

BAB IV

HASIL PENELITIAN

Masalah geoteknik utama yang dihadapi oleh tambang batubara dengan sistem tambang terbuka salah satunya adalah kestabilan lereng. Desain lereng harus didesain dengan tepat untuk mencapai kondisi lereng yang stabil, karena lereng yang stabil akan mendukung terhadap kegiatan penambangan yang optimal dan meminimalisir resiko kelongsoran lereng yang dapat menghambat kegiatan produksi.

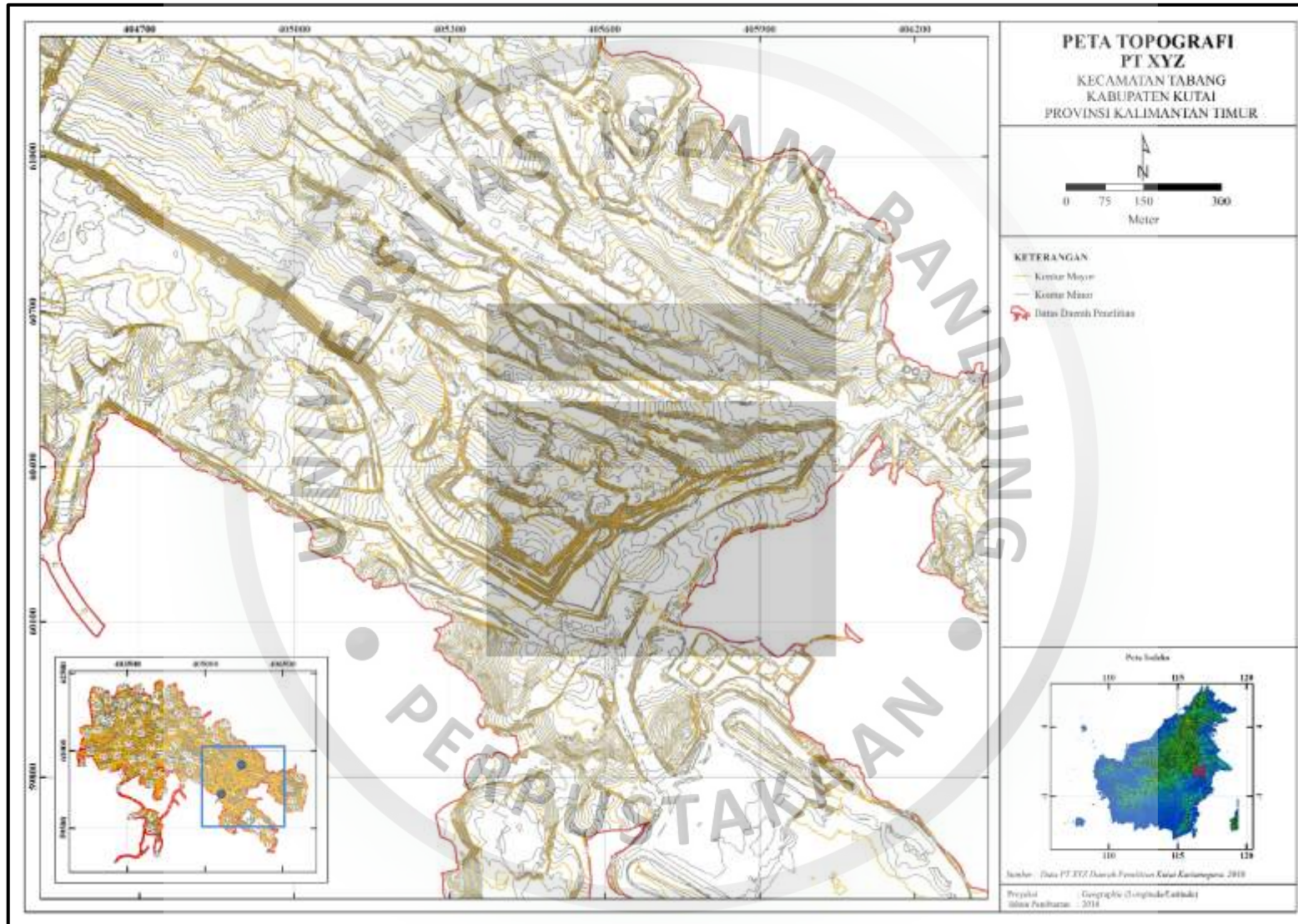
Dalam studi geoteknik ini, jenis lereng yang diteliti adalah lereng timbunan disposal. Pemodelan dan analisis kemantapan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilitas Monte Carlo. Tahapan proses dalam analisis ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan;
2. Mempersiapkan model dan input parameter yang akan digunakan;
3. Memasukkan input parameter;
4. Mengeksekusi model lereng;
5. Menginterpretasikan hasil pemodelan lereng.

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Topografi Daerah Penelitian

Keberadaan data topografi berfungsi untuk mengetahui bagaimana kondisi *relief* permukaan tanah pada lokasi yang sedang diteliti. Berdasarkan data yang dimiliki, kondisi topografi daerah penelitian memiliki elevasi dibawah 100 mdpl. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa daerah penelitian termasuk ke dalam bentuk *relief* dataran rendah. (Gambar 4.1)



Sumber : Data Penelitian

Gambar 4.1
Peta Topografi PT XYZ

Daerah yang sedang diteliti berada di pit barat PT XYZ. Dengan rencana penempatan disposal yaitu disposal *inpit dump*. Penempatan disposal *inpit dump* dipilih karena terdapatnya lahan kosong bekas tambang yang tidak terpakai di area *low wall* pit. Perencanaan disposal harus didesain dengan tepat karena akan berpengaruh terhadap biaya operasi dan kestabilan disposal.

4.1.2 Data Bor Geoteknik

Data bor geoteknik diperlukan untuk mengetahui bagaimana kondisi perlapisan dibawah permukaan tanah, serta untuk mengetahui bagaimana karakteristik sifat fisik dan mekanik batuan dasar seperti *claystone*, *sandstone* dan batu bara pada lokasi yang sedang diteliti. Titik bor yang dimiliki berada pada dua titik yaitu GT-03 dan GT-04. Berikut adalah tabel koordinat lokasi titik bor. (Tabel 4.1)

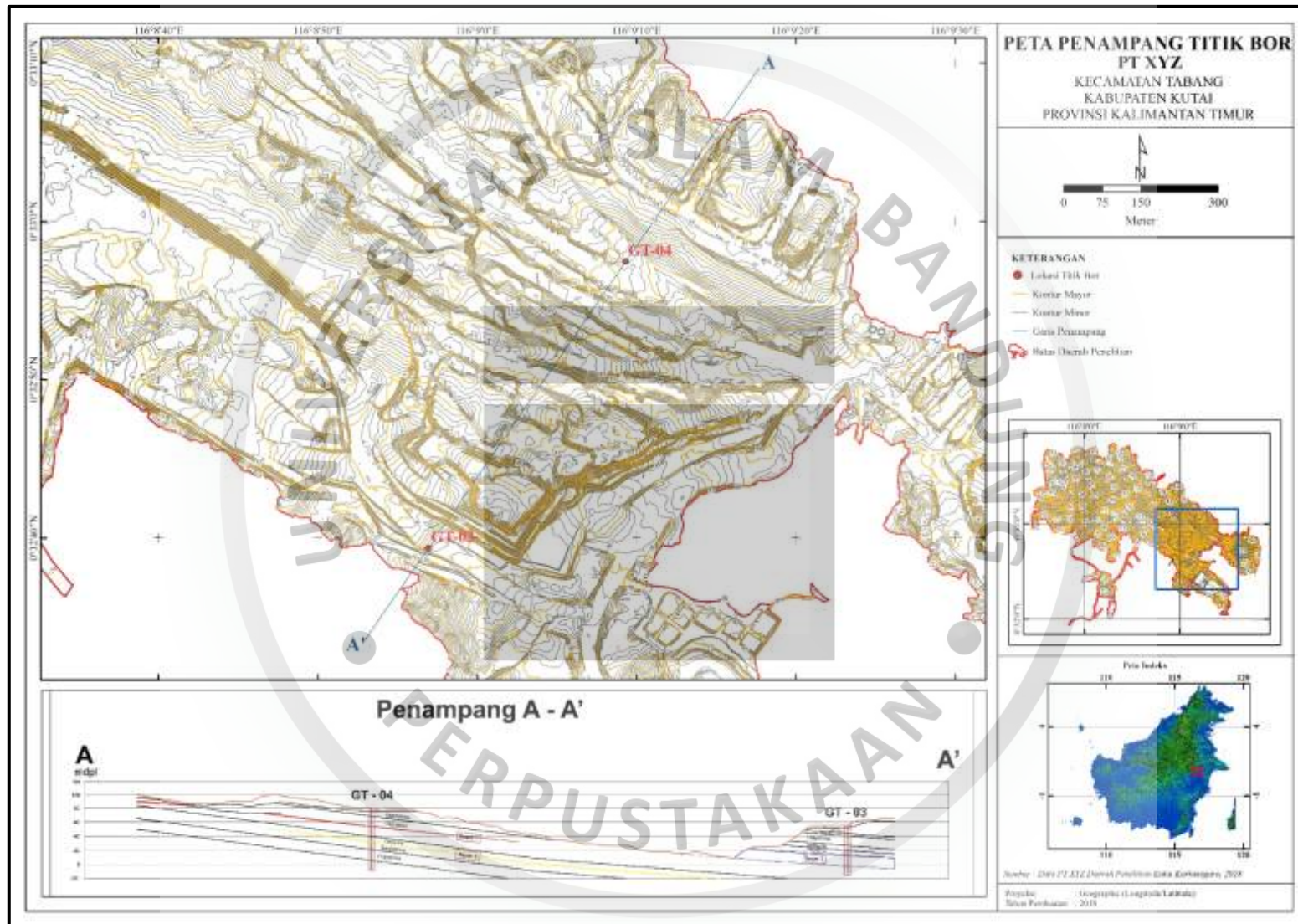
Tabel 4.1
Koordinat Titik Bor Geoteknik

No.	Titik Bor	Koordinat		
		Easting	Northing	Elevasi (m)
1	GT-03	405323	60164	42
2	GT-04	405706	60720	67

Sumber : Data Lapangan

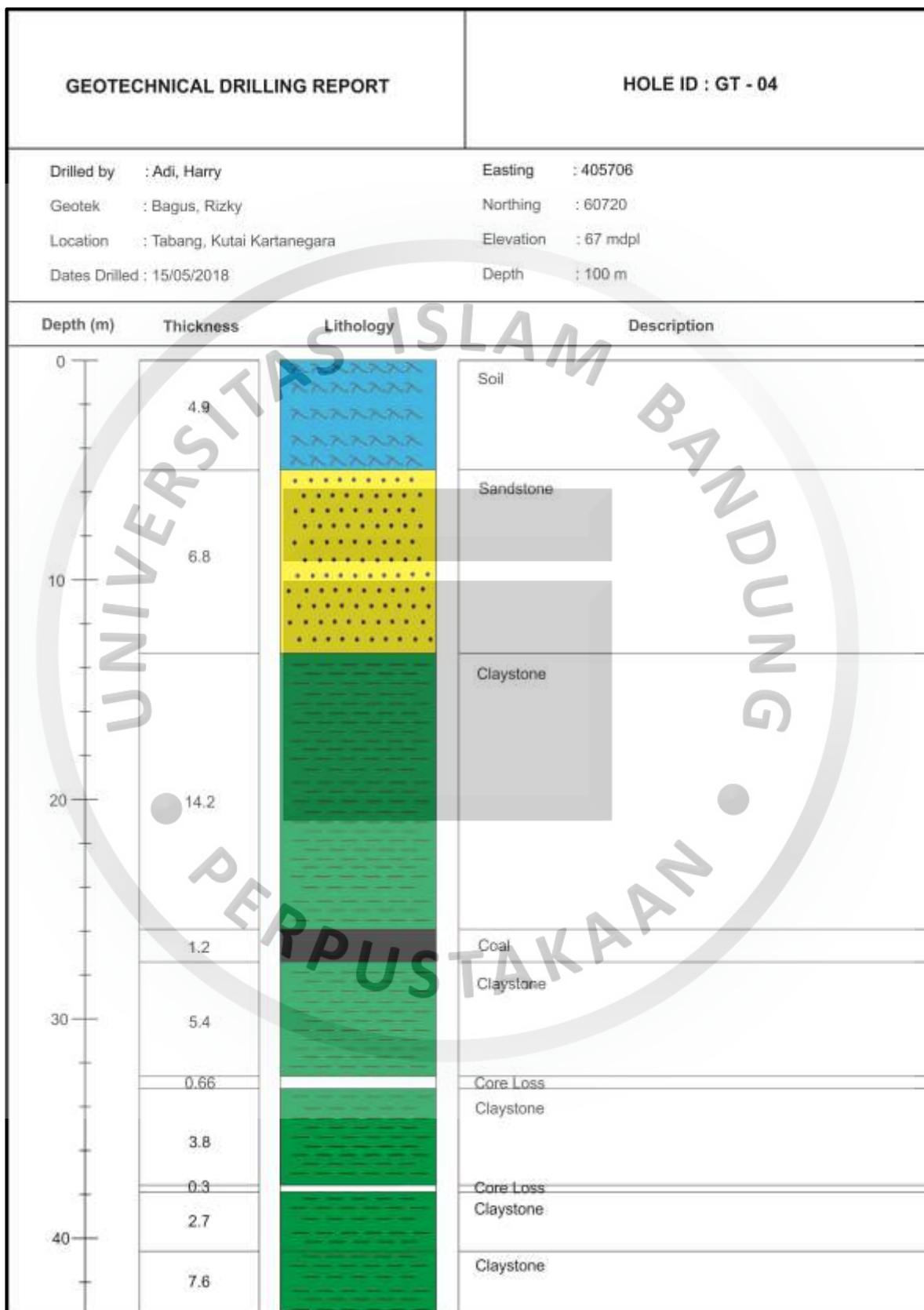
Tampak atas lokasi titik bor dapat dilihat pada peta penampang titik bor (Gambar 4.2). Pada peta tersebut dapat dilihat satu garis yang menyambungkan antara bor GT-03 dan GT-04 yang selanjutnya disebut penampang A-A'. Kondisi relief pit yang akan dijadikan tempat penimbunan lereng disposal *inpit dump* dapat dilihat pada penampang tersebut.

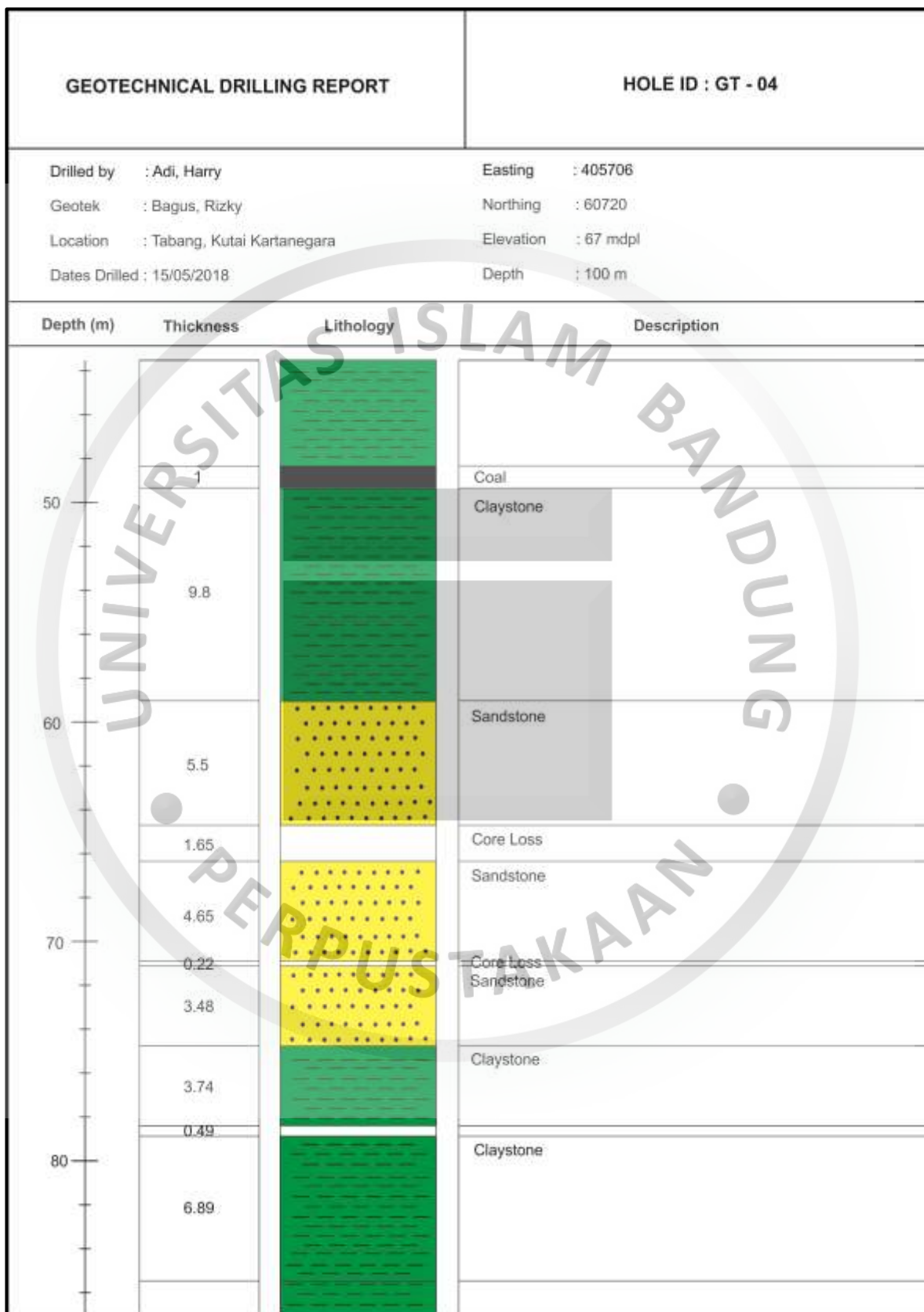
Kegiatan pengeboran geoteknik pada kedua titik tersebut telah dilakukan sebelumnya oleh pihak perusahaan, dengan masing-masing kedalaman 93 meter untuk titik bor GT-03 dan 100 meter untuk titik bor GT-04. Hasil dari kegiatan pengeboran dapat dilihat pada *geotechnical drilling report* (Gambar 4.3).

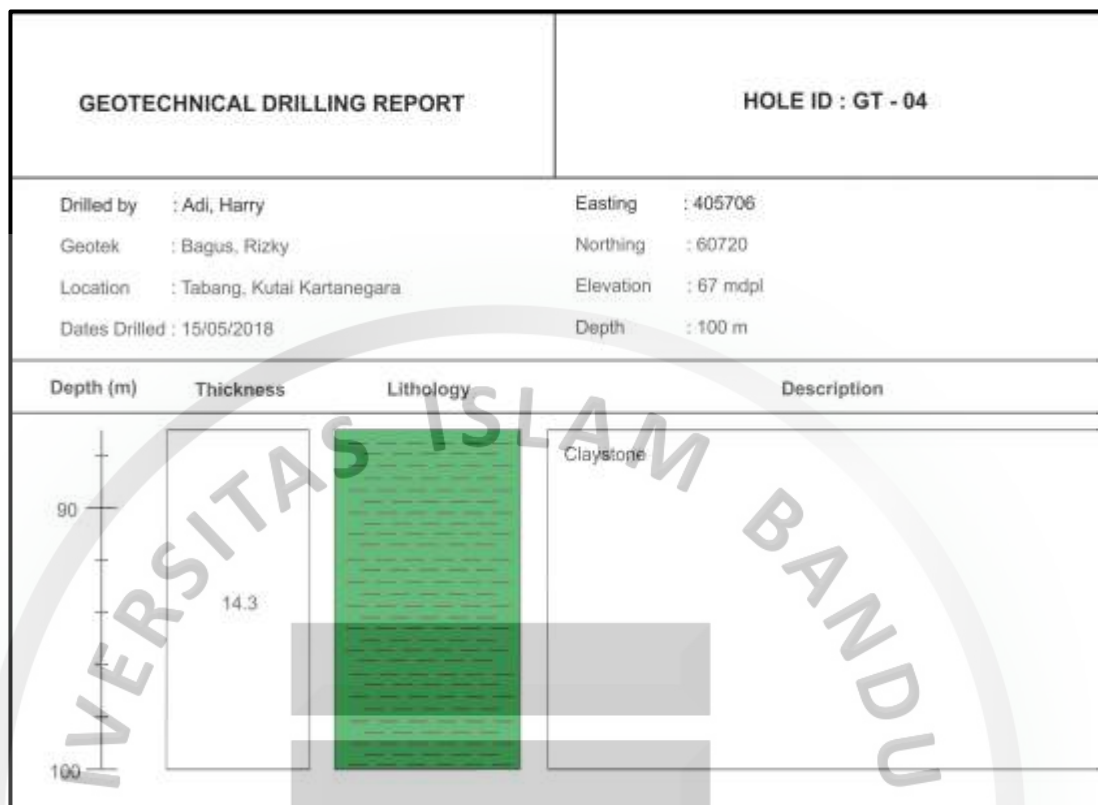


Sumber Data Hasil Penelitian

Gambar 4.2
Peta Penampang Titik Bor







Sumber : Data Perusahaan PT XYZ

Gambar 4.3
Log Bor Titik GT-04

4.1.3 Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Pada penelitian ini, nilai karakteristik sifat fisik dan mekanik batuan seperti bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dari hasil pengujian laboratorium yang sudah dilakukan sebelumnya oleh pihak perusahaan. Nilai-nilai tersebut akan digunakan sebagai parameter masukan dalam analisis kestabilan lereng disposal. Kekuatan setiap material *coal*, *claystone* dan *sandstone* dapat dilihat pada tabel 4.2 sampai 4.4.

Kondisi lapisan tanah dibawah permukaan didominasi oleh lapisan *claystone*, dengan selingan material *sandstone* dan *coal*. Dengan kemiringan lapisan kurang lebih 7° . Berikut adalah tabel nilai kekuatan tanah dasar yang didapatkan dari data bor geoteknik perusahaan :

Tabel 4.2
Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Coal

Material	Titik Bor	Kedalaman (m)	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
Coal 10	GT-04	26,52 – 26,70	13,630	87,377	39,280	2,142
Coal 15	GT-04	48,52 – 48,74	13,017	26,029	29,140	3,770
Coal 27	GT-03	46,33 – 46,60	13,075	65,391	35,140	2,636

Sumber : Data Perusahaan

Tabel 4.3
Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Claystone

Material	Titik Bor	Kedalaman (m)	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
Claystone 1	GT-04	14,20 – 14,42	20,78	78,45	5,52	0,85
Claystone 2	GT-04	19,45 – 19,58	20,05	137,29	4,20	1,25
Claystone 4	GT-04	19,60 – 19,82	21,36	182,40	7,01	0,33
Claystone 6	GT-04	35,50 – 35,70	20,73	21,58	19,06	0,65
Claystone 8	GT-04	43,30 – 43,60	21,73	10,79	21,83	1,65
Claystone 9	GT-04	43,60 – 43,75	19,99	20,59	2,35	1,87
Claystone 11	GT-04	45,75 – 45,88	20,92	91,20	7,45	1,24
Claystone 12	GT-04	51,00 – 51,25	20,13	135,33	12,16	1,60
Claystone 13	GT-04	54,00 – 54,23	20,21	243,21	9,00	0,99
Claystone 14	GT-04	58,21 – 58,40	20,33	220,65	10,50	2,56
Claystone 16	GT-04	58,44 – 58,72	20,34	160,83	12,14	1,75
Claystone 19	GT-04	75,32 – 75,45	20,53	72,57	9,63	1,86
Claystone 21	GT-04	80,40 – 80,73	21,23	133,37	11,61	1,27
Claystone 23	GT-04	89,24 – 89,38	22,29	112,78	9,76	2,38
Claystone 25	GT-04	90,00 – 90,25	20,89	67,67	10,69	1,55
Claystone 27	GT-03	19,65 – 19,82	20,73	83,36	14,26	1,91
Claystone 28	GT-03	19,82 – 20,00	21,48	135,33	9,26	3,33
Claystone 29	GT-03	25,00 – 25,15	20,37	32,36	10,70	1,22
Claystone 31	GT-03	61,44 – 61,64	20,77	146,12	15,71	1,05
Claystone 32	GT-03	61,64 – 61,88	21,66	41,19	18,60	2,62
Claystone 33	GT-03	75,50 – 75,72	20,68	141,21	14,98	1,12
Claystone 34	GT-03	80,30 -80,60	20,54	186,33	12,65	1,47

Sumber : Data Perusahaan

Tabel 4.4
Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Sandstone

Material	Titik Bor	Kedalaman (m)	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
Sandstone 3	GT-04	6,50 – 6,80	20,712	97,086	14,180	0,578
Sandstone 5	GT-04	7,00 – 7,18	24,323	125,525	7,590	1,291
Sandstone 7	GT-04	9,40 – 9,73	19,711	165,732	13,070	0,893

Material	Titik Bor	Kedalaman (m)	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
Sandstone 10	GT-04	62,00 – 62,30	20,310	337,349	9,840	1,624
Sandstone 15	GT-04	63,20 – 63,46	19,275	139,254	5,610	1,285
Sandstone 17	GT-04	68,10 – 68,30	19,777	261,838	9,060	0,626
Sandstone 18	GT-04	73,00 – 73,22	20,522	154,945	10,920	1,616
Sandstone 20	GT-03	13,86 – 14,12	20,066	228,495	9,030	0,773
Sandstone 24	GT-03	30,40 – 30,73	22,859	254,973	16,790	3,222
Sandstone 26	GT-03	30,80 – 31,06	20,322	245,166	7,640	2,763
Sandstone 30	GT-03	68,65 – 68,95	20,015	306,948	13,050	1,012

Sumber : Data Perusahaan

4.1.4 Pengambilan Sampel Disposal

Pada penelitian ini, pengambilan sampel lapangan dilakukan dengan mengambil sampel yang tidak terganggu (*undisturbed sample*). Tujuan pengambilan sampel *undisturbed* adalah untuk mendapatkan karakteristik utuh material yang belum terganggu oleh pengaruh luar. Pengambilan sampel disposal dilakukan di dua lokasi yaitu *Dozer Push 1 (DP1)* dan *Dozer Push 2 (DP2)*, masing-masing lokasi tersebut dilakukan 15 kali pengambilan sampel disposal. (Gambar 4.4)

Teknik pengambilan sampel *undisturbed* dilakukan menggunakan tabung besi yang dibantu alat berat *excavator*. Dengan tahapan sebagai berikut :

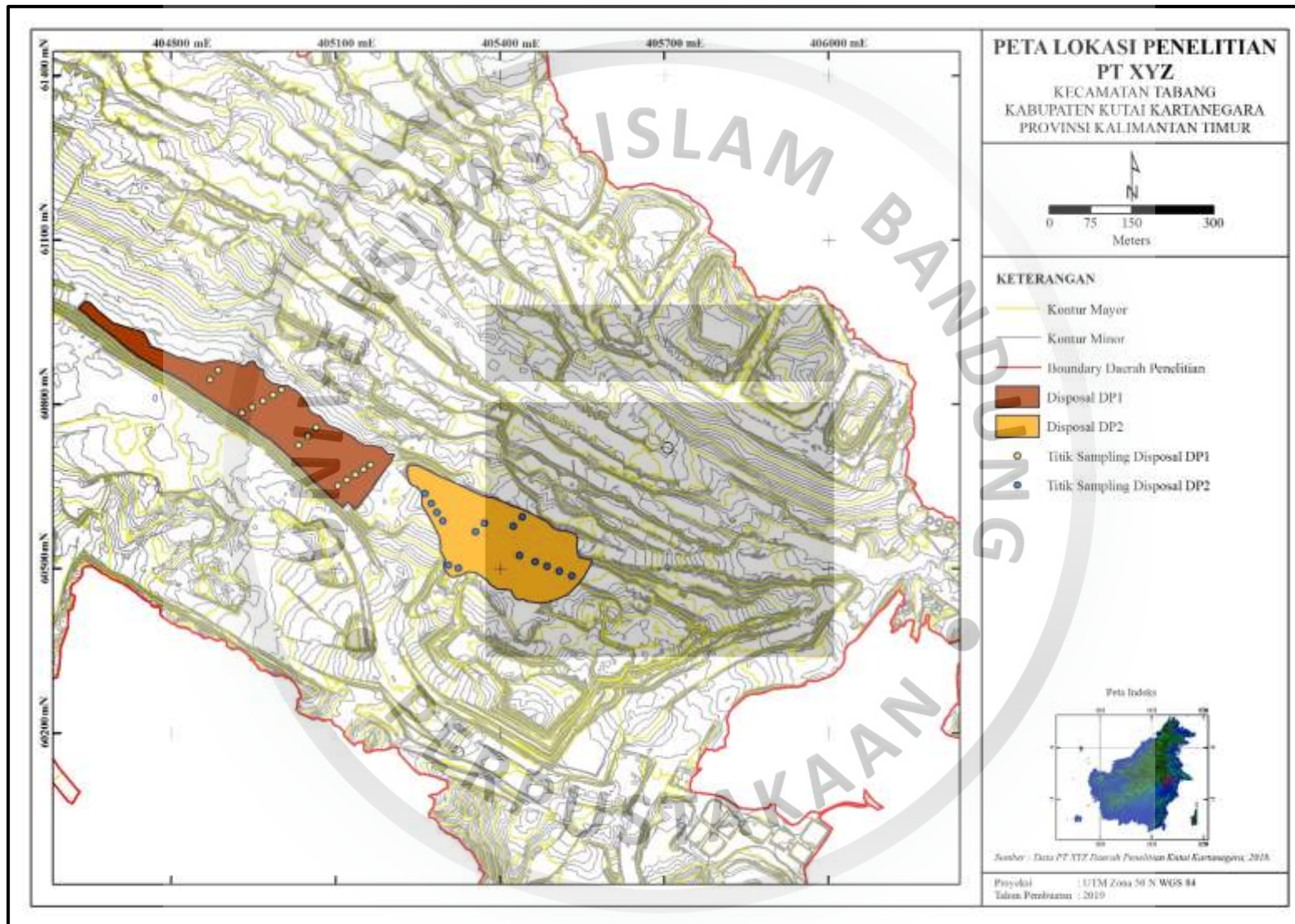
- Sediakan tabung besi yang akan digunakan sebagai wadah sampel (*sample tube*), dengan ukuran panjang 50cm dan diameter 3 inci;



Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 4.5
Foto Tabung Besi

- Ratakan permukaan tanah yang akan menjadi lokasi pengambilan sampel, kemudian pasang/simpan tabung sampel pada titik yang telah ditentukan;



Sumber : Data Penelitian

Gambar 4.4
 Peta Lokasi Pengambilan Sampel



Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 4.6

Foto Pemasangan Tabung Besi

- c. Tekan tabung tersebut menggunakan alat berat sampai masuk kedalam tanah dan terisi padat oleh sampel yang diinginkan;



Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 4.7

Foto Pemadatan Sampel ke Dalam Tabung

- d. Keruk tanah yang telah tertanam tabung besi tadi dan ambil tabung yang telah terisi sampel menggunakan bantuan alat berat excavator.



Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 4.8

Foto Pengambilan Tabung Besi dari Tanah

- e. Tutup rapat bagian atas dan bawah tabung menggunakan plastik dan lakban sehingga tidak ada ruang bagi faktor luar seperti air untuk masuk.



Sumber : Dokumentasi Lapangan

Gambar 4.9
Foto Tabung Besi yang Sudah Terisi

4.1.5 Sifat Fisik dan Mekanik Disposal

Setiap sampel memiliki nilai karakteristik sifat fisik dan mekanik yang berbeda. Untuk mengetahui karakteristik tersebut, maka dilakukan pengujian lab. Ada dua pengujian yang dilakukan yaitu uji sifat fisik dan mekanik tanah. Uji tersebut dilakukan untuk mendapatkan properties material yang diperlukan seperti bobot isi (γ), kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

4.1.5.1 Uji Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan untuk mendapatkan nilai bobot isi material yang akan digunakan sebagai properties masukan untuk menganalisis kestabilan lereng. Adapun langkah pengujian yaitu sebagai berikut :

- a. Siapkan 3 silinder ring tempat pencetakan sampel;
- b. Ukur setiap dimensi ring menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan volume, lalu timbang berat kosongnya;
- c. Cetak sampel tanah pada ring tersebut sampai padat dan ratakan bagian atas dan bawahnya. Kemudian timbang untuk mendapatkan berat alami sampel;
- d. Sampel dijenuhkan didalam tabung vakum selama 24 jam;
- e. Setelah 24 jam, timbang sampel yang telah dijenuhkan untuk mendapatkan berat jenuh sampel;

- f. Sampel dikeringkan dengan cara dimasukkan kedalam oven dengan suhu 100° selama 24 jam;
- g. Keluarkan sampel dari oven, tunggu sampai kembali ke suhu normal lalu timbang untuk mendapatkan berat kering sampel.

4.1.5.2 Uji Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik tanah dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai-nilai tersebut dapat diketahui melalui uji kuat geser di laboratorium. Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Siapkan sampel yang telah dipreparasi lalu cetak dengan menggunakan ring;
- b. Ukur tinggi dan diameter ring;
- c. Persiapkan alat uji kuat geser yaitu *Direct Shear test*, dengan mempersiapkan komponen-komponen alat yang harus dipasang seperti batu pori, penekan contoh, as penyangga, *dial gauge* dan beban;
- d. Masukkan sampel ke dalam *shear box* lalu tutup dengan batu pori dan penekan contoh. Lalu kunci dengan as penyangga dan pastikan penekan geser digeser sampai menyentuh stang benda uji.
- e. Setelah *dial gauge* diatur pada posisi nol, beban normal pertama diberikan dan mulai nyalakan alat (beban normal yang diberikan yaitu 4kg, 6kg dan 8kg)
- f. Lihat dan catat pergerakan *load dial* pada *proving ring* setiap *dial gauge* bertambah 50 mm.
- g. Pencatatan dihentikan bila nilai maksimum tercapai dan terjadi penurunan pada jarum *dial gauge* sebanyak 3x.
- h. Setelah selesai, tekan tombol *return* pada alat untuk mengembalikan kondisi *shear box* ke posisi semula.

Setiap tabung besi yang berisi sampel disosial dari lapangan dilakukan 5 kali pengujian sifat fisik dan mekanik.

Berikut adalah data hasil pengujian laboratorium karakteristik sifat fisik dan mekanik disposal DP1 dan DP2. (Tabel 4.5 dan 4.6)

Tabel 4.5
Data Uji Lab Material Disposal DP1

Kode Sampel	Bobot Isi Asli (kN/m^3)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
BT-DP-01 (A)	17,426	32,499	22,560	0,114
BT-DP-01 (B)	16,711	20,986	23,170	0,168
BT-DP-01 (C)	16,465	13,504	25,740	0,134
BT-DP-01 (D)	18,162	20,006	24,200	0,138
BT-DP-01 (E)	16,465	17,505	20,560	0,144
BT-DP-01 (F)	16,887	24,007	21,920	0,111
BT-DP-01 (G)	15,926	32,999	24,620	0,175
BT-DP-01 (H)	18,329	32,499	23,560	0,124
BT-DP-01 (I)	17,593	34,500	19,750	0,157
BT-DP-01 (J)	16,858	39,001	21,830	0,155
BT-DP-01 (K)	16,711	47,003	23,560	0,330
BT-DP-01 (L)	17,593	32,999	23,710	0,361
BT-DP-01 (M)	18,034	40,001	23,090	0,351
BT-DP-01 (N)	17,534	54,505	25,920	0,289
BT-DP-01 (O)	17,466	31,009	24,810	0,235

Sumber : Hasil Pengujian Lab

Tabel 4.6
Data Uji Lab Material Disposal DP2

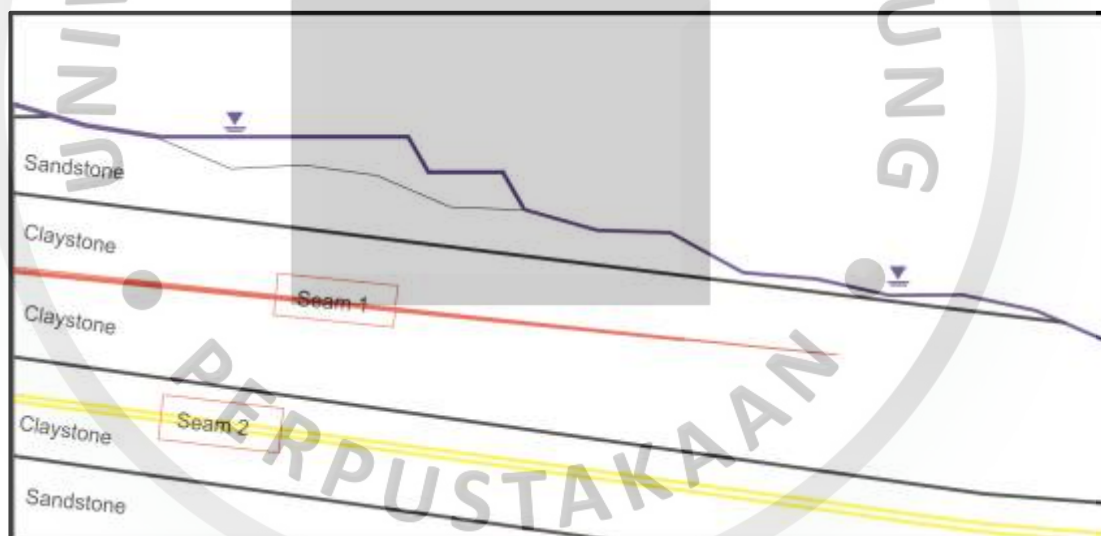
Kode Sampel	Bobot Isi Asli (kN/m^3)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (deg)	Kuat Tekan (Mpa)
BT-DP-02 (A)	17,055	34,000	21,460	0,267
BT-DP-02 (B)	18,327	40,001	20,560	0,267
BT-DP-02 (C)	18,699	24,507	21,290	0,258
BT-DP-02 (D)	17,580	25,507	23,830	0,201
BT-DP-02 (E)	16,738	37,501	22,430	0,116
BT-DP-02 (F)	17,328	22,506	20,650	0,090
BT-DP-02 (G)	17,295	24,507	22,700	0,116
BT-DP-02 (H)	16,786	21,506	24,920	0,111
BT-DP-02 (I)	16,885	26,507	23,940	0,165
BT-DP-02 (J)	16,031	36,500	21,920	0,147
BT-DP-02 (K)	17,376	28,008	23,940	0,119
BT-DP-02 (L)	16,540	31,509	20,830	0,065
BT-DP-02 (M)	18,079	32,499	22,560	0,119
BT-DP-02 (N)	19,338	31,009	21,360	0,127
BT-DP-02 (O)	17,059	25,007	23,580	0,176

Sumber : Hasil Pengujian Lab

4.1.6 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng. Secara langsung di lapangan, penulis tidak melakukan pengukuran muka air tanah, sehingga kondisi air tanah ditentukan berdasarkan asumsi dengan mengacu pada iklim lokasi penelitian serta kondisi cuaca saat penelitian dilakukan di lapangan.

Berdasarkan jumlah curah hujan dan hari hujan, lokasi penelitian memiliki curah hujan menengah (100-300 mm). Namun pada saat pengambilan data di lapangan, hujan turun dalam intensitas yang sering dengan curah hujan yang tinggi. Maka berdasarkan hal tersebut, kondisi Muka Air Tanah (MAT) yang digunakan dalam penelitian ini adalah MAT 3 (setengah jenuh) dan MAT 5 (jenuh).



Sumber : Data Bor Geoteknik

Gambar 4.10
Kondisi Lereng MAT 5 (Jenuh)

4.1.6 Kegempaan

Kegempaan merupakan salah satu faktor yang dapat berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Pada penelitian ini, nilai kegempaan atau *Peak Ground Accelarion* (PGA) didapatkan dengan menggunakan bantuan *website* Desain Spektra Indonesia

yang dibuat oleh kerjasama antara PUSKIM (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman) dan Kementerian Pekerja Umum.

Langkah yang dilakukan yaitu dengan cara memasukkan koordinat geographic (*latitude* dan *longitude*) lokasi penelitian ke *website* tersebut, kemudian diproses sehingga dapat diketahui dengan akurat berapa nilai kegempaan pada titik koordinat yang dimasukkan. Berdasarkan hasil pembacaan koordinat pada *website* tersebut, kekuatan gempa yang tercatat adalah 0,073 g. Dimana nilai tersebut nanti akan menjadi *input* data kegempaan dalam analisa kestabilan lereng pada *software slide*.

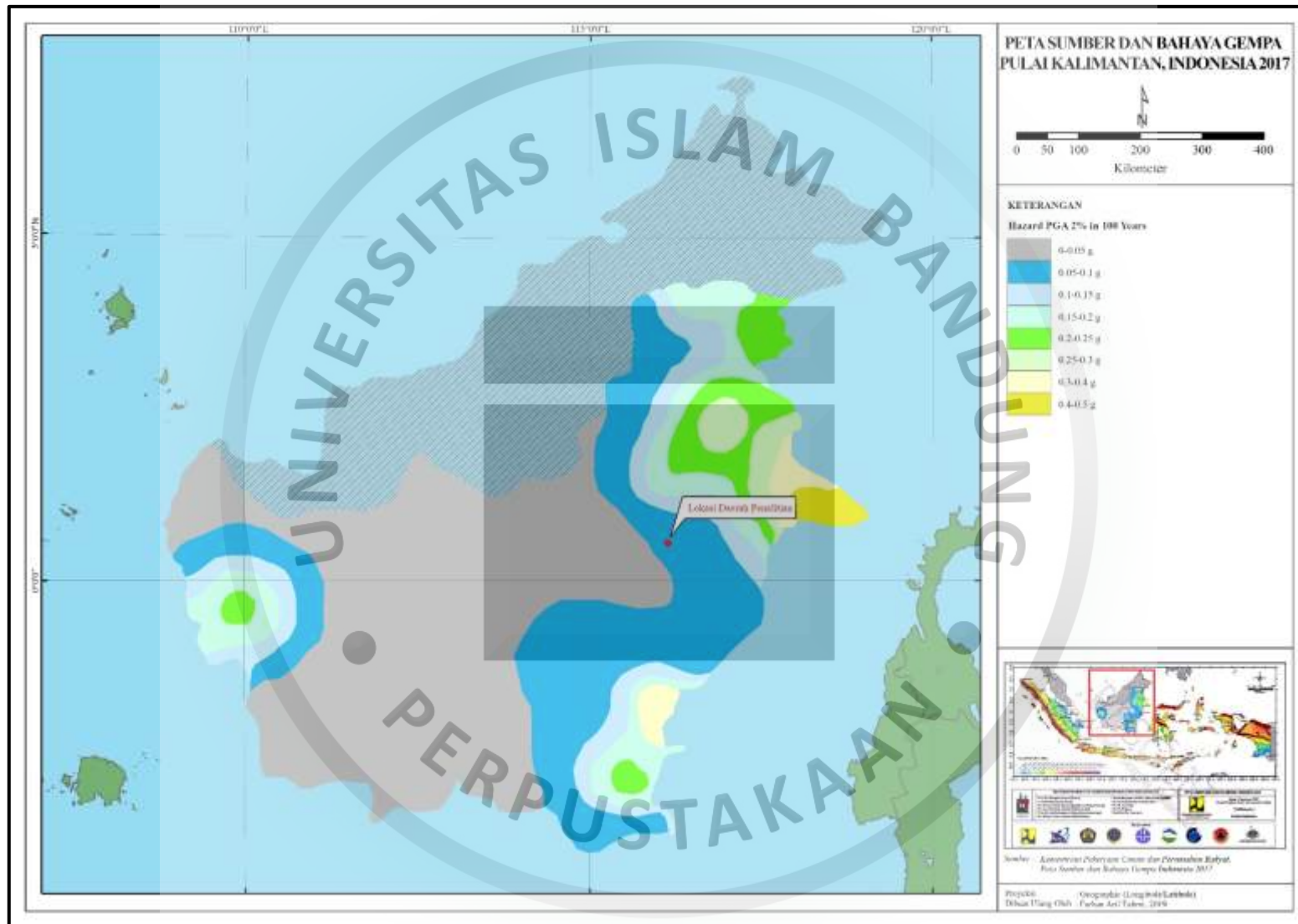
Penentuan nilai kegempaan lokasi penelitian selain didapatkan dari *website* Desain Spektra Indonesia, juga mengacu pada peta kegempaan yang disusun oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional dalam bukunya yang berjudul "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017". Gambaran peta kegempaan lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.11.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Analisis Data Secara Statistik

Setiap nilai dari suatu kumpulan data memiliki peluang yang sama untuk dijadikan sebagai nilai yang mewakili. Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan pengolahan data statistik untuk mengetahui satu nilai yang layak mewakili suatu kumpulan data.

Pengolahan data secara statistik dimulai dengan uji normalitas data, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran data pada sampel batuan yang dimiliki, apakah berdistribusi normal atau tidak. Data yang berdistribusi normal akan memiliki nilai signifikansi (*sig*) lebih dari 0,05 dan grafik yang terbentuk akan menyerupai bentuk lonceng.



Sumber : Kementerian PUPR

Gambar 4.11
 Peta Sumber dan Bahaya Gempa di Kalimantan

Metode uji Normalitas yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Lilliefors* dengan menggunakan *software* SPSS 26. Uji normalitas metode *Lilliefors* merupakan pengujian yang bisa dilakukan pada jumlah data yang tidak banyak (kurang dari 200 data), sehingga metode ini cocok digunakan untuk data penelitian yang dimiliki.

4.2.1.1 Hasil Uji Normalitas

Penentuan normalitas data selain dilihat dari nilai *sig*, juga dapat ditentukan dengan melihat bentuk diagram yang terbentuk dari data tersebut. Nilai *sig* menunjukkan nilai probabilitas atau kemungkinan salah/menolak terhadap hipotesa yang diberikan. Dalam uji normalitas metode *Lilliefors*, nilai *sig* lebih dari 0,05 menandakan bahwa data tersebut berdistribusi normal. Contoh hasil dari uji normalitas data dapat dilihat pada Tabel 4.7. Hasil lengkap uji normalitas dapat dilihat pada Lampiran A.

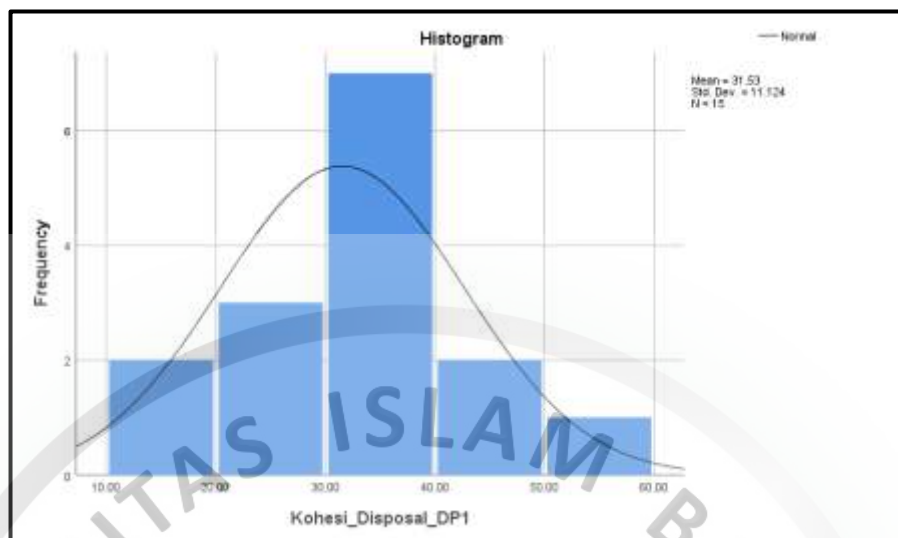
Tabel 4.7
Hasil Uji Normalitas Nilai Kohesi Disposasi DP1

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kohesi_Disposasi_DP1	.148	15	.200*	.964	15	.755

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Sumber : Pengujian Data Statistik

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat nilai *sig* untuk kohesi material disposasi DP1 memiliki nilai 0,200. Nilai tersebut lebih besar dari nilai *sig* minimum (0,05) sehingga dapat dikatakan bahwa kohesi material disposasi DP1 berdistribusi normal. Untuk memperkuat keyakinan, maka dilakukan pengamatan terhadap grafik yang terbentuk dari setiap data yang dimiliki. Grafik distribusi normal akan memiliki bentuk yang rata antara sisi kiri dan kanan sehingga menyerupai bentuk lonceng (Gambar 4.12). Hasil lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.



Sumber : Pengujian Data Statistik

Gambar 4.12
Grafik Nilai Kohesi Disposal DP1

4.2.1.2 Input Parameter Data

Berdasarkan hasil pengujian normalitas data, dapat diketahui bahwa semua data-data sifat fisik dan mekanik batuan yang dimiliki berdistribusi normal. Selanjutnya data tersebut akan menjadi input parameter pada *software slide* untuk menganalisis kestabilan lereng disposal tunggal dan lereng disposal keseluruhan.

Dalam pengkajian analisis kestabilan lereng menggunakan metode probabilistik *Monte Carlo*, ada empat parameter masukan yang harus dimasukkan ke dalam *software slide* yaitu nilai rata-rata, simpangan baku, relatif minum dan relatif maksimum. Nilai keempat parameter tersebut untuk setiap material dapat dilihat pada tabel 4.7 sampai 4.11.

Tabel 4.8
Parameter Masukan Untuk Material DP1

DP1			
Parameter Masukan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Rata-rata	17,211	31,53	23,27
Simpangan Baku	0,699	11,124	1,747
Relatif Minimum	1,285	18,026	3,520
Relatif Maksimum	1,118	22,975	2,650
Distribusi	Normal	Normal	Normal

Sumber : Pengolahan Data Statistik

Tabel 4.8
Parameter Masukan Untuk Material DP2

DP2			
Parameter Masukan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Rata-rata	17,541	29,405	22,398
Simpangan Baku	1,006	5,786	1,388
Relatif Minimum	1,510	7,899	1,838
Relatif Maksimum	1,797	10,596	2,522
Distribusi	Normal	Normal	Normal

Sumber : Pengolahan Data Statistik

Tabel 4.9
Parameter Masukan Untuk Material Claystone

Claystone			
Parameter Masukan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Rata-rata	20,816	111,573	11,321
Simpangan Baku	0,626	65,507	4,794
Relatif Minimum	0,822	100,786	8,97
Relatif Maksimum	1,678	131,632	10,51
Distribusi	Normal	Normal	Normal

Sumber : Pengolahan Data Statistik

Tabel 4.10
Parameter Masukan Untuk Material Sandstone

Sandstone			
Parameter Masukan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Rata-rata	20,079	210,66	10,62
Simpangan Baku	0,445	78,601	3,339
Relatif Minimum	0,804	113,574	5,010
Relatif Maksimum	4,244	126,688	6,17
Distribusi	Normal	Normal	Normal

Sumber : Pengolahan Data Statistik

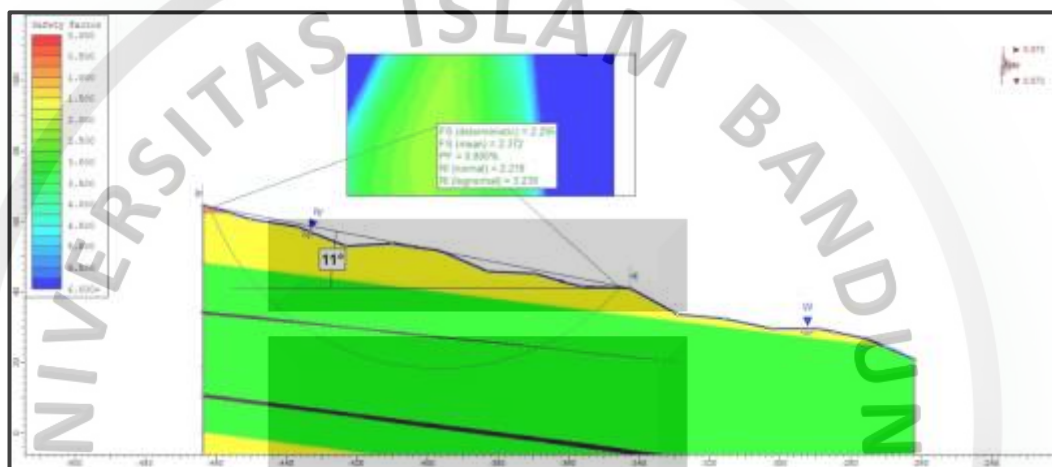
Tabel 4.11
Parameter Masukan Untuk Material Coal

Coal			
Parameter Masukan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Rata-rata	13,241	59,60	34,52
Simpangan Baku	0,338	31,083	5,098
Relatif Minimum	0,223	33,573	5,376
Relatif Maksimum	0,389	27,777	4,763
Distribusi	Normal	Normal	Normal

Sumber : Pengolahan Data Statistik

4.2.2 Analisis Kestabilan Lereng *Low Wall*

Kegiatan analisis kestabilan lereng *low wall* bertujuan untuk mengetahui apakah lereng yang akan menjadi lokasi penimbunan disposal tersebut memiliki kestabilan yang baik atau tidak. Pengujian dilakukan pada kondisi lereng jenuh air menggunakan *software slide*. Berikut adalah hasil analisis kestabilan lereng *low wall* (Gambar 4.13).



Sumber : Hasil Analisa Kestabilan Lereng

Gambar 4.13
Kestabilan Lereng *Low Wall*

Gambar 4.13 menunjukkan kondisi lereng *low wall pit* pada kondisi belum ditimbun oleh material disposal. Lereng *low wall* tersebut memiliki kemiringan 11° dengan lapisan tanah paling atas adalah *sandstone*. Dari hasil analisis didapatkan nilai FK lereng yaitu 2,372 dengan FK 0,8%. Sehingga dapat dikatakan bahwa lereng *low wall* pada kondisi belum ditimbun oleh material disposal memiliki tingkat kestabilan yang baik.

4.2.3 Analisis Kestabilan Lereng Tunggal Disposal

Lereng tunggal (*single slope*) yang stabil mengacu pada tabel ambang batas nilai FK dan PK yang dikeluarkan oleh SRK (tabel 3.2) memiliki nilai FK yang tidak ditentukan dan $PK < 50\%$. Hal itu berarti selama nilai PK yang didapat memenuhi

kriteria lereng stabil, maka nilai FK sudah dapat disebut aman. Pada penelitian ini, nilai minimum FK lereng yang diambil adalah 1,3.

Ada beberapa input parameter yang perlu diperhatikan dalam analisis ini, diantaranya :

1. Geometri lereng

Geometri lereng yang didesain untuk analisis kestabilan lereng tunggal adalah pada tinggi 4,5 dan 6 meter dengan variasi sudut 45° , 50° , 55° , 60° dan 65° .

2. Kondisi Muka Air Tanah (MAT)

Karena tidak dilakukannya pengukuran MAT aktual di lapangan, maka kondisi MAT yang dipilih adalah kondisi terburuk, yaitu MAT 5 (jenuh).

3. Kegempaan

Nilai kegempaan lokasi penelitian mengacu pada peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017 adalah 0,073.

4. Karakteristik Material

Nilai karakteristik material untuk disposal yang telah dianalisis secara statistik dapat dilihat pada tabel 4.7 dan 4.8.

5. Metode analisis menggunakan metode kesetimbangan batas dengan *software slide*. Selain itu, analisis probabilistik *Monte Carlo* juga dilakukan untuk mendapatkan nilai Probabilitas Kelongsoran.

Analisis kestabilan lereng tunggal dilakukan pada masing-masing material disposal *Dozer Push 1* (DP1) dan *Dozer Push 2* (DP2). Dari hasil analisis, didapatkan nilai FK dan PK lereng tunggal disposal seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12
Hasil Analisis Nilai FK dan PK Lereng Tunggal Disposal

Tinggi	Sudut	Disposal DP1		Disposal DP2	
		FK	PK (%)	FK	PK (%)
4	45	2,559	0	2,405	0
	50	2,443	0	2,293	0
	55	2,315	0	2,17	0
	60	2,162	0,1	2,027	0
	65	2,011	2,1	1,879	0
5	45	2,097	0	1,972	0
	50	1,991	0,5	1,872	0
	55	1,885	2,5	1,77	0
	60	1,746	5,7	1,638	0
	65	1,64	9,5	1,536	0
6	45	1,787	2,4	1,684	0
	50	1,689	5,6	1,59	0
	55	1,587	8,6	1,491	0
	60	1,469	14,2	1,378	0
	65	1,348	20,6	1,265	6,8

Sumber : Hasil Analisa Kestabilan Lereng

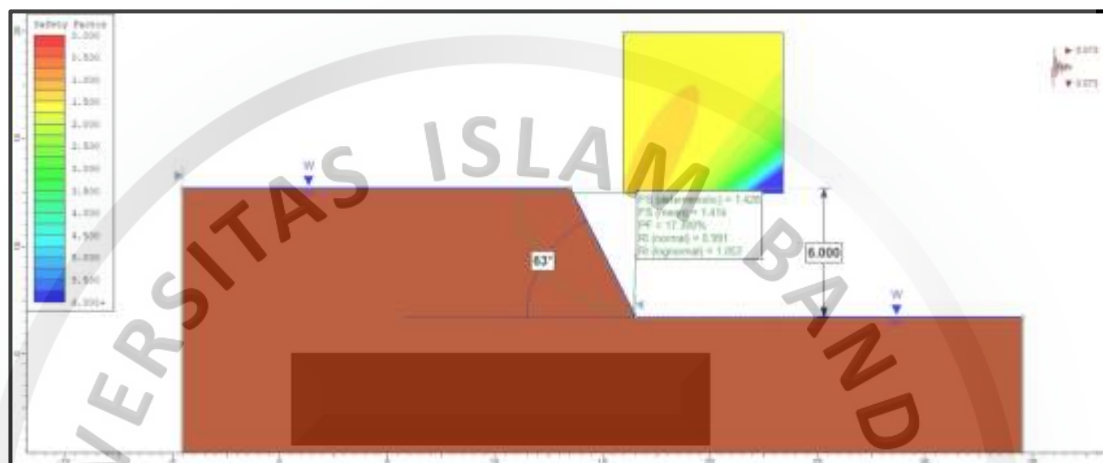
Dalam upaya mendapatkan geometri lereng tunggal yang optimal, maka dilakukan optimasi geometri lereng yaitu dengan cara interpolasi antara sudut dengan nilai FK lereng tunggal. Nilai FK lereng tunggal yang stabil adalah $>1,3$, berdasarkan tabel 4.12 dapat dilihat bahwa lereng tunggal stabil berada pada *range* sudut antara 60° - 65° . Maka dari itu, perhitungan interpolasinya adalah sebagai berikut :

Sudut lereng dinyatakan sebagai X.

$$\begin{aligned}
 X &= 60^{\circ} + \left[\frac{1,378 - 1,3}{1,378 - 1,265} \times (65^{\circ} - 60^{\circ}) \right] \\
 &= 60^{\circ} + [0,69 + 5^{\circ}] \\
 &= 60^{\circ} + 3,45^{\circ} \\
 &= 63,45^{\circ}
 \end{aligned}$$

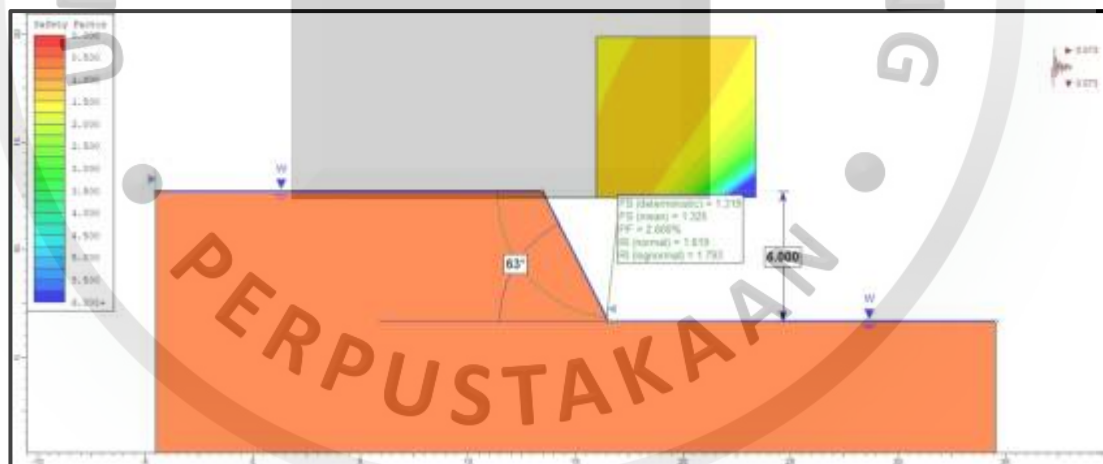
Berdasarkan hasil perhitungan optimasi geometri lereng tunggal dengan nilai FK minimum lereng stabil $>1,3$, didapatkan geometri lereng tunggal yang optimal

adalah pada tinggi 6 meter dengan sudut $63,45^{\circ} \approx 63^{\circ}$. Beberapa contoh gambar dari hasil analisis kestabilan lereng tunggal disposal dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan 4.15. Hasil gambar lengkap analisis lereng tunggal dapat dilihat pada Lampiran C.



Sumber : Hasil Analisa Kestabilan Lereng

Gambar 4.14
Lereng Tunggal Disposal DP1 (H:6m, Sudut:63⁰)



Sumber : Hasil Analisa Kestabilan Lereng

Gambar 4.15
Lereng Tunggal Disposal DP2 (H:6m, Sudut:63⁰)

Gambar 4.12 dan 4.13 diatas adalah gambar lereng tunggal disposal stabil paling optimal yang dapat dibentuk dengan mengacu pada ambang batas nilai FK minimum yang ditetapkan yaitu 1,3. Pada tinggi 6 meter dengan sudut 63° , lereng tunggal disposal DP1 memiliki nilai FK 1,414 dengan PK 17,3% sedangkan lereng disposal DP2 memiliki nilai FK 1,325 dengan PK 2,6%.

4.2.4 Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan Disposol

Lereng keseluruhan (*overall slope*) didesain untuk mendapatkan geometri optimum dalam menampung disposol yang akan ditimbun, namun tetap memperhatikan faktor keamanan lereng. Lereng keseluruhan yang stabil mengacu pada tabel ambang batas nilai FK dan PK dari SRK memiliki nilai $FK > 1,1$ dan $PK < 5\%$.

Input parameter pada analisis kestabilan lereng keseluruhan adalah sebagai berikut :

1. Geometri lereng

Analisis geometri lereng keseluruhan disposol dilakukan pada dua variasi tinggi lereng yaitu 12 meter dan 18 meter, dengan variasi sudut 29° , 30° , 31° , 32° dan 33° .

2. Karakteristik material

Karakteristik sifat fisik mekanik batuan dan disposol yang dimasukkan dalam analisis adalah nilai dari hasil perhitungan statistik, yang dapat dilihat pada tabel 4.7 sampai 4.11. Setiap parameter sifat fisik dan mekanik material dapat memiliki fungsi distribusi yang berbeda.

3. Bor geoteknik

Data bor geoteknik diperlukan untuk mengetahui bagaimana kondisi perlapisan dibawah permukaan. Data bor yang menjadi acuan yaitu titik bor GT-03 dan GT-04.

Sedangkan untuk input parameter seperti kegempaan serta metode yang digunakan pada analisis kestabilan lereng keseluruhan disposol, sama dengan kondisi pada analisis kestabilan lereng tunggal. Yaitu dengan nilai kegempaan 0,073 g, metode analisis kesetimbangan batas dan probabilistik *Monte Carlo*.

Pada lereng disposal jarang ditemui kondisi lereng dengan muka air tanah yang mendekati permukaan disposal karena material disposal sendiri merupakan material yang mampu menyangkan air. Namun untuk mengantisipasi kondisi terburuk apabila muka air tanah sudah mendekati permukaan lereng, maka analisis dilakukan pada dua kondisi muka air tanah yaitu kondisi setengah jenuh dan jenuh.

Berikut adalah hasil lengkap analisis kestabilan lereng keseluruhan disposal untuk masing-masing disposal DP1 dan DP2. (Tabel 4.13)

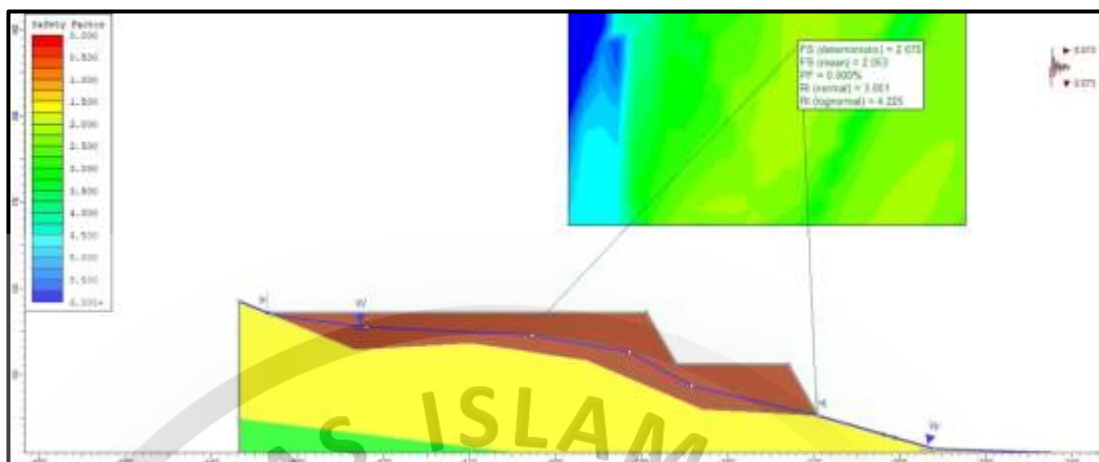
Tabel 4.13
Hasil Analisis Nilai FK dan PK Lereng Keseluruhan Disposal

Lereng Keseluruhan		Disposal DP1				Disposal DP2			
		MAT 3		MAT 5		MAT 3		MAT 5	
Tinggi Lereng (m)	Sudut ($^{\circ}$)	FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)
12	29	2,189	0	1,654	1,0	2,083	0	1,574	0
	30	2,151	0	1,610	1,6	2,047	0	1,564	0
	31	2,053	0	1,537	4,1	1,953	0	1,463	0
	32	1,948	0	1,459	7,1	1,854	0	1,399	0
	33	1,929	0	1,435	8,0	1,836	0	1,363	0
18	29	1,703	0	1,215	22,9	1,623	0	1,158	10
	30	1,615	0	1,168	27,5	1,539	0	1,115	18,6
	31	1,559	0	1,120	35	1,487	0	1,069	30
	32	1,502	0	1,057	44,3	1,433	0	1,010	50,7
	33	1,455	0	1,031	48,2	1,389	0	0,986	57,7

Sumber : Hasil Analisa Kestabilan Lereng

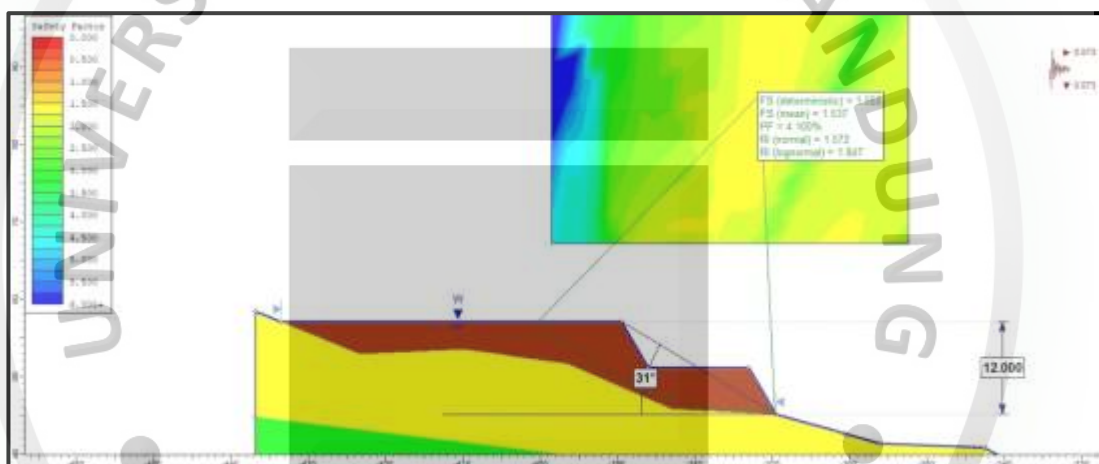
Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan disposal didapatkan rekomendasi lereng stabil yaitu pada tinggi lereng 12 meter (2 jenjang) dengan sudut 31° . Pada geometri tersebut, lereng keseluruhan disposal DP1 memiliki nilai FK 1,537 dengan PK 4,1%, sedangkan lereng keseluruhan disposal DP2 memiliki nilai FK 1,463 dengan PK 0%.

Berikut adalah beberapa gambar dari hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan disposal. Gambar hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan secara lengkap dapat dilihat pada lampiran D.



Sumber : Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Gambar 4.16
Lereng Keseluruhan Disposal (MAT Setengah Jenuh)

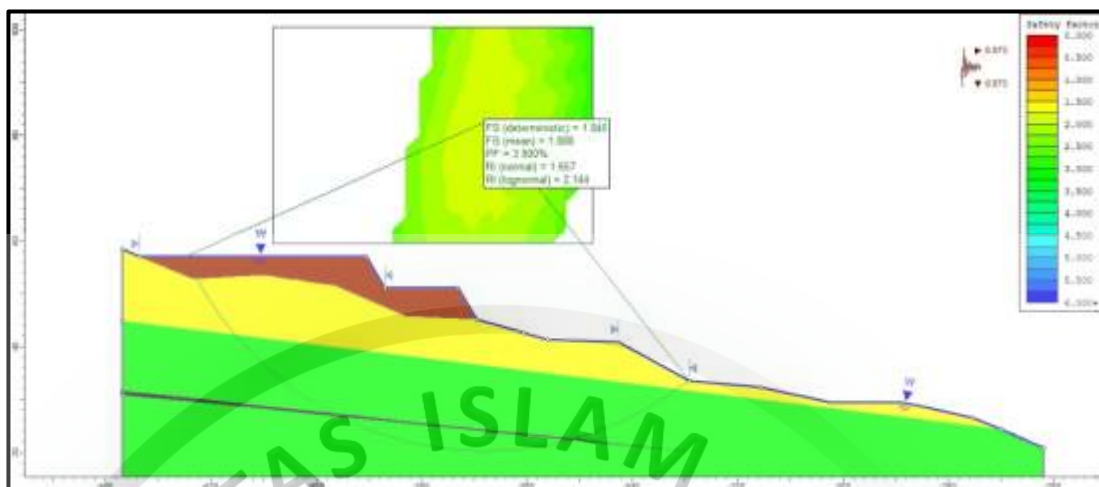


Sumber : Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Gambar 4.17
Lereng Keseluruhan Disposal (MAT Jenuh)

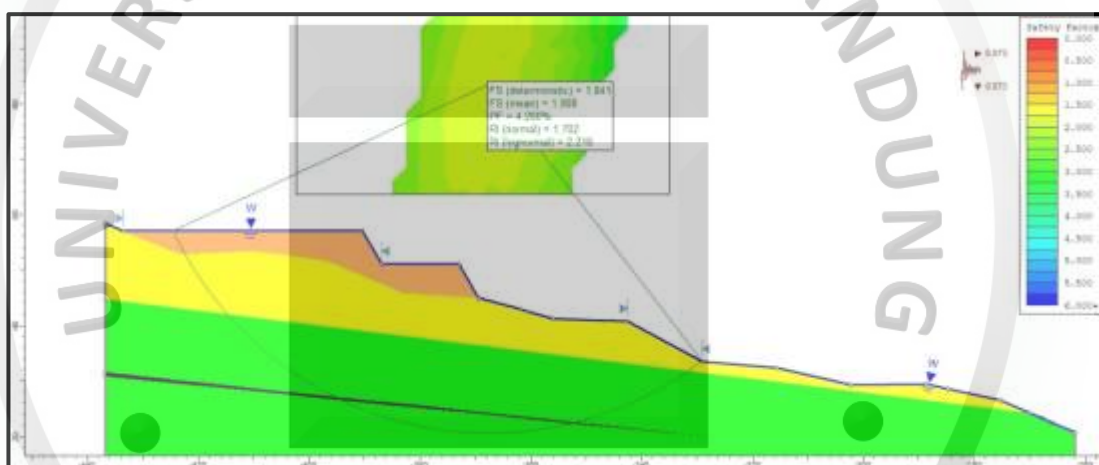
4.2.5 Analisis Daya Dukung Tanah

Pengujian daya dukung tanah dasar tempat lereng disposal ditempatkan bertujuan untuk mengetahui apakah tanah dasar tersebut mampu menahan beban disposal di atasnya atau tidak. Analisis ini dilakukan dengan cara mencari nilai FK dan PK yang aman pada tanah dasar tersebut. Apabila nilai FK yang muncul melebihi nilai batas aman lereng stabil ($FK > 1,5$), maka dapat dikatakan bahwa tanah dasar tersebut mampu menahan beban timbunan disposal di atasnya. Berikut adalah gambar hasil nilai FK dan PK pada tanah dasar untuk disposal DP1 dan DP2 (Gambar 4.16 dan 4.17)



Sumber : Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Gambar 4.18
Daya Dukung Tanah Dasar untuk Disposal DP1



Sumber : Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Gambar 4.19
Daya Dukung Tanah Dasar untuk Disposal DP2

Hasil analisis daya dukung tanah dasar untuk lereng timbunan disposal DP1 menghasilkan nilai FK 1,888 dengan PK 3,9%, sedangkan untuk disposal DP2 menghasilkan nilai FK 1,908 dengan PK 4,2%. Berdasarkan nilai tersebut maka dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah dasar pada lokasi tersebut sudah mampu menahan beban lereng disposal di atasnya, baik untuk lereng disposal DP1 maupun disposal DP2. Sehingga lereng disposal yang akan ditimbun aman dari resiko amblesan tanah dasar.