

PENGARUH VARIASI KEPADATAN PADA PERMODELAN FISIK MENGUNAKAN TANAH PASIR BERLEMPUNG TERHADAP STABILITAS LERENG

Herlien Indrawahyuni, As'ad Munawir, Ifone Damayanti
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT. Haryono 16, Malang 65145, Indonesia
Email : iponk_jaya@yahoo.com

ABSTRAK

Ketidakstabilan suatu lereng dapat menyebabkan bahaya kelongsoran yang merugikan banyak pihak. Untuk mencegah bahaya kelongsoran itu maka diperlukan suatu upaya untuk meningkatkan stabilitas lereng tersebut yaitu dengan peningkatan kepadatan dari tanah tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kepadatan dan jenis tanah terhadap beban maksimum yang dapat ditahan oleh tanah yang dibentuk model lereng. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model lereng dalam sebuah box (*embankments*) yang sederhana kemudian diberi beban menggunakan dongkrak hidrolik. Tanah yang digunakan adalah tanah pasir berlempung dengan indeks plastisitas 18 %. Variasi kepadatan yang dilakukan adalah dengan cara menggilas menggunakan silinder beton sebanyak 0 kali (tanpa pemadatan), 5 kali gilasan, 10 kali gilasan, 15 kali gilasan, dan 20 kali gilasan. Masing-masing pemadatan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Pada penelitian ini juga dilakukan uji kuat geser langsung untuk mengetahui nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ), dan uji kepadatan dengan *Sand Cone* untuk mengetahui berat volume kering tanah (γ_d). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan variasi jumlah lintasan penggilas menyebabkan peningkatan berat volume kering dan kemampuan menahan beban eksisting. Selain itu nilai kohesi dan sudut geser dalam yang ada juga mengalami peningkatan. Dari penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kepadatan yang berupa variasi jumlah lintasan penggilas berpengaruh terhadap peningkatan nilai berat volume kering (γ_d), kemampuan menahan beban hancur (eksisting) serta parameter kekuatan geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Dan dapat dikatakan bahwa model lereng yang ditingkatkan kepadatannya akan lebih stabil, untuk tidak mengalami keruntuhan karena pengaruh beban luar (eksisting) tersebut.

Kata kunci : kepadatan, pasir berlempung, permodelan fisik,

PENDAHULUAN

Adanya beban-beban gravitasi luar seperti bangunan-bangunan rumah, gedung, atau jembatan serta rembesan (*seepage*) pada lereng tanah cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). Ketidakstabilan pada lereng alami, ataupun lereng galian dan lereng timbunan ini dapat menyebabkan resiko kelongsoran yang tentunya dapat mengakibatkan terjadinya musibah atau bencana alam yang banyak memakan korban jiwa maupun material.

Untuk mencegah terjadinya bahaya kelongsoran dan memperoleh solusi yang aman, maka perlu diadakan investigasi yang cermat terhadap kondisi kestabilan lereng dari suatu jenis tanah. Dalam hal ini simulasi model lereng dari suatu jenis tanah diperlukan untuk mengetahui bentuk bidang longsor yang terjadi pada lereng tersebut. Bentuk bidang longsor yang terjadi bisa bermacam-macam, dapat berupa lingkaran, kurva bukan lingkaran, translasi, atau bentuk gabungan dari tipe-tipe tersebut. Pengamatan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi keruntuhan lereng seperti sudut kemiringan lereng, ketinggian lereng atau

jenis tanah, kepadatan dan sifat-sifat fisik tanah lainnya juga perlu dilakukan, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap tipe keruntuhan bidang longsor yang terjadi.

Setelah itu perhitungan stabilitas lereng dilakukan guna memeriksa keamanan dari lereng tersebut. Proses yang perlu dilakukan dalam pemeriksaan adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan tergelincir terhadap kuat geser yang dimiliki dari tanah yang ditinjau. Proses ini dinamakan analisis stabilitas lereng. Sedangkan nilai perbandingan antara kuat geser yang dimiliki tanah dengan tegangan geser yang terjadi dikenal dengan **angka keamanan** (*safety factor*) atau **FS**.

Untuk keperluan tersebut maka peneliti ingin menyelidiki hubungan salah satu faktor yang mempengaruhi keruntuhan lereng yaitu kepadatan tanah dan juga jenis tanah terhadap stabilitas lereng. Karena seperti kita ketahui peningkatan kepadatan tanah atau pemadatan tanah berfungsi meningkatkan kekuatan tanah. Pemadatan tanah juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*). Penyelidikan ini diwujudkan dalam pembuatan suatu model lereng tanah dengan variasi kepadatan yang diberi beban luar hingga terjadi keruntuhan. Selanjutnya, gambaran bidang longsor pun dapat dilihat dan diamati serta didapatkan juga nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh model lereng tersebut. Setelah itu hasil penelitian dianalisis dan dilihat bagaimana hubungan antara kepadatan dan jenis tanah dengan beban eksisting maksimum yang dapat ditahan. Nilai beban maksimum yang dapat ditahan ini tentunya sangat erat kaitannya dengan nilai angka keamanan yang mewakili stabilitas suatu lereng. Karena nilai beban maksimum tersebut

merupakan faktor yang berpengaruh didalam analisis perhitungan angka keamanan.

Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, dan jumlah serta jenis mineral yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap harga volume kering maksimum tersebut.

Tingkat kepadatan tanah diukur dengan berat volume kering tanah yang dipadatkan. Sehingga nilai dari berat volume kering tanah ini yang nantinya dihubungkan dengan nilai beban eksisting maksimum yang dapat ditahan.

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut :

- Penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Universitas Brawijaya yang meliputi uji-uji berat jenis, uji geser langsung tanah yang diuji, uji batas-batas Atterberg serta uji pembebanan hingga mencapai keruntuhan.
- Penelitian dilakukan pada suhu kamar 25° .
- Tanah yang digunakan adalah tanah homogen isotropis, berupa tanah urugan dengan jenis tanah pasir berlempung dengan symbol SC menurut sistem *unified*.
- Penelitian tidak termasuk rembesan air dalam tanah yang diujicobakan.
- Sudut kemiringan lereng ditetapkan 60°
- Ketinggian model lereng 45 cm
- Penempatan beban hanya pada satu posisi dan merupakan beban merata
- Pemadatan tanah ditetapkan dengan memberikan 5 variasi jumlah lintasan penggilas dengan 3 kali pengulangan.
- Karena beberapa faktor di lapangan tidak dapat dikondisikan dalam skala permodelan,

sehingga hanya beberapa faktor penting seperti kemiringan lereng, ketinggian lereng dan pembebanan yang dapat dimodelkan.

- Dasar dari model lereng keras, yaitu berupa dasar dari embankment yang digunakan.

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Termasuk jenis kelongsoran apakah yang terjadi pada timbunan dari suatu jenis tanah pasir berlempung?
2. Bagaimana pengaruh variasi kepadatan dan jenis tanah terhadap beban eksisting maksimum yang dapat ditahan?

TUJUAN

Adapun maksud dari penelitian ini untuk mengamati pola keruntuhan yang terjadi pada model lereng timbunan dari jenis tanah pasir berlempung yang mempunyai kepadatan tertentu. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara kepadatan terhadap beban eksisting maksimum yang dapat ditahan dari suatu lereng.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Stabilitas Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak dilindungi biasanya dinamakan sebagai lereng tak tertahan (*unrestrained slope*). Bila permukaan tanah tidak datar, maka komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan lereng akan menyebabkan tanah bergerak kearah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar, kelongsoran lereng dapat terjadi. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan

geser tanah sepanjang bidang longsor. Faktor yang perlu dilakukan dalam pemeriksaan tersebut adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan. Proses ini dinamakan analisis stabilitas lereng (*slope stability analysis*). Lereng dapat tidak stabil akibat dari bencana alam yang berupa banjir, gempa bumi, ataupun gunung meletus. Dilain pihak ketidakstabilan lereng dapat disebabkan lereng yang terlalu tinggi.

Analisis stabilitas lereng harus berdasarkan model yang akurat mengenai kondisi material bawah permukaan, kondisi air tanah dan pembebanan yang mungkin bekerja pada lereng. Tanpa sebuah model geologi yang memadai, analisis hanya dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang kasar sehingga kegunaan dari hasil analisis dapat dipertanyakan.

Menurut Smaalen (1980), penyebab keruntuhan lereng yang potensial tergantung pada :

- a. Sifat fisik tanah (kepadatan, tegangan geser, c dan ϕ)
Dimana nilai-nilai tersebut didapatkan dari tes di laboratorium. Sifat fisik tanah tersebut dapat diubah dengan melakukan pemadatan tanah sehingga nilai-nilai kepadatan, tegangan geser c dan ϕ dapat dinaikkan, tetapi permeabilitas tanahnya menurun.
- b. Tekanan Air Tanah
Dapat ditinjau dari tinggi muka air tanah dan biasanya diasumsikan dalam keadaan kritis.
- c. Pembebanan
Pembebanan yang dilakukan pada sisi atas lereng dimasukkan dalam perhitungan
- d. Bentuk Lereng

Kegunaan dari perhitungan tentu saja untuk menemukan bentuk lereng yang aman

Berdasarkan pernyataan Smaleen tersebut, maka pembentukan model lereng harus memperhatikan hal-hal diatas kecuali pembebanan, agar tidak terjadi keruntuhan lereng sebelum model tersebut diuji.

Analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan nilai faktor keamanan dari bidang longsor yang potensial. Asumsi yang dipakai dalam analisis tersebut yaitu :

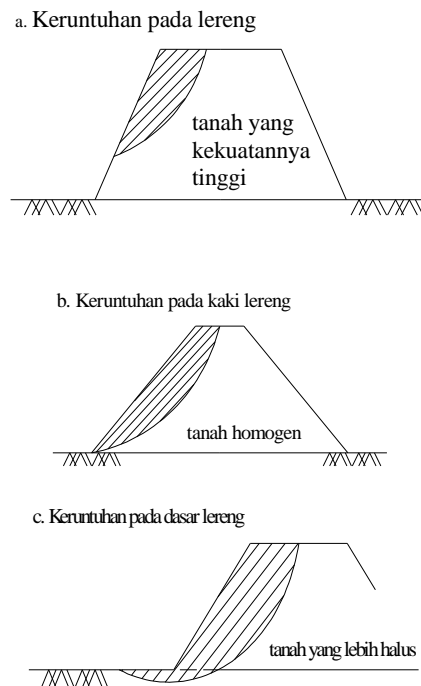
- a. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- b. Masa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang massif
- c. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- d. Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan kuat geser rata-rata dari tanah dengan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial. Jadi, lereng dalam keadaan akan longsor pada saat angka keamanan $F_s = 1$. Umumnya, harga 1,5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser dapat diterima untuk perencanaan stabilitas lereng

Tipe Keruntuhan Lereng

Penyelidikan yang pernah diadakan di Swedia menegaskan bahwa bidang keruntuhan lereng tanah menyerupai bentuk busur lingkaran Tipe keruntuhan lereng yang normal terjadi dapat dibagi atas :

1. Keruntuhan pada lereng (*slope failure*)
2. Keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*)
3. Keruntuhan dibawah kaki lereng (*base failure*)

Keruntuhan pada lereng (*slope failure*) terjadi karena sudut lereng sangat besar dan tanah yang dekat dengan kaki lereng tersebut memiliki kekuatan yang tinggi. Keruntuhan pada kaki lereng terjadi ketika tanah yang berada di atas dan di bawah kaki lereng bersifat homogen. Sedangkan keruntuhan dasar lereng terutama diakibatkan sudut lereng yang kecil dan tanah yang berada di bawah kaki lereng lebih halus dan lebih plastis daripada tanah di atasnya



Gambar 1. Tipe-tipe Keruntuhan PadaLereng
(Sumber : Murthy, 1977: 500)

Angka Keamanan

Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya geser yang

menahan kelongsoran dan gaya yang menggerakkan atau menyebabkan kelongsoran. Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor, F adalah faktor keamanan

Menurut teori Mohr-Coulomb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsor dinyatakan oleh :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (1)$$

Dengan c = kohesi, σ = tegangan normal, dan ϕ = sudut geser dalam tanah. Nilai-nilai c dan ϕ adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor.

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya:

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \dots\dots\dots(2)$$

dengan c_d dan ϕ_d adalah kohesi dan sudut geser dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsohnya.

Substitusikan persamaan (1) dan (2) maka diperoleh persamaan faktor aman,

$$F = \frac{c + \sigma}{c_d + \sigma} \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan (2) dapat pula dituliskan dalam bentuk :

$$c_d + \sigma \tan \phi_d = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (4)$$

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan oleh: F_c dan F_ϕ , dengan F_c = faktor aman pada komponen kohesi dan F_ϕ = faktor aman pada komponen geser dalam tanah. Umumnya faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2.

Untuk suatu bidang longsor yang ditinjau yang berbentuk busur lingkaran yang melalui lapisan tanah dimana tahanan

gesernya terdiri tahanan kohesi, sudut geser dalam dan tegangan efektif maka metode yang pas digunakan adalah metode potongan Fellenius (*Swedish Circle Method*). Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsohnya. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah :

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \dots\dots\dots (5a)$$

Atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \dots\dots\dots(5b)$$

$$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \dots\dots\dots(5c)$$

Dimana faktor aman didefinisikan sebagai, F dengan

M_r = Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor

M_d = Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \dots\dots\dots (6)$$

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke-i

θ_i = sudut

Dengan cara yang (2-4) momen yang menahan tanah yang akan longsor, adalah

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^n (c a_i + N_i \tan \phi) \dots\dots\dots(7)$$

Karena itu, persamaan untuk faktor keamanannya menjadi,

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (c a_i + N_i \tan \phi)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(8)$$

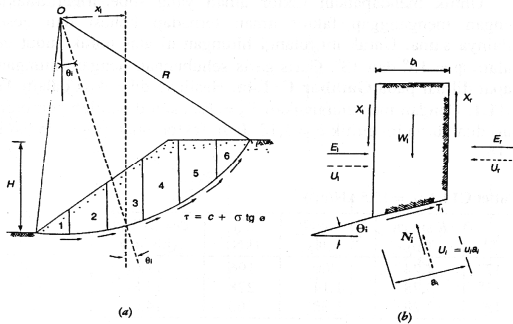
Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_d , karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi

persamaan (1-7) ke persamaan (1-10) diperoleh,

$$F = \frac{\sum (c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \tan \phi)}{\sum W_i \sin \theta_i} \dots\dots(9)$$

Dengan :

- F = faktor aman
 - c = kohesi tanah
 - ϕ = sudut geser dalam tanah
 - a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke -i
 - W_i = berat irisan tanah ke-i
 - u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i
 - θ_i = sudut
- (Hardiyatmo, 2003:360)

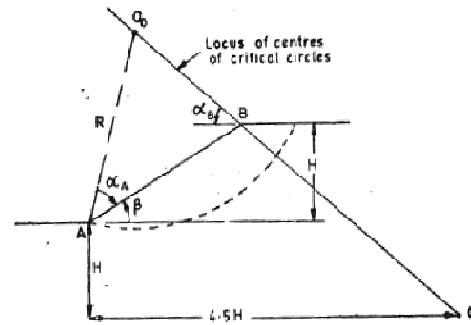


Gambar 2. Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan
(Sumber : Hardiyatmo, 2003:360)

Untuk keperluan praktis, Fellenius memberikan pedoman untuk menentukan pusat lingkaran kritis. Pusat lingkaran kritis akan berada di sepanjang garis OC (**gambar 3**) dimana titik C mempunyai koordinat H dibawah kaki lereng dan 4,5 H horizontal dari kaki lereng. Titik O dapat ditentukan dengan bantuan **Tabel 1**.

Tabel 1. Harga-harga α dan β

Kemiringan lereng	Sudut Lereng	α	β
0,6 : 1	60^0	29^0	40^0
1 : 1	45^0	28^0	37^0
1,5 : 1	$33,8^0$	26^0	35^0
2 : 1	$26,6^0$	25^0	35^0
3 : 1	$18,4^0$	25^0	35^0
5 : 1	$11,3^0$	25^0	35^0



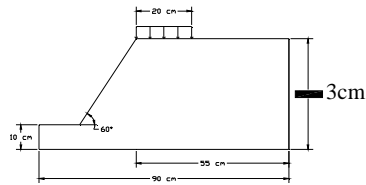
Gambar 3. Tempat Kedudukan Pusat Lingkaran Kritis
(Sumber : Murthy, 1977:504)

METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Jenis Tanah
Identifikasi jenis tanah ini terdiri dari :
 - Analisis butiran tanah dengan saringan no. 4, 10, 20, 40, 60, 100 dan 200
 - Analisis Hidrometer
 - Uji nilai batas-batas Atterberg untuk penentuan nilai LL, PL dan PI
 - Uji berat jenis untuk mengetahui nilai Gs

2. Pembuatan Model Lereng
Pada penelitian ini dibuat 5 buah benda uji untuk setiap jenis kepadatan lereng, yaitu model lereng tanah pasir yang dicampur dengan sedikit lempung. Dan dilakukan 3 kali pengulangan untuk percobaan pemadatan yang sama. Adapun model yang merupakan benda uji yang akan di buat adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Model Lereng Percobaan

Dalam penelitian ini digunakan kerangka pembebanan atau *embankment* yang terbuat dari pelat baja yang di atasnya terbuka, kecuali sisi depannya terbuat dari kaca dengan ketebalan 8 mm dan sisi belakang terbuat dari pelat baja. Ukuran kerangka tersebut panjang x lebar x tinggi sebesar 90 x 50 x 60 cm³.

3. Pengambilan sampel untuk uji geser langsung untuk mendapatkan nilai c dan ϕ
4. Pengambilan sampel untuk uji kadar air dan sandcone untuk mendapatkan nilai γ_d
5. Pengujian beban dengan menggunakan dongrak hidrolik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Bahan

Adapun hasil dari identifikasi jenis tanah adalah sebagai berikut :

- Berat Jenis = 2,63
- Batas Cair = 55,8 %
- Indeks Plastis = 18 %
- Komposisi Pasir = 70 %
- Komposisi Lempung = 30 %
- Kadar air rata-rata = 9,4 %

Dengan data seperti yang disebutkan diatas, maka berdasarkan system *Unified* tanah digolongkan tanah jenis pasir berlempung dengan symbol *SC*.

Hasil Penelitian

Tabel 2. Kohesi

Ket.	Hasil Test Direct Shear (Kohesi)			c (kg/cm ²) rata-rata
	c ₁ (kg/cm ²)	c ₂ (kg/cm ²)	c ₃ (kg/cm ²)	
Tanpa Pemadatan	0.001	0.008	0.001	0.003
Pemadatan 5x gilasan	0.008	0.008	0.010	0.009
Pemadatan 10x gilasan	0.01	0.013	0.010	0.011
Pemadatan 15x gilasan	0.03	0.030	0.050	0.037
Pemadatan 20x gilasan	0.03	0.034	0.051	0.038

Tabel 3. Sudut Geser Dalam

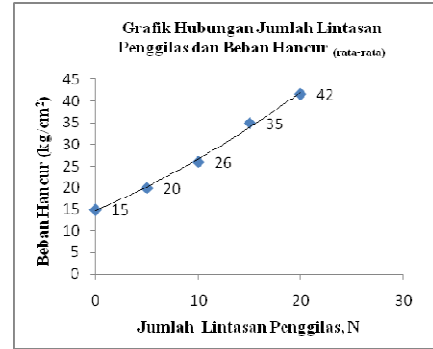
Ket.	Hasil Test Direct Shear (Sudut Geser Dalam)			ϕ (°) rata-rata
	ϕ_1 (°)	ϕ_2 (°)	ϕ_3 (°)	
Tanpa Pemadatan	40.23	39.98	39.90	40.037
Pemadatan 5x gilasan	40	41.48	40.95	40.809
Pemadatan 10x gilasan	40.23	41.99	41.28	41.166
Pemadatan 15x gilasan	41.47	43.47	42.90	42.613
Pemadatan 20x gilasan	43.65	43.90	43.90	43.817

Tabel 4. Kadar Air

Keterangan	Tes Kadar Air			w(%) rata-rata
	w ₁ (%)	w ₂ (%)	w ₃ (%)	
Tanpa Pemadatan	9.16	9.10	8.95	9.07
Pemadatan 5x gilasan	9.21	9.04	9.10	9.12
Pemadatan 10x gilasan	9.26	9.18	9.20	9.21
Pemadatan 15x gilasan	9.54	9.43	9.36	9.44
Pemadatan 20x gilasan	9.89	9.65	9.57	9.70

Tabel 5. Berat Volume Kering Tanah (γ_d)

Keterangan	Hasil Uji Sandcone			γ_d rata-rata (gr/cm^3)
	γ_{d1} (gr/cm^3)	γ_{d2} (gr/cm^3)	γ_{d3} (gr/cm^3)	
Tanpa Pemasatan	1.176	1.158	1.163	1.166
Pemasatan 5x gilasan	1.324	1.322	1.323	1.323
Pemasatan 10x gilasan	1.342	1.342	1.331	1.338
Pemasatan 15x gilasan	1.364	1.370	1.373	1.369
Pemasatan 20x gilasan	1.400	1.392	1.396	1.396



Gambar 5. Grafik Hubungan Jumlah Lintasan Peggilas dengan Beban Hancur

Tabel 6. Beban Luar Maksimum (Beban Hancur)

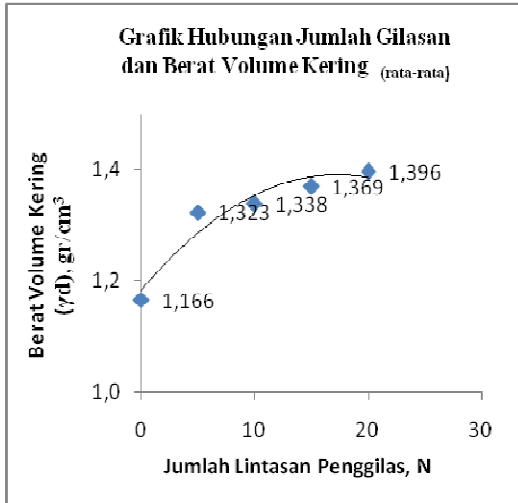
Keterangan	Hasil Uji Beban			q rata-rata (kg/cm^2)
	q_1 (kg/cm^2)	q_2 (kg/cm^2)	q_3 (kg/cm^2)	
Tanpa Pemasatan	15	15	15	15
Pemasatan 5x gilasan	22	18	20	20
Pemasatan 10x gilasan	28	23	25	26
Pemasatan 15x gilasan	35	35	35	35
Pemasatan 20x gilasan	43	40	42	42

Meningkatnya kemampuan tanah dalam menahan beban hancur yang disebabkan oleh peningkatan jumlah gilasan, berkaitan dengan terjadinya perubahan nilai berat volume kering tanah. Peningkatan jumlah gilasan tanah yang diberikan menyebabkan meningkatnya berat volume kering tanah yang ada. Hal ini dapat dilihat dari grafik pada gambar . Perlu diketahui bahwa pada tahun 1960, Johnson dan Sallberg telah meneliti mengenai hubungan jumlah lintasan penggilas dengan berat volume kering. **Gambar 7.** menunjukkan kurva kepadatan tanah terhadap jumlah lintasan penggilas. Berat volume kering dari tanah pada kadar air tertentu akan meningkat (dengan makin bertambahnya jumlah lintasan penggilas) sampai pada suatu titik tertentu. Setelah itu, kepadatan tanah akan menjadi konstan. Umumnya pada 10 sampai 15 lintasan sudah akan menghasilkan berat volume kering maksimum yang secara ekonomis dapat dicapai.

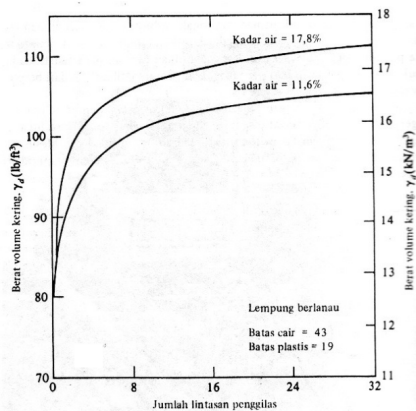
Pembahasan

Hubungan Variasi Kepadatan Tanah terhadap Beban Maksimum yang Dapat Ditahan (Beban Hancur)

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semakin banyak jumlah lintasan penggilas yang diberikan pada tanah maka semakin tinggi kemampuan tanah menahan beban hancur. Hal ini dapat terlihat dari grafik pada **Gambar 5.**



Gambar 6. Grafik Hubungan Jumlah Lintasan Penggilas dan Berat Volume Kering

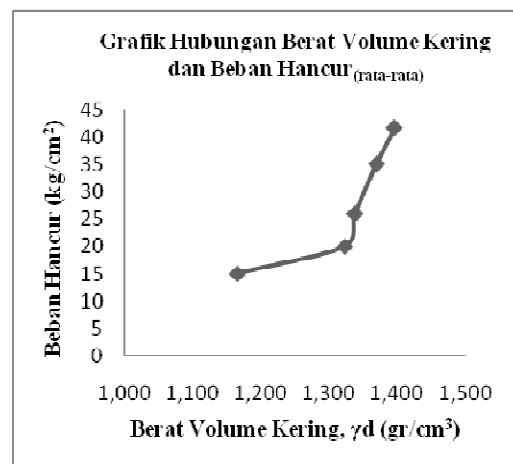


Gambar 7. Kurva kepadatan untuk tanah lempung berlanau; hubungan antara berat volume kering dan jumlah lintasan penggilas tiga-roda dengan berat 9,5 ton (84,5 kN) bilamana tebal lapisan tanah lepas yang dipadatkan adalah 9 inci (228,6 mm) pada kadar air yang berbeda. (Digambar lagi menurut Johnson dan Sallberg, 1960).

Tabel 7. Perbandingan Berat Volume Kering Tanah dan Beban Hancur

Keterangan	γ_d (gr/cm ³)	q (kg/cm ²)
Tanpa Pemadatan	1.166	15
Pemadatan 5x gilasan	1.323	20
Pemadatan 10x gilasan	1.338	26
Pemadatan 15x gilasan	1.369	35
Pemadatan 20x gilasan	1.396	42

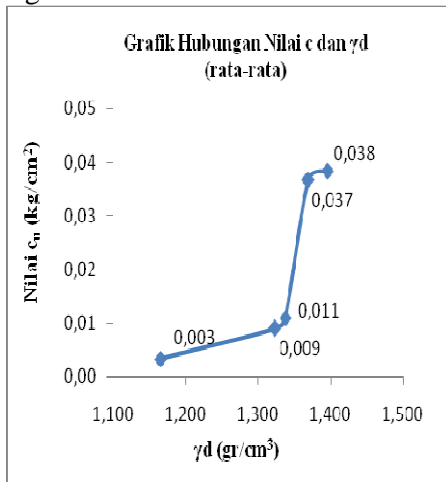
Peningkatan berat volume kering tanah ini menunjukkan kedudukan butiran akan lebih rapat atau lebih padat sehingga kemampuan tanah dalam menahan beban hingga mencapai keruntuhan tentunya akan meningkat. Hubungan antara jumlah berat volume kering (γ_d) dengan kemampuan tanah menahan beban hancur dapat dilihat pada **Gambar 8**.



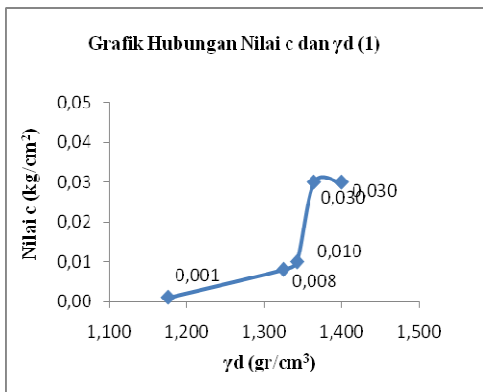
Gambar 8. Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Beban Hancur

Hubungan Tingkat Kepadatan Tanah terhadap Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam Tanah (ϕ)

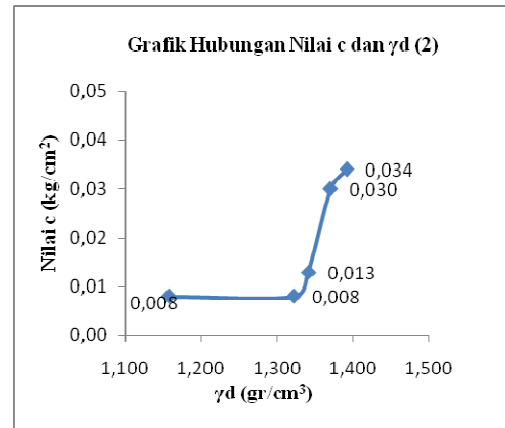
Selain untuk meningkatkan berat volume tanah, usaha pemadatan juga berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan geser tanah. Peningkatan kekuatan geser tanah ini juga berhubungan dengan nilai parameter-parameter dalam kekuatan geser tanah pada tanah seperti kohesi (c) dan sudut geser tahanan tanah (ϕ). Pada nilai kepadatan yang berbeda-beda akan menghasilkan nilai kohesi yang relatif berbeda seperti yang terlihat pada grafik-grafik berikut ini.



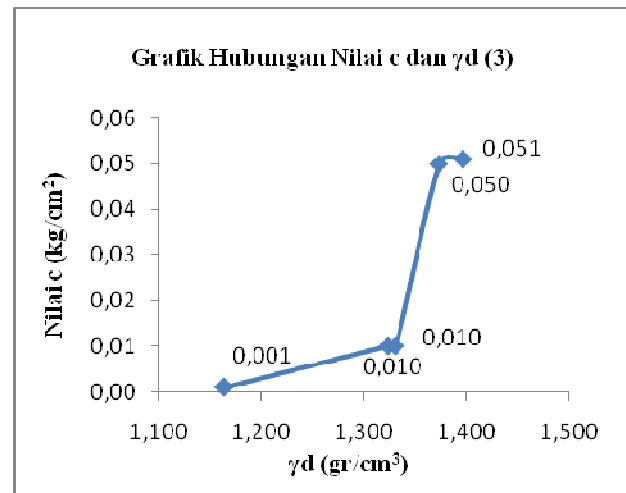
Gambar 9a. Grafik Hubungan Nilai c dan γ_d (rata-rata)



Gambar 9b. Grafik Hubungan Nilai c dan γ_d (pengulangan 1)

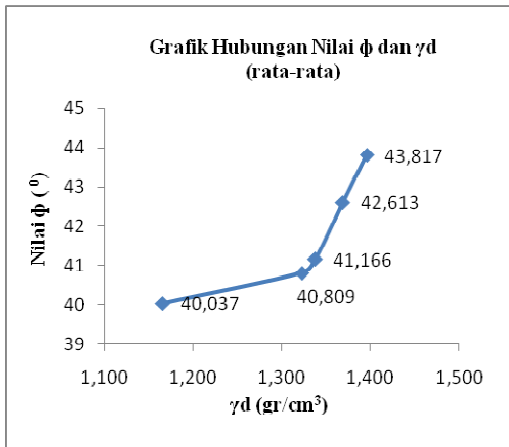


Gambar 9c. Grafik Hubungan Nilai c dan γ_d (pengulangan 2)

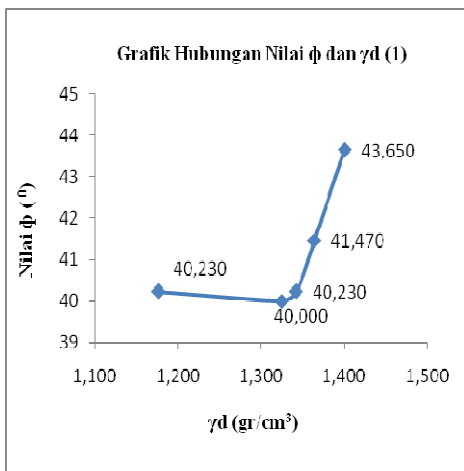


Gambar 9d. Grafik Hubungan Nilai c dan γ_d (pengulangan 3)

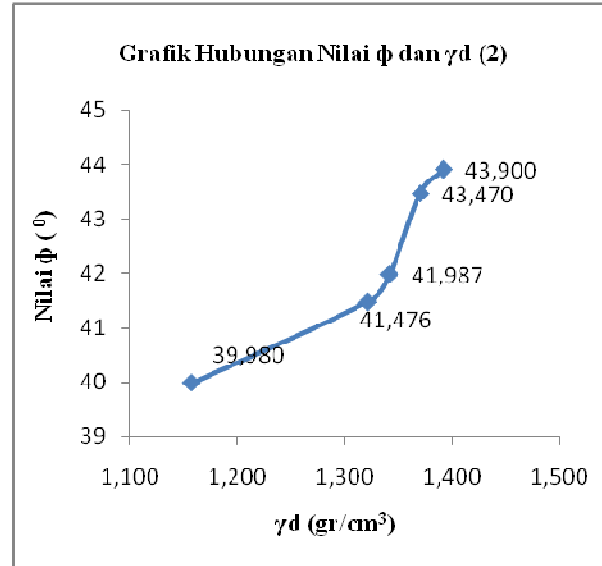
Peningkatan parameter dalam kekuatan geser tanah, juga terjadi pada nilai sudut geser dalam tanah. Nilai sudut geser dalam tanah (ϕ) meningkat secara bertahap sesuai dengan kenaikan tingkat kepadatan tanah (γ_d). Peningkatan nilai sudut geser secara keseluruhan dapat dilihat dari grafik-grafik berikut ini.



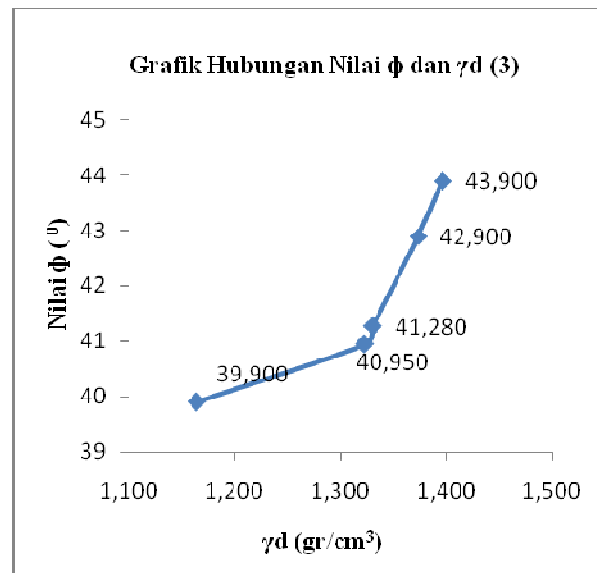
Gambar 10a. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan γ_d (rata-rata)



Gambar 10b. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan γ_d (pengulangan 1)



Gambar 10c. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan γ_d (pengulangan 2)



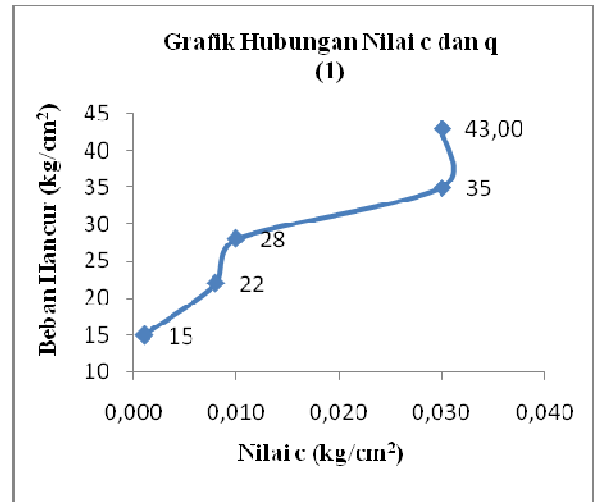
Gambar 10d. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan γ_d (pengulangan 3)

Walaupun secara keseluruhan nilai sudut geser dalam tanah meningkat, tetapi pada percobaan perulangan 1 terjadi penurunan dan juga kesamaan nilai kohesi dimana pada sampel yang sama nilai γ_d -nya terus meningkat.

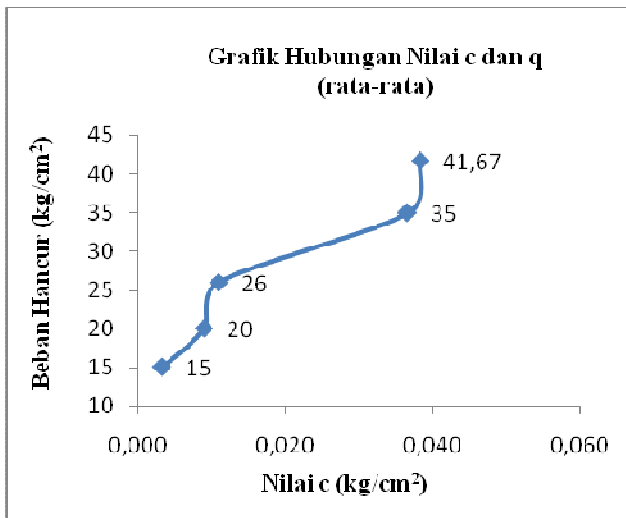
Hubungan Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam Tanah (ϕ) terhadap Kemampuan Beban Hancur

Parameter nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ) yang berhubungan dengan peningkatan kekuatan geser tanah tentunya juga berpengaruh pada stabilitas lereng yang dalam hal ini kemampuan tanah tersebut dalam menahan beban hancur.

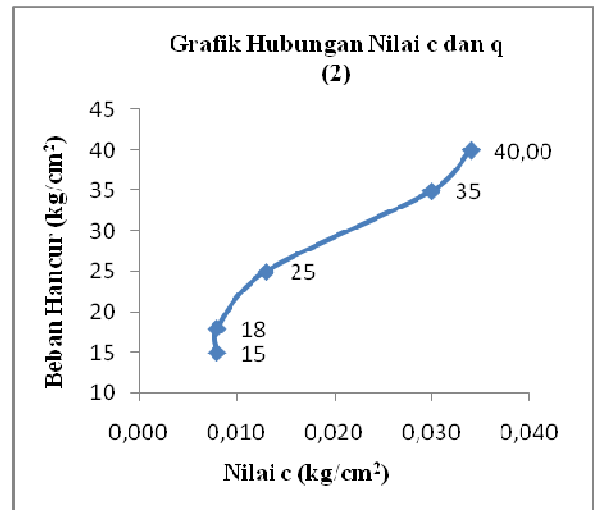
Grafik-grafik berikut ini menunjukkan peningkatan kemampuan dalam menahan beban hancur (q) yang dipengaruhi oleh peningkatan nilai kohesi (ϕ) tanah tersebut.



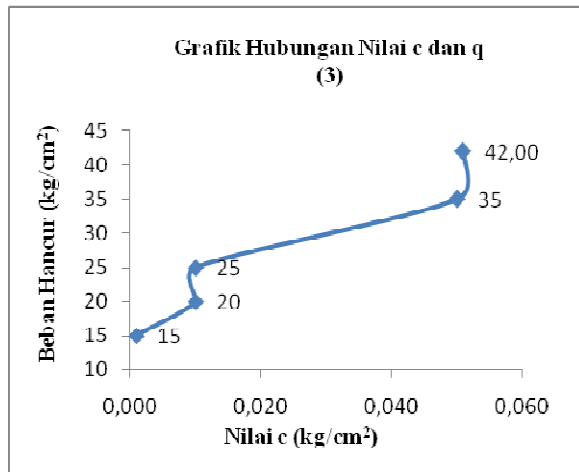
Gambar 11b. Grafik Hubungan Nilai c dan Beban Hancur (pengulangan 1)



Gambar 11a. Grafik Hubungan Nilai c dan Beban Hancur (rata-rata)



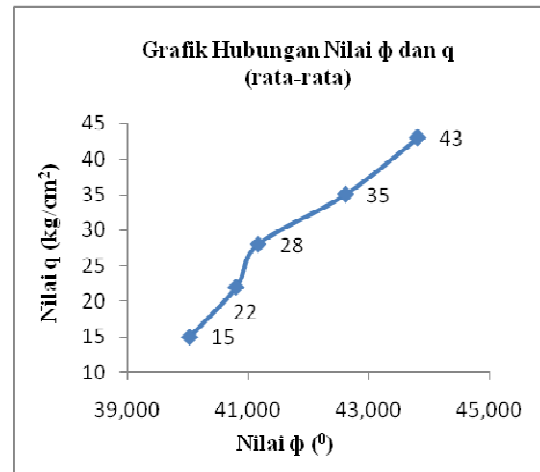
Gambar 11c. Grafik Hubungan Nilai c dan Beban Hancur (pengulangan 2)



Gambar 11d. Grafik Hubungan Nilai c dan Beban Hancur (pengulangan 3)

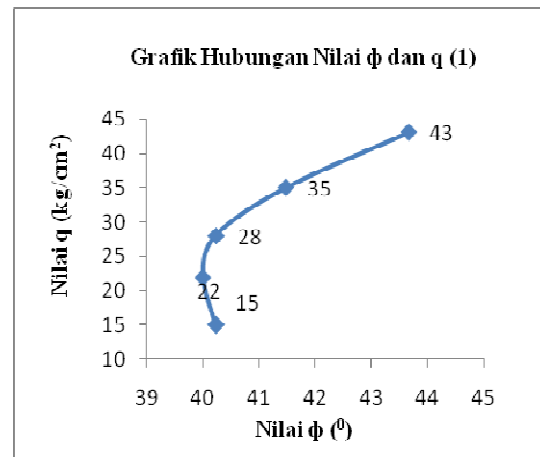
Dari keempat grafik diatas, grafik 11c memiliki bentuk grafik yang berbeda dari 3 grafik yang lainnya. Hal ini diperkirakan dipengaruhi oleh penurunan nilai kadar air yang sempat terjadi pada pengulangan 2 tapi kemudian meningkat lagi, sedangkan pada pengulangan 1 dan pengulangan 3 serta hasil rata-rata (untuk ketiga pengulangan) kadar air tidak pernah turun dan terus meningkat.

Gambar 11b, 11c dan 11d memperlihatkan bahwa untuk nilai c yang sama nilai beban hancur yang ada ternyata berbeda. Hal ini terjadi karena pada nilai c yang tidak mengalami peningkatan atau sama, nilai sudut geser dalamnya meningkat sehingga kekuatan geser tanah tetap meningkat walaupun nilai kohesinya tidak meningkat. Peningkatan sudut geser dalam (ϕ) ini yang mengakibatkan kemampuan tanah dalam menahan beban hancur juga meningkat seperti yang diperlihatkan pada gambar grafik berikut.

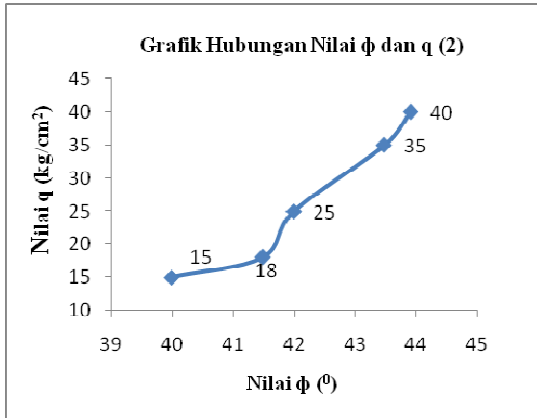


Gambar 12a. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan Beban Hancur (rata-rata)

Nilai-nilai ϕ dan beban hancur (q) yang ditunjukkan pada **gambar 12a.** merupakan nilai rata-rata dari perulangan 1, 2, dan 3. Dari grafik dapat kita lihat bahwa secara keseluruhan nilai beban hancur yang dapat ditahan meningkat seiring dengan peningkatan nilai ϕ -nya.

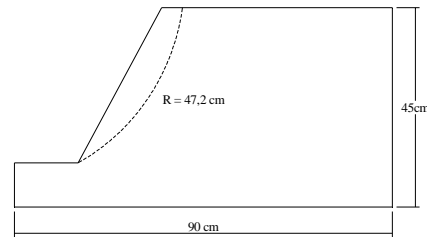


Gambar 12b. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan Beban Hancur (pengulangan 1)

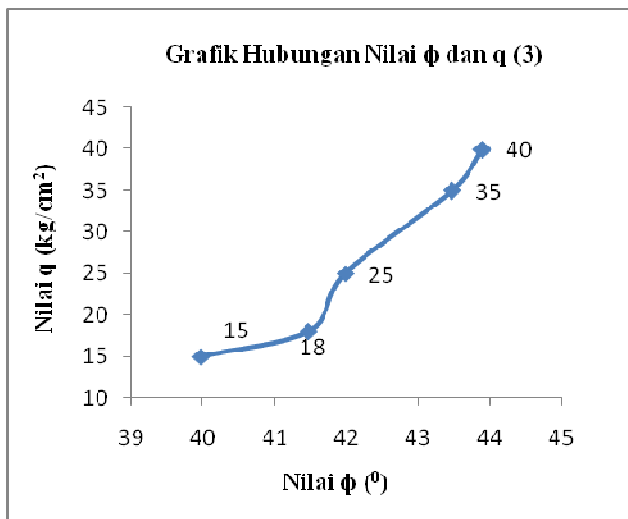


Gambar 12c. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan Beban Hancur (pengulangan 2)

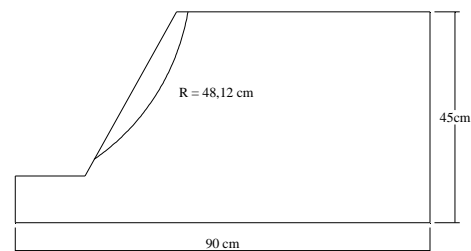
dapat kita lihat pada gambar - gambar berikut.



Gambar 13a. Gambar Bidang Longsor Pada Tanah yang Tidak Dipadatkan



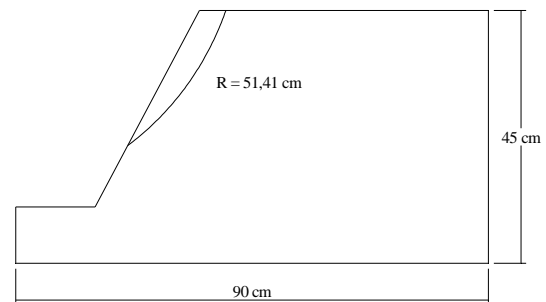
Gambar 12d. Grafik Hubungan Nilai ϕ dan Beban Hancur (pengulangan 3)



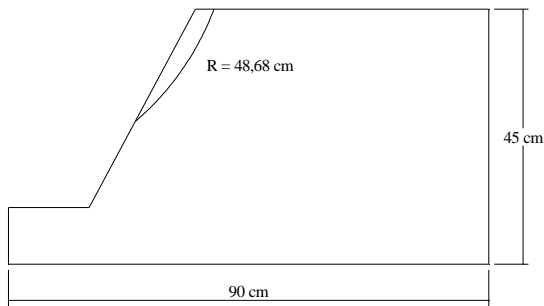
Gambar 13b. Gambar Bidang Longsor Pada Tanah dengan 5 Lintasan Penggilas

Hubungan Tingkat Kepadatan Tanah terhadap Bentuk Kelongsoran Lereng

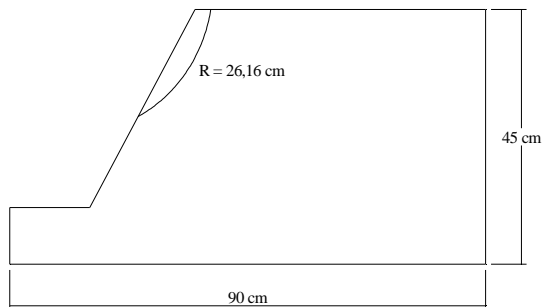
Pada penelitian ini tingkat kepadatan tanah juga berpengaruh terhadap bentuk kelongsoran yang terjadi. Pada tanah yang tidak dipadatkan jenis kelongsoran yang terjadi adalah *toe failure* atau kelongsoran yang terjadi pada kaki lereng. Dan pada tanah yang dipadatkan dengan 5 kali - 20 kali gilasan kelongsoran yang terjadi adalah *slope failure* atau kelongsoran lereng. Hal ini



Gambar 13c. Gambar Bidang Longsor pada Tanah dengan 10 Lintasan Penggilas



Gambar 13d. Gambar Kelongsoran pada Tanah dengan 15 Lintasan Penggilas



Gambar 13e. Gambar Bidang Longsor pada Tanah dengan 20 Lintasan Penggilas

Analisis Angka Keamanan

Analisis angka keamanan pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil penelitian (nilai berat volume kering (γ_d), nilai kohesi (c), nilai sudut geser dalam (ϕ), dan pola bidang longsor) dengan hasil perhitungan angka keamanan. Analisis angka keamanan dilakukan dengan menggunakan *metode Fellenius*. Dari analisis perhitungan angka keamanan ini didapatkan nilai angka keamanan untuk setiap model lereng dengan tingkat kepadatan berbeda sebagai berikut :

Tabel 8. Nilai Angka Keamanan Model Lereng dengan Beban Luar (Laboratorium)

No	Keterangan Pemadatan	Angka Keamanan
1	Tanpa Pemadatan	0,342
2	5 kali lintasan penggilas	0,304
3	10 kali lintasan penggilas	0,483
4	15 kali lintasan penggilas	0,563
5	20 kali lintasan penggilas	0,475

Tabel 9. Nilai Angka Keamanan Model Lereng dengan Beban Luar (Teoritis)

No	Keterangan Pemadatan	Angka Keamanan
1	Tanpa Pemadatan	0,760
2	5 kali lintasan penggilas	0,812
3	10 kali lintasan penggilas	0,828
4	15 kali lintasan penggilas	1,015
5	20 kali lintasan penggilas	1,053

Tabel 10. Nilai Angka Keamanan Model Lereng tanpa Beban Luar (Teoritis)

No	Keterangan Pemadatan	Angka Keamanan
1	Tanpa Pemadatan	1,597
2	5 kali lintasan penggilas	1,597
3	10 kali lintasan penggilas	1,629
4	15 kali lintasan penggilas	1,826
5	20 kali lintasan penggilas	1,952

Nilai-nilai angka keamanan pada **tabel 8, 9 dan 10** didapat dengan cara memasukan nilai c , ϕ , dan γ_d yang berasal dari hasil penelitian ini. Untuk perhitungan nilai faktor keamanan pada **tabel 8**, pola bidang longsor yang digunakan adalah pola bidang longsor yang terjadi pada saat penelitian dilakukan seperti pada **gambar 13a, 13b, 13c, 13d dan 13e**. Sedangkan untuk perhitungan pada **tabel 9 dan 10**, pola bidang longsor yang digunakan adalah pola bidang longsor teoritis sesuai dengan teori Fellenius, hanya saja pada **tabel 10** nilai beban luar tidak dimasukkan.

Dari **tabel 8** dapat kita lihat bahwa tingkat kepadatan tanah yang mempengaruhi nilai c , ϕ , dan γ_d serta nilai q dan pola bidang longsor yang terjadi berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Untuk setiap tingkat kepadatan yang berbeda-beda angka keamanannya juga berbeda-beda.

Sedangkan dari **tabel 9 dan 10** dapat dilihat bahwa tingkat stabilitas lereng secara teoritis meningkat sebanding dengan peningkatan nilai c , ϕ , dan γ_d yang ada pada tanah. Dimana peningkatan nilai c , ϕ , dan γ_d disebabkan karena adanya variasi tingkat kepadatan. Sehingga dapat dikatakan bahwa tingkat kepadatan tanah akan berpengaruh terhadap tingkat stabilitas lereng tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengaruh variasi kepadatan pada permodelan fisik menggunakan tanah pasir dicampur dengan sedikit lempung dengan (komposisi pasir 70%, lempung 30%) terhadap stabilitas lereng ini telah menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis kelongsoran yang terjadi adalah *slope failure*, kecuali

untuk lereng yang tidak dipadatkan

2. Peningkatan Jumlah lintasan penggilas (N) dapat meningkatkan berat volume kering tanah (γ_d)
3. Peningkatan kepadatan tanah dapat meningkatkan tingkat kohesi tanah (c) dan nilai sudut geser dalam tanah (ϕ)
4. Peningkatan nilai γ_d , c , dan ϕ berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan menahan beban luar
5. Peningkatan nilai γ_d , c , dan ϕ berpengaruh terhadap tingkat stabilitas lereng
6. Peningkatan kepadatan tanah berpengaruh terhadap peningkatan nilai angka keamana
7. Peningkatan variasi kepadatan berpengaruh meningkatkan stabilitas lereng yang ditandai dengan peningkatan nilai angka keamanan lereng (SF)

Saran

Analisis penelitian ini belum meliputi semua kondisi yang ada di lapangan, maka dari itu untuk yang akan datang diharapkan penelitian ini :

1. Menggunakan kadar air yang sama atau menggunakan kadar air optimum (OMC) karena pada penelitian ini kadar air setiap percobaan berbeda-beda atau tidak konstan
2. Memberikan rembesan pada model lereng
3. Memberikan genangan air pada bagian luar sisi yang berlereng
4. Sebaiknya peralatan yang digunakan pada penelitian harus dalam kondisi yang baik karena selama penelitian ini terdapat kerusakan pada

- beberapa alat seperti dongkrak hidrolis yang bocor
5. Melakukan pengulangan percobaan yang lebih banyak lagi agar memperoleh tingkat validitas yang tinggi.
 6. Menggunakan metode pemadatan yang lain karena pada penelitian ini hanya dilakukan metode pemadatan dengan cara menggilas menggunakan silinder beton. Diharapkan untuk selanjutnya bisa menggunakan metode pemadatan dengan menumbuk menggunakan alat *proctor* yang dimodifikasi.
 7. Memberikan variasi kepadatan yang lain karena pada penelitian ini hanya menggunakan 5 variasi kepadatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2008). **PE Refresh Course Geotechnical Component.** (<http://www.ce.washington.edu/geotech>) : University of London.
- Bowoputro, H. (1999). **Analisa Stabilitas Lereng dengan Perbandingan Hasil antar Metode Irisan Sederhana, Metode Fellinius, dan Metode Bishop dengan Model Lereng yang diberi Beban Luar.** Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Craig, R.F. (1994). **Mekanika Tanah.** Jakarta : PT. Erlangga.
- Das, Braja M. (1984). **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis** Jilid 1. PT. Erlangga, Jakarta
- Das, Braja M. (1984). **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis).** Jilid 2. PT. Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H.Christady. (1994). **Mekanika Tanah 1.** PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hardiyatmo, H. Christady. (1994). **Mekanika Tanah 2.** PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Murthy, V.N.S. (1977) **Soil Mechanics and Foundation Engineering.** Dahnpat Rai & Sons, New Delhi