

**ANALISIS GEOTEKNIK PADA IUP PT GLOBALINDO INTI ENERGI DI
KECAMATAN LOA JANAN DAN KECAMATAN MUARA JAWA
KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN
TIMUR**

Sundek Hariyadi, ST., MT

*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik,
Universitas Kutai Kartanegara, Tenggarong, Provinsi Kalimantan Timur
Email: Sundecktambang@gmail.com*

ABSTRAK

Analisa geoteknik sangat perlu dilakukan untuk mengantisipasi longsoran-longsoran yang dimungkinkan akan terjadi. Analisis yang dilakukan merupakan simulasi desain lereng *high wall*, *side wall*, dan *low wall*, pada *pit*. PT Globalindo Inti Energi, Kecamatan Loa Janan dan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Analisis yang dilakukan diaplikasikan dengan pendekatan dua dimensi, metode limit aqulilibrium menggunakan software Slide Rocscience. Analisis dilakukan untuk menentukan faktor keamanan (*factor of safety – FoS*) terhadap kegagalan lereng. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk memperoleh faktor keamanan kritisal yang digunakan pada rekomendasi desain lereng. Faktor keamanan minimum 1,3 diizinkan untuk mengurangi tingkat resiko *failure*. Lereng pit dibentuk dari konfigurasi *single slope* dari batuan (batulempung, batulanau, batupasir, dan batubara) bervariasi dikarenakan sifat fisik dan mekaniknya. *Single slope* tanah dapat didesain pada ketinggian maksimum 10 m dengan sudut tidak lebih dari 25 derajat; *single slope* dari batulempung, batulanau, dan batubara dapat didesain pada ketinggian maksimum 10 m dengan sudut tidak lebih dari 45 derajat; *single slope* dari batupasir dapat didesain pada ketinggian maksimum 10 m dengan sudut tidak lebih dari 35 derajat. Sedangkan simulasi *overall sl;oe side wall* pada bagian timur laut (penampang melintang 1) dengan ketinggian 35 m, sudut lereng 30 derajat; *overall slope high wall* (penampang melintang 2) dengan ketinggian 75 m, sudut lereng 25 derajat; *overall slope side wall* pada bagian selatan (penampang melintang) dengan ketinggian 35 m sudut lereng 30 derajat; *overall slope low wall* (dasar pit) perlu didesain mengikuti dasar dari *seam* batubara. Batubara perlu ditambang hingga *subcrop*.

Kata Kunci : Analisis Geoteknik, Metode *Limit Equilibrium*

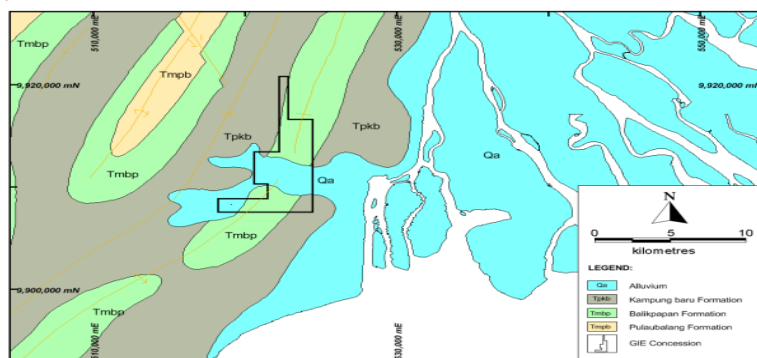
1. PENDAHULUAN

Berdasarkan sejarah tektonostratigrafi, Cekungan Kutai dibedakan menjadi dua subcekungan yaitu Kutai Atas dan Kutai Bawah (Moss dkk., 1997; Cloke dkk., 1999; Clay dkk., 2000), yang mana pada kedua subcekungan tersebut didapatkan beberapa formasi batuan sedimen pembawa lapisan batubara sebagai sumber energi fosil untuk kebutuhan industri (Koesoemadinata, 1978). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut diatas, cekungan Kutai Bawah merupakan endapan sedimen yang sangat tebal, terbentuk pada lingkungan delta, dan memiliki struktur geologi berupa lipatan yang dikenal sebagai Antiklinorium Samarinda (Supriatna dkk., 1999; Moss dkk. 1999; Clay dkk. 2000; Satyana, 2010; Bammelan. 2013).

PT Globalindo Inti Energi (GIE) merupakan perusahaan tambang batubara yang berlokasi di Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Proyek tambang batubara GIE saat ini memiliki permasalahan Geoteknik pada aktifitas tambang dalam konsesi. Untuk memecahkan permasalahan geoteknik yang berpotensi terjadi saat kegiatan tambang, GIE melakukan investigasi geoteknik pada daerah konsesi.

2. GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan peta geologi regional yang disediakan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Gambar 1), konsesi termasuk pada daerah Samarinda dan berada pada formasi Balikpapan (Tmbp), Kampung Baru (Tpkb), dan alluvium (Qa).



Gambar 1. Konsesi PT Globalindo Inti Energi pada Peta Geologi Regional

Balikpapan (Tmbp) merupakan formasi bawah dan merupakan pembawa batubara. Litostratigrafi terdiri dari alternasi batupasir dan interkalasi lempung dengan lanau, serpih, batugamping, dan batubara.

Kampung Baru (Tpkb) merupakan formasi menengah dan merupakan pembawa batubara. Litostratigrafi terdiri dari interkalasi batupasir quartz dengan lempung, lanau, dan lignite, umumnya lunak dan mudah hancur. Formasi ini berada dan selaras pada Formasi Balikpapan.

Alluvium (Qa) merupakan formasi atas. Litostratigrafi terdiri dari kerikil, pasir, dan lumpu, tersimpan pada lingkungan *fluvial*, *paludal*, *deltaic* dan lingkungan pesisir.

Selain itu, beberapa struktur geologi berada pada konsesi, seperti lipatan (antiklin dan/atau sinklin) dan patahan, dimana kondisi ini dapat mempengaruhi kondisi air tanah dan stabilitas kemiringan pit.

3. METODE PENELITIAN

Analisis yang dilakukan diaplikasikan dengan pendekatan dua dimensi, metode limit equilibrium menggunakan software slide roscience. Analisis dilakukan untuk menentukan Faktor Keamanan (*Factor of Safety*- FoS) terhadap kegagalan lereng.

Prinsip yang mendasari metode analisis limit equilibrium dari stabilitas lereng disajikan berikut:

- a) Mekanis slip dari kegagalan lereng digunakan sebagai postulat;
- b) Resistensi geser yang diperlukan untuk menyetimbangkan mekanisme slip asumsi dihitung dengan cara statistik (dalam keadaan keseimbangan, tidak bergerak);
- c) Resistensi geser yang dihitung yang diperlukan untuk equilibrium dibandingkan dengan tegangan geser yang berhubungan dengan Faktor Keamanan (*factor of safety* – Fos);
- d) Mekanisme slip dengan Faktor Keamanan terkecil ditentukan melalui iterasi;
- e) Nilai terendah FoS dari desain lereng harus lebih besar dari nilai kritis berdasarkan kriteria desain untuk menjaga lereng pada kondisi stabil; dan
- f) Faktor Keamanan digunakan untuk menghitung ketidakpastian dan variabilitas dari kekuatan dan parameter tekanan air pori, serta untuk membatasi deformasi.

4. HASIL

4.1 Material

Empat lubang bor geoteknik dengan kedalaman 197.85 m dilakukan di area penambangan data pemboran yang digunakan untuk penelitian kestabilan lereng pada pit hanya terdiri dari empat titik bor. Pengeboran bertujuan untuk menginvestigasi varian litologi terhadap ketebalan batuan sesungguhnya (*true thickness*), selain itu untuk mendapatkan sampel batuan representatif yang mewakili variasi batuan yang ada. Lokasi detail dari lubang bor disajikan pada

Tabel 1 Ringkasan Informasi Lubang Bor Geoteknik

ID Lubang	Koordinat		RL (masl)	Kedalaman (mbgl)
	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>		
GIE196.GT0	0524280.699	9914218.623	18.638	50.60
GIE196.GT0	0523932.538	9913834.886	18.289	36.60
GIE196.GT0	0524039.585	9914004.367	18.705	30.05
GIE196.GT0	0524178.191	9913933.256	22.029	70.57

4.2 Sifat Material

Batuan yang membentuk kemiringan pit pada analisis didasarkan dari stratifikasi dari hasil pengeboran geoteknik yang juga berkorelasi dengan hasil pengeboran eksplorasi. Kekuatan massa batuan pada analisis dilakukan menggunakan kriteria Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb. Kriteria ini merupakan metode yang kuat dalam menilai parameter kekuatan sepanjang permukaan *failure* melalui massa batuan menggunakan kekuatan tekan/*compressive strength* (pengujian UCS) dan kekuatan geser/*shear strength* (pengujian *Direct shear*).

Sifat batuan pada tabel dibawah yang digunakan pada analisis diperoleh dari pengujian laboratorium dengan beberapa penilaian berdasarkan estimasi kekuatan batuan dari investigasi lapangan dan data lain pada pekerjaan sebelumnya yang serupa dan memiliki kondisi formasi geologi yang sejenis dengan konsesi.

Tabel 2 Sifat Material

Material	Sifat Fisik		Sifat Mekanik							GSI
	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Kuat Tekan / Compressive Strength ' σ' ' (Mpa)	Kuat Geser / Shear Strength				Triaksial		
				c^{peak} (kPa)	ϕ^{peak} (deg.)	c^{res} (kPa)	ϕ^{res} (deg.)	c (kPa)	ϕ (deg.)	
Soil	16.0	18.0	0.04 – 0.08	-	-	-	-	10 – 170	0.6 – 0.8	-
Claystone	12.4 – 16.5	14.2 – 18.4	0.5 – 2.1	120 – 290	10.8 – 25.2	90 – 170	9.6 – 24.2	100	7.0	60 – 80
Siltstone	15.0 – 18.8	17.0 – 20.6	0.26 – 1.3	180 – 290	13.5 – 21.8	170 – 180	9.6 – 19.3	110 – 660	0.8 – 6.8	60 – 80
Sandstone	14.4 – 15.5	16.2 – 16.7	0.25	120	25.2	100	20.3	-	-	50 – 60
Carbonaceous	16.0	18.0	0.5 – 0.68	260 – 380	12.4 – 21.8	180 – 250	11.3 – 16.7	-	-	60 – 80
Coal	10.0	11.8	11.49	-	-	-	-	2400	27.1	30 – 50

5. PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Geoteknik

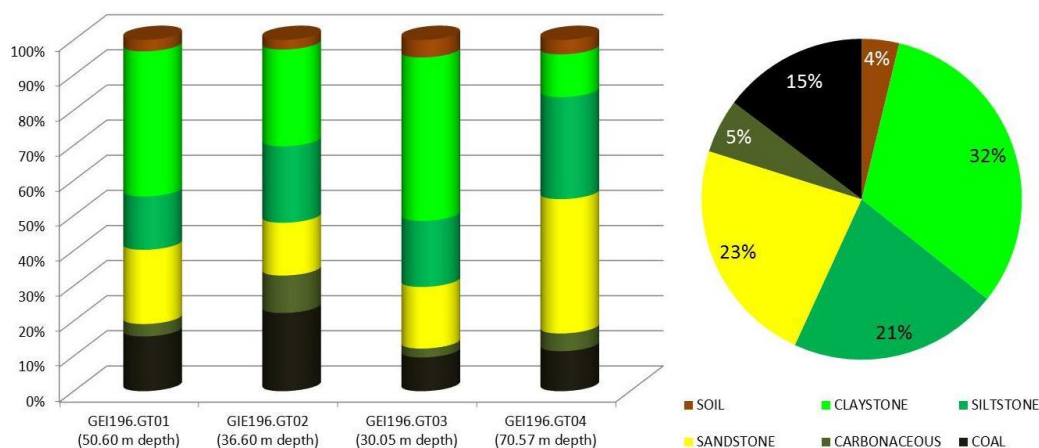
Kondisi geoteknik yang dijelaskan dibawah berhubungan dengan deskripsi stratifikasi materialnya (tanah dan batuan) yang terdapat pada konsesi, termasuk diantaranya sifat fisik dan mekanik, berdasarkan observasi visual dari *core* dan hasil pengujian.

5.2 Statifikasi Material

Urutan material (tanah dan batuan) berdasarkan observasi visual dari *core* dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tanah sebagai material lapisan atas memiliki ketebalan 1-1,5 m yang didominasi dengan liat berlumpur dengan plastisitas tinggi dengan kandungan organik (akar). Jenis tanah ini diobservasi dari Borehole GT01, GT02, dan GT03. Sementara itu, pasir berbuti halus dengan kandungan organik (akar) diobservasi dari Borehole GT04.

Orientasi dari lapisan batuan yang didasarkan pada model geologi yang tersedia memiliki kecenderungan pada barat daya menuju timur laut dengan sudut dip dari 11 derajat hingga 15 derajat. Batubara sebagai target dari tambang memiliki ketebalan dari 8 – 9 m sebagaimana yang telah diobservasi dari Borehole GT01, GT02, dan GT04; dan menipis menjadi 5m pada *low walli*, sebagaimana yang telah diobservasi dari Borehole GT03. Lapisan batuan yang berada diatas dan yang memisah lapisan batubara terdiri dari batu kempung, batu pasir, dan batu lanau. Material yang mengandung karbon (*carbonaceous*) ditemukan pula pada bagian atas dan dasar dari lapisan batubara, serta material yang berada diantara (*interlaminated*) gumpalan batuan.



Grafik 1 Distribusi Material

Detail dari stratifikasi material didokumentasikan pada *borehole log* yang diikuti dengan dokumentasi foto dari *drill core*.

5.3 Sifat Tanah

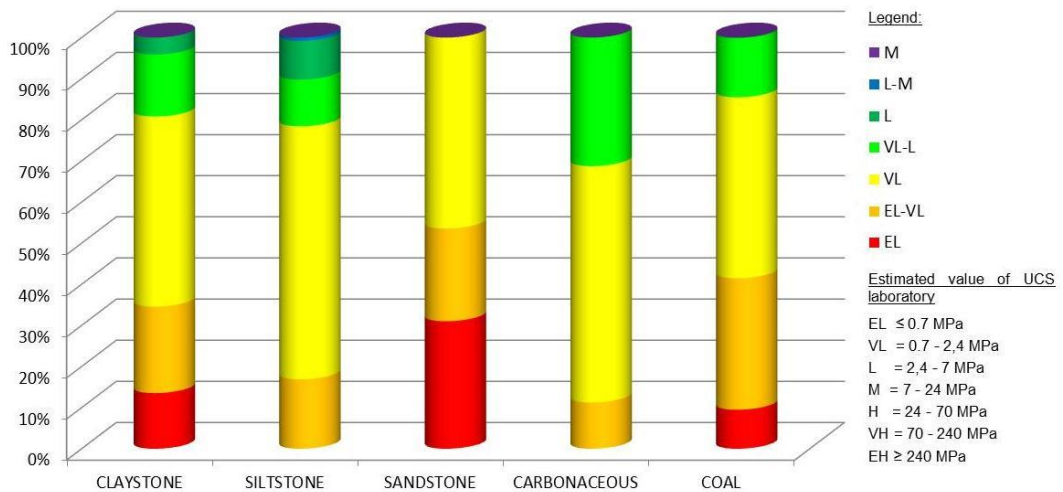
Sifat tanah diantaranya kelembaban, konsistensi dan densitas diestimasi pada pekerjaan lapangan. Seperti yang telah disampaikan, daerah investigasi pada umumnya adalah daerah yang memiliki genangan air yang umumnya merupakan dataran banjir dari Sungai Tiram. QCI mengestimasi bahwa kelembaban tanah umumnya adalah basah/tersaturasi. Diobservasi pula dari hasil pengujian infiltrasi di Lapangan bahwa rasio infiltrasi pada daerah pengujian rendah yang mengindikasikan kemampuan kompak tanah atau tanah yang berbutir halus untuk menghindari deformasi.

Relative atau indeks densitas digunakan untuk mendeskripsikan densitas dari tanah yang tidak bekohehi atau tanah aygn berbutir kasar. Konsistensi dari tanah kohesif dapat diklasifikasi menjadi lunak hingga keras estimasi kuat geser tanah pada saat tidak terjadi pengaliran (*undrained shear strength*) dari 25 sampai 50 kPa. Densitas relative dari tanah yang tidak berkohehi dapat diklasifikasi menjadi sangat longgar hingga longgar.

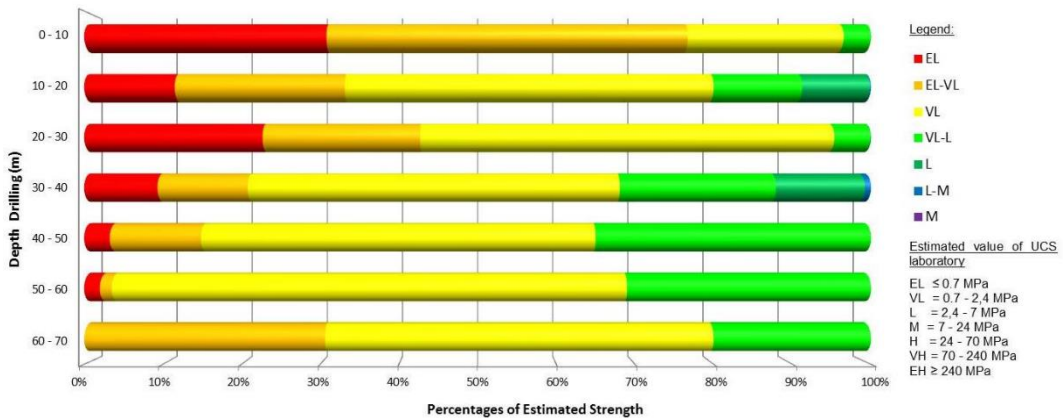
5.4 Sifat Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan ditetapkan dari hubungan tegangan (A.K, Schuster, L.R. 1996). Kekuatan batuan terdiri dari kekuatan tekan dan kekuatan geser, kekuatan batua yang dibahas dalam hal ini didasarkan pada klasifikasi kekuatan batuan dari hasil observasi dilapangan da kekuatan tekan dari hasil pengujian laboratorium.

Berikut ini adalah estimasi dari klasifikasi kekuatan dari sstiap batuan dan seluruh batuan per 10 m dari interval kedalaman berdasarkan observasi dilapangan (Grafik 2).



Grafik 2 Estimasi Klasifikasi Kekuatan dari Setiap Batuan



Grafik 3 Estimasi Klasifikasi Kekuatan Seluruh Batuan pada Interval Kedalaman 10 m

Selain itu, klasifikasi kekuatan batuan yang didasarkan pada hasil pengujian tekan dari laboratorium disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Ringkasan Klasifikasi Kekuatan Batuan Berdasarkan Hasil Pengujian

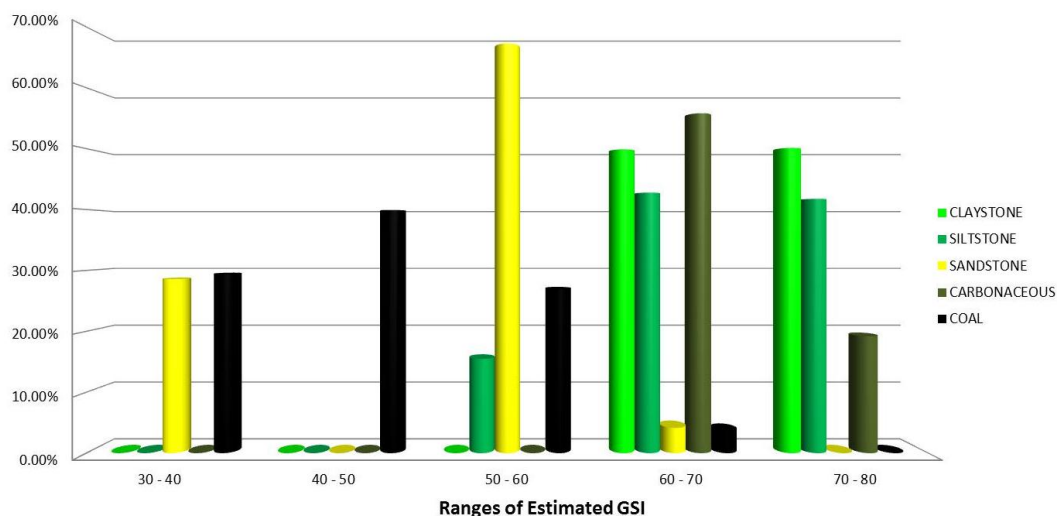
Jenis Batuan	Kekuatan Tekan (Mpa)	Klasifikasi Kekuatan
Batu Lempung	0.04 – 2.12	<i>Extremely Low (EL) sampai Very Low (VL)</i>
Batu Endapan	0.16 – 1.31	<i>Extremely Low (EL) sampai Very Low (VL)</i>
Batu Pasir	0.25	<i>Extremely Low (EL)</i>
<i>Carbonaceous</i>	0.49 – 0.68	<i>Extremely Low (EL)</i>
Batubara	11.49	Medium (M)

Tabel 3 menyajikan beberapa batuan yang memiliki tekan dari <0,2 Mpa atau <200 kPa dan ditemukan pada kedalaman diantara 4-15m. Oleh Karena itu, material tersebut diklasifikasikan kedalam tanah. Di sisi lain, kekuatan tekan dari batubara yang diperoleh adalah 11.49 Mpa atau dapat diklasifikasi dalam kedalam Medium. Akan tetapi, berdasarkan observasi saat investigasi lapangan, batubara yang ada pada umumnya rapuh. Terlebih, pengujian laboratorium dari batubara dilakukan pada satu (1) sampel *core* karena *solid core* pada batubara (dari pengeboran yang memiliki panjang minimum sesuai dengan standar pengujian yang diperlukan sangat sulit untuk diperoleh. Oleh karena itu, beberapa *engineering judgment* dilakukan pada analisa yang didasarkan pada data yang diperoleh serta pengalaman kerja pada beberapa pekerjaan yang serupa sebelumnya dapat diklasifikasikan menjadi *extremely low* hingga *very low*.

5.5 Geological Strength Index

Sistem *Geological Strength Index* (GSI), yang ditemukan pada tahun 1995 digunakan untuk melakukan estimasi dari kekuatan massa batuan dan modulus deformasi massa batuan. GSI merupakan sebuah sistem karakterisasi (pengkelasan) yang dikembangkan oleh mekanika teknik batuan untuk memenuhi kebutuhan data masukan yang berhubungan dengan sifat massa batuan yang diperlukan sebagai masukan untuk analisa numerik pada desain kemiringan. Indeks yang ada didasarkan pada penilaian dari litologi, struktur, dan kondisi dari permukaan yang terputus pada massa batuan, serta hal ini diperoleh berdasarkan estimasi dari penilaian secara visual dari massa batuan yang muncul dari *core* lubang bor (Paul G. Marinos, Ph.D., 1 Vassilis Marinos.2 dan Evert Hoedk, Ph.D. 3) GSI estimasi digunakan sebagai masukan pada analisis stabilitas lereng pada SLIDE, terutama untuk menganalisis kemiringan *high wall* menggunakan jenis kekuatan Generalized Hoek_Brown. GSI estimasi pada tiap jenis batuan disajikan pada grafik 4.

Berdasarkan ringkasan dari hasil diatas, kekuatan batuan pada daerah konsesi secara umum.



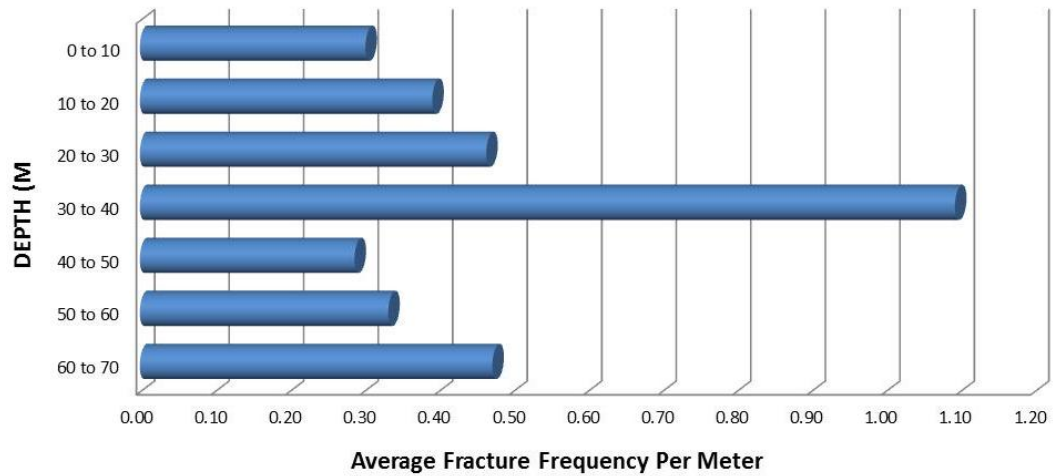
Grafik 4 Geological Strength Index Estimasi

GSI estimasi yang disajikan pada grafik 4 mengindikasikan bahwa *geological strength index* dari setiap batuan pada konsesi berbeda. Mayoritas dari batulempung, batu lanau dan batuan *carbonaceous* memiliki nilai yang serupa antara 60 hingga 80. Batupasir mayoritas memiliki nilai diantara 50 hingga 60 serta batubara pada 30 hingga 60.

5.6 Rekahan

Rekahan merupakan pemisah dari formasi geologi, seperti sambungan atau patahan yang membagi batuan menjadi dua bagian atau lebih. Rekahan umumnya disebabkan akibat tegangan yang melebihi kekuatan batuan, yang menyebabkan batuan kehilangan kohesi sepanjang bidang yang terlemah (Park. R.G. 2005). Pada rekayasa geoteknik, sebuah rekahan menghasilkan keadaan yang terputus (*discontinuity*) yang dapat mempengaruhi sifat mekanik (kekuatan, deformasi, dll) dari massa tanah dan batuan pada konstruksi kemiringan/*slope*.

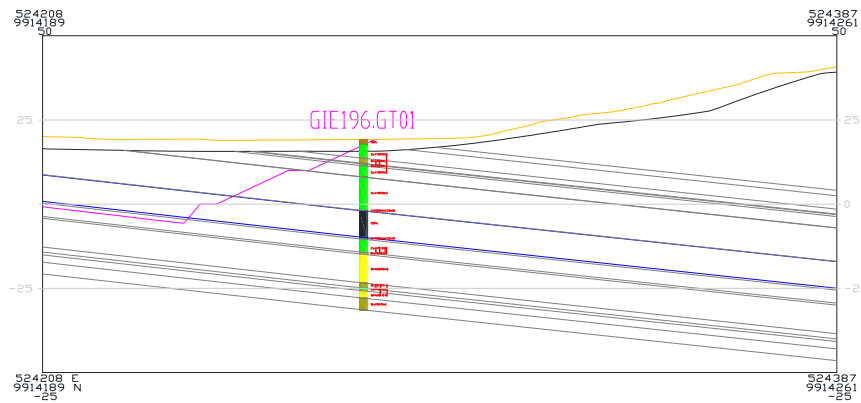
Fracture Frequency (FF) sangat dipengaruhi oleh jumlah sambungan pada massa batuan. FF diukur dengan membagi jumlah sambungan pada daerah tertentu pada suatu panjang. FF diperlukan sebagai pendekatan untuk mengukur jarak keadaan yang terputus (*discontinuity*) dari massa batuan yang digunakan pada analisis pada analisis *excavability* menggunakan hubungan empirikal oleh Franklin et al 1971. *Fracture Frequency* rata-rata dari massa batuan dalam konsesi telah disajikan pada grafik 5.



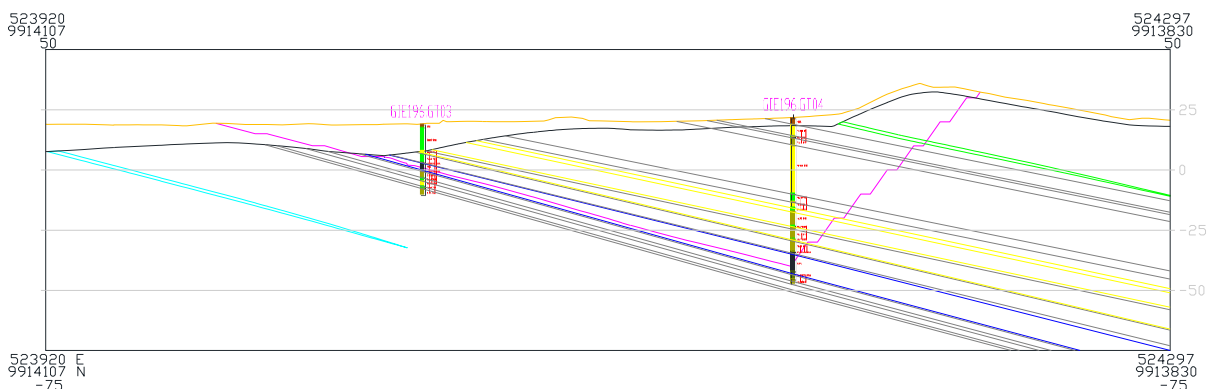
gambar 5 Fracture Frequency Estimasi

5.7 Model Bagian (Section)

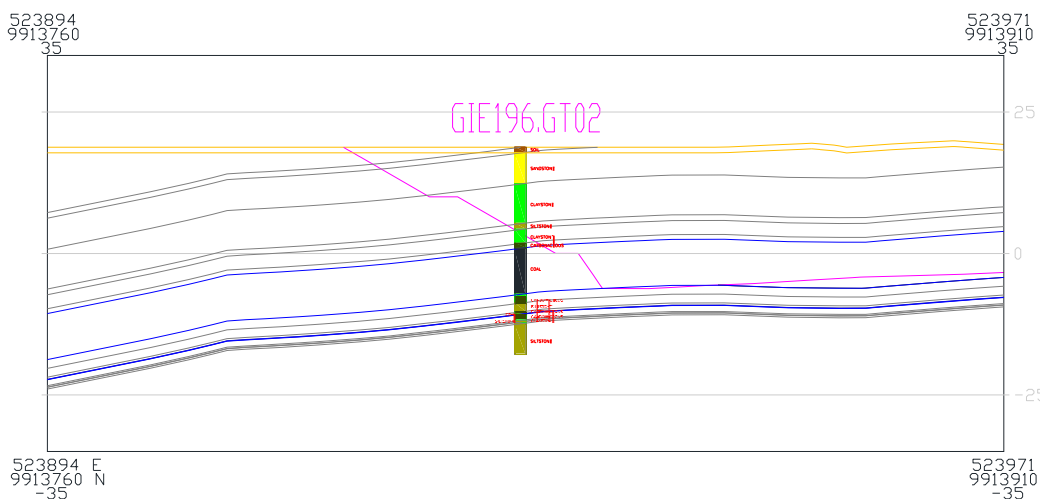
Analisis kestabilan lereng dimodelkan menggunakan tiga (3) bagian berdasarkan lokasi lubang bor geoteknik. Model bagian (*Section*) dikerjakan secara tegak lurus terhadap model desain *pit* agar diperoleh desain asli dari kemiringan *pit*. Stratigrafi batuan pada model aygn didasarkan pada data lubang bor geoteknik dikorelasikan terhadap lubang eksplorasi dengan garis *Section*.



Gambar 6 Section 01



gambar 7 section 02



Gambar 8 section 03

5.8 Analisis Stabilitas Lereng *Single Slope*

Kemiringan pit dibentuk dari konfigurasi *single slope*. Analisis kestabilan dari *single slope* diperoleh pada setiap jenis batuan yang membentuk kemiringan *pit*. Hasil analisis disajikan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Analisis dari *single slope*

Material	Ketinggian Kemiringan (m)	Sudut Kemiringan (derajat)	Faktor Keamanan pada Tingkat Saturasi		
			Kering	Setengah Jenuh	Jenuh
Tanah	10	25	1	1.53	1.40
		30	1	1.38	1.27
		35	1	1.27	1.16
Batulempung	10	45	2	2.54	1.94
		50	2	2.37	1.80
		55	2	2.20	1.64
Batu endapan	10	45	2	2.11	1.50
		50	2	1.95	1.36

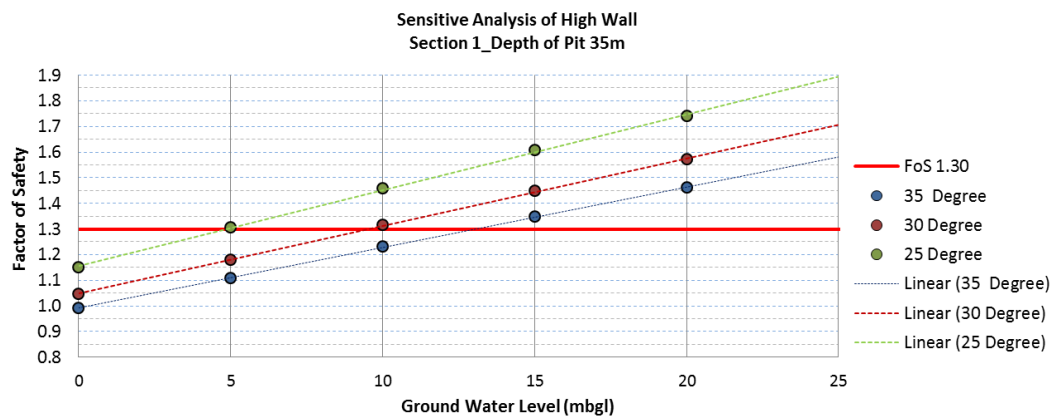
Material	Ketinggian Kemiringan (m)	Sudut Kemiringan (derajat)	Faktor Keamanan pada Tingkat Saturasi		
			Kering	Setengah Jenuh	Jenuh
Batupasir	10	55	1	1.79	1.21
		35	2	2.13	1.42
		40	2	1.96	1.26
Batubara	10	45	1	1.79	1.13
		45	2	2.35	1.33
		50	2	2.28	1.18
		55	2	2.11	1.03

5.9 Analisis Stabilitas Lereng Overall Slope

Analisis telah dilakukan pada tiga (3) penampang melintang dengan beberapa kedalaman dan kondisi air tanah pada kemiringan. Hasil disajikan pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 5 Penampang Melintang 1_side wall

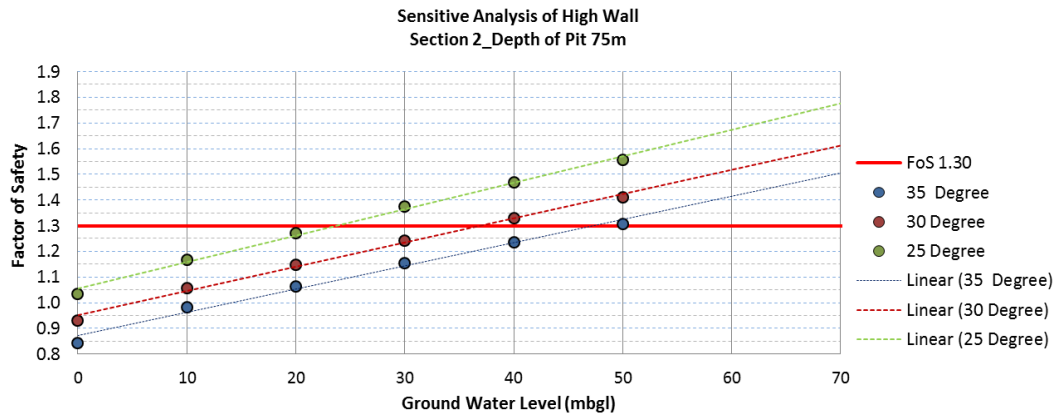
Ketinggian Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Faktor Keamanan pada Beberapa Muka Air Tanah (mbgl)				
		0	5	10	15	20
35	35	0.992	1.110	1.233	1.350	1.461
	30	1.048	1.179	1.315	1.449	1.572
	25	1.152	1.152	1.460	1.607	1.741



Grafik 6 Analisis Sensitivitas Penampang Melintang 1_Side Wall

Tabel 6 Penampang Melintang 2_High Wall

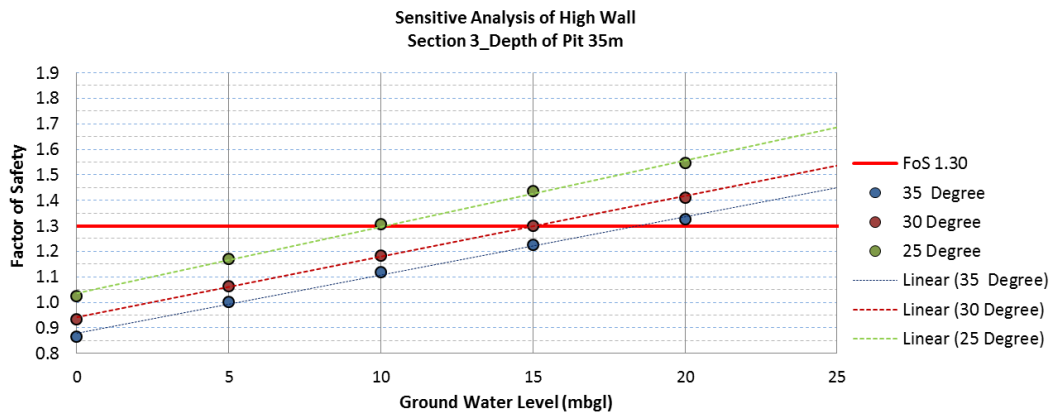
Slope Height (m)	Slope Angle (°)	Factor of Safety at Various Groundwater Level (m)					
		0	10	20	30	40	50
75	35	0.844	0.981	1.065	1.154	1.235	1.308
	30	0.932	1.056	1.149	1.243	1.330	1.41
	25	1.035	1.166	1.272	1.374	1.469	1.555



Grafik 7 Analisis Sensitivitas Penampang Melintang 2_Side Wall

Tabel 7 Penampang Melintas 3 Side Wall

Ketinggian Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Faktor Keamanan pada Beberapa Muka Air Tanah					
		0	5	10	15	20	25
35	35	0.865	1.003	1.119	1.224	1.326	
	30	0.935	1.065	1.184	1.301	1.412	
	25	1.026	1.172	1.307	1.437	1.546	



Grafik 8 Analisis Sentivitas Penampang Melintang 3_Side Wall

Tabel 8 Penampang Melintang 2_Low Wall

Ketinggian Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Kejenuhan Lereng	Mekanisme Failure	Faktor Keamanan
35	± 15	Full Saturated	Circular	1.777
		Full Saturated	Planar	1.149
		Half Saturated	Planar	1.897

6. KESIMPULAN

Tanah sebagai material bagian atas memiliki rentang ketebalan dari 1 – 1,5 m yang didominasi oleh plastisitas lempung berpasir yang tinggi dengan beberapa bahan organik (akar). Jenis tanah ini diobservasi dari lubang bor GT01, GT02, dan GT03. Selain itu, pasir berbutir halus dengan beberapa bahan organik (akar) diobservasi dari lubang bor GT04. Tanah tersebut sebagian besar basah. Konsistensi dari tanah kohesif berada pada rentang halus (*soft*) hingga keras (*firm*), sementara itu, densitas tanah yang tidak terkohesi adalah sangar longgar hingga longgar.

Orientasi lapisan batuan berdasarkan model geologi yang tersedia memiliki kecenderungan dari Barat Daya ke Timur Laut dengan sudut *dip* 11 – 15 derajat. Batubara sebagai sasaran penambangan memiliki rentang ketebalan dari 8 – 9 m, seperti yang terobservasi dari Lubang Bor GT01, GT02, dan Gt04. Lapisan batuan yang berada diatas dan memisah *seam* batubara terdiri dari betulempung, batupasir, dan batulanau. Material *carbonaceous* ditemukan pula pada atap dan dasar dari *seam* batubara dan sebagai material *interlaminated* pada massa batuan. Kuat batuan dapat diklasifikasikan menjadi *extremely low* hingga *very low*.

Pengujian laboratorium dilakukan pada sampel *core* yang dipilih untuk mengevaluasi dan memperoleh data spesifik yang berhubungan dengan sifat fisik dan mekanik sebagai masukan numerik pada analisis.

7. DAFTAR PUSTAKA

Image Landsat © 2016 Google, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO © 2016

AfriGIS (Pty) Ltd.

Peta Zonasi Gempa Indonesia v 2010, Kementrian Pekerjaan Umum.

Systematic Geological Map of Indonesia, Geological Map of the Sheet Banko- Sarolangun, Sumatra, Geological Research and Development Centre

Paul G. Marinos, Ph.D.,¹ Vassilis Marinos,² and Evert Hoek, Ph.D.³, “The Geological Strength Index (GSI): A Characterization Tool for Assessing Engineering Properties For Rock Mass”.

Holtz, R. and Kovacs, W. (1981), “An Introduction to Geotechnical Engineering”, Prentice-Hall, Inc.

Hunt R.E. (2005), “Geotechnical Engineering Investigation Handbook” 2nd edition,

Taylor and Francis.

Hoek E. and Bray J.W. (1981), “Rock Slope Engineering” 3rd Edition, Institution of Mining and Metallurgy.