

PENGARUH *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX* (GSI) TERHADAP NILAI FAKTOR KEAMANAN MELALUI SIMULASI KESTABILAN LERENG TAMBANG, KECAMATAN BATU KAJANG, KABUPATEN PASER, KALIMANTAN TIMUR

Anggita Fitri Anatiyo Pamuji¹, Raden Irvan Sophian¹, Dicky Muslim¹

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: anggitafitri48@gmail.com

ABSTRAK

Daerah pertambangan dengan sistem pit terbuka (*open pit*) memiliki suatu bentuk lereng tertentu untuk mengambil sumber daya alam yang akan dimanfaatkan. Kestabilan lereng merupakan aspek yang penting dalam kegiatan pertambangan terbuka dikarenakan seluruh kegiatan penambangan terpusat di lokasi tersebut. GSI (*Geological Strength Index*) merupakan salah satu data geologi teknik yang dimanfaatkan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari batuan sehingga didapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng. Keragaman nilai GSI yang didapatkan memberikan pengaruh terhadap nilai Faktor Keamanan (FK). Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh keberagaman nilai GSI terhadap nilai Faktor Keamanan (FK) pada desain lereng melalui simulasi pada desain lereng hingga didapatkan desain lereng yang stabil. Pengambilan data langsung di lapangan dengan melakukan *window mapping* dan simulasi lereng menggunakan *software*. Keragaman nilai kohesi dan sudut geser dalam yang didapatkan melalui data GSI di lapangan, mempengaruhi nilai Faktor Keamanan (FK) pada lereng, semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam, mengindikasikan bahwa batuan mendekati kondisi utuh (*intact*), maka FK yang dihasilkan akan bernilai besar pula atau dalam keadaan stabil.

Kata Kunci: kestabilan lereng, GSI, Faktor Keamanan (FK), *material properties*, batubara

ABSTRACT

Mining areas with open pit systems have a certain slope form to gain the natural resources to be utilized. Slope stability is an important aspect of open mining activities because all mining activities are concentrated in these locations. GSI (Geological Strength Index) is one of the geological technique data that used to know the physical and mechanical properties of rocks to obtain Factor of Safety (FS) slope value. The diversity of GSI values has an influence on the value of Factor of Safety (FS). The study was conducted to determine the effect of GSI value diversity on the Factor of Safety (FS) value on slope design through simulation to obtain stable slope design. Direct data retrieval in the field by doing a window mapping and slope simulation using software. The diversity of cohesion values and angle of internal friction obtained through GSI data in the field, affect the value of the Factor of Safety (FS) on the slope, the greater value of cohesion and angle of internal friction, indicating that the rocks are close to intact conditions, FS result will be valuable great either or in a stable state.

Keywords: *slope stability, GSI, Factor of Safety (FS), material properties, coal*

1. PENDAHULUAN

Daerah pertambangan dengan sistem pit terbuka (*open pit*) memiliki suatu bentuk lereng tertentu untuk mengambil sumber daya alam yang akan

dimanfaatkan. Pada umumnya bentuk lereng tambang membentuk suatu cekungan dengan kemiringan tertentu. Kestabilan lereng merupakan aspek yang penting dalam kegiatan pertambangan terbuka dikarenakan

seluruh kegiatan penambangan terpusat di lokasi tersebut. Ketidakstabilan lereng terjadi karena batuan tidak pada kondisi setimbangnya. Banyak faktor yang membuat lereng tambang menjadi tidak stabil, geometri lereng yang tidak ideal serta aktivitas di sekitar pertambangan seperti penggalian dapat memicu hal tersebut.

Tingginya aktivitas penambangan pada lereng tambang, meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng, terutama potensi pergerakan material lereng dalam bentuk longsoran. Data geologi dan geologi teknik pada lereng digunakan untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) yang dimiliki lereng tambang. Nilai kestabilan lereng didapatkan dengan memanfaatkan sifat fisik dan mekanik yang dimiliki oleh batuan, nilainya berbeda, tergantung jenis batuannya.

GSI (*Geological Strength Index*) merupakan salah satu data geologi teknik yang dimanfaatkan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari batuan sehingga didapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng. Keragaman nilai GSI yang didapatkan memberikan pengaruh terhadap nilai Faktor Keamanan (FK). Hal ini berpengaruh terhadap lereng yang memiliki nilai dip litologi yang relatif tinggi (sekitar 65° – 80° untuk litologi batubara) dalam menentukan arah penambangan dan desain lereng yang akan digunakan. Maka dari itu, dilakukan penelitian terkait permasalahan ini untuk mengetahui pengaruh keberagaman nilai GSI terhadap nilai Faktor Keamanan (FK) pada desain lereng melalui simulasi pada desain lereng hingga didapatkan desain lereng yang stabil.

Penelitian berada di Daerah Samurangau, Kecamatan Batu Kajang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur,

merupakan lokasi penambangan batubara yang dikerjakan oleh PT. Bukit Makmur Mandiri Utama Site milik Kideco. Dilakukan pengambilan data pada lereng *highwall* C5 Pit AB bagian barat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

Pada lembar geologi regional, daerah penelitian berada pada Lembar Balikpapan skala 1 : 250.000 (Gambar 1), merupakan perbatasan antara Cekungan Kutai dengan Cekungan Barito, namun masih termasuk bagian dari Cekungan Barito dengan Formasi Warukin yang lebih dominan. Secara geografis, daerah penelitian berada di daerah Batu Sopang, Kecamatan Batu Kajang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur.

Formasi Warukin terdiri atas perselingan batupasir dengan batulempung dengan sisipan batubara, dan batugamping. Terendapkan di lingkungan fluvial delta. Tidak dijumpai fosil. Berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, tebal formasi antara 300 – 500 m. Menindih selaras Formasi Berau yang terdiri atas batugamping berseling dengan batulempung, napal, dan batubara.

Cekungan Barito dan Cekungan Kutai dibatasi oleh Sesar major yang dikenal dengan Adang Fault yang berarah relative Timur – Barat. Keberadaan sesar ini merupakan hasil dari gaya kompresi berarah barat – timur pembentuk anticlinorium di sepanjang pegunungan Meratus. Kondisi tersebut diperkirakan menghasilkan patahan dan lipatan di lokasi penelitian. Struktur geologi yang teridentifikasi di lokasi penelitian yakni patahan berjenis sesar *oblique* (*normal strike-slip fault*).



Gambar 1. Geologi Regional Lembar Balikpapan (S. Hidayat dan I. Umar, 1994)

(Geological Strength Index) GSI

Geological Strength Index (GSI) dikemukakan oleh (Marinos and Hoek 2005). Metode ini menekankan kepada pengamatan secara geologi untuk karakteristik massa batuan, gambaran material, struktur yang berkembang, sejarah geologi, dan pengembangan spesifik untuk estimasi material properti dari batuan. Kegunaan metode ini yaitu untuk memperkirakan properti massa batuan. Penilaian ini didasarkan pada parameter litologi, struktur, dan kondisi permukaan diskontinuitas pada massa batuan, dan hal ini diperkirakan dari penilaian secara visual dari massa batuan pada singkapan.

Metode Pengambilan data GSI

Pengklasifikasian kualitas massa batuan berdasarkan metode *Geological Strength Index* (GSI) Hoek (1994), mengkombinasikan 2 (dua) parameter utama, yaitu struktur dari sifat blok atau *Structure Rating* (SR), ukuran blok dan bentuk menunjukkan geometri massa batuan keseluruhan dan proporsi volume batuan yang ditempati oleh diskontinuitas dan kondisi permukaan atau *Surface Condition Rating* (SCR) berdasarkan pengamatan stuktur (ukuran blok dan bentuk) dan kondisi permukaan

diskontinuitas (pelapukan, derajat kekasaran, dan alterasi) (Gambar 2).

Chart standar batuan terkekarkan yang dibuat oleh Hoek & Marinos (2005), digunakan dalam mengestimasi kualitas massa batuan secara kualitatif, untuk mendapatkan nilai GSI dari setiap stasiun pengamatan lapangan. Nilai GSI berkisar dari 0 hingga 100, dimana nilai GSI 100 adalah setara dengan massa batuan utuh (Hoek & Marinos, 2005).

Kestabilan Lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK) didapatkan dengan menginput nilai *material properties* yang terdiri dari kohesi, sudut geser dalam, dan berat jenis litologi batuan ketika melakukan simulasi. Nilai *material properties* dari batuan diperoleh dengan memanfaatkan *software* yaitu *Roclab* menurut klasifikasi (Hoek and Brown dalam *Rocscience Guide* (2002)). Aplikasi ini berguna untuk menyelesaikan model batuan yang cukup rumit dengan keterbatasan data yang dimiliki. Menggunakan empat parameter, yakni *Unconfined Compressive Strength* batuan (sigci), parameter batuan utuh (mi), nilai *Geological Strength Index* (GSI), dan nilai faktor pengganggu (D). Nilai keempat faktor dapat ditentukan

secara subjektif dengan bantuan dari kolom keterangan yang tertera di *software*.

Perhitungan Faktor Keamanan Lereng dengan melibatkan data sifat fisik batuan, mekanika batuan (geoteknis batuan) dan bentuk geometri lereng (Panglar, 1985). Rumus dasar Faktor Keamanan (*FK*) lereng (material tanah/batuan) yang diperkenalkan oleh Fellenius dan kemudian dikembangkan adalah :

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Pendorong}}$$

$$FK = \sum \frac{c \cdot L + \{(W + V) \cos \alpha - \mu\} \tan \phi}{(W + V) \sin \alpha}$$

Dimana:

- c* = kohesi massa lereng (ton/m²)
L = panjang bidang gelincir (m)
W = berat jenis massa di atas segmen (ton)
 α = sudut kemiringan lereng (*degree*)

- μ = tekanan pori ($\gamma_{air} \times h \times L$)
V = beban luar (ton)
 ϕ = sudut geser dalam material (*degree*)

Gaya yang bekerja merupakan gaya pendorong dan gaya penahan, semakin besar gaya pendorong, kemungkinan longsor akan semakin besar. Perhitungan yang dilakukan menggunakan metode busur, bidang gelincir dibagi menjadi beberapa *slice* atau potongan bidang, nilai Faktor Keamanan (*FK*) dihitung tiap potongan bidang, nilai terkecil yang didapatkan menjadi nilai yang mewakili keseluruhan bidang, hal ini bertujuan agarantisipasi yang dapat dipersiapkan bernilai besar atau lebih baik.

Nilai yang didapatkan perlu diklasifikasikan untuk mengetahui arti dari nilai yang didapatkan, pengklasifikasian dilakukan berdasarkan nilai keamanan yang sudah diakui secara internasional. (Tabel 1)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)					
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.					
STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES	DECREASING SURFACE QUALITY				
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Gambar 2. Penilaian *Geological Strength Index* oleh Hoek and Marinos (2005)

Tabel 1. Klasifikasi Nilai Keamanan Lereng (Bowles, 1989)

Besar Nilai Faktor Keamanan	Kategori
$FK < 1.07$	Labil
$1.07 < FK < 1.25$	Kritis
$FK > 1.25$	Stabil

3. METODE

Penelitian terbagi dalam empat tahap, pertama tahap persiapan berupa studi literatur dan orientasi medan di lokasi penelitian, dilanjutkan dengan tahap pengambilan data litologi batuan sesuai urutan tua ke muda, pengukuran geometri lereng, dan pengambilan data GSI langsung pada litologi dengan melakukan *window mapping*.

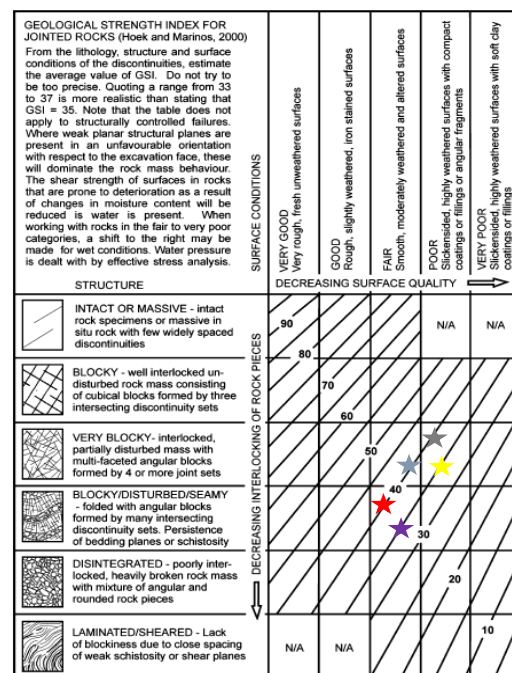
Tahap pengolahan data dilakukan pengelompokkan litologi yang didapatkan, memanfaatkan *software* untuk menentukan nilai *material properties* dan simulasi lereng sehingga didapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) yang stabil, pendekatan yang dilakukan untuk simulasi yakni ketebalan litologi yang disesuaikan dengan sayatan lereng, batubara sebagai acuan utama. Muka Air Tanah (MAT) yang digunakan berada di permukaan, Getaran yang digunakan sebesar 0.03, nilai tersebut mengacu kepada Peta

Zonasi Gempa Indonesia. Data tiap litologi menggunakan nilai *material properties*. Metode simulasi Morgenstern – Price Nilai Faktor Keamanan (FK) lereng yang ditetapkan, merupakan kriteria nilai yang dikemukakan oleh Bowles, 1981. Diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Geologi dan Geologi Teknik

Lokasi C5 Pit AB bagian barat tersusun atas 3 litologi dominan, yakni batulempung, batupasir, dan batubara. Setelah melakukan rekonstruksi dengan memerhatikan sebaran batuan, pembuatan log batuan, dan penentuan nilai GSI (gambar 3), berbagai variasi litologi yang ditemukan di lapangan, yakni batulempung terang, batulempung gelap, batupasir, dan batupasir lunak.

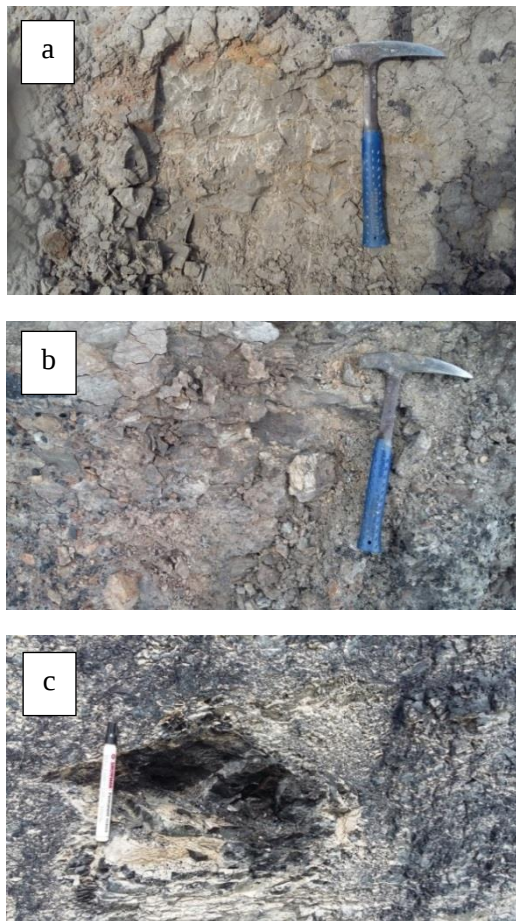


Keterangan:

- ★ Batulempung terang
- ★ Batulempung gelap
- ★ Batupasir
- ★ Batupasir lunak
- ★ Batubara

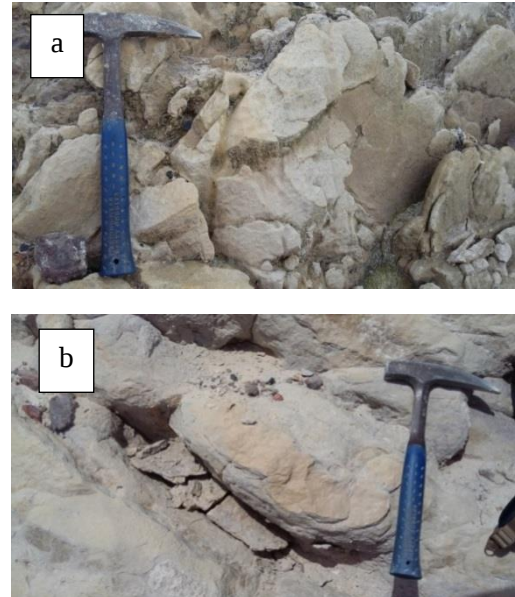
Gambar 3. Pemberian Nilai GSI pada batuan

Satuan Batulempung Terang dengan warna segar abu – abu terang, warna lapuk coklat kehitaman (Gambar 4a). Struktur sedimen *massive bedding*. Kandungan mineral tidak teramati. Kekerasan lunak hingga getas. Kontak gradasional. memiliki nilai GSI antara 25 – 35. Sementara untuk Satuan Batulempung Gelap (Gambar 4b), perbedaan terdapat pada warna batuan yang lebih gelap dan nilai memiliki nilai GSI antara 30 – 40. Satuan Batubara memiliki warna segar hitam pekat (Gambar 4c), warna lapuk hitam kecoklatan. Kilap *banded* (Diessel, 1965). Kekerasan getas. Struktur berlembar, *blocky*. Kontak tegas, memiliki nilai GSI antara 25 – 40.



Gambar 4. Foto dekat a) Satuan Batulempung Terang, b) Satuan Batulempung Gelap, dan c) Satuan Batubara yang ditemukan di lapangan

Satuan Batupasir Lunak ini memiliki warna segar coklat kekuningan, warna lapuk abu – abu kemerahan (Gambar 5a). Ukuran butir pasir sangat halus – pasir halus, bentuk butir membundar tanggung – membundar, pemilahan baik, kemas tertutup. Struktur sedimen paralel laminasi, *wavy lamination*. Kandungan mineral kuarsa, amfibol. Terdapat material organik sebagai sisipan. Kekerasan lunak, kontak tegas, memiliki nilai GSI antara 30 – 35. Satuan Batupasir memiliki warna segar abu – abu kecoklatan, warna lapuk abu – abu kekuningan (Gambar 5b). Ukuran butir pasir sangat halus – pasir seden, bentuk butir membundar tanggung – membundar, pemilahan baik, kemas tertutup. Struktur sedimen paralel laminasi, *wavy bedding*. Kandungan mineral yang teramati yaitu kuarsa, plagioklas. Terdapat material organik sebagai sisipan. Kekerasan getas hingga keras, kontak tegas, memiliki nilai GSI antara 30 – 40.



Gambar 5. Foto dekat a) Satuan Batupasir Lunak, b) Satuan Batupasir yang ditemukan di lapangan

4.2 Material Properties Batuan

Mencari nilai *material properties* menggunakan *Roclab* memerlukan beberapa parameter yang didapatkan,

yaitu nilai UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), parameter litologi, GSI, dan faktor pengganggu. Nilai untuk keempat parameter beragam dan menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang

beragam pula, sehingga ditentukan satu nilai akhir yang mewakili tiap litologi yang mendekati kriteria khusus dari tiap massa batuan (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai *Material Properties* C5 Pit AB Bagian Barat sisi *highwall*

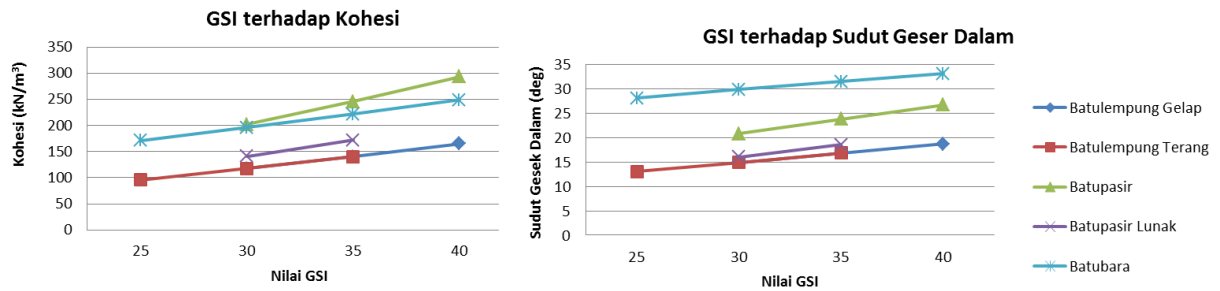
No	Litologi	unit weight (KN/m ³)	Disturbance Factor (D)	GSI	mi	sig _c	c (kN/m ³)	phi (deg)
1	Batubara 1	13.9	0	25	6	15	171	28.08
2	Batubara 2	13.9	0	30	6	15	196	29.86
3	Batubara 3	13.9	0	35	6	15	222	31.52
4	Batubara 4	13.9	0	40	6	15	249	33.09
5	Batulempung Gelap 1	20.8	0.7	30	4	15	118	14.96
6	Batulempung Gelap 2	20.8	0.7	35	4	15	140	16.83
7	Batulempung Gelap 3	20.8	0.7	40	4	15	165	18.71
8	Batulempung Terang 1	20.8	0.7	25	4	15	96	13.1
9	Batulempung Terang 2	20.8	0.7	30	4	15	118	14.96
10	Batulempung Terang 3	20.8	0.7	35	4	15	140	16.83
11	Batupasir 1	23.5	1	30	17	35	202	20.87
12	Batupasir 2	23.5	1	35	17	35	246	23.81
13	Batupasir 3	23.5	1	40	17	35	293	26.76
14	Batupasir Lunak 1	23.5	1	30	17	15	141	16.08
15	Batupasir Lunak 2	23.5	1	35	17	15	172	18.54

Nilai yang Dipakai

4.3 Pengaruh GSI terhadap Sifat Mekanik Batuan

Material properties terutama kohesi dan sudut geser dalam erat hubungannya dengan GSI yang ditentukan di lapangan, hubungan variabel ini ditentukan untuk melihat pengaruh dari nilai GSI terhadap nilai *material properties* yang dihasilkan. Grafik menunjukkan nilai yang meningkat pada kelima satuan batuan

(Gambar 6), nilai GSI semakin besar, maka nilai kohesi dan sudut geser dalam pun semakin besar. GSI yang bernilai tinggi, memiliki permukaan yang baik dan diskontinuitas yang terekam dengan jelas. Nilai GSI yang besar menunjukkan bahwa batuan semakin mendekati keadaan awalnya (*intact*), sehingga nilai kohesi dan sudut geser dalam sebagai identitas batuan bernilai tinggi pula.



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai GSI terhadap kohesi dan terhadap sudut geser dalam dari batuan.

Nilai kohesi berhubungan dengan kuat geser dan kerapatan batuan. Kekuatan geser batuan akan semakin besar jika kohesinya semakin besar. Sedangkan sudut geser dalam berhubungan dengan tegangan normal dan tegangan geser di dalam material batuan. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

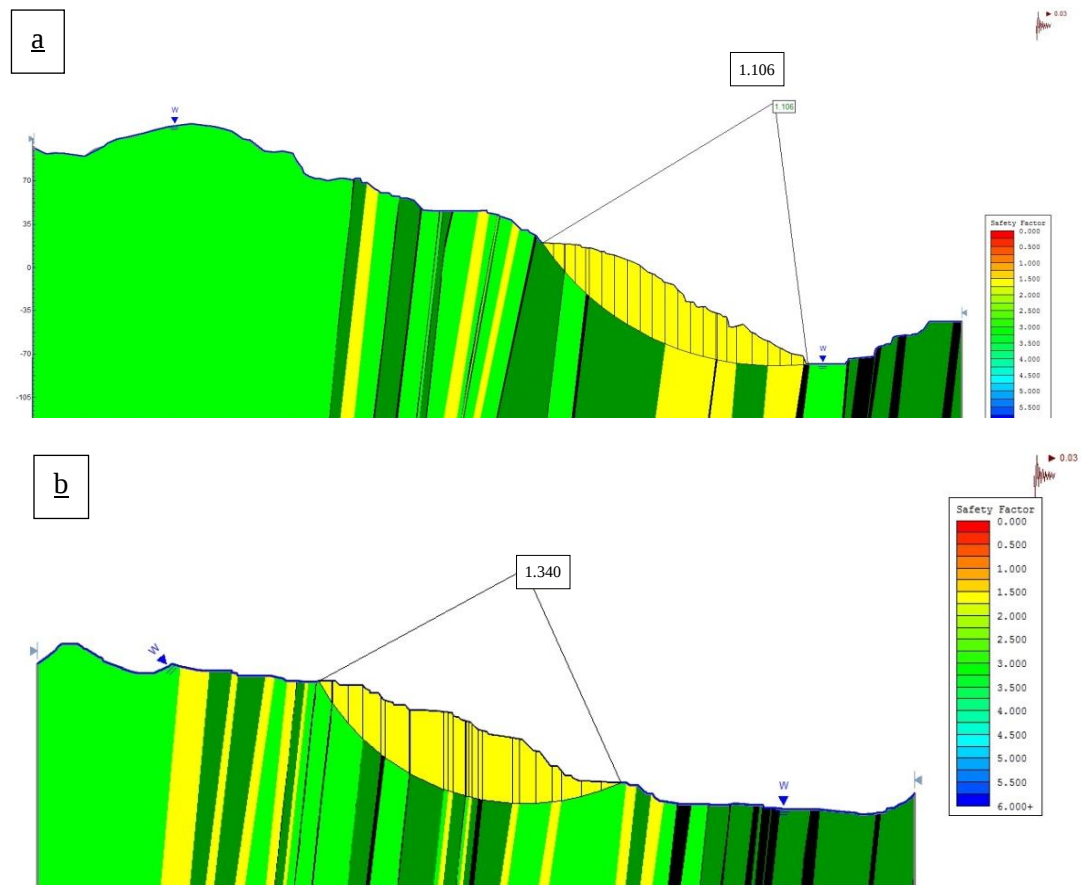
4.4 Simulasi Kestabilan Lereng pada Sayatan Lereng

Simulasi dilakukan terhadap dua buah desain lereng yakni A-A' dan B-B', penampang A-A' tinggi keseluruhan lereng yaitu 188 m dengan sudut keseluruhan lereng sebesar 26° lebar *berm* bervariasi 20 – 60 m, tinggi *single slope* 8 – 10 m, dengan sudut lereng 30° - 45°. Sedangkan penampang B-B' tinggi keseluruhan lereng yaitu 120 m dengan sudut keseluruhan lereng sebesar

22°, lebar *berm* bervariasi 30 – 70 m, tinggi *single slope* 8 – 10 m, dengan sudut lereng 30° - 45°.

Nilai Faktor Keamanan (FK) pada sayatan lereng *highwall* A-A' dengan *material properties* hasil *mapping* via *Roclab* disertai pengaruh Muka Air Tanah (MAT) dan pengaruh getaran horizontal 0.03 menggunakan metode Morgenstern Price bernilai 1,106 menurut Bowles (1989) termasuk dalam kategori kritis, kemungkinan longsor jarang terjadi namun berpotensi untuk longsor. (Gambar 7a)

Sedangkan nilai Faktor Keamanan (FK) pada sayatan lereng *highwall* B-B' dengan *material properties* hasil *mapping* via *Roclab* disertai pengaruh Muka Air Tanah (MAT) dan pengaruh getaran horizontal 0.03 menggunakan metode Morgenstern Price bernilai 1,340 menurut Bowles (1989) termasuk dalam kategori stabil atau aman, kemungkinan longsor rendah. (Gambar 7b)



Gambar 7. Simulasi nilai Faktor Keamanan (FK) dengan *material properties* hasil *mapping* pada a) sayatan A-A' b) sayatan B-B'

Berdasarkan hasil simulasi kedua sayatan, terdapat perbedaan nilai Faktor Keamanan (FK), pada kondisi pengganggu yang sama, sayatan B-B termasuk dalam keadaan lereng stabil dengan nilai Faktor Keamann (FK) >1,25, sedangkan sayatan dengan keterdapatan batupasir pada sayatan A-A' dan *material properties* hasil *mapping* bernilai lebih rendah dan ada yang bernilai kurang dari <1,25 (Tabrl 3).

Tabel 3. Hasil simulasi nilai Faktor Keamanan (FK) sayatan

Jenis Sayatan	FK <i>Material properties</i> Hasil <i>Mapping</i>	Ket
A – A'	1,106	Kritis
B – B'	1,340	Stabil

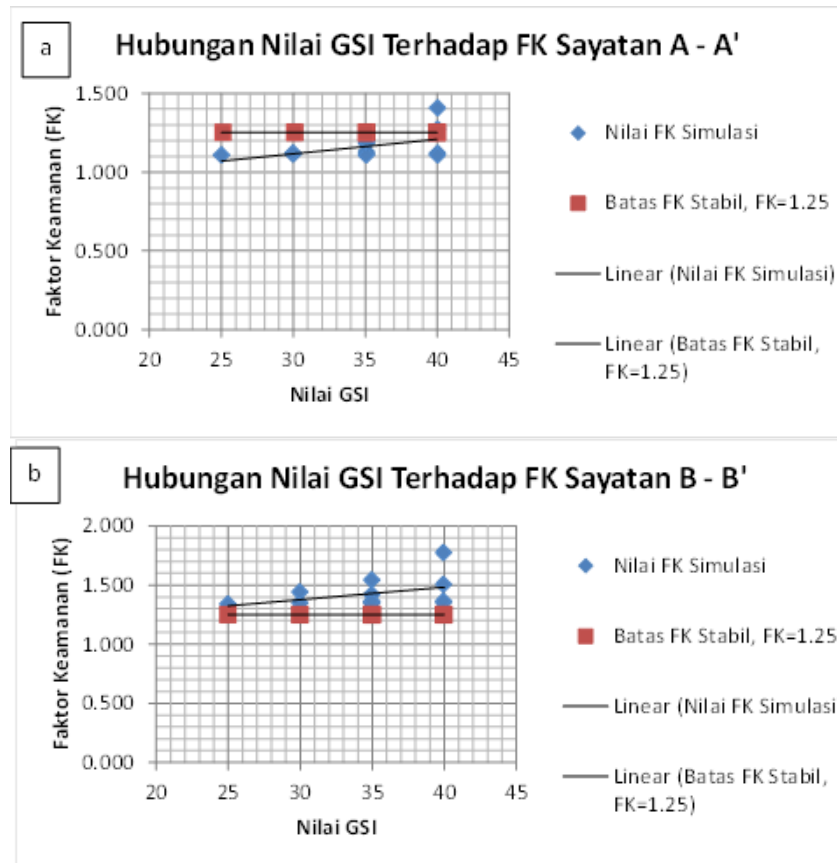
Perbedaan nilai pada kedua sayatan dipengaruhi oleh komposisi litologi dan besarnya sudut keseluruhan lereng. *Material properties* hasil *mapping* yang digunakan merupakan nilai GSI terendah untuk masing – masing litologi. Keragaman nilai GSI menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang beragam pula dan mempengaruhi nilai Faktor Keamanan (FK) pada lereng.

4.5 Pengaruh GSI terhadap Faktor Keamanan (FK) Lereng

Simulasi kestabilan lereng menggunakan nilai *material properties* untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK), sehingga nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh juga berhubungan dengan nilai GSI. Kedua

variabel dihubungkan agar kecenderungan nilai Faktor Keamanan (FK) diketahui untuk setiap desain lereng. Hasil simulasi keamanan lereng pada sayatan A-A' (Gambar 8a) menunjukkan bahwa garis linear FK Simulasi berada di bawah garis batas FK stabil, rata-rata nilai FK pada sayatan ini berada pada zona kritis karena bernilai

kurang dari 1,25 namun tidak ada yang bernilai lebih kecil dari 1,00. Sementara pada sayatan B-B' (Gambar 8b) garis linear FK Simulasi berada di bawah garis batas FK stabil, menunjukkan bahwa rata-rata nilai FK pada sayatan ini berada pada zona yang aman karena bernilai lebih dari 1,25.



Gambar 8. Grafik hubungan nilai GSI terhadap Faktor Keamanan (FK) pada a) sayatan A-A' b) sayatan B-B

5. KESIMPULAN

Hasil simulasi keamanan lereng pada sayatan A-A' berada pada zona kritis ($1,25 < x < 1,00$). Sementara pada sayatan B-B' berada pada zona yang aman ($x > 1,25$), dimana x merupakan nilai Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan. Perbedaan nilai kedua sayatan dipengaruhi oleh komposisi litologi dan penggunaan nilai *material properties* yang berbeda pada sayatan. Keragaman nilai kohesi dan sudut geser dalam yang didapatkan melalui data GSI

di lapangan, mempengaruhi nilai Faktor Keamanan (FK) pada lereng, semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam, mengindikasikan bahwa batuan mendekati kondisi utuh (*intact*), maka FK yang dihasilkan akan bernilai besar pula atau dalam keadaan stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pembimbing teknis, Kuat Yogi Ristanto, S.T. atas bimbingan

dan pengajaran ilmu yang beliau berikan dan PT Bukit Makmur Mandiri Utama Site KIDECO yang telah mengizinkan dan memberikan fasilitas maksimal kepada penulis selama melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Arif, Irwandi. 2008. *Geoteknik Tambang*.

Jakarta. Gramedia.

Geology – Survey Department. 2014. *SOP*

Pembentukan Bench dan Slope di

Area Site PT. Kideco Jaya Agung.

PT. Kideco Jaya Agung

Hunt, Roy E. 2007. *Characteristicsof Geological Materials and Formations*. United States of America. Taylor and Francis Group.

Marks, E.L., Sujatmiko, L. Samuel, H. Dhanutirto, T. Ismoyati, dan B.B.

Sidik. 1982. *Cenozoic stratigraphic nomenclature in East Kutei Basin, Kalimantan*. Indonesian Pet. Assoc., 11th Annual Convention Proceeding.

Marinos, V., Marinos, P. and Hoek, E. 2005. *The Geological Strength Index : Applications and Limitations*. Bull. Eng. Geol. Env., Vol. 64, p. 55-65.

Pangalar, D., 1985, *Petunjuk Penyelidikan*

& Penanggulangan Gerakan Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 233 hal.

strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion. Canada. Rocscience Inc.

Wijaya, Raden Andy Erwin. Karnawati, Dwikorita. Srijono. Wilopo, Wahyu. Isnawan, Dianto. 2014. *Estimasi Geological Strength Index (GSI) System Pada Lapisan Batugamping Beronggav di Tambang Kuari Blok Sawir Tuban Jawa Timur*. Yogyakarta. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional.

Zakaria, Z., 2009. *Ebook: Analisis Kestabilan Lereng Tanah*.

UNPAD: Bandung.

Rocscience. 2002. *RocLab; Rock mass*