ANALISA STABILITAS LERENG PADA CAMPURAN PASIR DAN TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN PERMODELAN DI LABORATORIUM

Anissa Maria Hidayati¹

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan potensi bencana geologis berupa pergerakan tanah yang terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Selain itu tanah longsor merupakan salah satu fenomena alam yang tidak terkontrol yang menarik perhatian manusia karena berpotensi membahayakan keselamatan manusia. Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan lereng dan ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Dengan diketahuinya faktor keamanan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng yang telah dibentuk mempunyai resiko longsor atau cukup stabil. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan membuat pemodelan lereng dengan ukuran 13x0,2x0,6 meter. Pemodelan lereng diletakkan di atas meja getar yang di dalamnya telah diberi campuran tanah lempung dan pasir dengan persentase 90% pasir dan 10 % tanah lempung. Selanjutnya sebagai getaran gempa, *shaking-table* digetarkan, dan pencatatan terhadap getaran gempa ini dilakukan dengan menggunakan *accelogram*. Bentuk *output* dari *accelogram* ini dicatat dengan *accelegraf* dengan menggunakan program G-Trace.

Kata Kunci : tanah longsor, stabilitas lereng, tanah lempung dan pasir, G-Trace

1 TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Tanah

Tanah dalam pengertian teknik secara umum didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lainnya dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas-gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Tanah lempung di dalam kasus ini sebagai tanah dasar dari lereng. Tanah lempung mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil dari 0,002 mm. Menurut Bowles (1884) tanah lempung adalah deposit yang mempunyai partikel yang berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya. Ada atau tidak adanya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang sangat besar.

1.2 Gerakan Tanah

Pengertian longsor (*landslide*) dengan gerakan tanah (*mass movement*) mempunyai kesamaan. Untuk memberikan definisi longsor perlu penjelasan keduanya. Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Menurut definisi ini longsor adalah bagian gerakan tanah. Jika menurut definisi ini perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak adalah termasuk gerakan tanah, maka gerakan vertikal yang mengakibatkan *bulging* (lendutan)

¹Jurusan Teknik Sipil- Fakultas Teknik Universitas Udayana

akibat keruntuhan fondasi dapat dimasukkan pula dalam jenis gerakan tanah. Dengan demikian pengertiannya menjadi sangat luas.

Klasifikasi gerakan tanah :

1. Runtuhan
2. Jungkiran
3. Longsoran
4. Penyebaran lateral
5. Aliran
6. Pergerakan majemuk

1.3 Analisa Stabilitas Lereng

Analisa stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan lereng dan untuk kerja dari lereng galian, lereng timbunan, maupun lereng alami. Secara umum tujuan dari analisa kestabilan lereng adalah sebagai berikut :

- a. Untuk menentukan kondisi kestabilan suatu lereng
- b. Memperkirakan bentuk keruntuhan atau longsoran yang mungkin terjadi
- c. Menentukan tingkat kerawanan lereng terhadap longsoran
- d. Menentukan metode perkuatan atau perbaikan lereng yang sesuai

Selain itu, analisa stabilitas lereng ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Dalam analisis kestabilan lereng umumnya digunakan persamaan Mohr Coulomb, untuk menyatakan kekuatan geser material.

Persamaan Mohr Coulomb dalam bentuk tegangan efektif adalah sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

dimana :

τ = tegangan geser

c = kohesi

σ = tegangan normal

ϕ = sudut geser tanah

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau :

$$F = \frac{\tau}{\tau_d}$$

dimana :

F = faktor aman

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

1.4 Metode Irisan

Analisa stabilitas lereng dengan menggunakan metode irisan, dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar (**Gambar 1.**) dengan AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan.

Untuk pengamatan keseimbangan :

$$N_r = W_n \cos \alpha_n$$

Gaya geser perlawanan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$T_r = \tau_d (\Delta L_n) = \frac{\tau_f (\Delta L_n)}{F_s} = \frac{1}{F_s} [c + \sigma \tan \phi] \Delta L_n$$

Untuk keseimbangan blok percobaan ABC, momen gaya dorong terhadap titik adalah sama dengan momen gaya perlawanan terhadap titik O, atau

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \cdot \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

Dengan :

F_s = faktor aman

ΔL_n = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-n

W_n = berat irisan tanah ke-n

c = kohesi tanah

a. Perukaan Bidang yang Dicoba b. Gaya yang Bekerja pada Irisan
Gambar 1. Analisa Stabilitas dengan Metode Irisan Biasa

2 PELAKSANAAN PERCOBAAN

2.1 Pemodelan Alat

Pada tahapan ini dilakukan percobaan dengan menggunakan sebuah pemodelan lereng yang terbuat dari kaca yang diletakkan pada alat *shaking table* yang telah dipersiapkan. Pemodelan lereng tersebut terbuat dari kaca yang berukuran 13x0,2x0,6 meter.

2.2 Prosedur Percobaan

- Persiapkan alat pemodelan lereng di atas meja getar sebagai tempat campuran pasir dan tanah lempung (Gambar 2.).

Gambar 2. Pemodelan Lereng Campuran Pasir dan Tanah Lempung (90%:10%)

- b. Masukkan campuran pasir dan tanah lempung ke dalam bejana kaca dengan persentase campuran 90 % pasir, 10 % tanah lempung tanpa dipadatkan.
- c. Kemudian campuran tersebut diatur sedemikian rupa sehingga membentuk lereng dengan kemiringan menggunakan nilai sudut gesernya.
- d. Beri tanda pada setiap jarak 10 cm pada campuran tersebut dengan menggunakan bambu untuk memudahkan melihat seberapa besar perubahan yang terjadi setelah bejana kaca digetarkan.
- e. Setelah sampel dipersiapkan, kemudian pasang alat *accelerogram* pada meja getar. *Accelerogram* ini berfungsi untuk me-record getaran yang terjadi (**Gambar 3**).

Gambar 3. Susunan Benda Uji dan Accelerogram di Atas Meja Getar

- f. Getarkan *Shaking Table*. Pencatatan getaran dilakukan oleh alat yang disebut *accelogram* (**Gambar 4**). Hasil pencatatan *accelogram* dapat dilihat pada komputer berupa grafik atau biasa disebut *accelograph*. Hasil *output* pada komputer dapat dilihat melalui program G-Trace.
- g. Amati apa yang terjadi pada bejana kaca selama digetarkan.

Gambar 4. Alat Pencatat Getaran G-Men

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Parameter-Parameter Tanah

1. Berat volume tanah (γ_d)
 $\gamma_d = 1.3576 \text{ g/cm}^3$
2. Kohesi (c)
 $c = 0.14$
3. Sudut geser (Φ)
 $\Phi = 39.35^\circ$

3.2 Hasil Percobaan

3.2.1 Percepatan Meja Getar Pada Campuran Sampel 90% Pasir dan 10% Tanah Lempung

Pada saat meja getar digetarkan, data dari getaran di ukur dengan G-trace yang *output*-nya dalam bentuk grafik(**Gambar 5-7**).Dari grafik diketahui :

- **Percobaan 1**
 a_{max} rata-rata = 4.802 m/s^2
 Periode (T) = 0.154 dt
 Frekuensi (f) = 6.49 Hz
 Frekuensi natural sudut (ω) = 40.78 Hz
- **Percobaan 2**
 a_{max} rata-rata = 10.682 m/s^2
 Periode (T) = 1.692 dt
 Frekuensi (f) = 0.591 Hz
 Frekuensi natural sudut (ω) = 3.713 Hz
- **Percobaan 3**
 a_{max} rata-rata = 7.252 m/s^2
 Periode (T) = 1.496 dt
 Frekuensi (f) = 0.669 Hz
 Frekuensi natural sudut (ω) = 4.201 Hz

Grafik Percepatan campuran sampel dengan Getaran Pada Meja Getar

Percobaan 1

Gambar 5. Grafik Percepatan Campuran Sampel Dengan Getaran Pada Meja Getar

Percobaan 2

Gambar 6. Grafik Percepatan Campuran Sampel Dengan Getaran Pada Meja Getar

Percobaan 3

Gambar 7. Grafik Percepatan Campuran Sampel Dengan Getaran Pada Meja Getar

3.2.2 Pemodelan Lereng Setelah Digetarkan

Setelah meja getar digetarkan yang secara langsung memberikan getaran pada pemodelan lereng. Lereng mengalami keruntuhan dan penurunan, penurunan ini terjadi karena pemadatan masa tanah akibat getaran yang diberikan (**Gambar 8.**). Keruntuhan dan penurunan yang terjadi (**Gambar 9-11.**) dapat dilihat dengan cara pengamatan.

Gambar 8. Bentuk Lereng Setelah Digetarkan

Pergerakan butiran dan garis keruntuhan lereng percobaan 1

Gambar 9. Pergerakan Butiran dan Garis Keruntuhan Pada Percobaan Pertama

Pergerakan butiran dan garis keruntuhan lereng percobaan 2

Gambar 10. Pergerakan Butiran dan Garis Keruntuhan Pada Percobaan Kedua

Pergerakan butiran dan garis keruntuhan lereng percobaan 3

Gambar 11. Pergerakan Butiran dan Garis Keruntuhan Pada Percobaan Ketiga

3.2.3 Perubahan Bentuk Pemodelan Lereng Setelah Digetarkan

Pada saat tanah mengalami getaran dapat menyebabkan perubahan bentuk (**Gambar 12.**), karena butiran mengalami pergerakan.

Gambar 12. Perubahan Bentuk Lereng

3.3 Pembahasan

Gaya-gaya yang bekerja pada lereng secara umum dapat di kelompokkan menjadi dua yaitu gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng bergerak ke bawah dan gaya-gaya yang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi peretakan atau longsoran. Berdasarkan hal tersebut, Terzaghi membagi penyebab-penyebab terjadinya longsor menjadi dua kelompok yaitu penyebab eksternal yang menyebabkan naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh (Das, 1995). Dalam hal ini salah satu penyebabnya adalah gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi, dalam pengujian ini dapat dilihat gempa yang terjadi sangat mempengaruhi kestabilan lereng. Penyebab yang kedua yaitu penyebab internal yang menyebabkan turunnya kuat geser material.

Gempa dapat mengakibatkan ketidakstabilan lereng dari kondisi awal stabil. Getaran yang diterima tanah dapat merubah kondisi struktur tanah. Pada campuran tanah dalam keadaan kering beban gempa yang diterima mengakibatkan pergerakan butiran, sehingga butiran menjadi lebih rapat.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa percepatan maksimum rata-rata terbesar terdapat pada percobaan 2 yaitu 10.682 m/s^2 . Pada masing-masing percobaan, besarnya getaran yang diberikan tidak sama. Dimulai dari getaran yang kecil sampai yang besar. Pada **Gambar 13-15.** dapat dilihat bahwa getaran yang diberikan pada sampel tidak mengakibatkan seluruh butiran mengalami deformasi.

Keruntuhan yang signifikan dapat terlihat dari deformasi butiran pada bagian atas sampel perpindahan yang terjadi sangat besar. Pada bagian dasar lereng setelah beberapa getaran keadaan

lereng memadat sehingga antara butiran saling mengunci, jika dilihat dari data perpindahan butiran dan terlihat juga pada **Gambar 13 s.d 15.** hampir tidak terjadi pergerakan. Kemudian dari pergerakan butiran dapat di hitung angka keamanan lereng F_s (**Tabel 1 s.d 3.**). Penghitungan menggunakan Metode Irisan (*Method Of Slices*), dapat dilihat dari gambar pergerakan butiran.

3.4 Perhitungan Angka Keamanan Dengan Metode Irisan

Dengan formula sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum (c + \Delta l_n + W_n \times \cos \alpha_n \times \tan \phi)}{\sum W_n \sin \alpha_n}$$

- Angka keamanan pada percobaan pertama

Gambar 13. Lengkung Keruntuhan Untuk Getaran Pertama

Tabel 1. Perhitungan F_s Untuk Percobaan Pertama

irisan no	W_n (g/cm)	α_n (°)	$\sin \alpha_n$	$\cos \alpha_n$	ΔL_n (cm)	$W_n \sin \alpha_n$ g/cm	$W_n \cos \alpha_n$ g/cm
1	78.0507	64	0.8988	0.4384	17.038	70.1520	34.2174
2	196.9526	45	0.7071	0.7071	10.6125	139.2652	139.2652
3	230.3451	32	0.5299	0.848	8.8299	122.0599	195.3326
4	206.2584	20	0.342	0.9397	8.0084	70.5404	193.8210
5	164.8006	9	0.1564	0.9877	7.6236	25.7748	162.7735
6	108.6918	-1	-0.0175	0.9998	7.5208	-1.9021	108.6700
7	38.5781	-11	-0.1908	0.9816	7.6665	-7.3607	37.8683
						67.2997	418.5294
						418.5294	871.9481

$$F_s = 11.13$$

- Angka keamanan pada percobaan kedua

Gambar 14. Lengkung Keruntuhan Untuk Getaran Kedua

Tab 2. Perhitungan FS Untuk Percobaan Kedua

irisan no	Wn (g/cm)	αn (°)	$\sin \alpha n$	$\cos \alpha n$	ΔL_n (cm)	Wn $\sin \alpha n$ g/cm)	Wn $\cos \alpha n$ g/cm)
1	101.8108	57	0.8387	0.5446	18.155	85.3887	55.4461
2	268.2358	42	0.6691	0.7431	13.2288	179.4766	199.3260
3	359.0089	30	0.5	0.866	11.362	179.5045	310.9017
4	355.0417	20	0.342	0.9397	10.4288	121.4243	333.6327
5	283.9836	10	0.1633	0.9848	9.96741	46.3745	279.6670
6	189.7687	0	0	1	9.8241	0.0000	189.7687
7	79.5543	-9	-0.1564	0.9877	9.9574	-12.4423	78.5758
8	22.8443	-19	-0.3256	0.9455	10.4042	-7.4381	21.5993
					93.32771	592.2881	1468.9174

$F_s = 15.10$

- Angka keamanan pada percobaan ketiga

Gambar 15. Lengkung Keruntuhan Untuk Getaran Ketiga

Tab 3. Perhitungan FS Untuk Percobaan Ketiga

irisan no	Wn (g/cm)	αn (°)	$\sin \alpha n$	$\cos \alpha n$	ΔL_n (cm)	Wn $\sin \alpha n$ g/cm)	Wn $\cos \alpha n$ g/cm)
1	138.9191	45	0.7071	0.7071	15.1176	98.2297	98.2297
2	388.1457	32	0.5299	0.8480	12.6552	205.6784	329.1476
3	542.2807	21	0.3584	0.9336	11.4363	194.3534	506.2733
4	573.9688	11	0.1908	0.9816	10.9109	109.5133	563.4078
5	481.7183	1	0.0170	0.9998	10.7195	8.1892	481.6220
6	344.8614	-9	-0.1564	0.9877	10.8508	-53.9363	340.6196
7	179.5699	-19	-0.3256	0.9455	11.3468	-58.4680	169.7833
8	45.1938	-30	-0.5000	0.8660	12.3756	-22.5969	39.1379
					95.4127	480.9628	2528.2210

$F_s = 17.67$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilaksanakan dengan sampel campuran tanah lempung 90% dan pasir 10% maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai angka kemanan (FS) tergantung dari sifat fisik/mekanik tanah , yaitu :
 - Sudut geser (Φ)
 - Kohesi/daya ikat tanah (c)
 - Berat isi (γ)
 - Susunan tanah/batuan serta sudut lereng
2. Dari nilai angka keamanan yang didapatkan dapat dikatakan lereng cukup stabil.
3. Pada saat meja getar digetarkan, terjadi perpindahan butiran pada campuran sampel tanah, namun perpindahan yang terjadi tidak begitu besar, dikarenakan meja getar digetarkan secara manual, dengan percepatan yang bervariasi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Bowles, J. E., (1984), "*Foundation Analysis and Design*", McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Das, Braja M, (1995), (translated by Mochtar.N.E and Mochtar I.B.), "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid I", Jakarta, Erlangga.