

BAB IV

KEGIATAN LAPANGAN DAN PENGOLAHAN DATA

Masalah geoteknik utama yang dihadapi tambang batubara dengan sistem tambang terbuka adalah *slope stability* dan faktor-faktor yang terkait, antara lain; masalah air tanah, sifat batuan tertentu yang mudah berubah bila terekspos di permukaan lereng, erosi permukaan lereng, dan perubahan kekuatan massa batuan karena mengalami pelapukan.

Dalam studi geoteknik ini, pemodelan dan analisis kemantapan lereng akan menggunakan pemodelan numerik metode kesetimbangan batas. Tahapan proses dalam pemodelan ini meliputi tahapan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan geometri lereng dan input parameter,
2. Memasukkan input parameter,
3. Mengeksekusi model,
4. Menginterpretasi hasil pemodelan.

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Kondisi Lapangan

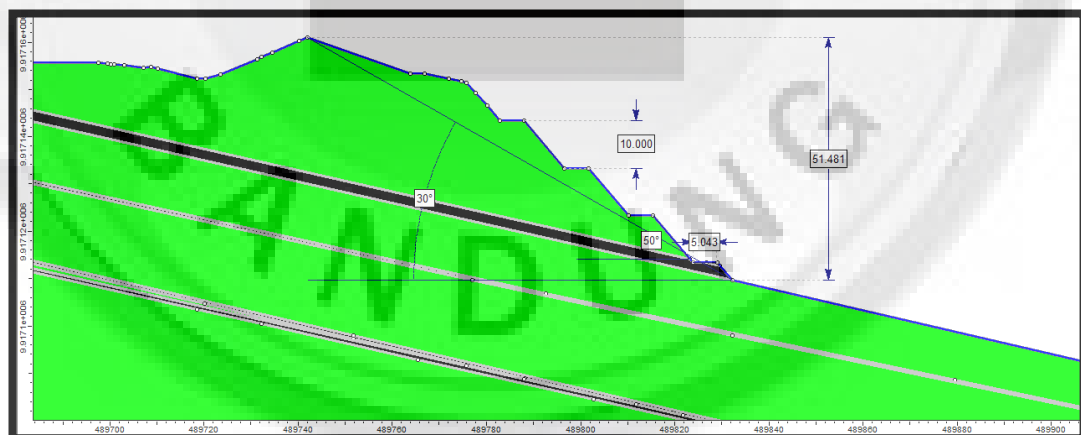
Berdasarkan keadaan topografi lokasi penambangan PT Beringin Jaya Abadi memiliki elevasi tertinggi pada +75 mdpl dan elevasi terendah -55 mdpl. Untuk bagian *low wall* pit B3 tersendiri memiliki elevasi tertinggi pada +10 mdpl dengan elevasi terendah -55 mdpl sesuai dengan elevasi

penambangannya. Pengendapan batubara di daerah penelitian memiliki kedudukan diantara N 320⁰ E - N 340⁰ E dengan dipping 20⁰-60⁰.

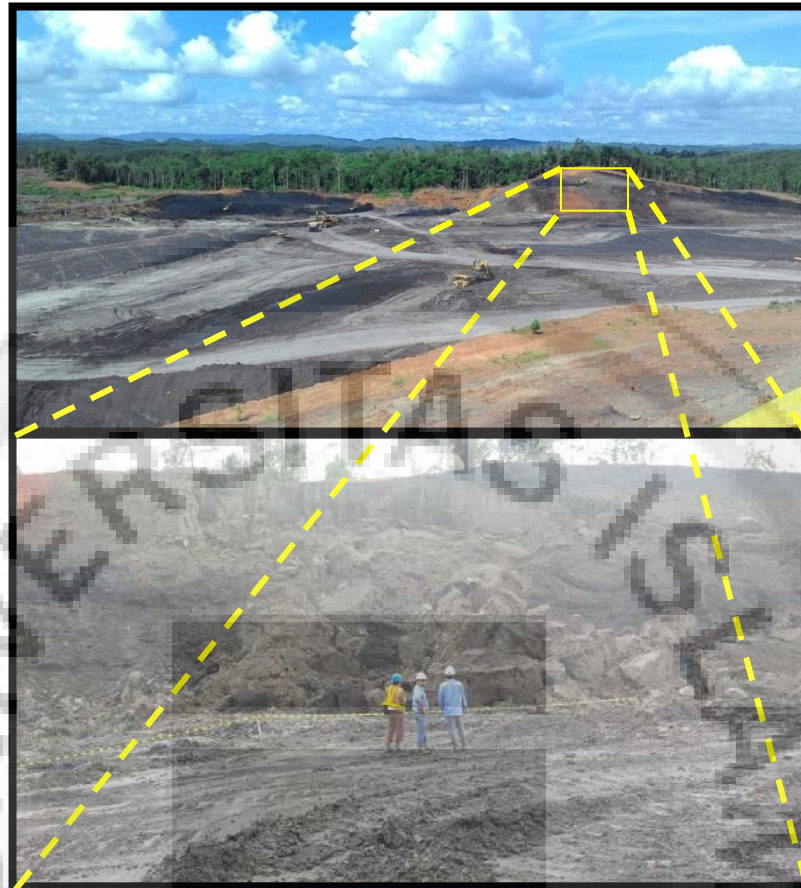
4.1.2 Lereng *Low Wall* Pit B3

Lokasi penyelidikan dilakukan pada lokasi longsor di daerah *front* kerja *Pit* B3 bagian *low wall*. Lokasi penyelidikan ini dekat dengan batas IUP PT BJA. *Pit* PT BJA memiliki geometri lereng aktual untuk *low wall* yaitu lebar *berm* ±5 meter, *single slope angle* 50⁰, tinggi jenjang tunggal 10 meter, *overall slope angle* 30⁰, tinggi jenjang keseluruhan ±50 meter, dan elevasi lantai penambangan -55 mdpl seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Batuan pembentuk pada daerah penelitian yaitu *mudstone* dengan sifat ekspansi pada saat kontak langsung dengan air dan ini menjadi hipotesa awal yang menyebabkan longsor terutama pada saat curah hujan yang tinggi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Geometri Lereng *Low Wall*



Sumber : Dokumentasi Lapangan 2014

Gambar 4.2 Foto Lokasi Longsor Low wall di Pit PT BJA



Sumber : Dokumentasi Lapangan 2014

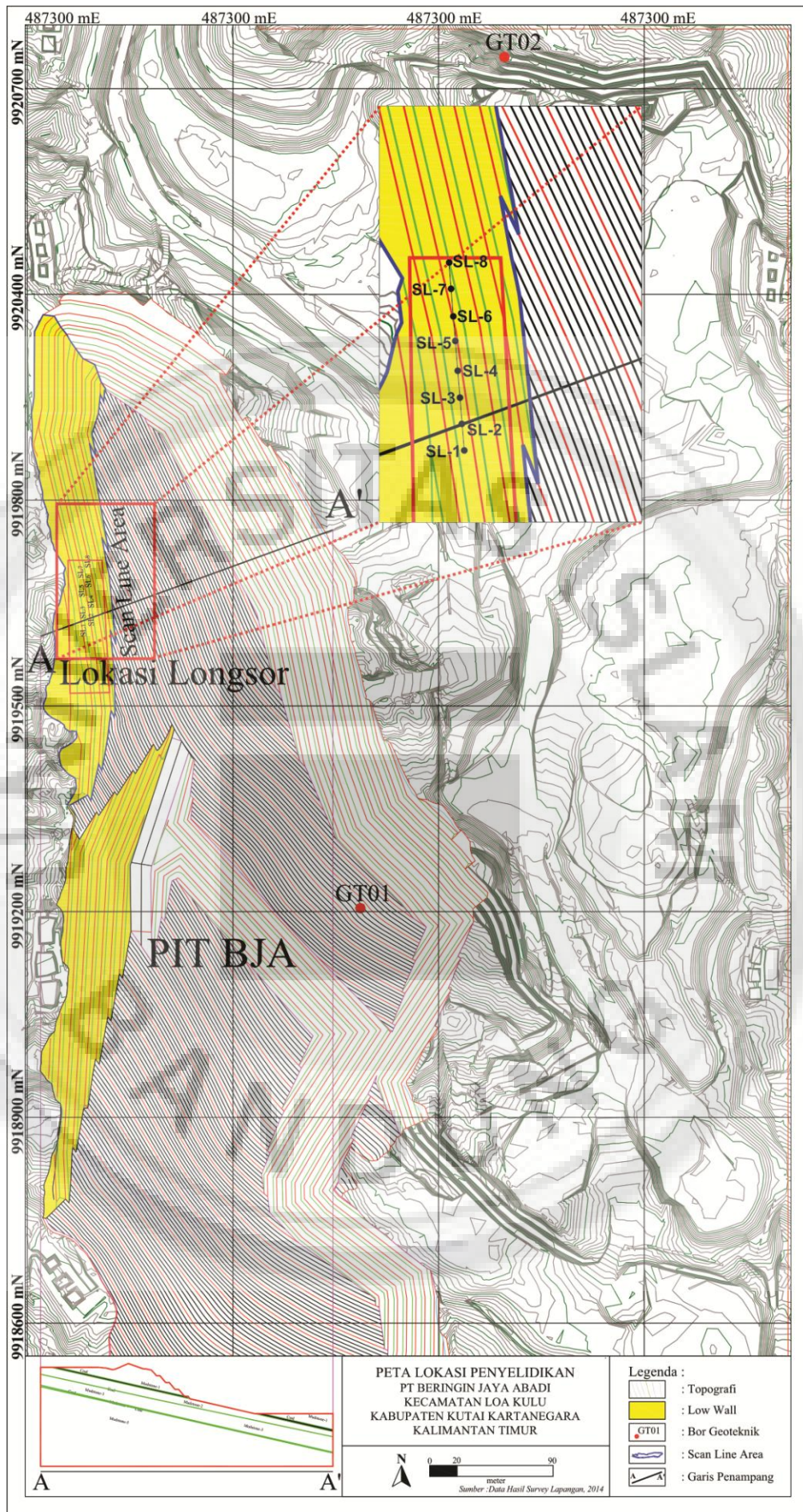
Gambar 4.3 Foto Material Longsor Low wall

4.1.3 Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan geoteknik yang dilakukan yaitu pemetaan geoteknik menggunakan klasifikasi massa batuan berdasarkan RMR (*Rock Mass Rating*) dan GSI (*Geological Strength Index*). Pemetaan tersebut dilakukan pada area yang sudah tersingkap atau terbuka, di area *Low Wall* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

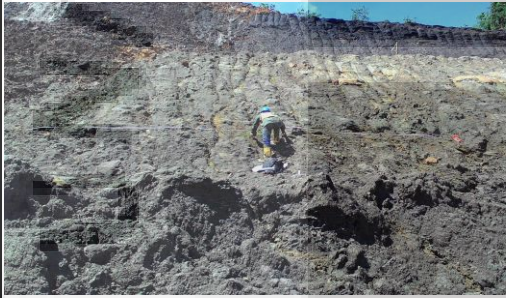
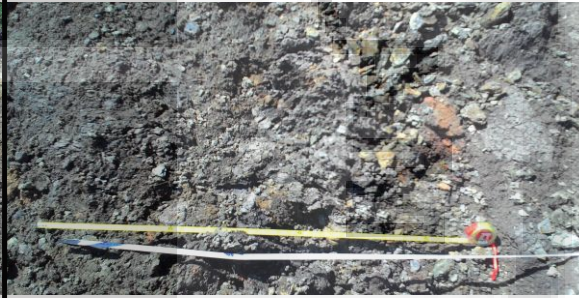
Metode RMR merupakan salah satu pemetaan geoteknik dengan cara mengidentifikasi 5 (lima) parameter massa batuan permukaan yaitu : *Strength of Intact Rock ; RQD ; Spacing of Discontinuities ; Condition of Discontinuities ; Ground Water*. Metode ini dilakukan pada daerah jenjang yang longsor sepanjang 80 meter dengan pengambilan sampel data per meter setiap 10 meter. Hasil dari kegiatan ini yaitu klasifikasi massa batuan berdasarkan Bieniawski (1989) dan klasifikasi keadaan permukaan menggunakan *Geological Strength Index* berdasarkan Hoek Brown (1997).

Pada area tambang yang sudah terbuka, seiring dengan kemajuan penggalian penambangan, pemetaan geoteknik permukaan bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tambahan tentang kondisi massa batuan di lapangan. Di samping itu, pemetaan geoteknik permukaan ini bisa juga dipandang sebagai usaha untuk memantau kondisi geoteknik massa batuan dalam rangka verifikasi data, apakah masih sesuai dan konsisten dengan parameter geoteknik yang digunakan pada saat desain dibuat. Jika diketahui terdapat perbedaan kondisi geoteknik yang signifikan, maka analisis ulang dengan menggunakan parameter yang baru perlu dilakukan, agar dapat direkomendasikan kemungkinan adanya revisi desain geometri lereng. Data



Gambar 4.4 Lokasi Penyelidikan

hasil pemetaan geoteknik dapat dilihat pada Gambar 4.5, Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan untuk selengkapnya terdapat pada Lampiran B dan Lampiran C.

GEOTECHNICAL MAPPING				Rock Type								
PT BRINGIN JAYA ABADI				Sediment	Name of Project	: Mapping RMR-BJA						
				Bench	Location	: Loa Kulu, Tenggarong, Kaltim						
				Low Wall	Conducted by : Ginan	Date : 17/12/2014						
					Checked by : Yuliadi S.T. M.T.	Date : 17/12/2014						
				No. of Photograph : 1-1								
Parameter	Code/Value	Rating		Parameter	Code/Value	Rating	GSI (1)					
1. Strength of Intact Rock	R0	0		2. RQD	VP	3						
3. Spacing of Discontinuities	W	15		5. Groundwater Condition	OS	7						
A. RATING (1+2+3+5) =		25		B. RATING (1+2+3)+15=		33						
4. Condition of Discontinuities												
	Joint Set	Set 1*		SET 2		SET 3		SET 4				
Parameter	Code/Value	Rating	Code/Value	Rating	Code/Value	Rating	Code/Value	Rating				
a. Length (Persistence)	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
b. Separation (Aperture)	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
c. Roughness	SR	3	-	-	-	-	-	-	-			
d. Infilling (Gauge)	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
e. Weathering	MW	3	-	-	-	-	-	-	-			
Joint Orientation (DD/D)												
C. RATING (a+b+c+d+e) =		6										
RMR and GSI Calculation												
D. Basic RMR '89 = A + C		31										
E. Basic RMR '89 (Dry) = B + C		39										
F. GSI (2) = E + (-5)		34										
*) SET 1 is Joint with the highest fracture frequency												
PHOTOGRAPH												
												

Gambar 4.5 Lembar Data Pemetaan Geoteknik Permukaan

Berikut beberapa contoh mengenai pemetaan geoteknik yang dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini :

Line 1

- i. *Strength of Intact Rock* : Batuan yang sangat lemah dengan perkiraan kekuatan batuan < 1 MPa.
(Rating = 0)
- ii. *RQD* : Kualitas batuan pada line ini di <25 % dengan kategori *Very Poor*. (Rating = 3)

iii. *Spacing of Discontinuities*: Spasi antara bidang diskontinuitas agak jauh dengan jarak 0.6 – 2 m dengan kategori *Wide*. (*Rating* = 15)

iv. *Cond. of Discontinuities* :

a. Kekasaran : Memiliki kekasaran yang halus. (*Rating* = 1)

b. Pelapukan : Memiliki kondisi pelapukan sedang. (*Rating* = 3)

v. *Ground Water* : Kondisi lereng basah yang kemungkinan akibat adanya rembesan atau air limpasan. (*Rating* = 4)

Perhitungan

A = i + ii + iii + v	B = (i + ii + iii) + 15	C = a + b
= 0 + 3 + 15 + 4	= (0 + 3 + 15) + 15	= 1 + 3
= 22	= 33	= 4

Klasifikasi RMR dan GSI :

- Basic RMR '89 = A + C = 22 + 4 = 26 (Poor)
- Basic RMR (Dry) '89 = B + C = 33 + 4 = 37 (Poor)
- GSI = Basic RMR (Dry) '89 + (-5) = 37 + (-5) = 32 (*Fair surface condition dan disintegrated structure*)

Kondisi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.6



Sumber : Dokumentasi Lapangan 2014

Gambar 4.6 Kondisi Permukaan pada Line 1-10

Tabel 4.1 Hasil Pemetaan Geoteknik Permukaan Line 1-10

Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i. Strength of intact rock	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ii. RQD	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
iii. Spacing of Discontinuities	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
iv. Condition of discontinuities										
a) Discontinuity length (persistence)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b) Separation (aperture)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c) Roughness	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d) Infilling (gouge)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
e) Weathering	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
v. Ground Water*	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Total Rating										
Basic RMR '89	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Basic RMR '89 (dry)	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
GSI	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Klasifikasi										
- Basic RMR	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock
- Basic RMR (dry)	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock
- GSI	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair
Structure	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated
Cohesion (MPa)	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
Friction Angle (°)	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32

Tabel 4.2 Rata-rata Hasil Pemetaan Geoteknik Permukaan

Parameter	Line (m)										Rata-rata
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	
Total Rating											
- Basic RMR '89	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26.00
- Basic RMR '89 (dry)	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37.00
- GSI	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32.00
Klasifikasi											
- Basic RMR	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock
- Basic RMR (dry)	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock
- GSI	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair
Structure	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated	Disintegrated
Cohesion (MPa)	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
Friction Angle (°)	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32

Berdasarkan Tabel 4.9 untuk nilai *Geological Strength Index* (GSI) yang diklasifikasikan pada kondisi permukaan yang cukup lemah dan struktur terdisintegrasi dapat dilihat kondisi di lapangannya seperti yang tertera pada Gambar 4.7.



Sumber : Dokumentasi Lapangan 2014

Gambar 4.7 Foto Kondisi Permukaan Daerah Penelitian

Dari hasil penyelidikan geoteknik yang berupa nilai GSI dan RMR dapat diperkirakan untuk nilai kohesi, sudut geser dalam, Elastisitas Modulus dan perkiraan nilai UCS menggunakan *Rocklab* adalah sebagai berikut :

- Nilai kohesi yaitu 0.208 MPa
- Nilai sudut geser dalam yaitu 29.32°
- Nilai Modulus Elastisitas yaitu 1145.24 MPa
- Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) yaitu 0.385 Mpa

4.1.4 Hasil Uji Laboratorium

Kegiatan sampling geoteknik yang dilakukan pada tahun 2011 bertujuan untuk mendapatkan sampel tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk diuji di

laboratorium. Hasil uji laboratorium tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5. Pengambilan sampel dilakukan dengan pengeboran geoteknik dengan metode pengeboran *full coring* yang dilakukan di 3 titik yaitu titik GT-01, GT-02 dan GT-03 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dengan beberapa contoh hasil penampang pada Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 berdasarkan *line section-01*, *line section-06*, dan *line section-07*.

Tabel 4.3 Hasil Uji Laboratorium Sampel Titik Bor GT-01

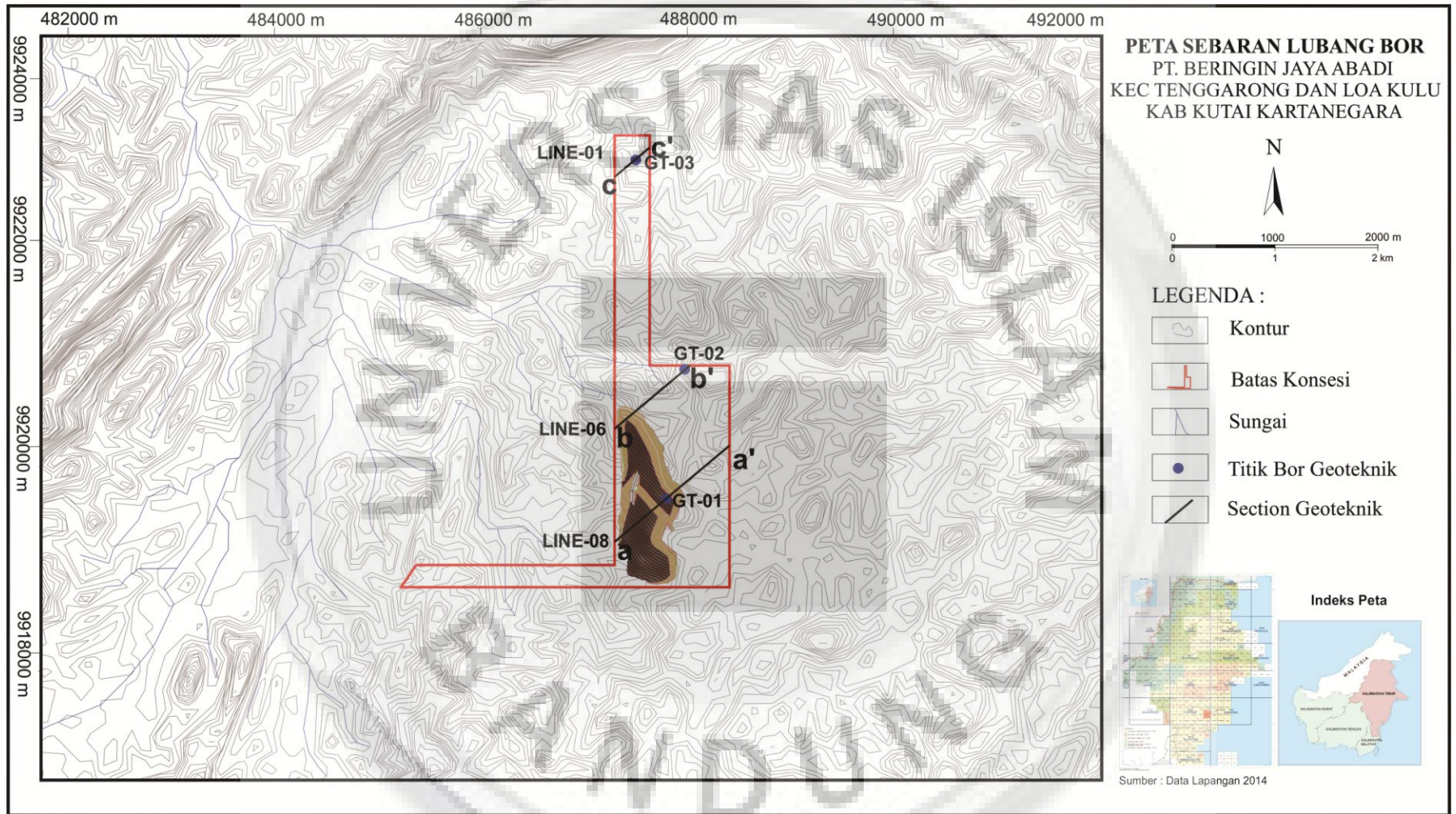
No	Kode Sampel	Kedalaman (m)	Litologi	Natural Density (γ _n)	Saturated Density (γ _s)	Compression Strength (MPa)	Elastisitas Modulus (MPa)	Void Ratio	Tensile Strength (MPa)	Cohesion (MPa)		Friction Angle (°)	
										Peak	Residu	Peak	Residu
1	GTS_02	16.07-16.57	Mudstone	1.978	2.133	0.64	1.18	0.28	0.03	0.24	0.2	13.4	11.3
2	GTS_04	25.54-25.94	Sandstone	2.123	2.224	0.87	1.781	0.37	0.04	0.29	0.28	17.8	8.5
3	GTS_06	37.54-38.04	Mudstone	1.989	2.014	1.12	1.432	0.32	0.03	0.33	0.31	22.5	6.3
4	GTS_08	69.29-69.79	Mudstone	1.952	2.022	0.71	1.44	0.21	0.02	0.25	0.2	16	11.3
5	GTS_10	79.88-80.38	Mudstone	1.923	2.035	0.6	1.975	0.38	0.04	0.25	0.23	8.7	6.1
6	GTS_11	84.43-84.93	Mudstone	1.874	2.048	0.77	1.653	0.31	0.03	0.23	0.2	22.2	8.1

Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Sampel Titik Bor GT-02

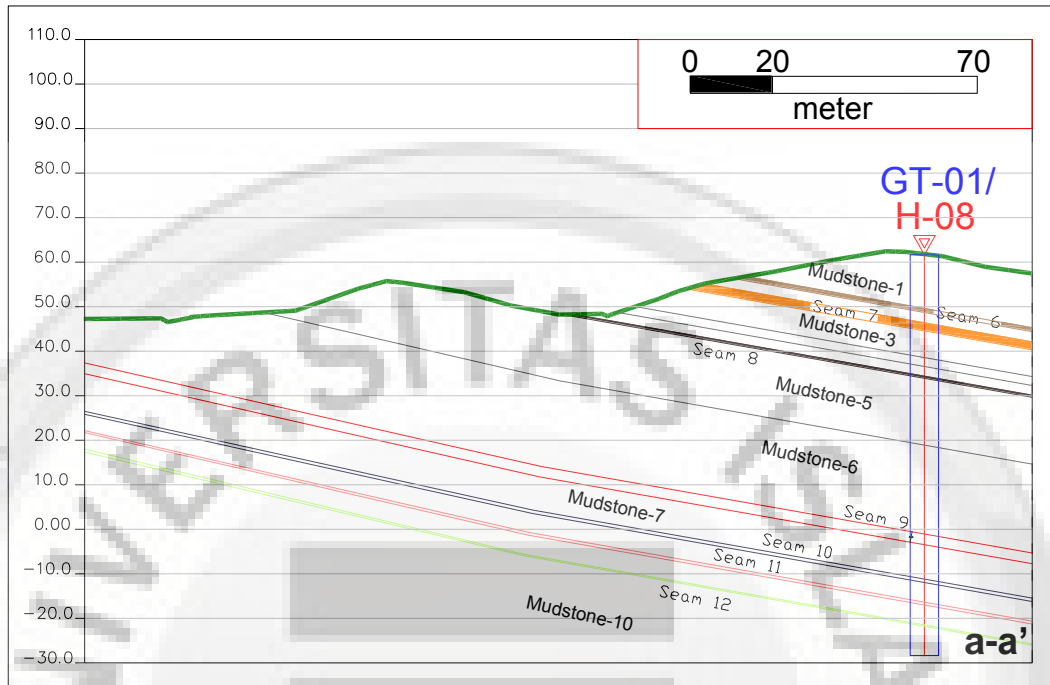
No	Kode Sampel	Kedalaman (m)	Litologi	Natural Density (γ _n)	Saturated Density (γ _s)	Compression Strength (MPa)	Elastisitas Modulus (MPa)	Void Ratio	Tensile Strength (MPa)	Cohesion (MPa)		Friction Angle (°)	
										Peak	Residu	Peak	Residu
1	GTS_01	5.00-5.50	Mudstone	1.978	2.013	1.33	1.149	0.35	0.43	0.32	0.2	27.2	11.3
2	GTS_02	10.50-11.00	Mudstone	1.958	2.025	1.04	1.48	0.33	0.37	0.27	0.19	25.3	12.2
3	GTS_03	20.00-20.70	Mudstone	1.921	2.035	0.58	1.27	0.22	0.35	0.22	0.13	14.2	10.9
4	GTS_04	41.60-42.10	Mudstone	1.966	2.031	0.62	1.015	0.27	0.51	0.28	0.18	5.5	3.7

Tabel 4.5 Hasil Uji Laboratorium Sampel Titik Bor GT-03

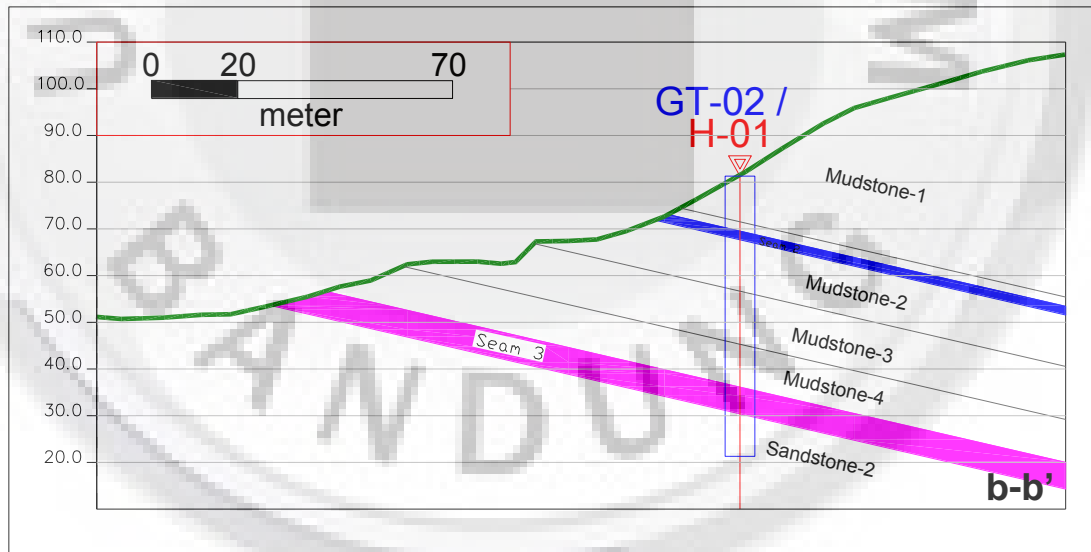
No	Kode Sampel	Kedalaman (m)	Litologi	Natural Density (γ _n)	Saturated Density (γ _s)	Compression Strength (MPa)	Elastisitas Modulus (MPa)	Void Ratio	Tensile Strength (MPa)	Cohesion (MPa)		Friction Angle (°)	
										Peak	Residu	Peak	Residu
1	GTS_01	11-11.5	Sandy Mudstone	1.853	2.011	0.53	1.469	0.36	0.3	0.19	0.11	15.5	12.7
2	GTS_02	33-33.41	Sandstone	2.253	2.371	0.81	1.099	0.31	0.34	0.24	0.2	22.2	9.7
3	GTS_03	34.52-35.02	Sandstone	2.125	2.342	0.51	1.43	0.28	0.28	0.18	0.15	16.3	10.5
4	GTS_04	50.10-50.60	Mudstone	1.802	2.02	0.65	1.034	0.45	0.45	0.26	0.23	10.3	10.1



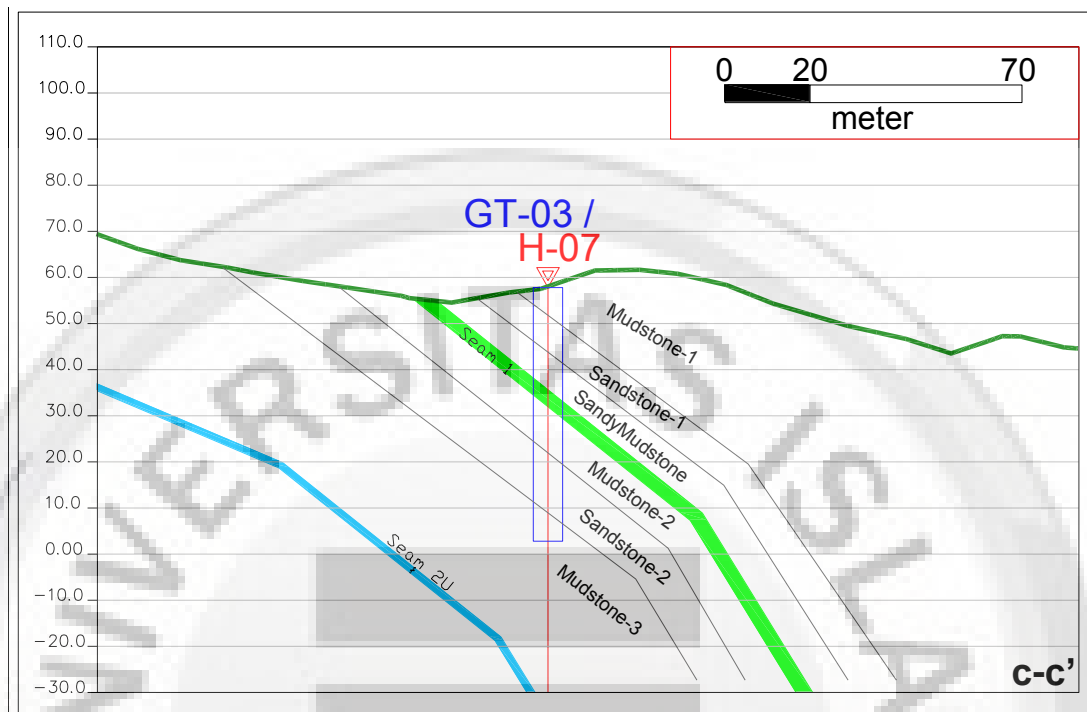
Gambar 4.8 Posisi Lubang Bor dan Penampang Geoteknik



Gambar 4.9 Model Lereng pada Line-08



Gambar 4.10 Model Lereng pada Line-06



Gambar 4.11 Model Lereng pada Line-01

Ketiga penampang di atas berdasarkan data *log bor* yang sebelumnya telah dilakukan *logging* oleh PT BJA. Data *log bor* tersebut dapat dilihat pada Lampiran D. Gambar 4.11 memiliki penampang batubara dengan kemiringan lapisan (*dipping*) 60° , hal tersebut diakibatkan oleh adanya struktur berupa sinklin di sebelah utara IUP PT BJA.

4.1.5 Beban Dinamis

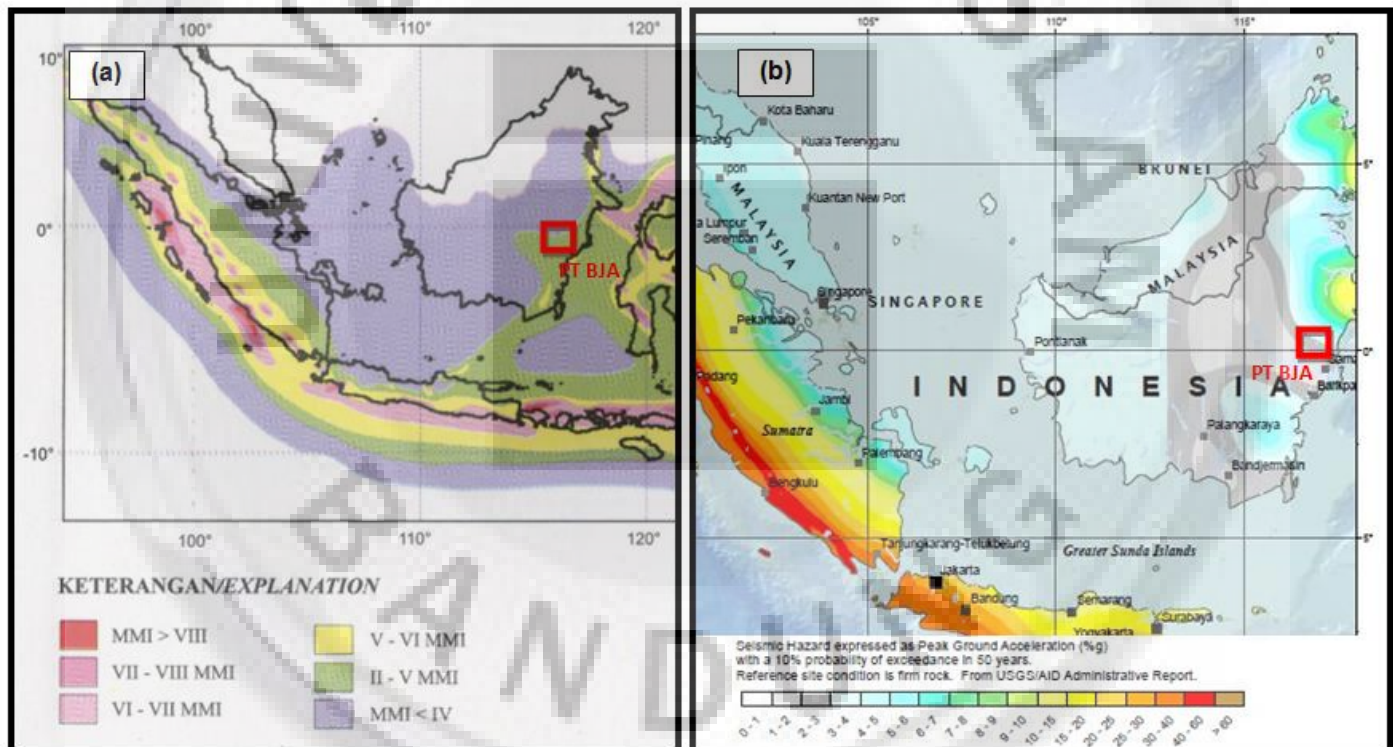
Sedangkan untuk beban dinamis daerah penyelidikan terdapat pada kawasan rawan bencana gempa bumi sangat rendah (< 0.1 g) (USGS, 2008) dan terdapat pada skala II-V Mercalli Modify Intensity (MMI) (Kertapati dkk., 2001) sehingga percepatan gempa untuk daerah penelitian yaitu sebesar 0.05 g

seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.12. Hubungan satuan *gravity*, MMI dan M Richter dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perkiraan hubungan kesetaraan Richter Magnitude (M), Modified Mercalli (MMI), dan Percepatan Permukaan

M richter	MMI	Percepatan permukaan max	Radius pengaruh
0-1.9	I	-	-
2-2.9	II	-	-
3	II - III	-	25 km
4	IV - V	0,015 g - 0.050 g	50 km
5	VI	0,050 g - 0.070 g	100 km
6	VII - VIII	0,070 g - 0.300 g	200 km
7	IX	0,300 g - 0.600 g	400 km
8	X - XI	> 0,600 g	700 km

Sumber : (Introduction to Seismology" IISEE (2001) dan "Earthquake Magnitude Comparisons" (2001)

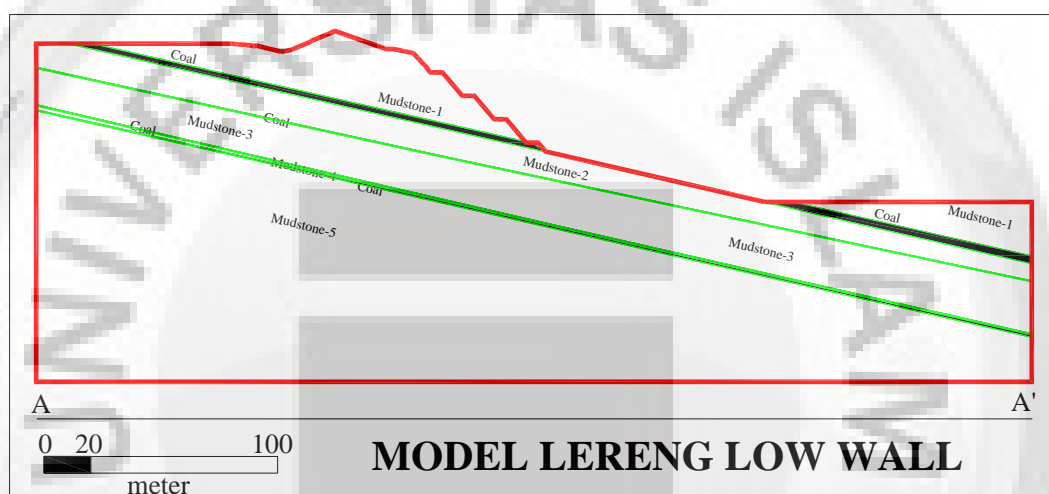


Gambar 4.12 Peta Zonasi Gempa (a) (Kertapati dkk, 2001) dan (b) (USGS, 2008)

4.2 Analisis Kesetimbangan Batas

4.2.1 Model Lereng

Dalam analisis kesetimbangan batas ini dilakukan di bagian lereng *Low Wall* di Pit B3 PT Beringin Jaya Abadi. Batuan pembentuk lereng tersebut didominasi oleh *Mudstone* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Model Lereng *Low Wall*

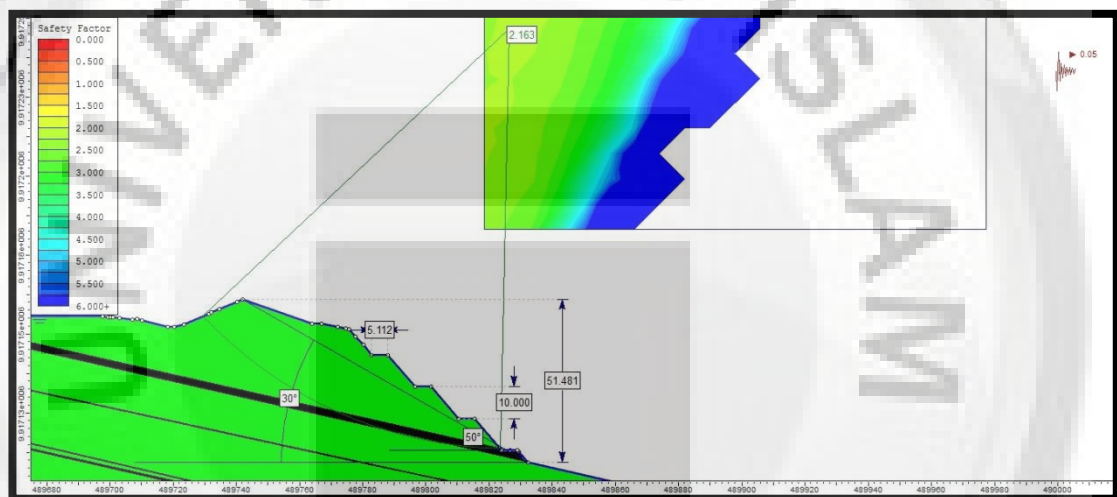
4.2.2 Input Parameter Sebelum Longsor

Berdasarkan data hasil uji batuan dan klasifikasi massa batuan maka didapatkan beberapa parameter geoteknik dalam kajian geoteknik. Parameter geoteknik ini merupakan parameter geoteknik yang tidak terganggu (*undisturbed*) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Input Parameter Sebelum Longsor

MATERIAL	Natural Density (γ_n) (kg/m^3)	Saturated Density (γ_s) (kg/m^3)	Cohesion (C) (kN/m^2)	Friction Angle (ϕ) ($^\circ$)	Keterangan
MUDSTONE1	1.98	2.13	208	29.32	RMR / GSI
COAL	1.26	1.3	241	25.2	Uji Lab
MUDSTONE2	1.99	2.01	330	22.5	Uji Lab
MUDSTONE3	1.95	2.02	250	16	Uji Lab
MUDSTONE4	1.95	2.02	250	16	Uji Lab
MUDSTONE5	1.87	2.05	230	22.2	Uji Lab

Parameter geoteknik pada masing-masing material tersebut selanjutnya dimasukkan sebagai input pada model lereng yang akan dieksekusi. Pemodelan lereng tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) pada lereng *Low Wall* yang berdasarkan pada data input hasil pengujian batuan utuh (*intact rock*). Pemodelan ini menggunakan metode kesetimbangan batas yang dilakukan dalam satu paket program. Hasil eksekusi model tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil Eksekusi Model Berdasarkan Input Parameter Sebelum Longsor

Berdasarkan Gambar 4.14 didapatkan nilai FK 2.163 pada tinggi lereng keseluruhan 51.481 m, sudut lereng keseluruhan 30° , dengan faktor kegempaan 0.05g.

4.2.3 Penentuan Kekuatan Batuan Berdasarkan Probabilistik Monte Carlo

Analisis balik ini bertujuan untuk menentukan dan memverifikasi input parameter geoteknik yang mewakili dari suatu areal lereng bukaan tambang dengan cara memanfaatkan suatu kasus kelongsoran yang pernah terjadi

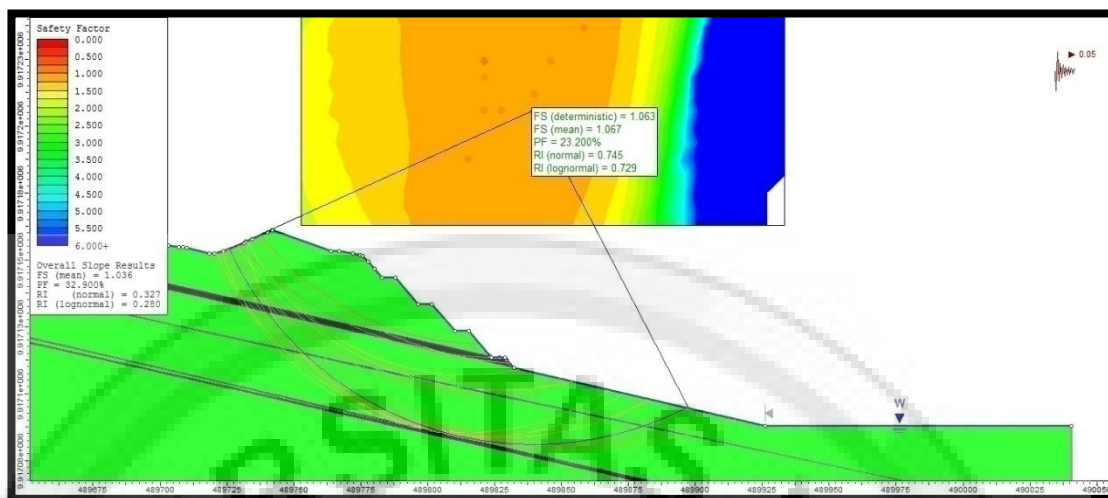
pada areal tersebut. Pada prinsipnya, lereng pada saat akan longsor dianggap dalam kondisi kritis dengan faktor stabilitas $FK = 1.0$.

Dengan merekonstruksi model lereng yang telah longsor berdasarkan data-data sebelum kelongsoran terjadi, selanjutnya disimulasi dengan memasukkan data input parameter geoteknik yang paling mewakili berdasarkan hasil penyelidikan dan uji laboratorium, lalu dianalisis dengan cara mengeksekusi program. Analisis balik dilakukan pada material *mudstone* dengan kondisi MAT jenuh karena pada saat terjadi longsoran kondisi lereng dalam keadaan jenuh. Simulasi dilakukan dengan 1000 sampel data yang berupa variabel acak untuk setiap parameter geoteknik menggunakan probabilitas *Monte Carlo* dalam metode kesetimbangan batas (*Limited Equilibrium Method*) dengan acuan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Awal Probabilistik

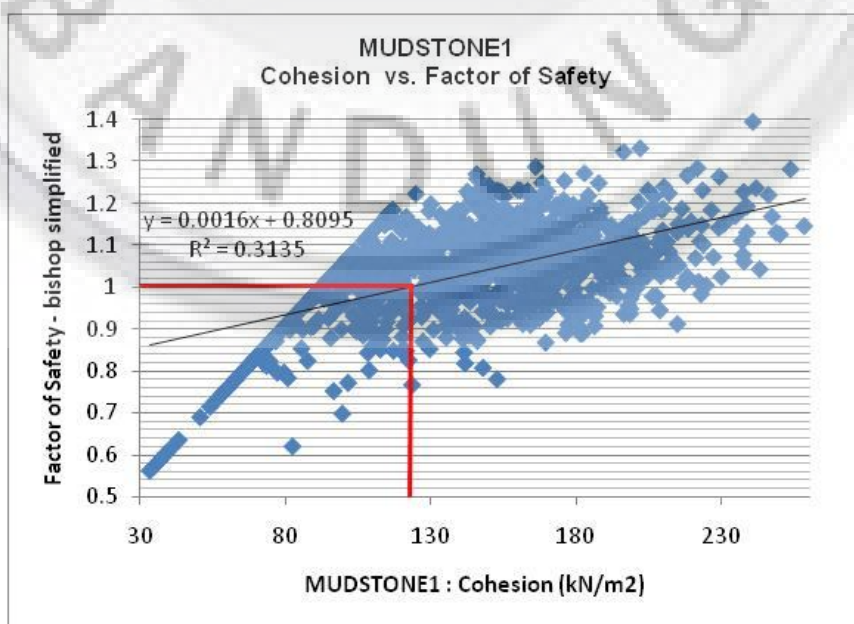
Material	Mudstone 1		Mudstone 2		Mudstone 3	
	Cohesion	Friction Angle	Cohesion	Friction Angle	Cohesion	Friction Angle
min	33.56	1.65	42.24	2.95	40.83	2.05
max	258.41	14.21	352.73	24.12	268.02	16.59
stdev	39.80	2.22	53.00	3.61	41.70	2.67

Hasil dari probabilitas *Monte Carlo* berdasarkan data pada Tabel 4.9 dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil Eksekusi Model Probabilistik Monte Carlo

Berdasarkan Gambar 4.15 dapat dijelaskan bahwa dari 1000 random data setiap input parameter geoteknik terdapat 329 data menghasilkan model lereng yang mengalami kelongsoran. Sehingga *Probability Failure* (PF) secara global pada model ini yaitu sebesar 32.9% dan FK = 1.036. Berikut merupakan nilai masing-masing parameter geoteknik berdasarkan pendekatan menggunakan metode Monte Carlo dan hasil eksekusi modelnya dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan selengkapnya pada Lampiran E.



Gambar 4.16 Korelasi Nilai FK Terhadap Kohesi Material *Mudstone 1*

Berdasarkan Gambar 4.16 nilai kohesi yang didapatkan yaitu 122.4 kN/m². Nilai tersebut didapatkan dari proses sebagai berikut :

- Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan Probabilistik Monte Carlo, pada prinsipnya menggunakan satu variabel dan dua konstanta. Variabel yang dipilih yaitu bobot isi dari batuan yang diujikan sedangkan untuk konstantanya yaitu nilai kohesi dan sudut geser dalam.
- Dalam kasus pencarian kohesi pada Gambar 4.16 konstanta yang digunakan yaitu nilai sudut geser dalam dan bobot isi batuan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui korelasi antara nilai FK dan nilai kohesi yang berbeda-beda.
- Hasil simulasi yang didapatkan yaitu sebaran 1000 data dari hasil korelasi nilai FK dan kohesi. Distribusi data tersebut memiliki persamaan garis linear $y = 0.0016x + 0.8095$.
- Garis dari persamaan linear dibutuhkan untuk mencari nilai kohesi pada $FK = 1$, yaitu dengan membuat garis horizontal yang berpotongan dengan garis linear. Sehingga apabila diambil garis vertikal dari titik perpotongan tersebut maka didapatkan nilai kohesi pada $FK = 1$ yang selanjutnya dipakai untuk perancangan geometri lereng *Low Wall*.

Hasil analisis balik menggunakan metode *Probabilistic Monte Carlo*, material *mudstone* yang mengalami pendekatan hanya pada material *mudstone* 1 sampai 3, hal ini dikarenakan pemodelan pendekatan dengan

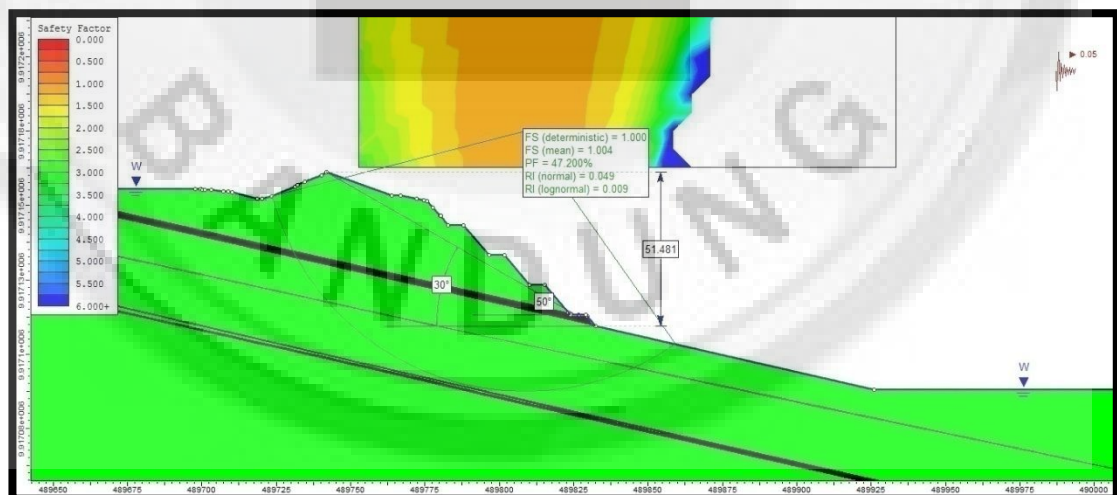
menggunakan Probabilistik Monte Carlo material yang mengalami kelongsoran hanya pada material *mudstone* 1 sampai 3. Data hasil analisis balik dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil *Back Analysis* Probabilistik Monte Carlo

MATERIAL	Natural Unit Weight (kN/m ³)	Saturated Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (C) (kN/m ²)	Friction Angle (ϕ) (... ^o)
MUDSTONE1	19.8	21.3	122.4	8.04
MUDSTONE2	19.9	20.1	134.2	17.85
MUDSTONE3	19.5	20.2	124.9	11.21

4.2.4 Analisis Kesetimbangan Batas Menggunakan Hasil *Back Analysis* Probabilistik Monte Carlo

Hasil dari analisis probabilistik Monte Carlo pada Tabel 4.9 selanjutnya dijadikan input parameter pada model untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan pada lereng tambang yang longsor. Hasil dari eksekusi model tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Hasil Model Analisis Balik Monte Carlo

Berdasarkan Gambar 4.17 didapatkan nilai FK 1.004 pada tinggi lereng keseluruhan 51.481 m, faktor kegempaan 0.05g dan sudut lereng keseluruhan 30^o. Pada nilai FK tersebut menunjukkan lereng pada keadaan

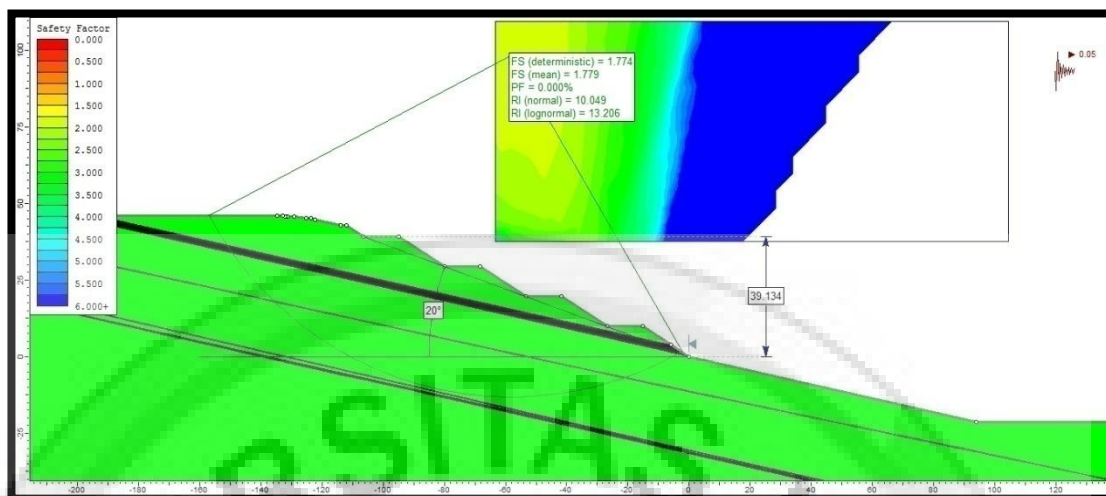
siap longsor karena $FK = 1.004$ dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) yaitu 47.2%.

4.2.5 Perancangan Geometri *Low Wall*

Berdasarkan hasil simulasi pada analisis balik lereng *low wall*, maka langkah selanjutnya akan dilakukan simulasi lanjutan untuk mencari alternatif desain lereng yang stabil menggunakan input parameter geoteknik seperti yang terdapat pada Tabel 4.10. Untuk itu dimodelkan desain lereng akhir dalam 3 kondisi MAT berdasarkan tipikal kondisi MAT oleh Hoek dan Bray (1981) yaitu MAT 1, MAT 3, dan MAT 5. Berdasarkan analisa, penyebab kelongsoran pada *low wall* diakibatkan karena material penyusun yang lemah yakni *mudstone* dan dipengaruhi oleh kondisi air tanah dan air permukaan yang menyebabkan material menjadi jenuh. Dampak yang diberikan tekanan air pada pori material akan mengakibatkan menurunnya kekuatan massa batuan. Salah satu contoh hasil eksekusi model tersebut terdapat pada Gambar 4.18 untuk selengkapnya terdapat pada Lampiran A. Hasil rekapitulasi Faktor Keamanan (FK) dari eksekusi simulasi model terdapat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Input Parameter Model *Low Wall*

MATERIAL	Natural Unit Weight (kN/m^3)	Saturated Unit Weight (kN/m^3)	Cohesion (C) (kN/m^2)	Friction Angle (ϕ) ($^\circ$)
COAL	12,6	13	241	25,2
MUDSTONE1	19,8	21,3	122,4	8,04
MUDSTONE2	19,9	20,1	134,2	17,85
MUDSTONE3	19,5	20,2	124,9	11,21
MUDSTONE4	19,5	20,2	250	16
MUDSTONE5	18,7	20,5	230	22,2



Gambar 4.18 Hasil Analisis Model *Low Wall* Sudut 20° MAT 1

Tabel 4.11 Rekapitulasi Faktor Keamanan

Sudut (0°)	Tinggi (m)	MAT 1		MAT 3		MAT 5	
		FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)
20	39.134	1.779	0	1.382	0.2	1.327	0.5
21	42.853	1.781	0	1.392	0.3	1.332	0.2
22	43.741	1.755	0	1.362	0.3	1.332	0.4
23	44.834	1.751	0	1.358	0.3	1.336	0.4
24	40	1.744	0	1.369	0.1	1.328	0.2
25	47.532	1.729	0	1.366	0.1	1.313	0.4