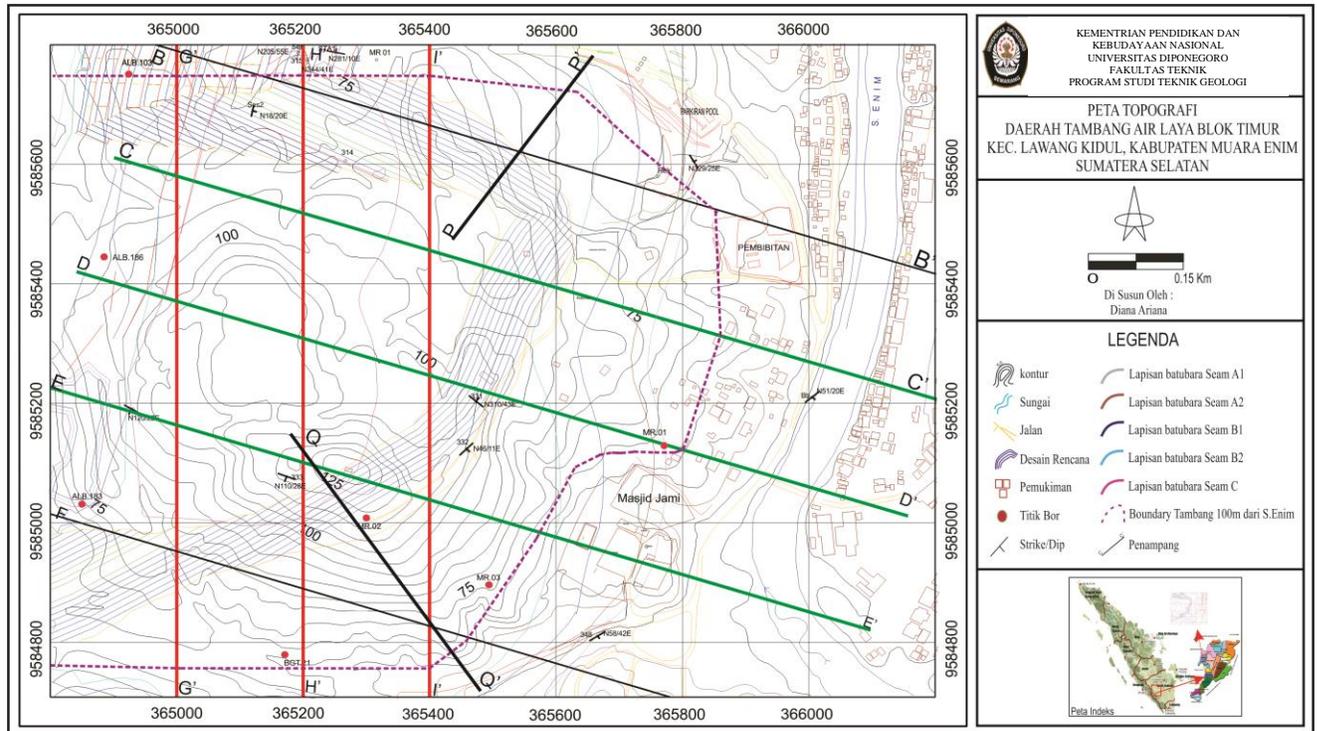
Lapisan Int.B1-B2 tersusun oleh *silty clay sandstone*. Pada simulasi faktor keamanan dilakukan dengan tinggi jenjang 2 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 82.44$ kPa, $\phi : 23.72^0$, $\gamma : 21.65$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 12,286.

f. Lapisan Int.B2-C

Lapisan Int.B2-C tersusun oleh perselingan lempung karbonan dengan batupasir tufaan dengan tingkat pelapukan sedang. Pada simulasi faktor keamanan dilakukan dengan tinggi jenjang 12 m, dengan skala kelerengan 1:1. Dengan nilai $c : 141.24$ kPa, $\phi : 23.77^0$, $\gamma : 22.06$ kN/m³ menghasilkan nilai FK 2,450.

Analisis Seep/w dan Slope Stability Overallslope

Setelah dilakukan analisis kelerengan pada *single slope* didapatkan hasil FK yang aman dengan skala kelerengan 1:1 kemudian



Gambar 1. Peta daerah penelitian Tambang Air Laya Sektor Timur

langkah berikutnya adalah analisis *overall slope* dengan menggunakan permodelan litologi bawah permukaan daerah kajian. Analisis kelereng daerah Tambang Air Laya blok timur menggunakan 6 penampang dimana 3 penampang berarah barat - timur yang disayat tegak lurus dengan Sungai Enim, dan 3 penampang berikutnya berarah utara - selatan. (Gambar 1)

Pada penampang C-C', D-D' dan E-E' dengan menghubungkan pola aliran terhadap kestabilan lereng digunakan $FK > 1,5 - 2$ hal ini mempertimbangkan bahwa disekitar daerah terdapat infrastruktur.

Sedangkan pada penampang G-G', H-H' dan I-I' untuk pelebaran desain *boundary* lereng dikondisikan jenuh air. menggunakan $FK > 1,5$ dikarenakan disekitar daerah tidak terdapat infrastruktur.

1. Penampang C-C'

Pada penampang C-C' dengan jarak 100m dari sungai Enim terhadap *boundary* tambang. Diperoleh nilai *seep/w* sebesar $3.186e-08$ m/s.

Desain kelereng memiliki tinggi 55,3m terdiri dari 5 jenjang dengan skala 1:1 pada *single slopenya* sedangkan pada *overall slope* sudut dalam yang terbentuk sebesar 24^0 .

Setelah dilakukan analisis *overall slope* dengan *intermediet slope* dihasilkan FK >1.7 dimana nilai *overall slope* dengan menggunakan metode bishop sebesar 1.754 (Stabil) serta pada *intermediet slope* sebesar 1.676 (Stabil) sedangkan menggunakan metode janbu sebesar 1.554 (Stabil) serta pada *intermediet slope* sebesar 1.488 (Stabil).

2. Penampang D-D'

Pada analisis *overall slope* sayatan penampang D-D' diperoleh nilai *seep/w* sebesar 4.678e-08 m/s.

Desain kelerengan memiliki tinggi 55 m terdiri dari 5 jenjang dengan skala 1:1 pada *single slopenya* sedangkan pada *overall slope* sudut dalam yang terbentuk sebesar 23°. Setelah dilakukan analisis *overall slope* dengan menggunakan metode bishop sebesar 2.509 (Stabil) serta pada *intermediet slope* sebesar 2.332 (Stabil) sedangkan menggunakan metode janbu sebesar 2.278 (Stabil) serta pada *intermediet slope* sebesar 2.056 (Stabil).

3. Penampang E-E'

Pada analisis *overall slope* sayatan penampang E-E' memiliki desain kelerengan memiliki tinggi 26m terdiri dari 3 jenjang dengan skala 1:1 pada *single slopenya* sedangkan pada *overall slope* sudut dalam yang terbentuk sebesar 25°. Setelah dilakukan analisis *overall slope* dihasilkan FK = 2,310 (Stabil).

4. Penampang G-G'

Pada penampang lapisan G-G' dengan mengkondisikan daerah tersebut jenuh air. Pada 2 bagian kelerengan didapatkan hasil >1,5 yaitu dibagian selatan FK 1,583 (Stabil) dan lereng sebelah utara FK 1,992 (Stabil).

5. Penampang H-H'

Pada penampang lapisan H-H' dengan mengkondisikan daerah tersebut jenuh air. Pada kelerengan tersebut dihasilkan FK >1,5 yaitu dibagian selatan FK = 1,855 (Stabil).

6. Penampang I-I'

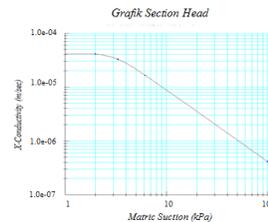
Pada penampang lapisan I-I' dengan mengkondisikan daerah tersebut jenuh air. Pada 2 bagian kelerengan didapatkan hasil dibagian selatan FK = 1,904 (stabil) dan lereng sebelah utara FK = 1,608 (stabil)

Hubungan Pola aliran rembesan terhadap kestabilan lereng

Pola aliran yang terbentuk akibat rembesan pada umumnya menaikkan tekanan pori sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah dan dapat mengganggu kestabilan lereng. Setelah dilakukan analisis dari hasil penelitian diatas hubungan jarak dan besar debit pada penampang C-C' dan D-D' dimana jarak 50m hingga 150m. Kenampakan permodelan pada penampang C-C' dan D-D' relatif sama yaitu semakin jauh nilai debit semakin kecil.

Dari hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa besar debit berhubungan dengan jarak dan permeabilitas litologi penyusunnya. Jarak berbanding lurus dengan nilai debit, apabila semakin jauh jarak nya semakin kecil nilai debitnya dan apabila semakin dekat jaraknya semakin kecil nilai debitnya. Disamping itu diperlukan parameter permeabilitas litologi penyusun daerah tersebut.

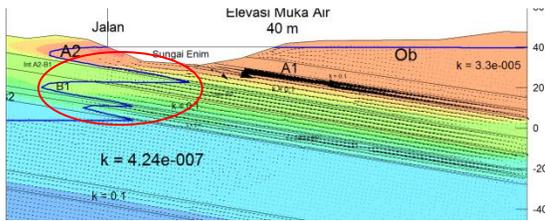
Selain itu faktor lainnya adalah hubungan permeabilitas dengan kepadatan :



Gambar 2. Grafik section

Dilihat dari grafik *Section Head* yang ditunjukkan oleh gambar 2 diketahui bahwa nilai permeabilitas berbanding terbalik dengan nilai *matrik section* yaitu apabila tingkat kepadatan suatu butir batuan tinggi maka nilai dari permeabilitasnya kecil sedangkan apabila tingkat kepadatan dari butir batuan kecil maka permeabilitasnya besar.

Pada *overall slope* permodelan pola aliran (*seepage*) diatas terlihat zona freatik terlihat tidak teratur nilai permeabilitas yang berbeda beda dan arah lapisan yang berlawanan dengan pola aliran. Seperti prinsip sifat air yang mengalir dari daerah tinggi menuju ke daerah yang rendah. Selain itu pada permeabilitas yang besar perilaku alirannya cenderung mengalir.



Gambar 3. Pola Vektor pada Penampang C-C'

Pada gambar 3 terlihat adanya rembesan pada lapisan interburden yang dimodelkan oleh pola vektor pada penampang tersebut (lingkaran merah). Hal ini diidentifikasi karena adanya tekanan pori pada lapisan *interburden* sehingga menyerap air yang ada diatas lapisan atau mengakibatkan lapisan atas permukaan merembes kelapisan bawahnya. Selain itu vektor pada permodelan ini kurang sesuai dengan simulasi sebenarnya terlihat pada perlakuan air terhadap lapisan *interburden* vektor bergerak searah dengan lapisan tetapi saat berada pada lapisan batubara perlakuan air yang di modelkan dengan vektor berarah berlawanan hal ini dikarenakan kelemahan dari software tersebut dimana *boundary* atau batas dari bagian paling kanan dianggap sebagai dinding atau kedap air, selain itu

keterbatasan data ditunjang karena tidak didapatkannya data pada daerah sebelah timur daerah kajian.

Hubungan antara pola aliran (*seepage*) dengan kestabilan lereng adalah bila debit rembesan besar nilai FK akan kecil bila debit rembesan kecil maka FK akan besar. Selain itu parameter kohesi, sudut geser dalam, serta bobot isi, walaupun kelerengan semakin mendekati bibir sungai nilai FK masih stabil hal ini dikarenakan semakin kearah sungai, lereng melewati batubara dengan nilai kohesi tinggi sehingga hasil FK yang didapatkan juga tinggi walaupun semakin kekanan debit semakin besar.

VII. KESIMPULAN

7.1 Kesimpulan

1. Pada pengukuran analisis kelerengan diperlukan pengukuran nilai bobot isi, sudut geser dalam serta nilai densitas. (Tabel 3)

Tabel 3. Data Parameter Lapisan

Lapisan	Ketebalan Rata rata m	Parameter Lapisan			Permeabilitas	
		γ_w kN/m ³	C_p kPa	ϕ_p deg	m/s	Kriteria
Batubara	6.97	12	300	30	9.600e-09	Sangat Rendah
Int.A1-A2	2.41	20.2	102.77	22.11	4.242e-07	Rendah
Int.A2-B1	7.17	20.99	93.59	22.44	3.981e-07	Rendah
Int.B1-B2	2.39	21.65	158.37	25.97	2.855e-07	Rendah
Int.B2-C	37.59	22.06	146.83	26.29	4.121e-05	Sangat Cepat

3. Hubungan antara debit dengan FK adalah bila debit besar maka nilai FK menjadi kecil sedangkan bila debit kecil maka nilai FK menjadi besar. (Tabel 3)

Tabel 4.. Hasil perhitungan debit dan FK pada penampang Barat –Timur

Penampang	Debit (m ³ /s)			Geometri Lereng		FK
	Jarak dari sungai (m)	Aliran air dari Sungai Enim ke tambang	Aliran air dari Tambang ke Sungai Enim	Tinggi (m)	φ (°)	
C - C'	150	3.045e-08	-	57.1	24	2.121
	100	3.186e-08	-	55.3	24	1.754
	50	3.898e-08	-	55.7	24	1.721
D - D'	150	3.913e-08	-	51.5	23	2.834
	100	4.768e-08	-	55	23	2.509
	50	5.354e-08	-	40	23	2.129
E-E'	333	-	-	26	25	2.31

4. Berdasarkan kajian dari aspek geoteknik pelebaran tambang dapat di optimalkan dalam pengambilan sumber daya. Data FK pada penampang utara selatan untuk pelebaran *boundary* tambang yang dikondisikan jenuh air dihasilkan FK sebagai berikut ditunjukkan oleh tabel 4 :

Tabel 4. Hasil perhitungan FK pada penampang Utara - Selatan

Penampang	Geometri lereng		Pengolahan FK	
	Tinggi (m)	φ (°)	FK (utara)	FK (Selatan)
G-G'	38.5	23	1.992	1.583
H-H'	38	23	-	1.855
I-I'	35	25	1.608	1.904

3. Pada daerah kajian mengkaji optimalisasi pelebaran dengan jarak 100 m dari Sungai Enim ke

boundary tambang memiliki FK overall slope > 1.72 dengan pengaruh pola aliran dari sungai ke tambang maupun tambang ke sungai dikategorikan tidak terlalu besar yaitu penampang C-C' sebesar 3.186e-08 m³/s, sedangkan penampang D-D' sebesar 4.768e-08 m³/s. Sehingga pada daerah ini layak untuk diperlebar atau dioptimalkan. tetapi belum mempertimbangkan kondisi sekitar seperti relokasi, aspek ekonomi, dll).

7.2 Saran

Diperlukan penambahan titik bor pada daerah kajian agar statistic data daerah kajian lebih akurat, selain itu diperlukan pula kajian khusus seperti kondisi lingkungan, kondisi geologi pada daerah tersebut. Dalam permodelan ini diperlukan kajian ulang dalam menggunakan *software* karena pada *software* geoslope 2007 ini tidak representatif pada permodelan vektornya sehingga

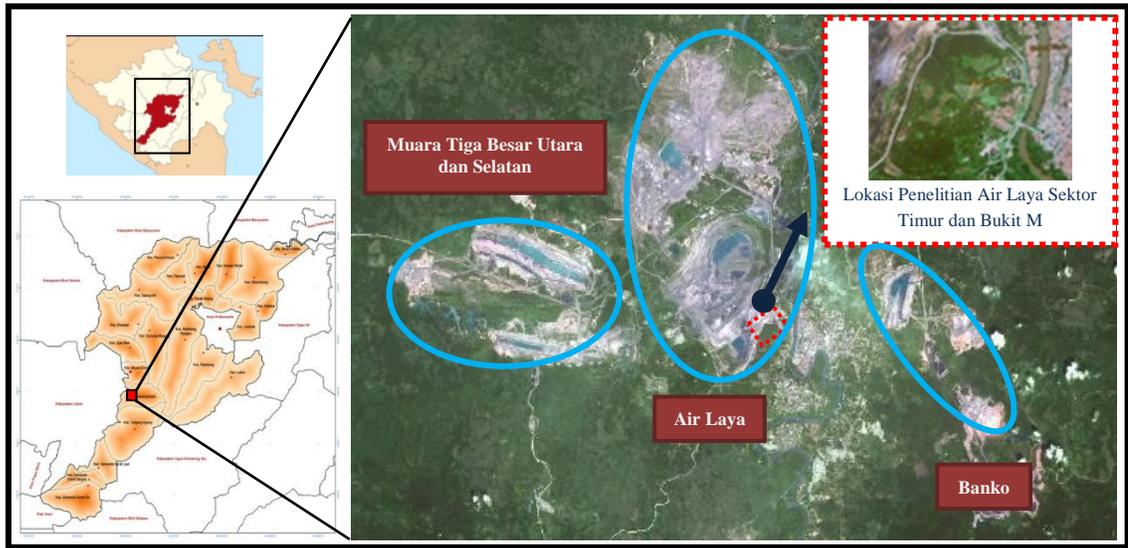
pada batas tertentu arah vektor pada lapisan tidak terpolarisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Bapak Seger Riyanto asisten manager serta Bapak Joko Tunggal selaku staff Divisi Geoteknik Unit Pertambangan Tanjung Enim yang telah memberikan bimbingan dalam pelaksanaan tugas akhir. Tak lupa penulis sampaikan terimakasih pula kepada dosen pembimbing Bapak Henarno Pudjihardjo dan Bapak Fahrudin atas bimbingan, masukan, kritik, saran, dan rekomendasi selama pengolahan data penyusunan hasil tugas akhir di kampus Geologi Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

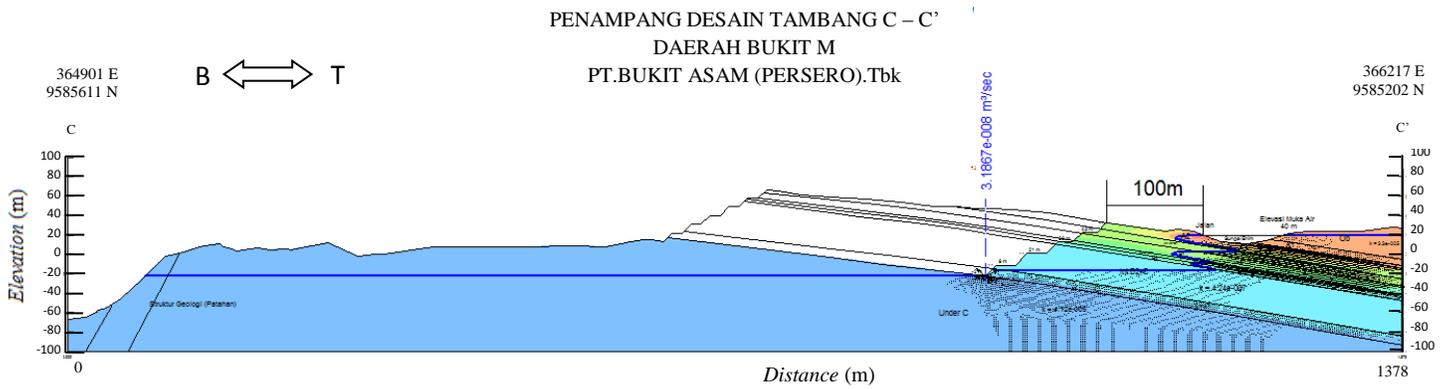
- Bishop's, A.W. 1955. *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*. Geotechnique, Great Britain, Vol 5, No. 1 Mar., pp. 7-17
- Bowles, J.E., 1991, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Erlangga, Jakarta.
- Citra Satellite Geo Eye. 2010. *Perekaman Wilayah Tambang Bukit Asam. PT Waindo Spec Terra*. Jakarta Selatan
- Erwin, 2013. *Konsep kestabilan lereng : tidak untuk dipublikasikan*
- GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada www.geo-slope.com
- Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah1*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Ikhdam, M. 2005. *Analisis Debit dan Pola Penyebaran Aliran Air (Seepage) Serta Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Pada Model Tanggul Dengan Bahan Tanah Latosol* Darmaga, Bogor. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor
- Tim Geologi PT. Bukit Asam (Persero) Tbk., *Laporan Pemetaan singkapan Batubara di Daerah Bukit Asam dan Sekitarnya, Laporan Internal PTBA Satker Eksplorasi Rinci*, Tanjung Enim, 2008.



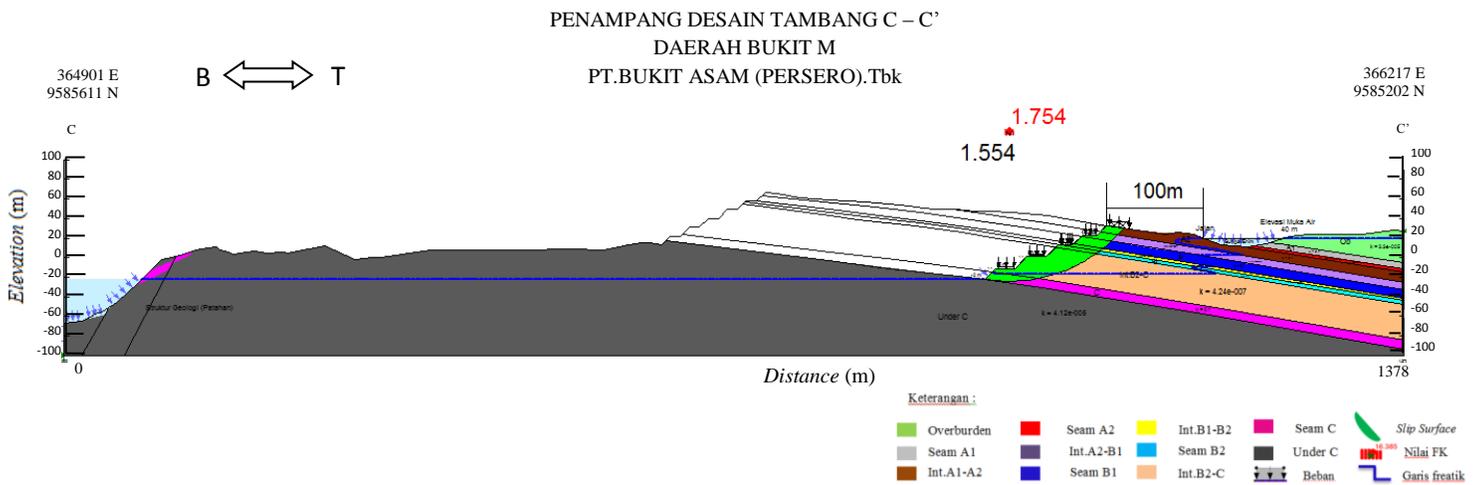
Gambar 4. Lokasi penyebaran tambang PTBA, lokasi penelitian Air Laya Sektor Timur pada Bukit M di dalam area Tambang Air Laya (Geo Eye, 2010)

Tabel 6. Hasil analisis faktor keamanan dan debit pada Tambang Air Laya Blok Timur khususnya Bukit M

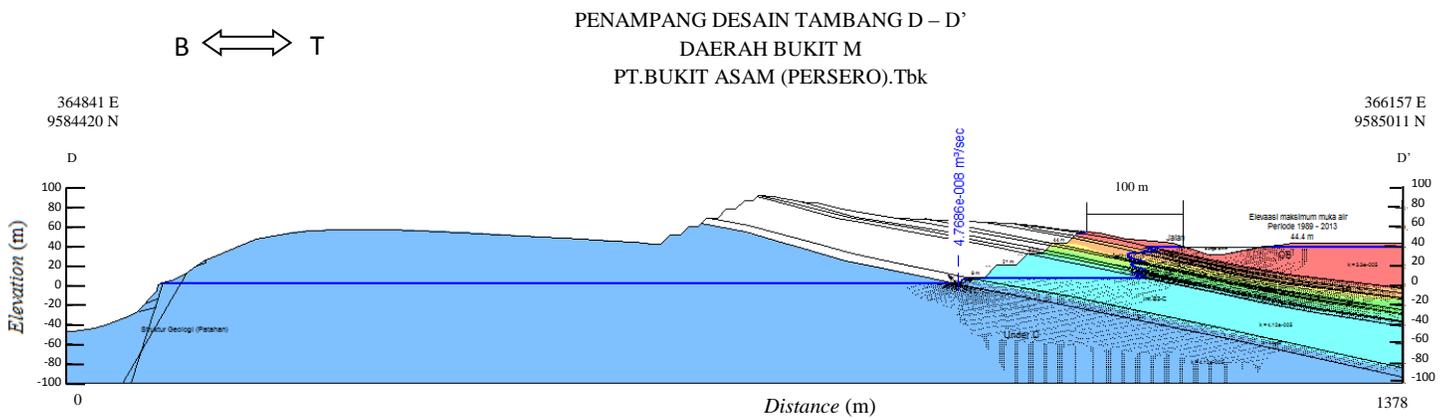
Lokasi Lereng	Penampang	Kondisi Lapisan Batuan	Rencana Final TAL							REVISI GEOTEKNIK / REKOMENDASI							INPUT PARAMETER		
			Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng	Dimensi Geometri Lereng					FK	Kondisi Lereng		Debit s.Enim ke Tambang (m ³ /s)	Debit Tambang ke s.Fanim (m ³ /s)
			Elevasi		Lebar Berm (m)	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)			Elevasi		Lebar Berm (m)	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)					
			Top (m)	Base (m)						Top (m)	Base (m)								
UTARA - SELATAN	P-P'	B2-C	78.0	31.0	10	9.0	28°	1.15	riskan	-	-	-	-	-	-	-	-	Ovb.A1 $\delta = 20.56 \text{ kN/m}^3$ $\Phi = 16.41^\circ$ $c = 16.02 \text{ kPa}$ $k = 3.3e-07 \text{ m/s}$	
	P-P'	B2-C	78.0	49.0	10	9.0	31°	1.39	Stabil	-	-	-	-	-	-	-			
	O-Q'	B2-C	90.0	64.0	10	9.0	27°	1.42	Stabil	-	-	-	-	-	-	-			
	O-Q'	B2-C	90.0	47.5	10	9.0	31°	1.63	Stabil	-	-	-	-	-	-	-			
	UTARA - SELATAN	L-I'	Lower C	-	-	-	-	-	-	-	41.0	2.5	15 - 20	9 - 12	23°	1.58	Stabil	Coal : $\delta = 12 \text{ kN/m}^3$ $\Phi = 300$ $c = 300 \text{ kPa}$ $k = 0.1 \text{ m/s}$	
		H-H'	B2-C	-	-	-	-	-	-	-	41.0	20.0	20	12.0	27°	1.68	Stabil		
		H-H'	Lower C	-	-	-	-	-	-	-	69.0	31.0	15 - 20	9 - 12	23°	1.85	Stabil		
		L-I'	B2-C	-	-	-	-	-	-	-	69.0	49.0	20	12.0	27°	1.71	Stabil		
BARAT - TIMUR	L-I'	Lower C	-	-	-	-	-	-	-	64.0	29.0	15 - 20	9 - 12	25°	1.90	Stabil	Int. A1-A2 : $\delta = 20.2 \text{ kN/m}^3$ $\Phi = 22.110$ $c = 102.77 \text{ kPa}$ $k = 4.242e-07 \text{ m/s}$		
	C-C'	Lower C	87.0	30.0	15 - 20	9 - 12	27°	1.28	Stabil	53.0	-2.3	15 - 20	9 - 12	24°	1.75	Stabil			
	C-C'	B2-C	87.0	60.0	20	12.0	29°	1.72	Stabil	53.0	20.8	20	12.0	27°	1.68	Stabil			
	D-D'	Lower C	93.0	43.0	15 - 20	9 - 12	26°	1.69	Stabil	56.0	1.0	15 - 20	9 - 12	23°	2.51	Stabil			
BARAT - TIMUR	D-D'	B2-C	93.0	70.0	20	12.0	28°	1.85	Stabil	56.0	23.0	20	12.0	25°	2.33	Stabil	Int. A2 - B1 : $\delta = 20.99 \text{ kN/m}^3$ $\Phi = 22.440$ $c = 93.59 \text{ kPa}$ $k = 3.891e07 \text{ m/s}$		
	E-E'	Lower C	-	-	-	-	-	-	-	68.5	42.5	20	9 - 12	25°	2.31	Stabil			
Koordinat Penampang	P - P'	P : 9585.367 / 365.342			P' : 9585.796 / 365.627			Pendekatan FK : FK ≥ 1,25 : Stabil FK = 1,08-1,24 : Riskan FK = 1,00 - 1,07 : Kritis FK < 1,00 : Longsor							Int. B1B2 : $\delta = 21.65 \text{ kN/m}^3$ $\Phi = 25.970$ $c = 158.37 \text{ kPa}$ $k = 2.855e-07 \text{ m/s}$				
	Q - Q'	Q : 9585.140 / 365.022			Q' : 9584.796 / 365.262														
	G - G'	G : 9585.800 / 365.000			G' : 9584.700 / 365.000														
	H - H'	H : 9585.800 / 365.200			H' : 9584.700 / 365.200														
	I - I'	I : 9585.800 / 365.400			I' : 9584.700 / 365.400														
	C - C'	C : 9585.611 / 364.901			C' : 985.202 / 366.217														
	D - D'	D : 9585.420 / 364.841			D' : 9585.011 / 366.157														
E - E'	E : 9585.229 / 364.782			E' : 9584.820 / 266.098										Faktor g = 0,05					



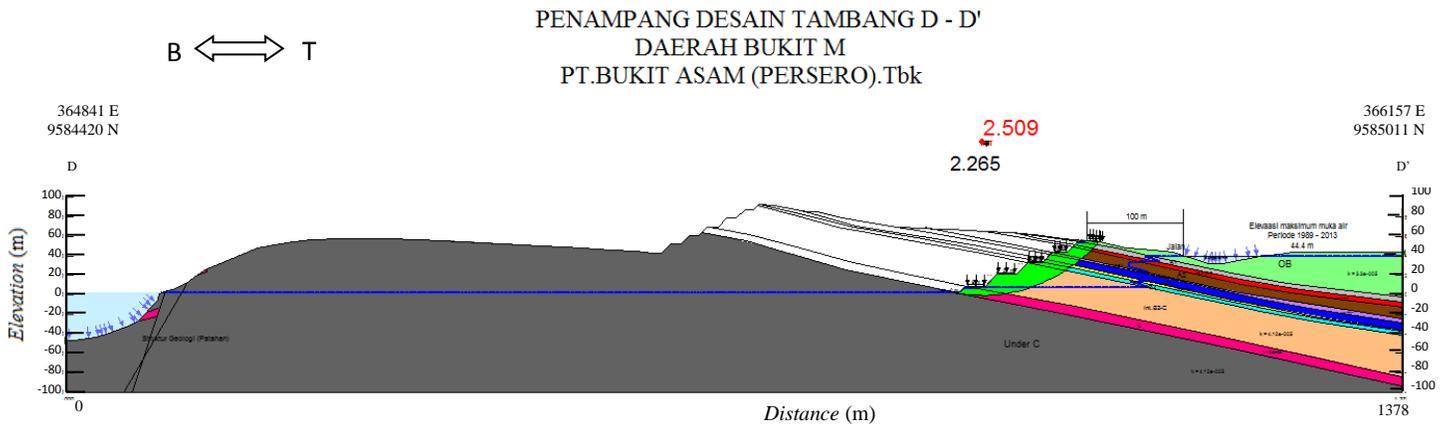
Gambar 5. Permodelan seep/w pada penampang C-C'(skala 1 : 6666)



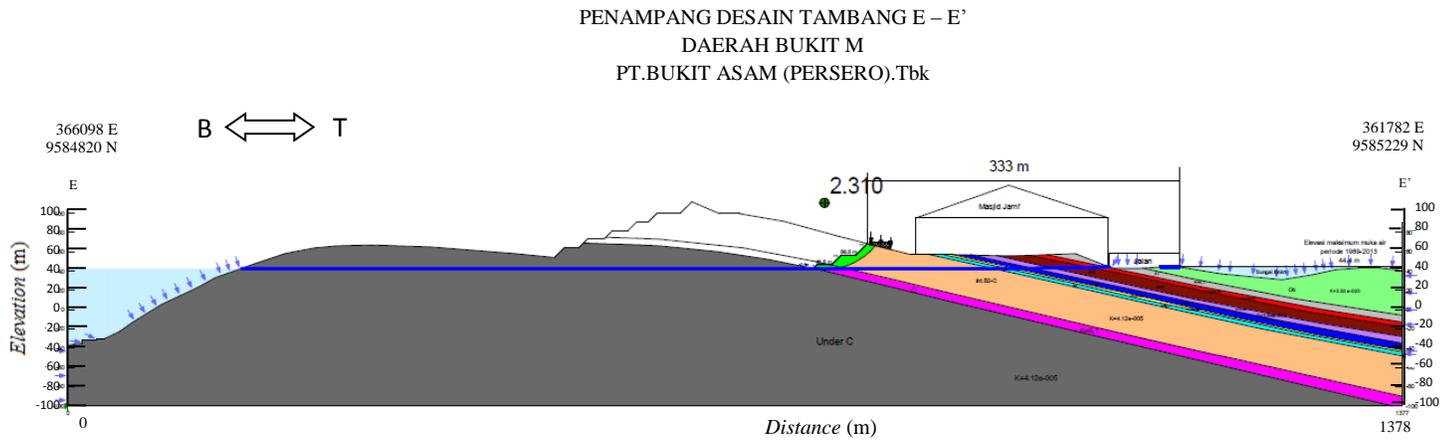
Gambar 6. Permodelan slope/w pada penampang C-C' dengan menghubungkan parameter debit daerah tersebut (skala 1 : 6666)



Gambar 7. Permodelan seep/w pada penampang D-D'(skala 1 : 6666)

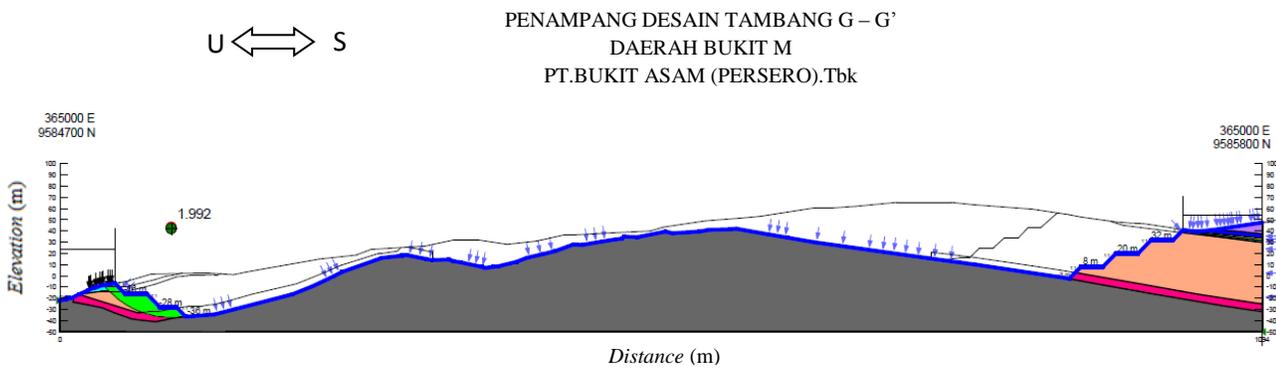


Gambar 8. Permodelan *slope/w* pada penampang D-D' dengan menghubungkan parameter debit daerah tersebut (skala 1 : 6666)



Gambar 9. Permodelan *slope/w* pada penampang E-E' dengan menghubungkan parameter debit daerah tersebut (skala 1 : 6666)

Salah satu contoh penampang yang disayat berarah utara – selatan.



Gambar 10. Permodelan *slope/w* pada penampang G-G' (skala 1:10000)