

ANALISIS STABILITAS DAN DESAIN PERKUATAN LERENG KAWASAN SENTUL CITY

STABILITY ANALYSIS AND DESIGN OF SLOPE IMPROVEMENT IN SENTUL CITY

¹Nuryanto

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

¹nuryanto@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Keruntuhan pada lereng salah satunya diakibatkan karena beban dinamik. Banyak metode penentuan stabilitas lereng dinamik yang selama ini digunakan dalam perencanaan stabilitas lereng, tetapi masing – masing metode analisis mempunyai kelebihan dan kekurangan. Salah satu metode sederhana dan banyak digunakan adalah analisis dinamik secara statik ekuivalen dimana percepatan gempa yang sebenarnya bersifat tidak beraturan di rubah menjadi sebuah gaya lateral. Metode ini memerlukan faktor reduksi gempa sebagai konversi beban dinamik ke dalam beban statik ekuivalen. Wilayah sentul merupakan salah satu daerah yang dekat dengan kawasan puncak bogor yang merupakan daerah pegunungan, dengan kondisi seperti itu membuat stabilitas tanah pada area tersebut tidak cukup stabil untuk menahan kondisi statik maupun dinamik, sehingga diperlukan analisis stabilitas lereng. Penelitian ini meninjau kondisi lereng di kawasan sentul, dimana pada area tersebut mengalami kerusakan jalan akibat tidak stabilnya lereng dan kondisi tanah. Hasil penelitian dengan menggunakan metode dinamik dan statik dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS dan perangkat lunak pendukung lain, didapatkan solusi perkuatan lereng dengan menggunakan soldier pile diameter 180 cm dengan jarak antar tiang 3 meter dan kedalaman 35 meter, diameter 100 cm dengan jarak antar tiang 2 meter dan kedalaman 18 meter.

Kata kunci: stabilitas lereng, plaxis, statik ekuivalen

Abstract

One of the slope collapses caused by dynamic loads. Many methods for determining dynamic slope stability have been used in slope stability planning, but each analysis method has advantages and disadvantages. One of the simplest and most widely used methods is dynamic statistical analysis which is equivalent to where the actual earthquake acceleration is transformed into a lateral force. This method requires an earthquake reduction factor as the conversion of dynamic loads into equivalent static loads. Sentul region is one of the areas close to the Bogor peak area which is a mountainous area, with such conditions making soil stability in the area not stable enough to withstand static and dynamic conditions, so it is necessary to analyze slope stability. This study looks at slope conditions in Sentul, where the area has road damage due to unstable slopes and soil conditions. The results of the study using dynamic and static methods with the help of PLAXIS software and other supporting software, obtained a slope reinforcement solution using soldier pile diameter of 180 cm with a distance between poles 3 meters and a depth of 35 meters, a diameter of 100 cm with a distance between poles 2 meters and a depth of 18 meters.

Keywords: slope stability, plaxis, static equivalent

PENDAHULUAN

Wilayah dengan elevasi berkontur atau mempunyai perbedaan elevasi sehingga mengakibatkan terbentuknya suatu lereng (*slope*). Akibat dari perbedaan elevasi tersebut dapat menimbulkan kelongsoran lereng, sehingga dibutuhkan suatu perhitungan atau analisis kestabilan lereng terhadap gaya-gaya yang mempengaruhinya. Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi – konstruksi sipil.

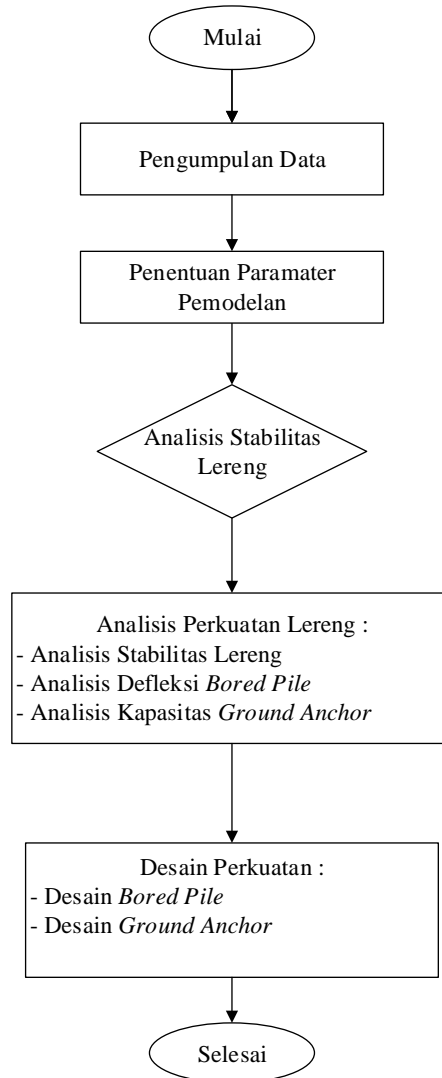
Kondisi tanah asli yang tidak selalu sesuai dengan perencanaan yang diinginkan misalnya lereng yang terlalu curam sehingga diperlukan suatu tindakan pemotongan bukit atau kondisi elevasi permukaan tanah yang curam sehingga membutuhkan timbunan dan lain sebagainya. Wilayah kawasan perumahan sentul merupakan salah satu kawasan Central Bussines Distric di Indonesia, dengan lokasi kawasan berupa pegunungan dan lembah, dengan kondisi tersebut membuat kawasan Sentul menjadi salah satu tempat tinggal dan kawasan bisnis yang nyaman. Salah satu kekurangan di kawasan sentul yang merupakan pegunungan adalah dalam masalah konstruksi, salah satunya desain perkuatan lereng dan jalan. Penelitian ini menganalisis dan merencanakan desain stabilitas lereng dan desain perbaikan jalan di kawasan Sentul yang mengalami kerusakan salah satunya akibat

kondisi tanah yang membantu lereng. Berdasarkan penelitian tersebut ditemukan indikasi adanya potensi permasalahan tanah seperti potensi kerusakan jalan, penurunan/ambblas dan potensi ketidakstabilan lereng di jalan kawasan. Penelitian ini untuk memastikan dan sebagai upaya untuk mencari solusi dari permasalahan-permasalahan tersebut, sehingga dari data yang di dapatkan dapat dilakukan analisis stabilitas lereng dan rencana perbaikannya.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di kawasan Sentul yang mengalami kerusakan jalan dan lereng yang sudah tidak stabil.

Analisis stabilitas lereng dan perencanaan perbaikan dilakukan dengan menggunakan metode *Finite elemen* berdasarkan beban dinamik yang dihitung secara statik ekuivalen yang bertujuan untuk mengetahui stabilitas lereng dan desain perbaikan akibat bidang longsor dan gaya dinamik. Analisis stabilitas lereng menggunakan bantuan perangkat lunak *Plaxis* dan dengan perangkat lunak pendukung lainnya. Langkah-langkah penelitian dibuat untuk mempermudah penelitian maka dibuat diagram alir penelitian seperti terlihat pada Gambar 1. Pelaksanaan penelitian dibagi dengan beberapa tahap sebagai berikut :

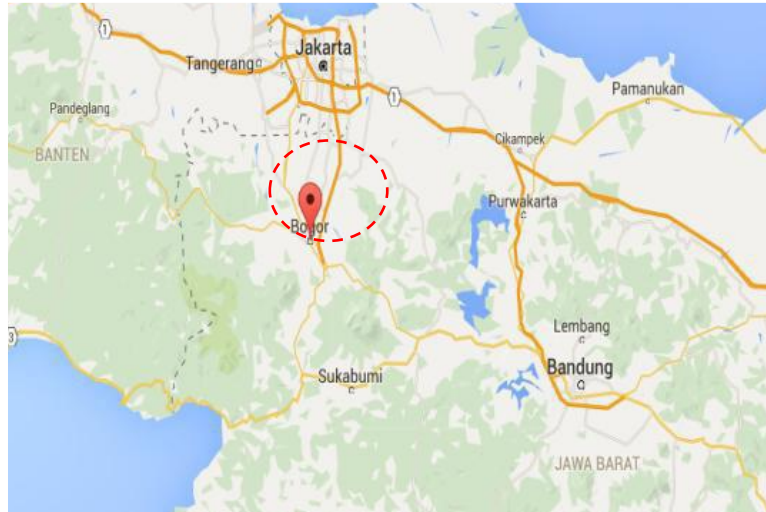


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

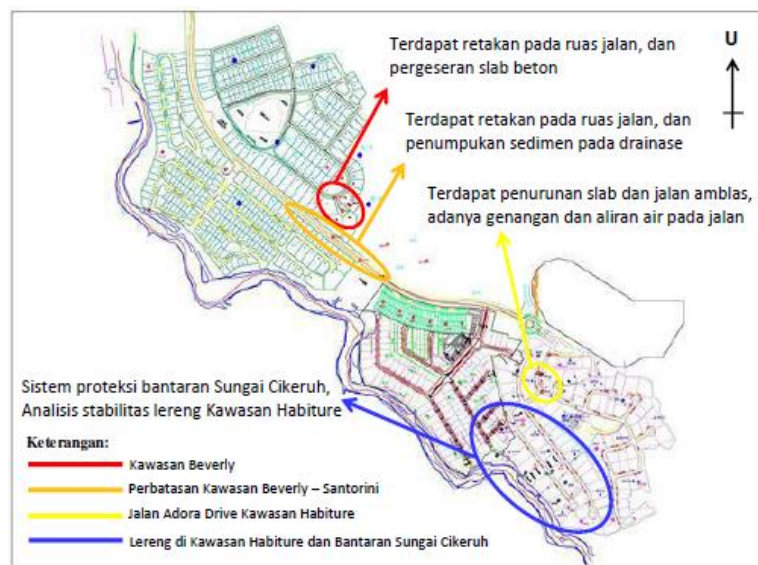
Lokasi penelitian berada di kawasan PT. Sentul City Tbk. di Kecamatan Babakan Madang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Area penelitian lokasi kawasan perumahan Sentul City ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada daerah pengamatan ditemukan

beberapa kasus untuk diteliti dan dicari solusinya. Beberapa permasalahan yang diinvestigasi dan dicari solusinya meliputi terjadi kerusakan/keretakan pada beberapa ruas jalan, penurunan slab dan jalan ambles dan potensi kasus lereng yang tidak stabil pada lokasi studi.



Gambar 2 Area Lokasi Kawasan Sentul City

Sumber : Google Map, 2020.

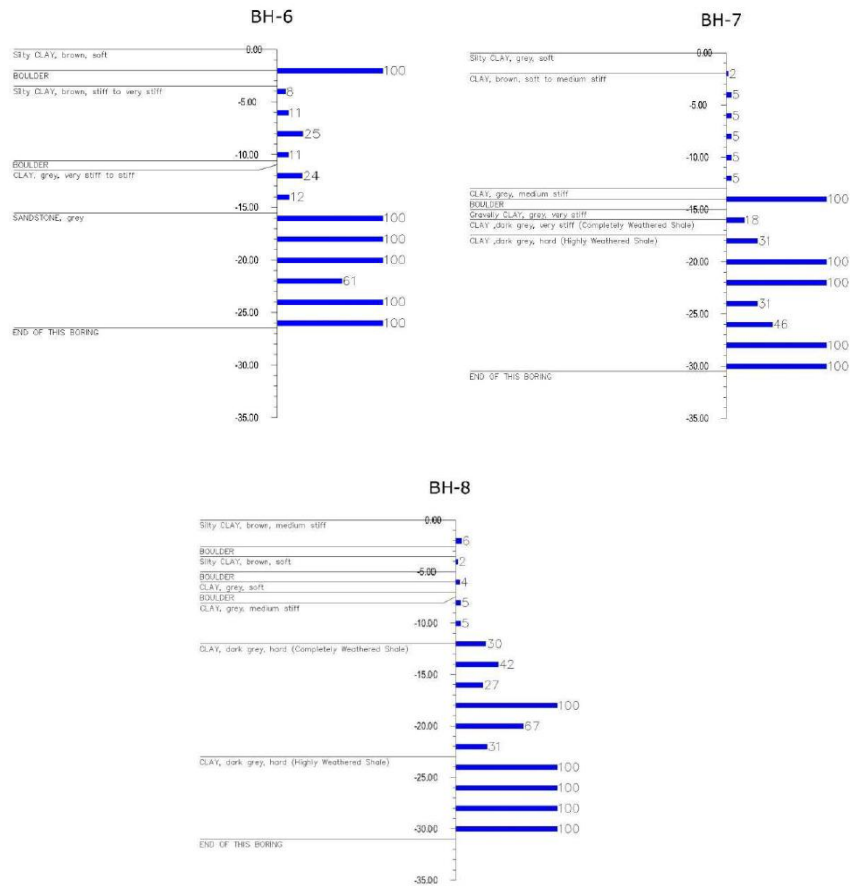


Gambar 3 Peta Kawasan Proyek Sentul City dan Lokasi studi

Sumber: Peta Sentul, 2020.

Kondisi geoteknik merupakan suatu data yang di dapatkan dari hasil penyelidikan tanah yang berada di lokasi studi agar lebih menggambarkan kondisi tanah pada daerah tersebut. Data tanah terdiri dari data hasil pengujian di lapangan dan laboratorium. Data tanah yang didapat dari hasil boring log dan

sondir terdapat 11 titik bor log dan 9 titik sondir, untuk analisis stabilitas dan perbaikan lereng di fokuskan pada 3 titik bor log dan titik sondir 6, 7 dan 8, dikarenakan pada area tersebut memiliki tingkat kerusakan yang cukup signifikan, data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1 sampai 3



Gambar 4 Data Tanah Titik Lubang Bor 6, 7 dan 8

Tabel 1 Resume Data Tanah Lubang Bor di Titik 6

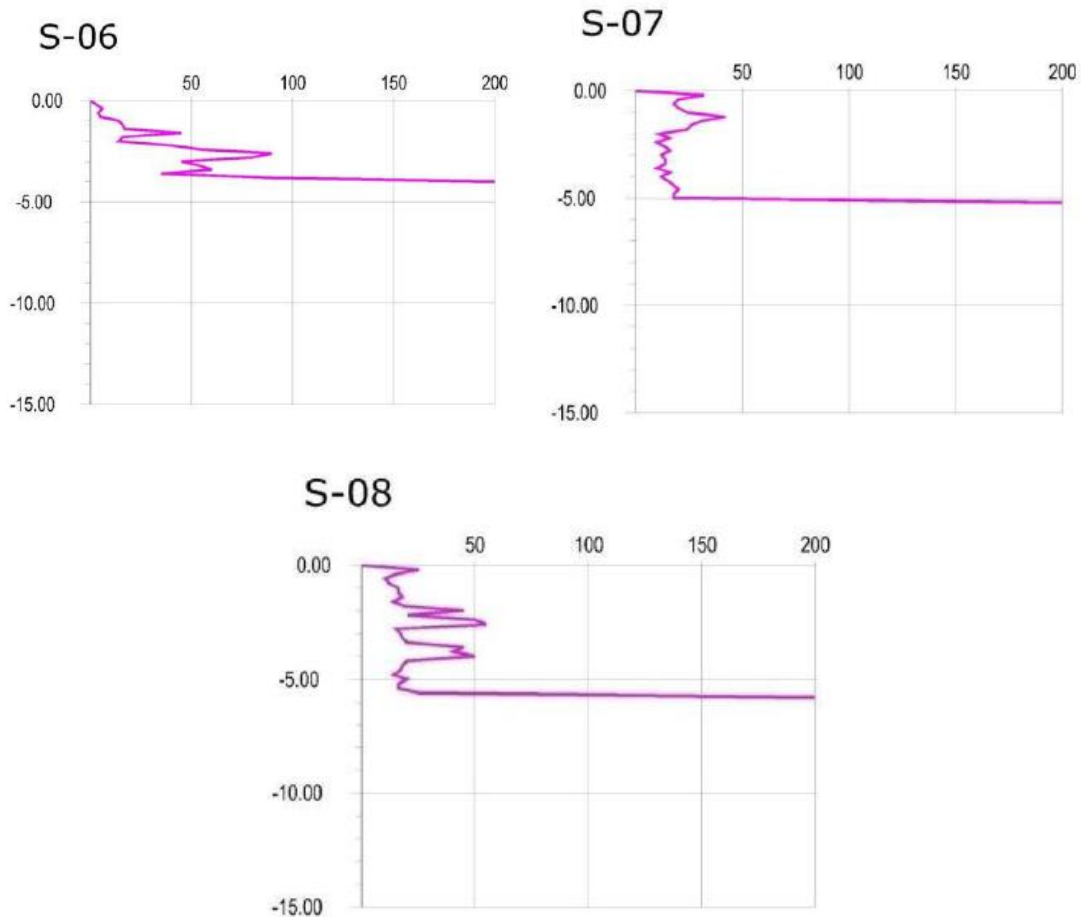
No	Deskripsi	SPT	Depth (m)
1	<i>Silty Clay, Brown, Soft</i>	-	0-2
2	<i>Boulder</i>	> 50	2 – 3,5
3	<i>Silty Clay, Brown, Stiff to Very Stiff</i>	8 – 25	3,5 – 10,5
4	<i>Boulder</i>	> 50	10,5 – 11
5	<i>Clay, Grey, Stiff to Very Stiff</i>	12 – 24	11 – 15,5
6	<i>Sandstonr, Grey</i>	> 50	15,5 – 26,45

Tabel 2 Resume Data Tanah Lubang Bor di Titik 7

No	Deskripsi	SPT	Depth (m)
1	<i>Silty Clay, Grey, Soft</i>	2	0 – 2
2	<i>Clay, Brown, Soft to Medium Stiff</i>	2 – 5	2 – 13
3	<i>Clay, Grey, Medium Stiff</i>	5	13 – 14
4	<i>Boulder</i>	> 50	14 – 15
5	<i>Gravelly Clay, Grey, Stiff</i>	18	15 – 16
6	<i>Clay, Dark Grey, Very Stiff</i>	18	16 – 17,5
7	<i>Clay, Dark Grey, Hard</i>	> 50	17,5 – 30,45

Tabel 3 Resume Data Tanah Lubang Bor di Titik 8

No	Deskripsi	SPT	Depth (m)
1	<i>Silty Clay, Brown, Medium Stiff</i>	6	0 – 2,5
2	<i>Boulder</i>	> 50	2,5 – 3,5
3	<i>Silty Clay, Brown, Soft</i>	2	3,5 – 5
4	<i>Boulder</i>	> 50	5 – 6
5	<i>Clay, Grey, Soft</i>	4	6 – 7
6	<i>Boulder</i>	> 50	7 – 7,5
7	<i>Clay, Grey, Medium Stiff</i>	5	7,5 – 12
8	<i>Clay, Dark Grey, Hard</i>	27 → 50	12 – 23
9	<i>Clay, Dark Grey, Hard</i>	> 50	23 – 30,5



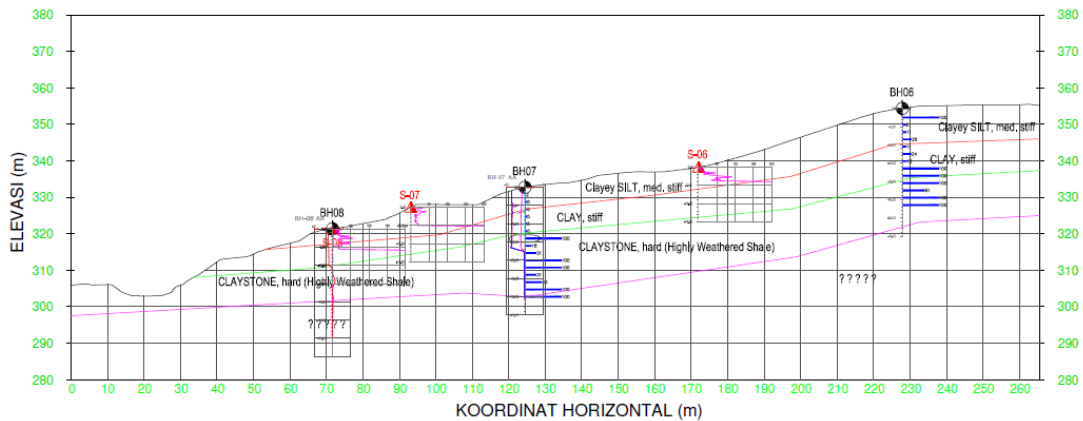
Gambar 5 Data Sondir di Titik 6,7, dan 8

Muka air tanah yang teramati pada saat pengeboran rata-rata mulai dari kedalaman 3.5-9 m dibawah permukaan tanah eksisting. Muka air tanah yang teramati pada saat pengeboran rata-rata mulai dari kedalaman 1-

7 m dibawah permukaan tanah eksisting. Muka air tanah berdasarkan saat pengeboran rata-rata mulai dari kedalaman 3.5-9 m dibawah permukaan tanah eksisting.

Tabel 4 Resume Hasil Sondir S-06, S-07 dan S-08

No	ID	Depth (m)	Tahanan Konus (Kg/cm ²)
1	S-06	4,00	200
2	S-07	5,20	200
3	S-08	5,80	200



Gambar 6 Potongan A kondisi pelapisan tanah pada Titik Bor (6,7 dan 8) dan Titik Sondir (6 dan 7)

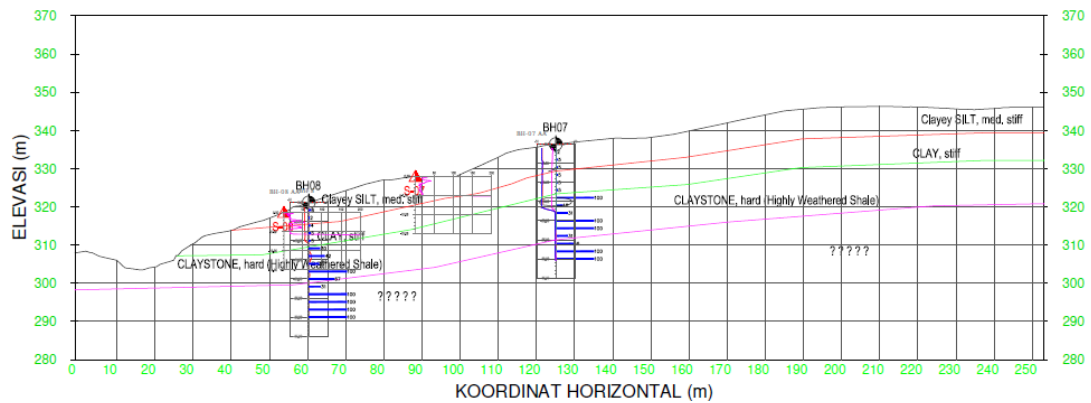
Data tanah yang di dapatkan pada lokasi studi relatif seragam dengan kedalaman tiap lapisannya yang bervariasi, umumnya berhubungan dengan kontur di wilayah tersebut. Lapisan tanah umumnya terdiri dari 3 (tiga) grup, yaitu:

- Lapisan urugan/timbunan
- Lapisan tanah residual
- Lapisan *shale/clayshale*

Lapisan permukaan yang sebagian besar merupakan tanah urugan/timbunan didominasi oleh lanau (*Silt*) dan lempung (*Clay*) dengan konsistensi *soft to medium stiff*. Dibawah lapisan permukaan ditemukan lapisan lempung dengan konsistensi *stiff to very stiff*

dan lapisan *shale* dengan konsistensi *hard*. Penyusunan profil pelapisan tanah dibuat sesuai dengan data dan hasil penyelidikan tanah yang telah di-plotkan pada kontur permukaan.

Data tanah yang digunakan berdasarkan hasil penyelidikan tanah serta pada kondisi dan waktu pengeboran dilakukan, sehingga untuk lapisan tanah pada area yang berada di antaranya dipergunakan metode interpolasi data tanah berdasarkan kontur permukaan dan disesuaikan dengan karakteristik data tanah yang didapatkan. Hasil dari pembuatan profil tanah ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 7 Potongan B kondisi pelapisan tanah pada Titik Bor dan Titik Sondir (7 dan 8)

Analisis stabilitas lereng dimulai dengan mengetahui bagaimana kondisi stabilitas lereng dalam skala lebih luas. Tahap selanjutnya adalah dilakukan evaluasi pada setiap lokasi yang menjadi fokus studi melalui pengamatan visual di lapangan (*site visit*), evaluasi data hasil penyelidikan tanah, dan hasil bacaan monitoring *Inclinometer* di lapangan. Selanjutnya, tahap analisis stabilitas lereng dengan bantuan program profesional (*finite element*) PLAXIS. Analisis stabilitas lereng merupakan analisis lebih lanjut dari pengamatan visual yang dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (*safety factor*) lereng dan perkiraan bidang keruntuhan lereng (*slope failure*). Analisis dilakukan dengan bantuan program profesional *finite element*, yaitu: PLAXIS. Dari hasil analisis ini akan merujuk pada sistem proteksi/perkuatan lereng, sistem *monitoring* kondisi lereng, penanganan masalah yang dapat timbul dan rekomendasi lainnya yang dibutuhkan. Tahapan yang

dilakukan dalam analisis stabilitas lereng, yaitu:

- Kriteria Desain
- Analisis Stabilitas dan Deformasi
- Hasil Analisis Stabilitas dan Deformasi
- Analisis Perkuatan Struktur
- Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Berdasarkan peraturan yang berlaku, kriteria perencanaan yang digunakan dalam desain perkuatan lereng adalah sebagai berikut:

- Nilai angka keamanan (*safety factor*) dalam mendesain perkuatan lereng adalah $SF_{\text{statik}} > 1.5$ dan $SF_{\text{dinamik}} > 1.1$. Nilai ini mengacu pada Tabel 5 dan Tabel 6.
- Gempa rencana untuk perhitungan beban gempa adalah gempa dengan periode ulang 475 tahun. Gempa ini mempunyai nilai 10% kemungkinan untuk jangka 50 tahun. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang digunakan untuk wilayah rencana lokasi studi, yaitu sebesar 0.2 – 0.25g, mengacu kepada Peta *Hazard* Gempa Indonesia tahun 2019.

Tabel 5. Safety Factor Criteria based on Duncan and Buchignani (1975)

<i>Cost and Consequences of Slope Failure</i>	<i>Uncertainty of Strength Measurements</i>	
	<i>Small</i>	<i>Large</i>
<i>Cost of repair comparable to cost of construction. No danger to human life of other property if slope fails</i>	1,25	1,5
<i>Cost of repair much greater than cost of construction, or danger to human life of other valuable property if slope fails</i>	1,5	2,0 or greater

Tabel 6. Safety Factor Criteria di Jakarta

Environmental Condition	Accuracy of soil parameter			
	Less accurate		Accurate	
	Temporary	Permanent	Temporary	Permanent
No human building	1,3	1,5	1,25	1,3
Many human building	1,5	2	1,3	1,5

Tabel 7. Perhitungan Kriteria Desain untuk Percepatan Gempa (a_{max})

Keterangan	Nilai
PGA	0,2g – 0,25g
FPGA	1,4
PSA	0,28g – 0,325g
k_h	0,5
a_{max}	0,14g – 0,1625g
a_{max} design	0,15g

Dalam perhitungannya nilai *Peak Ground Accelaration* (PGA) akan dikonversi menjadi nilai *Peak Surface Accelaration* (PSA) yang digunakan sebagai nilai percepatan pada permukaan/surface tanah. Kemudian, nilai PSA dikalikan dengan nilai koefisien gempa yang mengacu pada Tabel 7, untuk mendapatkan percepatan gempa (a_{max}) di permukaan. Hasil dari pelapisan tanah dimodelkan dalam PLAXIS untuk dilakukan analisis stabilitas dan deformasi. Tahapan analisis pemodelan dengan PLAXIS adalah

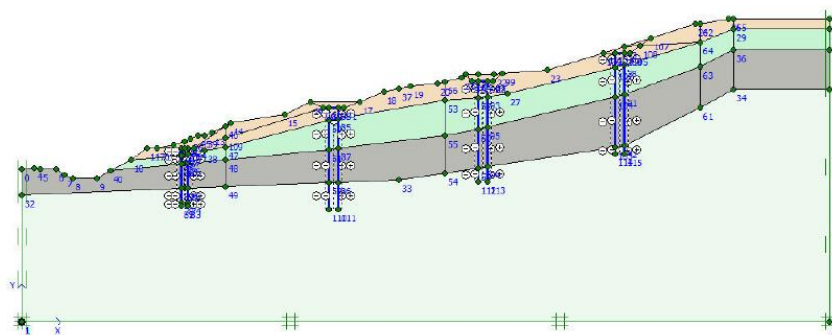
sebagai berikut. Penentuan Parameter Tanah (*Soil Parameter*) dan Perkuatan Lereng (*Plates*). Penentuan parameter tanah dilakukan dengan metode *Back Calculation Analysis* dengan melakukan iterasi nilai parameter tanah (*trial and error*). Nilai ini tidak berbeda jauh atau sama dengan hasil pengujian N-SPT di lapangan dan hasil pengujian laboratorium. Data hasil pembacaan *Inclinometer* dijadikan sebagai acuan dan fakta lapangan dalam mendesain analisis parameter perkuatan lereng untuk stabilitas lereng yang ditinjau.

Tabel 8. Parameter Tanah (*Soil Parameter*) Potongan A

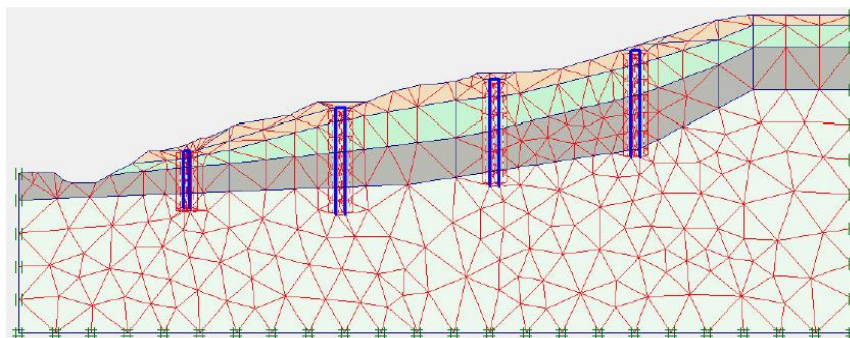
Lokasi	No	Nama	Tipe	N-SP T	Dept h [m]	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	v	E_{ref} [kN/m ³]	C_{ref} [kN/m ³]
Potongan A	1	Sandy Silt	UnDrained	2 - 6	0 - 6	10 - 12	16 - 19	0.3 - 0.3 5	2000 - 6000	10 - 30
	2	Silty Clay	UnDrained	5 - 18	6 - 18	11 - 13	16 - 19	0.3 - 0.3 5	5000 - 18000	25 - 90
	3	Clayshale	UnDrained	> 30	18 - 23	16 - 18	18 - 20	0.3 - 0.3 5	120000 - 200000	150 - 250
	4	Clayshale	UnDrained	> 50	23 - 30	18 - 20	20 - 23	0.3 - 0.3 5	> 2E+05	> 250

Tabel 9. Parameter Perkuatan Lereng (Plates) Potongan A

Lokasi	No	Nama	Tipe	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	W [kN/m ²]	$\frac{v}{-}$	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
Potongan A	1	Tiang 2	Plastis	13772732	2788978.2	11.7	0.15	3800	10000
	2	Tiang 1	Plastis	11477277	717329.79	6.5	0.15	1000	2000
	3	Pile Cap 1	Elastis	50620549	4218379.1	6.5	0.15	1.00E+15	1.00E+15
	4	Pile Cap 2	Elastis	1.14E+08	21355544	9.8	0.15	1.00E+15	1.00E+15



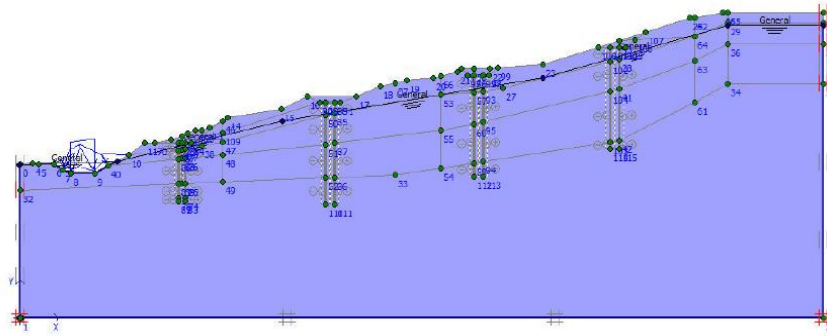
Gambar 8. General Set pada Soil & Interfaces



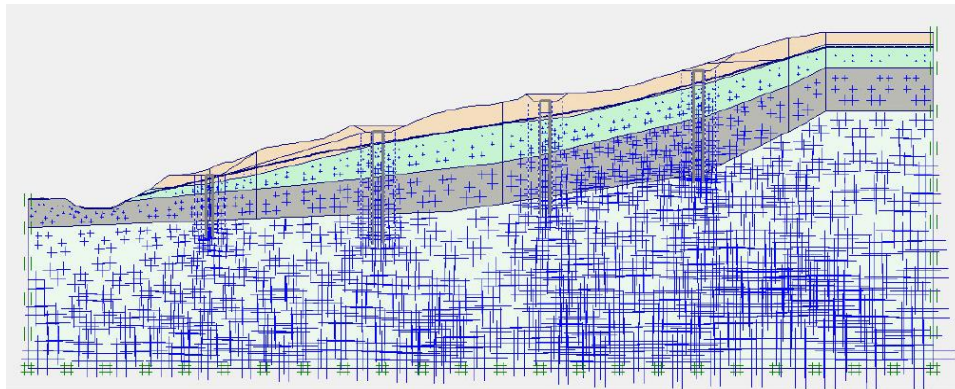
Gambar 9. Generate Mesh dalam Program PLAXIS

Pembuatan geometri tanah dilakukan sesuai dengan pelapisan tanah yang telah ditentukan sebelumnya (dalam Auto-Cad). Gambar 8 adalah model analisis lereng pada potongan A. Pembuatan Mesh dilakukan dengan *Generate Mesh* pada model geometri tanah yang telah diinput data parameter tanah dan perkuatannya, lakukan *refine cluster* pada model untuk hasil yang lebih akurat seperti pada Gambar 9. Kondisi awal pada pemodelan

dengan melakukan *pheratic level* dan *Generate water pressure* pada model seperti Gambar 10 dan 11, Selanjutnya melakukan perhitungan analisis program atau *Calculate*. Pembuatan *Pheratic Level* dilakukan dengan melihat nilai ketinggian muka air tanah ketika pengeboran dilakukan. Nilai yang diperoleh akan diambil pada kondisi kritis (muka air tanah paling tinggi) untuk dibuat pada *pheratic level* pada pemodelan PLAXIS.



Gambar 10. Pembuatan Phreatic Level

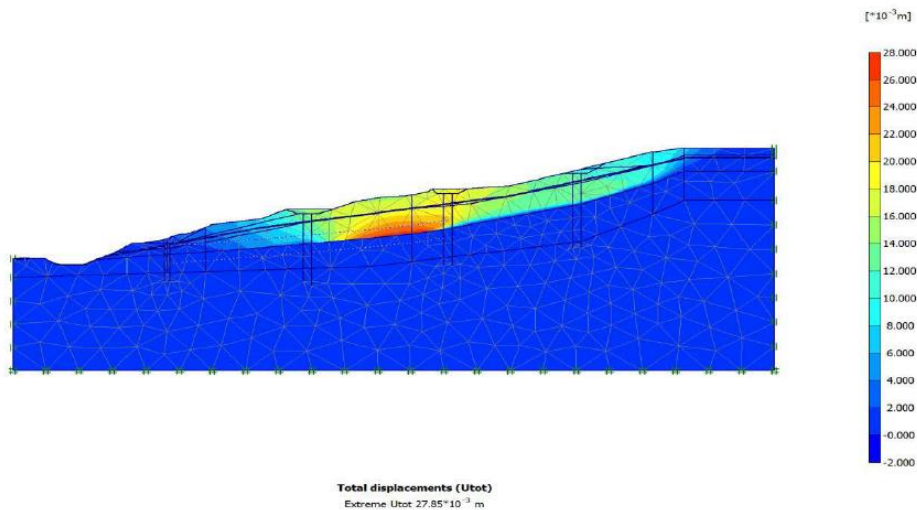


Gambar 11. Generate Water Pressures

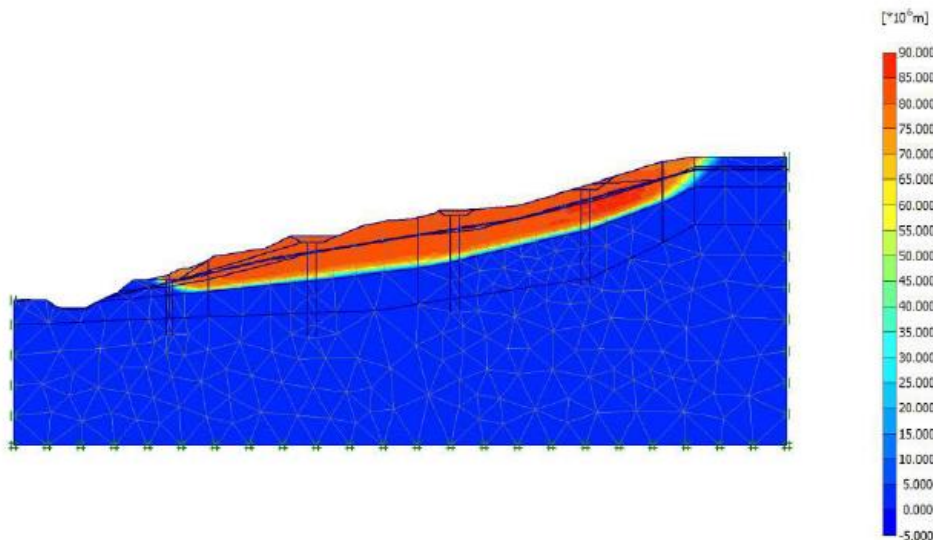
Ada beberapa tahapan pekerjaan konstruksi sebagai berikut:

- a. Tahapan 1, Gravity Loading;
- b. Tahapan 2, Null Step;
- c. Tahapan 3, SF (*Safety Factor*);
Nilai SF (*Safety Factor*) yang dihasilkan setelah proses kalkulasi adalah 1.028.
- d. Tahapan 4, Instalasi Tiang;
- e. Tahapan 5, ulangi tahapan 4 untuk instalasi Tiang 2, Tiang 3 dan Tiang 4;
- f. Tahapan 6, lakukan tahapan 3 untuk SF_Tiang 1, SF_Tiang 2, SF_Tiang

- g. SF_Tiang 4, SF_Material dan SF_Dinamik;
- g. Tahapan 7, Material diganti dengan melakukan tahapan 4;
- h. Tahapan 8, Dinamik; Pada tahap ini besarnya akselerasi arah horizontal dimasukkan, yaitu sebesar 0.15 g.
- i. Setelah proses kalkulasi selesai, tampilan kondisi stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12 Keadaan Existing yang Terjadi (*Gravity Loading*)



Gambar 13. Bidang Longsor yang Terjadi (SF)

Tabel 10. Hasil Nilai Faktor Keamanan Kawasan Sentul City

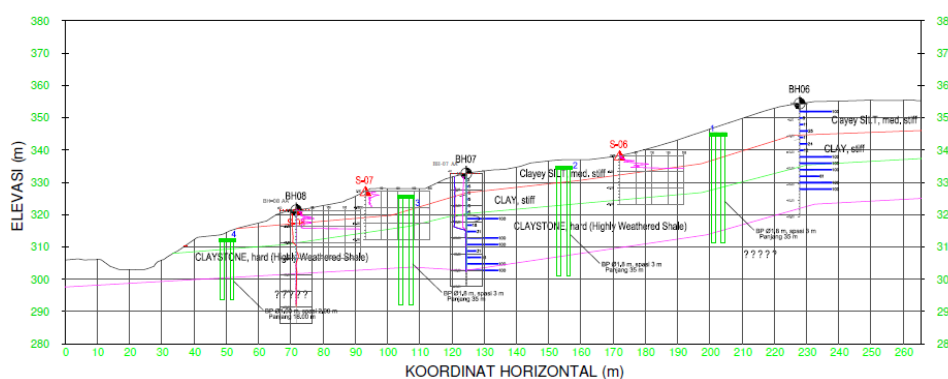
No.	Potongan	SF
1	SF	1.02
2	SF_Tiang 1	1.20
3	SF_Tiang 2	1.27
4	SF_Tiang 3	1.49
5	SF_Tiang 4	1.65
6	SF_Gempa	1.10

Dari hasil analisis didapatkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) perkuatan lereng seperti yang diperlihatkan pada Tabel 10 dan metode perkuatan lereng dengan menggunakan *bore-pile* dengan diameter, kedalaman dan jarak antar tiang yang berbeda

–beda sesuai dengan kontur pada lokasi tersebut, Gambar 14 memperlihatkan posisi masing – masing tiang *bore pile* sebagai perkuatan lereng. Tabel 11. memperlihatkan rekapitulasi hasil output nilai gaya dalam yang terjadi pada perkuatan lereng.

Tabel 11. Rekapitulasi Gaya dalam pada Perkuatan Lereng

Layer	Perkuatan	Statik			Dinamik		
		N kN	Q kN	M kNm	N kN	Q kN	M kNm
1	1	3708	1991	9513	6552	3324	11600
	2	- 4736	1824	9298	- 8614	2673	- 10443
	3	2963	1490	7790	5916	3027	11038
2	4	- 4560	1373	7860	- 8236	2452	- 10152
	5	4149	1653	8110	7104	3113	10436
3	6	- 5543	2093	8852	- 8745	2884	- 9975
	7	615	304	589	1482	240	-1090
4	8	-432	424	697	-942	652	-1057



Gambar 13. Potongan Melintang Posisi Tiang Bore Pile

SIMPULAN

Grup *Bored-Pile* dalam bentuk dinding untuk perkuatan lereng lebih efektif, dengan spesifikasi tiang sebagai berikut:

- a. TIPE 1 (Layer 1, 2 dan 3) Desain Grup Bored-Pile dengan Diameter 1.8 meter, kedalaman 33 m dan jarak antar tiang 3 meter
- b. TIPE 2 (Layer 4) Desain Grup Bored-Pile dengan Diameter 1 meter, kedalaman 18 m dan jarak antar tiang 2 meter

Pelandaian/*re-grading* pada potongan melintang (*cross section*) setiap 25 m pada lereng untuk dapat meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng. Proses *re-grading* ini harus dilakukan sebelum proses konstruksi *Bored-Pile*.

Perlu dilakukan Survei, Analisis, Desain dan Perbaikan Hidrologi Lokal dan Kawasan oleh ahli Hidrologi untuk memastikan bahwa kapasitas dari saluran drainase masih mampu untuk menampung debit air yang terjadi. Perlu tambahan data tanah yang lebih banyak agar desain rencana dapat dioptimasi lagi

DAFTAR PUSTAKA

Arief, S., dan Arif, I. 2001. Penyelesaian Sistem Persamaan Non-Linier Dalam Metode Kesenjangan Batas Umum dengan Metode Optimasi, dalam Problema Geoteknik: Perkembangan dan Penanggulangannya. Bandung. Hal V.31-V.38. HATTI.

Aan Fauzi. 2019. Analisa Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya Studi

- Kasus Proyek Pekerjaan Kanal Utama Row 80 Kawasan Industri JIPE-Gresik. Surabaya. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*
- Brinkgreve, R.B.J et. Al. 1998. *PLAXIS Finite Element for Soil and Rock Analysis*. Version 8.2 Dynamics. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Penganggulangan Longsor*, SKBI – 2.3.06. Yayasan Badan Penerbit PU.
- D. V. Griffiths, and P. A. Lane. 2000. *Slope stability analysis by finite elements*. ISSN 0016-8505 | E-ISSN 1751-7656.
- Fawwaz Hanif., Bambang Setiawan., & Harya Dananjaya H. I. 2017. Analisis Perkuatan Soil Nailing Sebagai Metode Perbaikan Stabilitas Lereng. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Hakam, A. 2008 Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah untuk Mahasiswa dan Sarjana Teknik Sipil. Padang. Universitas Andalas Press.
- Microsoft Corp. 1991. *Geo-Slope version 7 User's Guide*. Geo-Slope International Ltd, Canada.
- Nuryanto dan Sri Wulandari. 2007. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium*) Dan Elemen Hingga (*Finite Element*). Depok. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi Vol.16*.
- SNI-2847. 2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- SNI-8460. 2017. Persyaratan perancangan geoteknik, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional