

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN DAN JUMLAH LAPISAN
PERKUATAN GEOGRID PADA LERENG PASIR RC 85%
TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DENGAN PONDASI
MENERUS**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RANI RABBANI

NIM. 125060101111014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Sudut Kemiringan dan Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid pada Lereng Pasir RC 85% terhadap Daya Dukung Tanah dengan Pondasi Menerus”**.

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat kelulusan yang harus dipenuhi oleh mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk meraih gelar sarjana serta diharapkan dapat menjadi sumbangsih bagi ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil khususnya bidang Geoteknik.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan. Maka dari itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ir. Sugeng P. Budio, MS dan Ir. Siti Nurlina, MT, selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang sangat membantu kelancaran tugas akhir ini.
2. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang sangat membantu kelancaran tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. As'ad Munawir dan Ir. Harimurti, MT selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi saran serta masukan kepada penulis.
4. Eko Andi Suryo, ST, MT, Ph.D, Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng, MT, Dr. Ir. Arief Rachmansyah, Dr.Eng. Yulvi Zaika, MT selaku dosen geoteknik yang telah meluangkan waktu memberi saran serta masukan kepada penulis.
5. Dr.Eng. Achfas Zacoeb, ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
6. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan
7. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan penulis.
8. Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku pihak dari Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu penulis.
9. Pak Ketut selaku Wakalab Mekanika tanah yang telah membantu penulis

10. Kedua orang tua penulis serta kakak dan adik yang telah memberikan dukungan secara penuh baik mental maupun materiil.
11. Faisal, Danu, Anas, Zulfikar, Tosar, Arrizal, dan Atika yang merupakan satu tim dimana saling membantu satu sama lain dan bekerja keras hingga kita dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Dan semua teman-teman Teknik Sipil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dan telah sangat membantu penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis pun menyadari bahwa penulis tidak terlepas dari kekurangan dan keterbatasan. Begitupun dalam penyusunan tugas akhir ini, dengan kerendahan hati penulis menantikan adanya masukan, baik berupa saran maupun kritik yang dapat bersifat membangun guna penyusunan laporan-laporan yang akan datang.

Akhir kata penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan semua pihak yang memerlukan.



Malang, 2016

Penulis

RINGKASAN

Rani Rabbani, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2016, *Pengaruh Sudut Kemiringan dan Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid pada Lereng Pasir RC 85% terhadap Daya Dukung Tanah dengan Pondasi Menerus*, Dosen Pembimbing : As'ad Munawir dan Harimurti.

Lereng yang tidak stabil berbahaya terhadap lingkungan di sekitarnya karena dapat menyebabkan terjadinya longsor. Untuk mencegah hal tersebut, perlu dilakukan upaya perkuatan tanah pada lereng. Konsep dari teknik perkuatan tanah pertama kali memakai lembaran metal sebagai perkuatan tanah. Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan lembaran metal sebagai perkuatan tanah diganti material geosintetik seperti geotekstil dan geogrid. Penggunaan geosintetik sudah banyak diaplikasikan ke dalam berbagai macam-macam konstruksi seperti dam, jalan, dinding penahan, dan khususnya konstruksi lereng.

Pada penelitian ini dilakukan uji model fisik lereng dengan perkuatan geogrid. Variasi yang diterapkan pada pengujian sampel lereng berupa sudut kemiringan lereng dan jumlah lapisan perkuatan geogrid. Tujuan utama dari penelitian ini adalah membandingkan daya dukung tanah pada lereng pasir tanpa perkuatan terhadap daya dukung tanah lereng pasir yang diberi perkuatan. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan lereng menggunakan pasir bergradasi buruk dengan RC 85%. Tahap awal pembuatan lereng adalah dengan membuat tujuh lapisan tanah pasir sesuai dengan kepadatan yang direncanakan dengan tinggi 10 cm dan berat tanah yang dimasukkan sesuai dengan kontrol volume tanah. Setelah semua lapisan dipadatkan, kemudian dipotong sesuai dengan variasi sudut yang akan diteliti. Pondasi diletakkan diatas lereng sesuai dengan jarak pondasi yang akan diteliti. Pembebanan diterapkan menggunakan dongkrak hidrolik. Pembacaan beban dan penurunan pondasi dilihat melalui load cell dan LVDT. Pembacaan beban dan penurunan dilakukan tiap kenaikan 5 kg beban sampai lereng mengalami keruntuhan. Metode yang sama diterapkan juga untuk lereng dengan variasi lapisan perkuatan geogrid, dengan jarak vertikal antara geogrid sebesar 3 cm.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin kecil sudut kemiringan lereng maka akan semakin besar nilai daya dukungnya dan semakin banyak jumlah lapisan perkuatan geogrid maka akan semakin besar pula nilai daya dukungnya. Dari hasil analisis BC1u menunjukkan bahwa peningkatan daya dukung terbesar terletak pada sudut kemiringan 46° dengan jumlah lapisan perkuatan geogrid sebanyak 3 lapisan. Sehingga pada penelitian ini tidak ditemukan variasi perkuatan geogrid yang paling optimum.

Kata kunci : daya dukung, lereng pasir, perkuatan geogrid, variasi sudut kemiringan, variasi lapisan perkuatan

SUMMARY

Rani Rabbani, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2016, *Effect of Slope Angle and the Number of Geogrid Reinforcement Layers on Sand Slope with 85% RC for Soil Bearing Capacity with Strip Footing*, Academic Supervisor : As'ad Munawir and Harimurti.

Unstable slopes are risky to the surrounding environment as it can cause landslides. To prevent this, it is necessary to make soil reinforcement. The first concept of soil reinforcement technique was put on the sheet metal as soil reinforcement. Along with the development of technology, the use of sheet metal as soil reinforcement is replaced by geosynthetic material such as geotextiles and geogrids. The use of geosynthetic has been applied into various kinds of construction such as dams, roads, retaining walls, and slope construction.

This research made physical model test of slope with geogrid reinforcement. The applied variations of this research are slope angle and the number of layers of geogrid reinforcement. The main objective of this research was to compare the soil bearing capacity of sand slope without reinforcement and the sand slope with reinforcements. This research was conducted by modelling the slopes using poorly graded sand with a relative compaction of 85%. The first step of this research was to make the seven layers of soil according to the planned density with the height of 10 cm and the weight of soil that entered the box in accordance with the volume control of soil. After compacting the soil, then cut the soil according to the variation of slope angle that was researched. The foundation placed on slope according to the distance of the foundation that was researched. Loading test was applied using hydraulic jack. The reading of the load and the settlement of foundation viewed through load cell and LVDT. The reading of the load and the settlement were done every 5 kg of load until the collapse of slope. The same method was applied to the slopes with various layers of geogrid reinforcement with vertical spacing between geogrid by 3 cm.

From the results of this research, it was found out that the smaller the angle of slope the greater the value of soil bearing capacity and the more the number of layers of geogrid reinforcement, the greater the value of its soil bearing capacity. The analysis of BCIu showed that the highest increment of soil bearing capacity was found in the slope angle of 46° with the number of layers of geogrid reinforcement were 3 layers. So this research could not determine the optimum variation of geogrid reinforcement.

Keywords : soil bearing capacity, sand slope, geogrid reinforcement, slope angle variation, number of layers of reinforcement variation

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pasir	7
2.1.1. Karakteristik Tanah Pasir	7
2.1.2. Klasifikasi Pasir Berdasarkan <i>Unified</i> (U.S.C.S)	9
2.1.3. Kepadatan Relatif Pasir	9
2.2. Lereng	10
2.3. Pondasi Dangkal	11
2.3.1. Tekanan Kontak	11
2.3.2. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi pada Lereng	12
2.3.3. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi pada Lereng dengan Perkuatan	12
2.4. Teori Daya Dukung Pondasi	14



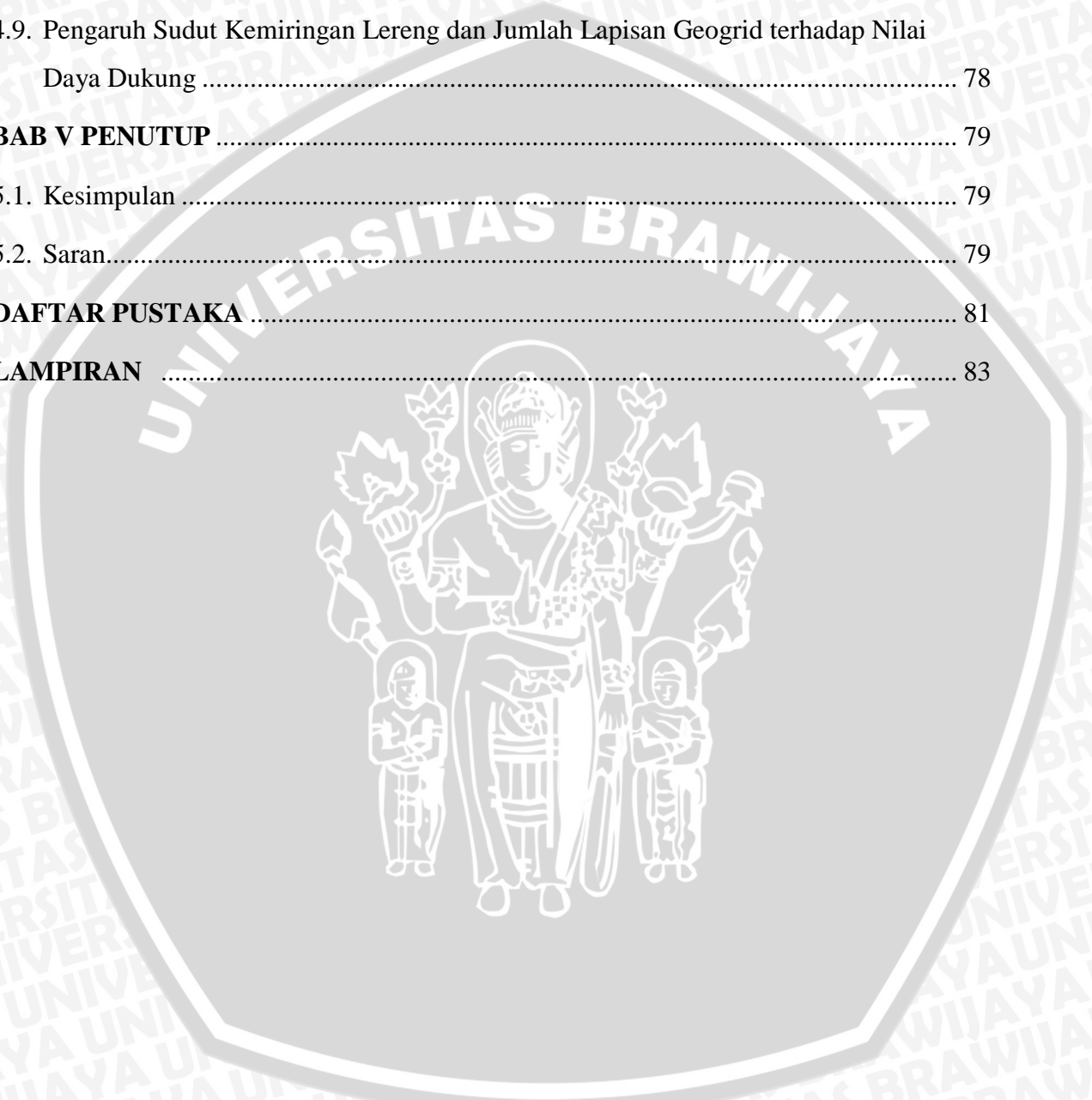


2.4.1. Pengertian Daya Dukung Pondasi	14
2.4.2. Solusi Meyerhof	15
2.4.3. Solusi Hansen dan Vesic	17
2.4.4. Solusi Gempeline (1990)	18
2.5. Geosintetik	18
2.5.1. Pengertian Geosintetik	18
2.5.2. Geogrid	20
2.5.2.1. Pengertian Geogrid	20
2.5.2.2. Jenis Geogrid	20
2.5.3. Karakteristik Geogrid sebagai Bahan Perkuatan	22
2.5.3.1 Kekuatan Tarik	22
2.5.3.2 Interaksi antara Tanah dengan Geogrid	23
2.5.3.3 Rangkak	23
2.5.3.4 Daya Bertahan	23
2.5.3.5 Geogrid sebagai Bahan Perkuatan Tanah	24
2.5.4. Panjang Penyaluran Geogrid	24
2.5.5. Jarak Antar Lapisan Geogrid	25
2.5.6. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah	25
2.5.7. Mekanisme Transfer Beban antara Geogrid dengan Tanah	26
2.6. <i>Bearing Capacity Improvement</i> (BCI)	27
2.7. Pengaruh Kemiringan Sudut Lereng terhadap daya Dukung Pondasi di Dekat Lereng	28
2.8. Pengaruh Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Daya Dukung Pondasi di Dekat Lereng	29
2.9. Penelitian Sebelumnya Mengenai Perkuatan Geogrid	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Waktu dan Tempat	33
3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitiasn	33

3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.4. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji.....	35
3.5. Metode Penelitian.....	37
3.5.1. Pengujian Dasar.....	37
3.5.2. Persiapan Benda Uji.....	37
3.5.3. Model Tes Lereng.....	38
3.5.4. Pengujian Pembebanan.....	39
3.6. Metode Analisis Data.....	40
3.7. Variasi Penelitian.....	43
BAB IV PEMBAHASAN.....	45
4.1. Analisis Bahan.....	45
4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah.....	46
4.1.2. Analisis Specific Gravity.....	47
4.1.3. Analisis Pemeriksaan Kepadatan Tanah (<i>Compaction</i>).....	47
4.1.3.1. Kepadatan Tanah Standar di Laboratorium (<i>Proctor Test</i>).....	47
4.1.3.2. Kepadatan Tanah Model.....	48
4.1.4. Analisis Kuat Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>).....	49
4.2. Pengujian <i>Model Test</i>	50
4.3. Hasil Pengujian <i>Model Test</i>	50
4.3.1. Lereng Tanpa Perkuatan.....	50
4.3.1.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air.....	51
4.3.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid.....	52
4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air.....	52
4.4. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir RC 85%.....	53
4.4.1. Lereng Tanpa Perkuatan.....	53
4.4.1.1. Metode Analitik.....	53
4.4.1.2. Metode Eksperimen.....	54

4.4.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid	55
4.5. Analisis Penurunan Tanah Pasir RC 85%.....	57
4.5.1. Lereng Tanpa Perkuatan.....	57
4.5.1.1. Penurunan Tanah Lereng tanpa Perkuatan pada Variasi Sudut Kemiringan.....	57
4.5.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid	57
4.5.2.1. Penurunan Tanah Lereng pada Variasi Sudut Kemiringan Lereng terhadap Jumlah Lapisan Geogrid.....	57
4.5.2.1.1.Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1.....	57
4.5.2.1.2.Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2.....	58
4.5.2.1.3.Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3.....	59
4.5.2.2. Penurunan Tanah pada Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Sudut Kemiringan Lereng	60
4.5.2.2.1.Sudut Kemiringan Lereng (α) = 46°.....	60
4.5.2.2.2.Sudut Kemiringan Lereng (α) = 51°.....	61
4.5.2.2.3.Sudut Kemiringan Lereng (α) = 56°.....	62
4.6. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan antara Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid.....	63
4.6.1. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid pada Variasi Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid	63
4.6.1.1. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 46°.....	64
4.6.1.1.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1	64
4.6.1.1.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2	65
4.6.1.1.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3	66
4.6.1.2. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 51°.....	67
4.6.1.2.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1	67
4.6.1.2.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2	68
4.6.1.2.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3	69
4.6.1.3. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 56°.....	70
4.6.1.3.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1	70

4.6.1.3.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2	71
4.6.1.3.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3	72
4.7. Analisis <i>Bearing Capacity Improvement</i> berdasarkan Data Dukung Ultimit (BCIu)	72
4.8. Analisis Peningkatan Nilai Daya Dukung pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid.....	76
4.9. Pengaruh Sudut Kemiringan Lereng dan Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Nilai Daya Dukung	78
BAB V PENUTUP	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rentang Ukuran Partikel	8
Tabel 2.2	Sistem Klasifikasi <i>Unified</i> untuk Pasir.....	9
Tabel 2.3	Rasio Hc/B Terhadap Sudut Geser Tanah.....	12
Tabel 2.4	Fungsi Berbagai Macam Produk Geosintetik.....	19
Tabel 2.5	Pengaruh Panjang Perkuatan Geogrid Terhadap Daya Dukung Pondasi pada Lereng Pasir.....	24
Tabel 2.6	Parameter Optimum pada Penelitian Sebelumnya	31
Tabel 3.1	Daya Dukung dan Penurunan Lereng tanpa Perkuatan.....	41
Tabel 3.2	Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Variasi Sudut Kemiringan Lereng Menggunakan Perkuatan.....	41
Tabel 3.3	Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Variasi Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid.....	42
Tabel 3.4	<i>Bearing Capacity Improvement (BCI)</i> untuk Variasi Sudut Kemiringan Lereng dan Jumlah Lapisan Geogrid.....	43
Tabel 4.1	Tipe Geogrid.....	45
Tabel 4.3	Matriks Pengujian.....	51
Tabel 4.4	Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Lereng tanpa Perkuatan	52
Tabel 4.5	Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Lereng dengan Perkuatan	53
Tabel 4.6	Nilai Daya Dukung Analitik untuk Lereng tanpa Perkuatan	53
Tabel 4.7	Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Tanpa	54
Tabel 4.8	Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Perkuatan dengan Variasi Sudut Kemiringan (α).....	56
Tabel 4.9	Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan Geogrid (n).....	56
Tabel 4.10	Nilai BC _{Iu} untuk Variasi Sudut Kemiringan Lereng	73
Tabel 4.11	Nilai BC _{Iu} untuk Variasi Jumlah Lapisan Geogrid	75



Tabel 4.12 Peningkatan Daya Dukung Lereng..... 76

Tabel 4.13 Peningkatan Daya Dukung antara Variasi Sudut Kemiringan Lereng 77

Tabel 4.14 Peningkatan Daya Dukung antara Variasi Jumlah Lapisan Geogrid 77



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bentuk-bentuk butiran tanah pasir	8
Gambar 2.2	Kelongsoran lereng.....	10
Gambar 2.3	Tegangan kontak akibat beban aksial sentris	11
Gambar 2.4	Skema zona keruntuhan pondasi di atas lereng.....	12
Gambar 2.5	<i>Displacement vector</i> pada pemodelan lereng pasir	13
Gambar 2.6	Titik-titik plastis yang terbentuk dibawah pondasi pada lereng : (a) Tanpa perkuatan, (b) Panjang perkuatan $L=B$, (c) Panjang perkuatan $L=2B$	14
Gambar 2.7	Faktor daya dukung Meyerhof N_{cq} untuk tanah kohesif	15
Gambar 2.8	Faktor daya dukung Meyerhof $N_{\gamma q}$ untuk tanah granular/pasir	16
Gambar 2.9	Pondasi dangkal di atas lereng	17
Gambar 2.10	Jenis geogrid: (a) Uniaksial; (b) Biaksial	21
Gambar 2.11	Jenis penggabungan elemen geogrid	21
Gambar 2.12	Kekuatan tarik produk geosintetik	22
Gambar 2.13	Pengaruh rasio spasi vertikal (h/B) pada daya dukung pondasi	25
Gambar 2.14	Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik.....	26
Gambar 2.15	Mekanisme kegagalan luncur pada perkuatan geogrid	26
Gambar 2.16	Mekanisme kegagalan cabut pada perkuatan geogrid.....	27
Gambar 2.17	Kurva faktor $N_{\gamma q}$ terhadap sudut kemiringan lereng menurut penelitian Graham, Andrews, dan Shields (1987)	29
Gambar 2.18	Pengaruh jumlah lapisan geogrid : (a) Kurva beban-penurunan; (b) BCR	30
Gambar 3.1	Bagan alir percobaan	34
Gambar 3.2	(a) Silinder Beton; (b) Dial <i>LVDT</i> ; (c) <i>Load cell</i>	35
Gambar 3.3	Model tes lereng percobaan : (a) Tanpa perkuatan geogrid; (b) Dengan perkuatan geogrid	36
Gambar 3.4	Model box penelitian.....	38

Gambar 3.5	Contoh susunan pembebanan	40
Gambar 4.1	Hasil pembagian ukuran butiran tanah	46
Gambar 4.2	Grafik pemadatan standar	48
Gambar 4.3	(a) Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser; (b) Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal	50
Gambar 4.4	Pemodelan lereng dengan sudut kemiringan $\alpha = 46^\circ$, $d/B = 2$, dan $B = 8$ cm	51
Gambar 4.5	Pemodelan lereng dengan sudut kemiringan $\alpha = 46^\circ$, $d/B = 2$, dan $B = 8$ cm, $n = 1$	52
Gambar 4.6	Perbandingan nilai daya dukung pada model lereng tanpa perkuatan berdasarkan metode eksperimen dan analitik	55
Gambar 4.7	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dengan $B = 8$ cm dan $d/B = 2$	57
Gambar 4.8	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid, $B = 8$ cm, $d/B = 2$	58
Gambar 4.9	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid, $B = 8$ cm, $d/B = 2$	59
Gambar 4.10	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid, $B = 8$ cm, $d/B = 2$	60
Gambar 4.11	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$	61
Gambar 4.12	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$	62
Gambar 4.13	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$	63
Gambar 4.14	Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$	64



Gambar 4.15 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 65

Gambar 4.16 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 66

Gambar 4.17 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 67

Gambar 4.18 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 68

Gambar 4.19 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 69

Gambar 4.20 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 70

Gambar 4.21 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 71

Gambar 4.22 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B=2$ 72

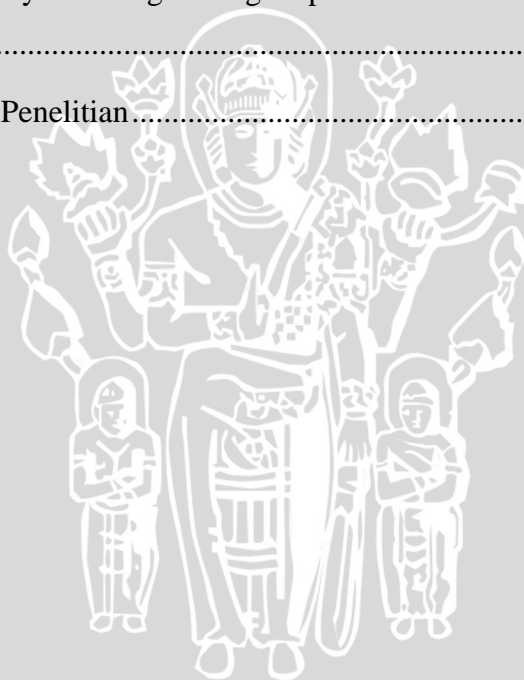
Gambar 4.23 Perbandingan nilai BCIu untuk variasi sudut kemiringan lereng.....74

Gambar 4.24 Perbandingan nilai BCIu untuk variasi jumlah lapisan perkuatan geogrid .75



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Analisis Gradasi Butir Tanah	83
Lampiran 2.	Analisis <i>Specific Gravity</i> Tanah	84
Lampiran 3.	Analisis Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>).....	88
Lampiran 4.	Analisis Uji Pemadatan Standar (ASTM D-698-70 METODE B).....	90
Lampiran 5.	Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Pasir	93
Lampiran 6.	Rekapitulasi Data Daya Dukung dan Penurunan Berdasarkan Eksperimen	100
Lampiran 7.	Perhitungan Daya Dukung Lereng tanpa Perkuatan dengan Metode Analitik	139
Lampiran 8.	Dokumentasi Penelitian.....	145





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor. Sehingga, stabilitas bangunan yang ada di atasnya sangat bergantung pada stabilitas lereng di bawahnya.

Lereng yang tidak stabil berbahaya terhadap lingkungan di sekitarnya karena dapat menyebabkan terjadinya longsor. Penggunaan lahan di atas lereng untuk suatu pembangunan perlu diperhatikan risikonya yang berkaitan dengan keamanan bangunan tersebut.

Kelongsoran yang terjadi pada lereng merupakan salah satu permasalahan utama dalam lingkup geoteknik. Kelongsoran lereng yang terjadi akibat nilai daya dukung tanah yang kecil merupakan faktor utama penentu stabilitas pada lereng. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng perlu adanya perbaikan tanah pada lereng tersebut. Salah satu contoh perbaikan pada tanah lereng adalah dengan metode perkuatan tanah.

Konsep dari teknik perkuatan tanah pertama kali dilakukan oleh Henri Vidal pada tahun 1968. Material yang dipakai berupa lembaran metal sebagai perkuatan tanah. Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan lembaran metal sebagai perkuatan tanah diganti material geosintetik seperti geotekstil dan geogrid. Karena biaya yang diperlukan untuk jenis perkuatan ini cukup ekonomis, saat ini penggunaan material geosintetik semakin luas. Penggunaan geosintetik sudah banyak diaplikasikan ke dalam berbagai macam-macam konstruksi seperti dam, jalan, dinding penahan, dan khususnya konstruksi lereng.

Pada kasus pondasi dangkal yang terletak diatas lereng, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemasangan geogrid dalam upaya peningkatan kekuatan lereng dan daya dukung pondasi. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan lereng adalah kemiringan atau besarnya sudut lereng itu sendiri. Seperti yang diungkapkan oleh Verhoef (1985), bahwa bentuk dan kemiringan lereng, kekuatan material, kedudukan muka air dan

kondisi drainase sangat berkaitan dengan kestabilan lereng yang berkaitan dengan daya dukung.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Saeed Alamshahi dan Nader Hataf (2009), jumlah lapisan geogrid yang digunakan untuk perkuatan lereng juga akan berpengaruh. Semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan pada lereng, maka akan semakin besar pula daya dukung tanah dan stabilitas lereng tersebut hingga jumlah lapisan perkuatan mencapai angka kritis yang artinya daya dukung tidak akan bertambah lagi dan dapat menyebabkan pengaruh sebaliknya. Sehingga dapat ditentukan jumlah lapisan perkuatan geogrid paling optimum yang akan menghasilkan daya dukung tanah dengan nilai paling besar.

Pada penelitian sebelumnya oleh Dio Ghazian (2015) mengenai pengaruh sudut kemiringan lereng dan jumlah lapisan geogrid terhadap pemodelan fisik lereng tanah pasir dengan RC 74% didapatkan kesimpulan bahwa pada penelitian tersebut belum didapatkan variasi sudut kemiringan lereng dan jumlah lapisan geogrid yang optimum, karena nilai daya dukung dari lereng dengan sudut kemiringan 56° hingga sudut kemiringan 46° dan penggunaan 1 lapisan geogrid hingga 3 lapisan geogrid masih terus mengalami peningkatan.

Mengacu pada beberapa penelitian tersebut, maka dilakukan penelitian lanjut dengan mencoba pemodelan fisik lereng tanah pasir RC 85%. Variasi yang digunakan adalah kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan perkuatan geogrid. Dari hasil penelitian, diharapkan dapat menunjukkan besar kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan geogrid paling optimum yang dapat menghasilkan daya dukung maksimum sehingga dapat dijadikan alternatif pada pembangunan di atas lereng. Dari hasil penelitian diharapkan pula dapat dilakukan perbandingan daya dukung tanah dengan perkuatan geogrid antara tanah pasir RC 74% dan tanah pasir RC 85% sehingga bisa diketahui keefektifan penggunaan geogrid pada tanah pasir dengan kepadatan relatif yang berbeda.

1.2. Identifikasi Masalah

Dengan semakin seringnya terjadi kelongsoran pada lereng akibat tanah yang tidak kuat menahan beban bangunan di atasnya, maka perlu ditemukan suatu solusi untuk masalah tersebut. Salah satu solusi tersebut adalah dengan menggunakan perkuatan pada lereng. Sehingga masalah yang ditemukan adalah sebagai berikut :

1. Kecilnya nilai daya dukung tanah pada lereng yang dibebani oleh bangunan di atasnya menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng tersebut.

2. Untuk menambah nilai daya dukung tanah, maka diperlukan suatu perkuatan pada lereng sehingga dapat mencegah terjadinya longsor.
3. Perkuatan lereng yang digunakan adalah perkuatan geogrid dengan memberikan variasi kemiringan sudut lereng sebesar 46° , 51° , dan 56° serta variasi jumlah lapisan geogrid yang digunakan yaitu 1, 2, dan 3 lapisan perkuatan.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ditemukan, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada lereng tanah pasir tanpa perkuatan dibandingkan dengan diberikannya perkuatan geogrid dengan variasi jumlah lapisan geogrid dan kemiringan sudut lereng?
2. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada lereng tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi kemiringan sudut lereng?
3. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada lereng tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi jumlah lapisan geogrid untuk perkuatan lereng?
4. Berapa kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan geogrid yang optimum untuk daya dukung tanah pondasi menerus pada lereng tanah pasir yang diperkuat menggunakan geogrid?

1.4. Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada suhu kamar yaitu 25°C .
2. Tanah yang digunakan adalah tanah homogen isotropis, berupa tanah urugan dengan jenis tanah pasir dengan simbol SP (*Poorly Graded Sand*) menurut sistem *Unified (U.S.C.S)*.
3. *Relative Compaction* tanah model lereng pasir adalah 85%.
4. Penelitian tidak termasuk rembesan air dalam tanah yang diuji-cobakan.
5. Sudut kemiringan model lereng tanah pasir yang digunakan sebesar 46° , 51° , 56° .
6. Ketinggian model lereng tanah pasir adalah 50 cm.

7. Geogrid yang digunakan sebagai perkuatan pada pemodelan fisik lereng tanah pasir adalah tipe biaksial.
8. Pengidentifikasian daya dukung menggunakan jenis pondasi dangkal yaitu pondasi yang dianggap menerus dengan lebar pondasi 8 cm dan rasio jarak pondasi ke tepi lereng (d) dengan lebar pondasi (B) $d/B=2$.
9. Penempatan beban hanya dilakukan pada satu posisi dan merupakan beban merata arah vertikal tanpa sudut inklinasi.
10. Jumlah lapisan geogrid yang digunakan dalam pemodelan fisik lereng dibuat bervariasi yaitu 1, 2, dan 3 lapis perkuatan.
11. Jarak antar geogrid yang digunakan dalam pemodelan fisik lereng tanah pasir adalah $S_v = 3$ cm.
12. Geogrid dipasang sepanjang 40 cm ditambah nilai d (jarak tepi lereng ke pondasi) sebagai penjangkaran.
13. Karena beberapa faktor di lapangan tidak dapat dikondisikan dalam skala pemodelan, sehingga hanya beberapa faktor penting yang dapat dikondisikan seperti kemiringan lereng, ketinggian lereng, dan pembebanan.

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menemukan mekanisme perkuatan lereng dengan membandingkan daya dukung tanah pada lereng pasir tanpa perkuatan terhadap daya dukung tanah pada lereng pasir yang diberi perkuatan geogrid dengan variasi jumlah lapisan geogrid dan kemiringan sudut lereng.
2. Untuk mengetahui pengaruh adanya variasi kemiringan sudut lereng terhadap daya dukung pada lereng tanah pasir.
3. Untuk mengetahui pengaruh adanya variasi jumlah lapisan geogrid untuk perkuatan lereng terhadap daya dukung pada lereng tanah pasir.
4. Untuk mengetahui kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan geogrid yang optimum terhadap daya dukung tanah dengan pondasi menerus pada lereng tanah pasir yang diperkuat menggunakan geogrid.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1). Bagi praktisi lapangan antara lain :
 - Menjadi sumber informasi dan sebagai pertimbangan dalam suatu perencanaan kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan geogrid untuk perkuatan lereng yang dapat dipergunakan pada lereng tanah pasir.
 - Menjadi bahan pertimbangan dalam penentuan alternatif perkuatan lereng yang memiliki sifat fisis seperti tanah pasir.
- 2). Bagi kalangan akademis antara lain:
 - Sebagai referensi yang dapat digunakan dalam penelitian di bidang Geoteknik dan Mekanika Tanah yang berkaitan dengan permasalahan daya dukung (*bearing capacity*) pada lereng.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasir

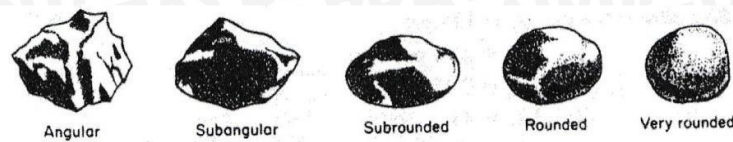
2.1.1. Karakteristik Tanah Pasir

Tanah pasir adalah tanah yang terbentuk dari batuan beku dan batuan sedimen yang memiliki butiran kasar dan berkerikil. Pasir dan kerikil merupakan agregat tak terkoheesi yang tersusun dari fragmen-fragmen sub angular atau angular yang berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan (Terzaghi & Peck, 1987).

Teng (1981) mengemukakan bahwa karakteristik dari tanah granular sebagai berikut:

1. Secara umum merupakan material yang baik sebagai tanah dasar dari struktur maupun jalan. Kecuali pasir lepas, daya dukung dari tanah granular besar dan penurunan yang terjadi kecil. Penurunan terjadi dalam waktu singkat setelah beban diberikan.
2. Merupakan material tanggul yang baik, karena memiliki kuat geser yang tinggi. Mudah dipadatkan, dan tidak rentan membeku.
3. Merupakan material timbunan (*backfill*) terbaik untuk dinding penahan, dinding basement, dan lainnya dikarenakan gaya tekan lateralnya yang kecil, mudah dipadatkan, dan mudah mengalirkan air.
4. Tidak dapat digunakan sebagai tanggul untuk bendungan, *reservoir*, dan lain-lain karena memiliki permeabilitas yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan proses dewatering pada tanah pasir yang berada di bawah muka air tanah
5. Rentan mengalami penurunan bila terkena beban yang bergetar

Kriteria teknis dari tanah berbutir sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kepadatan, gradasi, dan bentuk butiran penyusunnya. Bentuk dari butiran penyusun tanah pasir dapat diamati menggunakan mata telanjang maupun dengan bantuan kaca pembesar. Bentuk dari butiran-butiran tersebut dideskripsikan dalam bentuk *angular*, *subangular*, *subrounded*, *rounded*, dan *very rounded*.



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk butiran tanah pasir

(Sumber : Teng, 1981)

Tanah yang termasuk tipe pasir atau kerikil (disebut juga tanah berbutir kasar) jika, setelah kerikil disingkirkan, lebih dari 65% material tersebut berukuran pasir dan kerikil. Pasir dan kerikil dapat dibagi menjadi fraksi-fraksi kasar, medium, dan halus, seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.1**. Partikel pasir biasanya mengandung butiran-butiran mineral (Craig, R.F.1989:11).

Rentan ukuran partikel ditunjukkan pada **Tabel 2.1** berikut :

Tabel 2.1 Rentang Ukuran Partikel

Lempung	Lanau			Pasir			Kerikil			Cobbles	Boulders
	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar		
0,001	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200
	0,01		0,1		1		10		100		

Ukuran partikel (mm)

(Sumber : Craig, R.F.1989. *Mekanika Tanah Edisi ke Empat*)

Tanah pasir merupakan tanah yang memiliki butiran tanah yang terpisah ketika keadaan kering dan melekat hanya apabila berada dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan di dalam air. Tanah pasir merupakan tanah non-kohefif yang tidak memiliki garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non-kohefif dengan kadar air cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental. Tarikan permukaan memberikan tanah non-kohefif suatu kohefif semu (*apparent cohesion*) yang disebut demikian karena kohefif tersebut akan hilang apabila tanah itu benar-benar kering atau benar-benar jenuh. (Bowles, 1993:38)

Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tinggal dalam saringan no. 200 (0,075 mm), dengan pembagian sebagai berikut:

1. Pasir kasar: butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 10 (2 mm).
2. Pasir medium : butirannya lolos saringan no. 10 (2 mm) dan tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm).

3. Pasir halus : butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan dalam saringan no. 200 (0,075 mm) (Hardiyatmo, H.C., 2011:2).

2.1.2. Klasifikasi Pasir Berdasarkan *Unified* (U.S.C.S)

Sistem klasifikasi tanah *Unified* dikembangkan di Amerika Serikat dan awalnya diusulkan oleh A. Casagrande pada tahun 1948 dan kemudian direvisi pada tahun 1952 oleh *Corps of Engineers* dan *U.S Bureau of Reclamation*. Dalam bentuknya yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi dan insinyur geoteknik. Pada awalnya terdapat dua divisi utama dalam sistem ini. Tanah diklasifikasikan sebagai tanah kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% tertahan pada saringan no. 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika 50% atau lebih lolos saringan no. 200. Klasifikasi *Unified* (U.S.C.S) untuk tanah pasir ditunjukkan pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi *Unified* untuk Pasir

Divisi utama	Simbol kelompok	Nama umum	Kriteria klasifikasi
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200 Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4 Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4 Pasir dengan butiran halus	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3. Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
		GP	
	Kerikil dengan butiran halus	GM	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$
		GC	
	Pasir dengan butiran halus	SW	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$
		SP	
		SM	
		SC	

2.1.3. Kepadatan Relatif Pasir

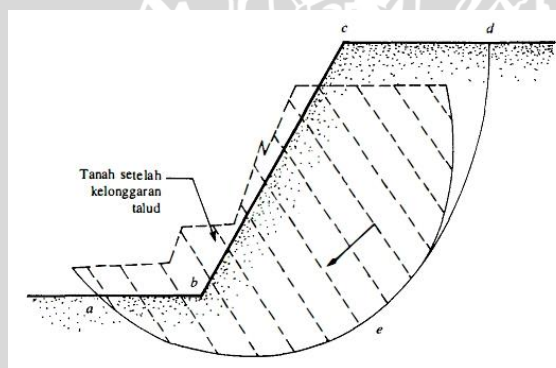
Kepadatan relatif (*relative compaction*) atau persentase kepadatan tertentu dispesifikasikan sebagai nilai banding dari berat volume kering di pemodelan atau di lapangan dengan berat volume kering maksimum di laboratorium menurut percobaan standar, seperti percobaan standar proktor atau modifikasi proktor. Persamaan untuk Kepadatan relatif dapat dilihat pada **Persamaan 2-1**.

$$RC = \frac{\rho_d - \rho_{d-field}}{\rho_d - \rho_{d-laboratory}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Perlu diingat bahwa memadatkan tanah pada sisi basah optimum akan menghasilkan kuat geser tanah yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar air pada sisi kering optimum. Oleh karena itu, selain nilai persentase kepadatan, rentang kadar air tanah pada tanah yang akan dipadatkan juga perlu diperhatikan.

2.2. Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal kita namakan sebagai lereng. Lereng ini dapat terjadi secara alamiah atau buatan. Bila permukaan tanah tidak datar, maka komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan lereng akan menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah seperti pada **Gambar 2.2**. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar, kelongsoran lereng dapat terjadi, yaitu tanah dalam zona *a b c d e a* dapat menggelincir ke bawah. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya berlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor.



Gambar 2.2 Kelongsoran lereng

Menurut Cristady (1994) lereng tak terbatas merupakan kondisi di mana tanah yang mempunyai kedalaman tertentu dengan permukaan miring, terletak di atas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Disebut tak terbatas karena mempunyai panjang yang sangat besar dibanding kedalamannya. Jika diambil elemen tanah dengan lebar tertentu, gaya-gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya akan sama karena pada lereng tak terbatas gaya-gaya yang bekerja di setiap sisi bidangnya dapat dianggap sama. Sifat-sifat tanah dan tegangan lereng tak terbatas pada salah satu bidang yang sejajar dengan lereng adalah sama maka kelongsoran pada lereng tak terbatas biasanya terletak dalam satu bidang yang sejajar dengan bidang lereng (*Sunggono, 1984*). Lereng dapat digolongkan dalam dua tipe yaitu lereng tak terbatas dan lereng terbatas (*Sunggono, 1984*).

Lereng terbatas menurut Cristady (1994) merupakan kondisi di mana suatu timbunan terletak di atas tanah asli yang miring. Akibatnya timbunan akan longsor di sepanjang bidang gelincir. Contoh kondisi ini adalah jika tanah timbunan diletakkan pada tanah asli yang miring dimana pada lapisan tanah asli masih terdapat lapisan lemah yang berada didasar timbunannya.

2.3. Pondasi Dangkal

2.3.1. Tekanan Kontak

Tegangan yang bekerja di bawah pondasi akibat beban struktur di atasnya disebut tegangan kontak (*contact pressure*). Rumus untuk menghitung tegangan kontak adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_x \cdot X}{I_y} \pm \frac{M_y \cdot Y}{I_x} \quad (2-2)$$

Dimana :

σ = Tegangan kontak

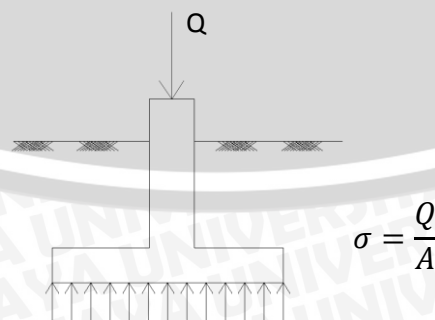
Q = Beban aksial total

M_x, M_y = Momen terhadap sumbu x dan y penampang pondasi

X, Y = Jarak antara titik pusat penampang pondasi ke titik dimana tegangan kontak dihitung prespektif sumbu x dan y

I_x, I_y = Momen inersia penampang pondasi terhadap sumbu x dan y

Apabila beban aksial pada penampang pondasi tersebut sentris tegak lurus titik pusat penampang pondasi dan tidak ada momen yang bekerja pada pondasi tersebut, maka tegangan kontak menjadi sama besar pada keseluruhan penampang pondasi. Tegangan kontak tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

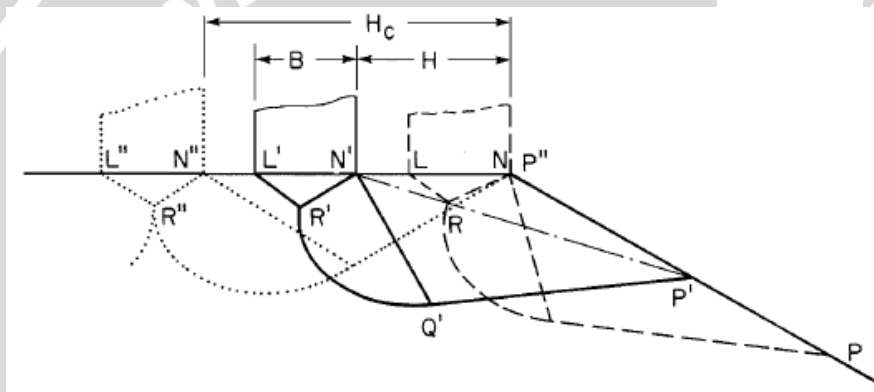


Gambar 2.3 Tegangan kontak akibat beban aksial sentris

2.3.2. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi pada Lereng

Graham, Andrews, dan Shields (1987) dalam jurnalnya yang berjudul “*Stress Characteristics for Shallow Footings in Cohesionless Slopes*” memberikan gambaran mengenai mekanisme keruntuhan pondasi di atas lereng. Skema zona keruntuhan dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Terlihat bahwa zona runtuh PNQ dan zona *trapped wedge* LNR bergantung jarak pondasi ke tepi lereng H. Semakin jauh nilai H, maka zona keruntuhan berlaku seperti keruntuhan geser umum.

Suatu nilai H dimana mekanisme pondasi sudah seperti keruntuhan geser umum dinamakan *critical setback distance* dan diberi simbol H_c . Besarnya nilai H_c bergantung pada besarnya sudut geser pada tanah. Variasi nilai H_c menurut Graham dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.



Gambar 2.4 Skema zona keruntuhan pondasi di atas lereng

Tabel 2.3 Rasio H_c/B Terhadap Sudut Geser Tanah

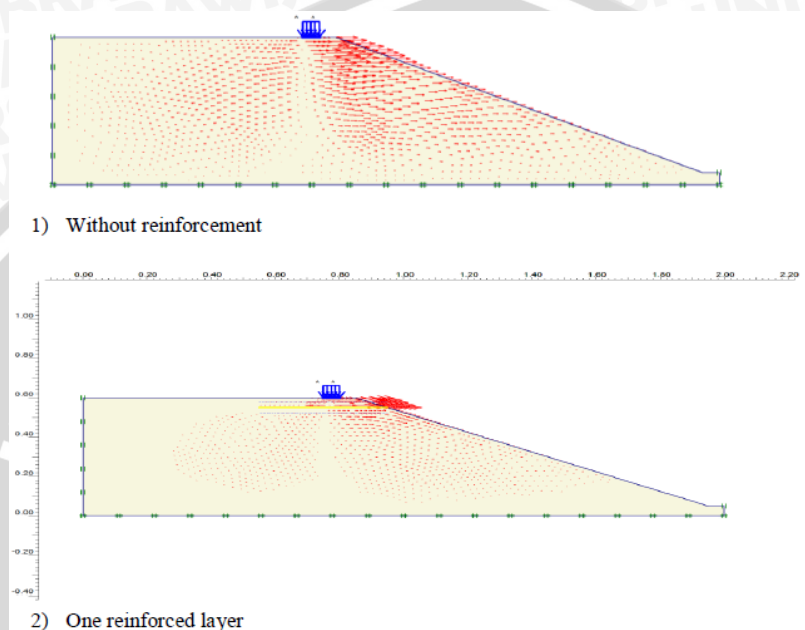
Angle of shearing resistance ϕ (deg)	30	35	40	45
Critical setback distance H_c/B	1.2	2.0	2.7	3.5

(Sumber : Graham dkk, 1987)

2.3.3. Pola Keruntuhan Di Bawah Pondasi pada Lereng dengan Perkuatan

Mohd Raihan Taha dan Enas B. Altalhe (2009) meneliti tentang mode keruntuhan pondasi pada lereng pasir dengan perkuatan geotekstil. Metode yang digunakan adalah numerik berupa elemen hingga (*finite element*). Parameter yang digunakan antara lain jarak pondasi ke tepi lereng sebesar B dan sudut kemiringan lereng 30° . Lereng menggunakan satu lapis perkuatan dengan kedalaman $0,5B$ dari dasar pondasi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perkuatan geotekstil memberikan pengaruh besar dalam tingkat deformasi tanah. Pada **Gambar 2.5** terlihat bahwa vektor deformasi partikel tanah dengan perkuatan berkurang secara signifikan dibandingkan tanpa perkuatan. Tahanan lateral yang diciptakan lapisan geotekstil membatasi partikel tanah berpindah ke sekitarnya dan deformasi pada lereng. Pola keruntuhan juga dapat diprediksi dengan melihat deformasi partikel tanah tersebut.

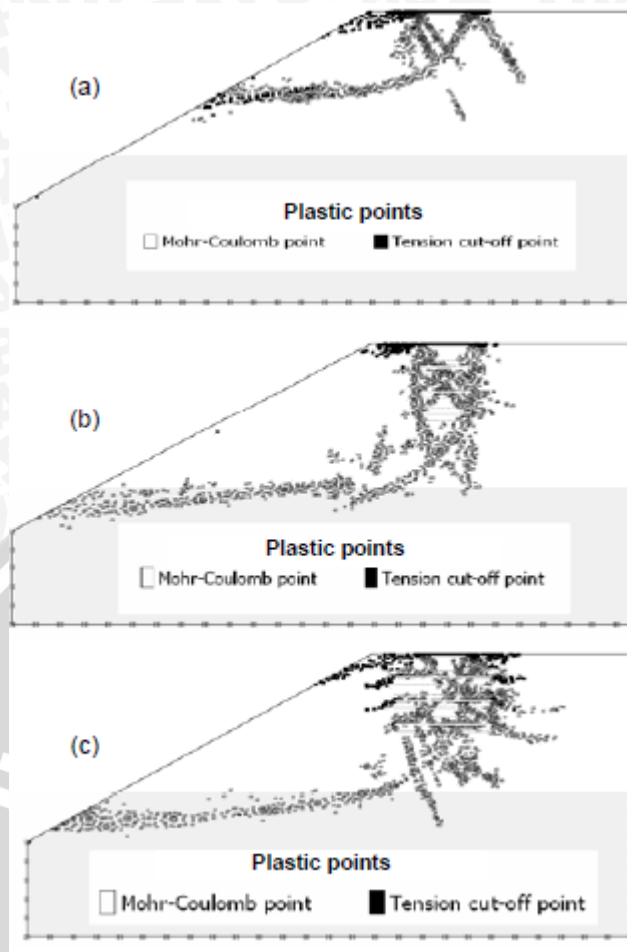


Gambar 2.5 *Displacement vector* pada pemodelan lereng pasir

Pada lereng dengan perkuatan geotekstil, titik-titik plastis juga terletak di atas lapisan tanah di atas geotekstil. Hanya sebagian kecil titik-titik plastis terletak di bawah lapisan perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan geser lereng diperkirakan terjadi pada zona yang lebih dalam di bawah lapisan perkuatan.

Anil kumar dan K. Ilamparuthi (2009) juga melakukan penelitian pondasi menerus di atas lereng pasir dengan perkuatan geogrid. Untuk mengetahui mekanisme keruntuhan, mereka menggunakan metode elemen hingga. Suatu percobaan experimental dilakukan sebagai validasi pemodelan lereng dengan memplotkan kedua grafik *load-settlement* dari percobaan experimental dan elemen hingga.

Berdasarkan penelitian mereka, mekanisme keruntuhan terlihat jelas dengan memperhatikan titik-titik plastis baik pada lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geogrid, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.6**. Zona segitiga plastis pada lereng dengan perkuatan yang terbentuk lebih dalam dibandingkan pada lereng tanpa perkuatan.



Gambar 2.6 Titik-titik plastis yang terbentuk dibawah pondasi pada lereng : (a) Tanpa perkuatan, (b) Panjang perkuatan $L=B$, (c) Panjang perkuatan $L=2B$

2.4. Teori Daya Dukung Pondasi

2.4.1. Pengertian Daya Dukung Pondasi

Analisis daya dukung (*bearing capacity*) mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Analisis-analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsep ini pertama kali dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955) dan lainnya (Hardiyatmo, H.C., 2011:110-111).

2.4.2. Solusi Meyerhof

Meyerhof memberikan solusi teoritis untuk menentukan besarnya daya dukung ultimit pada pondasi dangkal di atas lereng. Solusi tersebut merupakan pengembangan dari persamaan daya dukung batas pondasi dangkal pada tepi lereng. Solusi daya dukung batas berdasarkan meyerhof ditulis sebagai berikut.

$$q_u = cN_{cq} + \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma q} \quad (2-3)$$

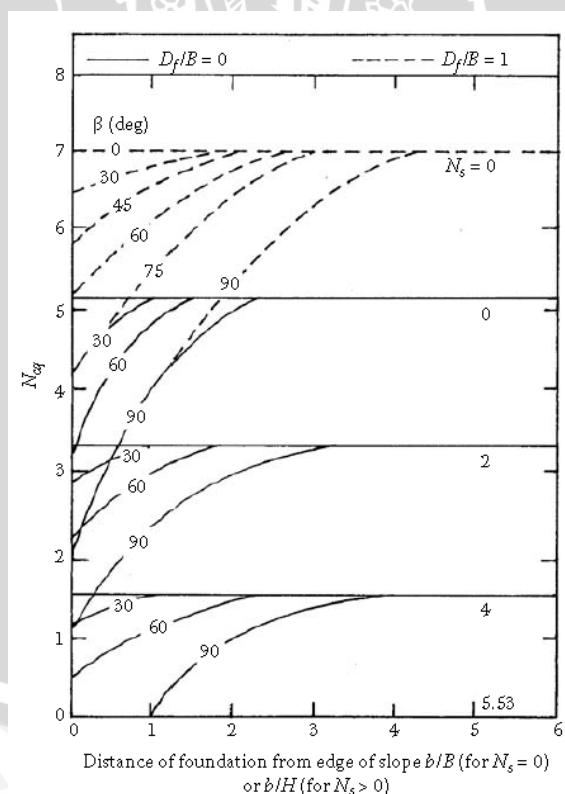
Untuk tanah kohesif ($\phi = 0$) persamaan diatas menjadi

$$q_u = cN_{cq} \quad (2-4)$$

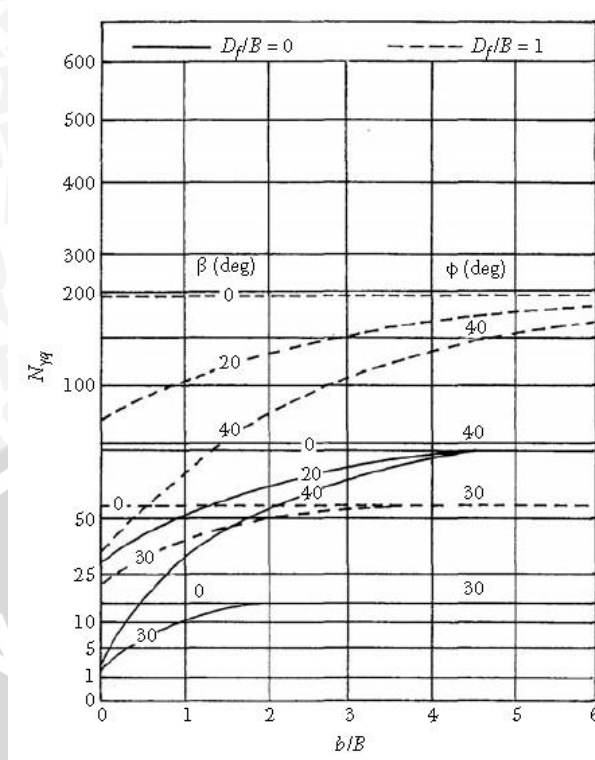
Sedangkan, untuk tanah granular ($c = 0$)

$$q_u = \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma q} \quad (2-5)$$

Besarnya parameter N_{cq} dan $N_{\gamma q}$ dapat dilihat pada **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8** berikut ini.



Gambar 2.7 Faktor daya dukung Meyerhof N_{cq} untuk tanah kohesif



Gambar 2.8 Faktor daya dukung Meyerhof $N_{\gamma q}$ untuk tanah granular/pasir

Penggunaan N_{cq} pada **Persamaan 2-4** diberikan pada **Gambar 2.7** dengan beberapa ketentuan yang harus dipenuhi sebagai berikut :

$$1. N_s = \frac{\gamma H}{c} \quad (2-6)$$

Dimana :

N_s = angka stabilitas

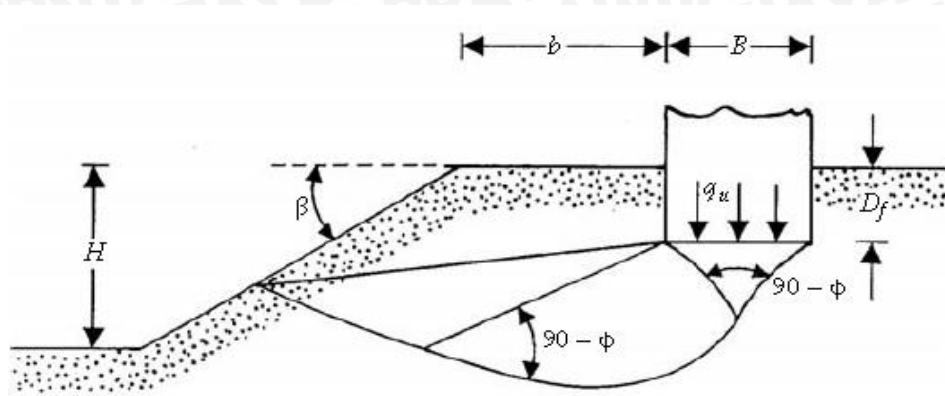
γ = berat jenis tanah

c = nilai kohesi tanah

H = tinggi lereng

2. Jika $B < H$, gunakan kurva untuk $N_s = 0$

3. Jika $B \geq H$, gunakan kurva untuk perhitungan angka stabilitas (N_s)



Gambar 2.9 Pondasi dangkal di atas lereng

2.4.3. Solusi Hansen dan Vesic

Untuk kondisi $b = 0$ pada **Gambar 2.9** (pondasi tepat berada di tepi lereng), Hansen menyatakan daya dukung batas dari pondasi menerus tersebut dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_u = cN_c\lambda_{c\beta} + qN_q\lambda_{q\beta} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma\lambda_{\gamma\beta} \quad (2-7)$$

dimana,

N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor daya dukung Hansen

$\lambda_{c\beta}, \lambda_{q\beta}, \lambda_{\gamma\beta}$ = Faktor-faktor lereng

$q = \gamma D_f$

Menurut Hansen,

$$\lambda_{q\beta} = \lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan\beta)^2 \quad (2-8)$$

Untuk $\phi > 0$, $\lambda_{c\beta} = \frac{N_q\lambda_{q\beta}^{-1}}{N_q - 1}$

Untuk $\phi = 0$, $\lambda_{c\beta} = 1 - \frac{2\beta}{\pi + 2}$

Pada kondisi $\phi = 0$, Vesic menyatakan nilai N_γ sebagai berikut:

$$N_\gamma = -2\sin\beta \quad (2-9)$$

Selanjutnya, ia menyatakan pada kondisi $\phi = 0$ dengan $N_c = 5,14$ dan $N_q = 1$ persamaan daya dukung menjadi sebagai berikut:

$$q_u = (5,14 - 2\beta)c + \gamma D_f(1 - \tan\beta)^2 - \gamma\beta\sin\beta(1 - \tan\beta)^2 \quad (2-10)$$

(Sumber :Das, B.M. 2009: 155-156)



2.4.4. Solusi Gemperline (1990)

Shields bersama dengan peneliti lainnya telah mencoba melakukan penelitian terhadap faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk sebuah pondasi pada lereng yang memiliki sudut geser yang rendah. Pada penelitian yang dilakukan oleh Shields ia menggunakan pemodelan box pasir berukuran besar dengan panjang 15 m dan lebar 2 m dan tinggi 2,2 m. Sebuah lereng dengan perbandingan H : V yaitu 2 : 1 dipilih sebagai pemodelan karena dianggap ukuran tersebut adalah ukuran standar dari sebuah lereng, lereng dibuat dengan faktor-faktor penentu yang ada. Dari percobaan tersebut Shields melaporkan prosentase daya dukung tanah datar yang ia temukan dengan menggunakan persamaan Gemperline untuk menghitung nilai $N_{\gamma q}$ dan menggunakan persamaan daya dukung Meyerhof untuk tanah datar.

Adapun persamaan Gemperline adalah sebagai berikut :

$$N_{\gamma q} = f_{\phi} \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/B, B/L} \quad (2-11)$$

Dengan :

ϕ	= sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)
β	= sudut kemiringan lereng ($^{\circ}$)
B	= lebar pondasi (inchi)
D	= kedalaman pondasi (inchi)
L	= panjang pondasi (inchi)
b	= jarak pondasi ke puncak lereng (inchi)
f_{ϕ}	= $10^{(0,1159\phi - 2,386)}$
f_B	= $10^{(0,34 - 0,2 \log B)}$
$f_{D/B}$	= $1 + 0,65 (D/B)$
$f_{B/L}$	= $1 - 0,27 (B/L)$
$f_{D/B, B/L}$	= $1 + 0,39 (D/L)$
$f_{\beta, b/B}$	= $1 - 0,8 [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$
$f_{\beta, b/D, D/B}$	= $1 + 0,6 (B/L) [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$
$f_{\beta, b/B, B/L}$	= $1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$

2.5. Geosintetik

2.5.1. Pengertian Geosintetik

Ditinjau dari kata Geosintetik (*Geosynthetic*) dimana *Geo* berarti *earth* (tanah atau bumi) *Synthetic* berarti *human-made product / material* (produk atau bahan buatan manusia). Oleh *The American Society for Testing and Materials* (ASTM) mendefinisikan *Geosynthetic*

dalam terminologi D4439 sebagai produk planar yang dibuat dari bahan polimer, yang digunakan pada tanah, batuan, atau materi geoteknik lainnya, sebagai pelengkap dalam sebuah proyek, struktur maupun sistem buatan.

Secara sederhana, geosintetik didefinisikan sebagai produk buatan dari bahan polimer yang berfungsi untuk memperbaiki perilaku tanah. Hingga saat ini beberapa jenis Geosintetik telah dikembangkan sesuai dengan kebutuhan. Fungsi geosintetik ditunjukkan pada **Tabel 2.4**. Berikut adalah beberapa jenis Geosintetik yang dapat kita temui :

- *Geotextile* / Geotekstil
- *Geosynthetics Clay Liner*
- Geopipe
- Geogrid
- Geocomposites / Geokomposit
- Geomembrane / Geomembran
- Geofoam
- Geo-other
- Geonet
- Geocell

Tabel 2.4 Fungsi Berbagai Macam Produk Geosintetik

Jenis Geosintetik	Fungsi Utama					
	Separator	Perkuatan	Filter	Drainase	Penghalang	Proteksi
Geotekstil	✓	✓	✓	✓		✓
Geogrid		✓				
Geonet				✓		
Geomembran					✓	
Geosynthetic Clay Liner (GCL)					✓	
Geopipa				✓		
Geofoam	✓					
Geokomposit	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(Sumber : DPU, 2009)



2.5.2. Geogrid

2.5.2.1. Pengertian Geogrid

Geogrid merupakan suatu contoh dari jenis geosintetik yang berbentuk jaring (*web*) dengan jala (*mesh*) terbuka. Fungsi geogrid yang utama adalah sebagai perkuatan. Penguatan mengacu pada mekanisme dimana sifat teknis tanah komposit / agregat dapat ditingkatkan secara mekanis. Geogrid dibentuk oleh suatu jaring teratur dengan elemen-elemen tarik dan mempunyai bukaan berukuran tertentu sehingga saling mengunci (*interlock*) dengan bahan pengisi di sekelilingnya. Menurut ASTM D4439, bukaan (*aperture*) pada geogrid memiliki ukuran yang lebih besar dari 6,35 mm (1/4 in.).

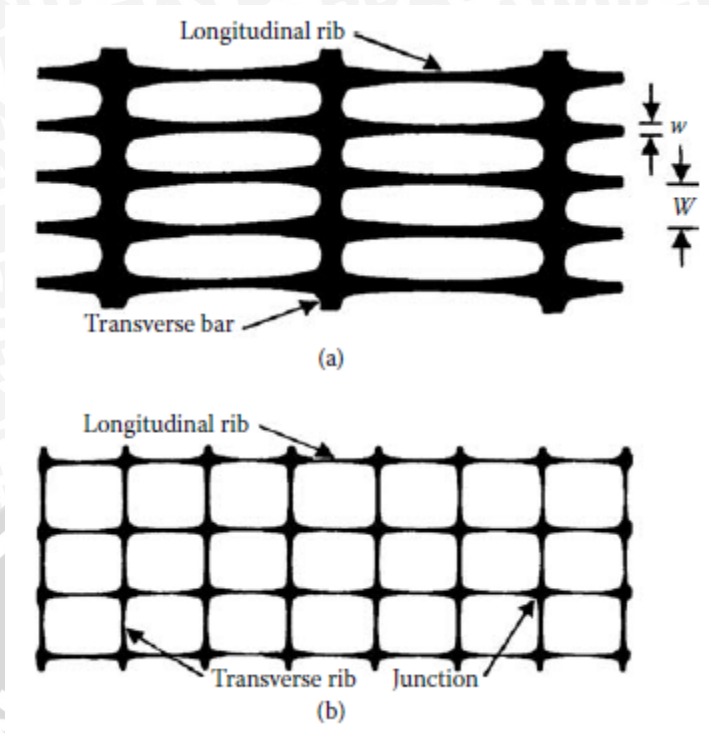
Kelebihan dari penggunaan geogrid antara lain :

1. Kekuatan tarik yang tinggi.
2. Pelaksanaan yang cepat.
3. Memungkinkan penggunaan material setempat.
4. Pemasangan yang mudah dan dapat membangun lebih tinggi dan tegak.
5. Tambahan PVC sebagai pelindung terhadap ultraviolet.
6. Pemasangan dan harga geogrid murah dibandingkan beton.
7. Merupakan struktur yang fleksibel sehingga tahan terhadap gaya gempa.
8. Tidak mempunyai resiko yang besar jika terjadi deformasi struktur.
9. Tipe elemen penutup lapisan luar dinding penahan dapat dibuat dalam bentuk yang bermacam-macam, sehingga memungkinkan untuk menciptakan permukaan dinding yang mempunyai nilai estetika.

Kekurangan dari geogrid adalah pemasangannya memerlukan PVC. Geogrid tanpa PVC akan mengalami penurunan tingkat kemampuan penahan gaya tarik. Karena bahan Geogrid sangat peka terhadap naik turunnya temperatur udara, dimana pemuaian akan sangat mudah terjadi terhadap bahan geogrid pada saat mendapatkan temperature tinggi. Pemuaian akan membuat geogrid getas, dan akhirnya akan mengurangi kuat tarik.

2.5.2.2. Jenis Geogrid

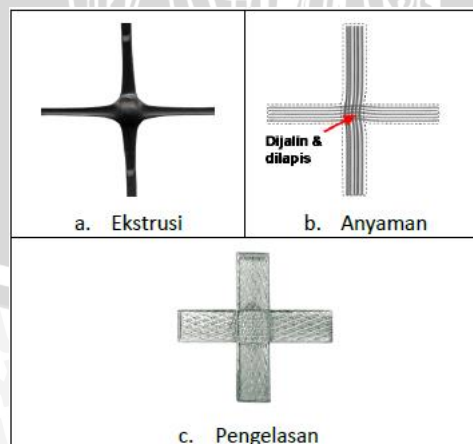
Geogrid umumnya terdiri dari dua jenis: (a) geogrid biaksial dan (b) geogrid uniaksial. Tipe-tipe geogrid tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Geogrid uniaksial dibuat dengan peregangan suatu lembaran ekstrusi *high-density* polyethylene pada satu arah dalam kondisi yang terkendali dengan hati-hati. Proses ini akan meluruskan molekul rantai panjang pada polimer dalam arah imbang dan menghasilkan produk dengan kekuatan tarik satu-arah dan modulus yang tinggi.



Gambar 2.10 Jenis geogrid: (a) Uniaksial; (b) Biaksial

Geogrid biaksial dibuat dengan peregangan lembaran polypropylene dalam dua arah orthogonal. Proses ini menghasilkan produk dengan kekuatan tarik dan modulus yang tinggi dalam dua arah tegak lurus. Lubang yang dihasilkan adalah kotak yang baik persegi atau persegi panjang.

Geogrid dapat pula dibedakan dari cara penggabungan elemen memanjang dan melintang. Teknologi cara penggabungan kedua elemen tersebut saat ini dilakukan dengan metoda ekstrusi, anyaman dan pengelasan bentuk penggabungan geogrid dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Jenis penggabungan elemen geogrid

Geogrid ekstrusi dibuat dari lembaran polimer dalam dua atau tiga tahap pemrosesan. Tahap pertama mencakup pemasangan lembaran polimer ke dalam mesin pelubang sehingga membentuk lubang-lubang dalam pola grid yang teratur. Tahap kedua, lembaran polimer berlubang tersebut dipanaskan dan ditarik dalam arah mesin. Proses penarikan tersebut mengorientasikan arah molekul polimer rantai panjang ke arah penarikan sehingga meningkatkan kuat tarik dan kekakuan tarik. Proses tersebut bisa dihentikan pada tahap ini dan produk akhirnya adalah geogrid uniaksial. Geogrid uniaksial tersebut dapat melalui tahap ketiga untuk dipanaskan dan ditarik ke arah melintang sehingga menghasilkan geogrid biaksial.

Geogrid anyaman dibuat dengan proses merajut polimer multifilamen. Ketika filamen-filamen tersebut berpotongan, dilakukan suatu proses sehingga saling menyilang untuk membentuk titik pertemuan yang kuat. Titik-titik pertemuan tersebut biasanya dilapis dengan akrilik atau PVC.

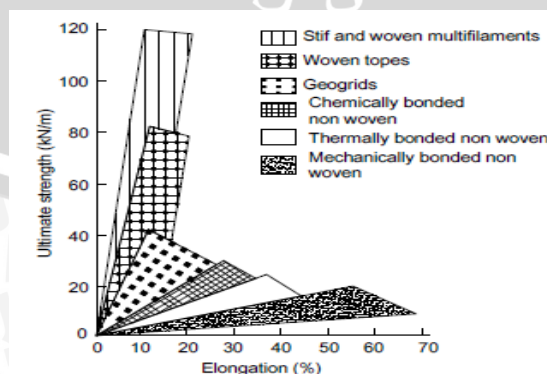
Geogrid dengan pengelasan dilakukan menggunakan laser ataupun ultrasonik terhadap pita-pita PP atau PET pada titik pertemuannya.

2.5.3. Karakteristik Geogrid sebagai Bahan Perkuatan

2.5.3.1 Kekuatan Tarik

Kuat tarik didefinisikan sebagai tegangan tarik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji pada titik keruntuhan. Seluruh aplikasi geosintetik bergantung pada sifat mekanik ini baik sebagai fungsi primer maupun fungsi sekunder.

Gambar 2.12 menampilkan tipikal sifat kekuatan geosintetik. Geogrid mempunyai kuat tarik dan modulus tarik yang tinggi pada tingkat regangan yang rendah bahkan pada regangan 2%.



Gambar 2.12 Kekuatan tarik produk geosintetik

2.5.3.2 Interaksi antara Tanah dengan Geogrid

Jika geosintetik digunakan sebagai perkuatan tanah, harus terjadi ikatan antara tanah dengan geosintetik untuk mencegah tanah tergelincir di atas geosintetik atau geosintetik tercabut dari tanah ketika kuat tarik termobilisasi pada geosintetik. Ikatan antara tanah dan geosintetik tergantung dari interaksi pada bidang kontakannya. Interaksi tanah geosintetik (karakteristik gesek dan/atau kuncian/*interlocking*) merupakan elemen kunci dari kinerja dinding penahan tanah, lereng dan timbunan yang diperkuat geosintetik.

Geogrid yang merupakan salah satu produk geosintetik memiliki fasilitas *interlocking*. Dengan kemampuan *interlocking*, mengakibatkan ikatan antara geogrid dengan tanah lebih besar dibandingkan dengan geotekstil. Kemampuan tersebut membuat geogrid tergolong sebagai bahan perkuatan, khususnya pada kasus perkuatan lereng.

2.5.3.3 Rangkak

Rangkak (*creep*) adalah elongasi geosintetik akibat beban konstan. Perilaku rangkak dari geosintetik perlu dievaluasi mengingat sifat polimer merupakan bahan yang sensitif terhadap rangkak.

Rangkak adalah faktor yang penting untuk struktur dengan geosintetik seperti dinding penahan tanah, perkuatan lereng, perkuatan dan timbunan di atas tanah lunak. Dalam aplikasi tersebut, diperlukan geosintetik yang tahan terhadap tegangan tarik dalam jangka waktu yang lama (biasanya lebih dari 75 tahun).

2.5.3.4 Daya Bertahan

Sifat daya bertahan berhubungan dengan ketahanan geosintetik pada saat instalasi di lapangan. Sifat-sifat tersebut adalah:

- Kuat robek: kemampuan geosintetik menahan tegangan yang menyebabkan terjadinya penambahan panjang robekan dari robekan yang sudah ada. Biasanya hal ini terjadi saat instalasi.
- Kuat tusuk: kemampuan geosintetik menahan tegangan lokal yang diakibatkan oleh tusukan benda seperti batu, akar tanaman.
- Kuat tusuk dinamis: kemampuan geosintetik menahan tegangan akibat benturan benda dan penetrasi dari benda jatuh seperti batu, alat bantu konstruksi, selama proses pemasangan geosintetik.
- Kuat jebol: kemampuan geosintetik menahan tekanan normal ketika terkekang di segala arah. Kuat jebol mensimulasikan kondisi di lapangan.

- Kuat fatig: kemampuan geosintetik menahan beban berulang sebelum terjadinya keruntuhan.

2.5.3.5 Geogrid sebagai Bahan Perkuatan Tanah

Sifat tarik bahan geosintetik dimanfaatkan untuk menahan tegangan atau deformasi pada struktur tanah. Untuk fungsi ini, geosintetik banyak digunakan untuk perkuatan timbunan di atas tanah lunak, perkuatan lereng dan dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis (*mechanically stabilized earth wall*, MSEW).

Geogrid memiliki tingkat kekakuan dan kekuatan yang cukup tinggi. Selain itu juga dilengkapi dengan kemampuan *interlocking* yang mengakibatkan interaksi dengan tanah semakin kuat.

2.5.4. Panjang Penyaluran Geogrid

Anil kumar dan K. Ilamparuthi (2009) telah meneliti tentang pondasi menerus di atas lereng pasir dengan perkuatan geogrid. Berdasarkan hasil yang mereka peroleh, terdapat pengaruh yang signifikan terhadap besarnya daya dukung pondasi terhadap panjang perkuatan geogrid yang diaplikasikan ke pemodelan lereng pasir. Dari **Tabel 2.5** terlihat bahwa semakin panjang perkuatan geogrid, maka semakin besar daya dukung pondasi yang dicapai.

Tabel 2.5 Pengaruh Panjang Perkuatan Geogrid Terhadap Daya Dukung Pondasi pada Lereng Pasir

L/B	Ultimate Bearing Capacity (kN/m ²)		Increment (%)
	Reinforcement Below Footing	Unreinforced Slope	
1	43	34	26
2	110	34	224
3	120	34	253

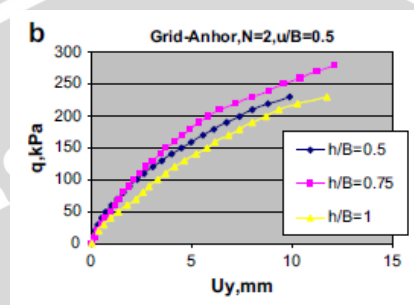
(Sumber : S. V. Anil Kumar dan K Ilamparuthi, 2009)

Saat panjang perkuatan geogrid sebesar 2B, terjadi peningkatan daya dukung yang cukup signifikan. Peningkatan yang cukup besar ini merupakan akibat dari mekanisme pondasi dalam, yang mana lapisan tanah di bawah pondasi sampai dengan tepi akhir zona perkuatan bertindak sebagai bagian dari pondasi itu sendiri. Perkuatan geogrid dengan panjang sebesar 2B ini dapat diterapkan pada kasus dimana daya dukung pada suatu pondasi

perlu ditingkatkan. Panjang perkuatan sebesar $2B$ ini juga bisa dianggap sebagai salah satu parameter yang menghasilkan kemampuan paling efektif dari perkuatan geogrid.

2.5.5. Jarak Antar Lapisan Geogrid

Saeed Alamshahi dan Nader Hataf (2009) telah meneliti tentang pengaruh perkuatan geogrid dan geogrid-anchor terhadap daya dukung pondasi pada lereng pasir. Salah satu parameter yang diteliti adalah spasi antar lapisan geogrid yang disimbolkan dengan h . Variasi rasio spasi vertikal antar lapisan geogrid (h/B) ini antara lain 0,5, 0,75, dan 1,0.



Gambar 2.13 Pengaruh rasio spasi vertikal (h/B) pada daya dukung pondasi

(a) BCR, dan (b) Kurva load-settlement

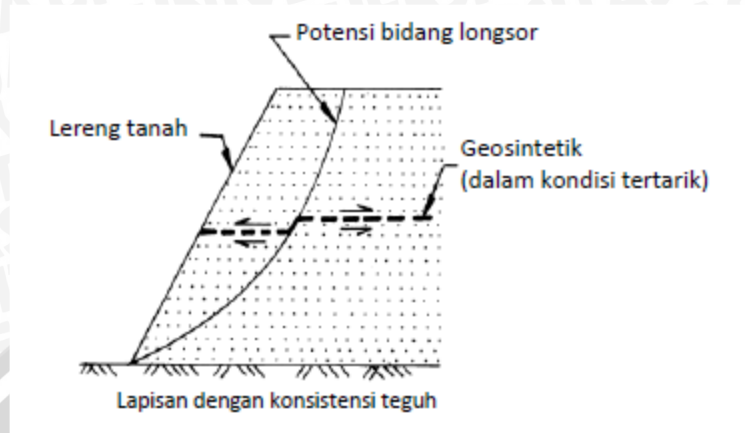
Berdasarkan penelitian mereka, spasi vertikal maksimum yang diperoleh sebesar $0,75B$. Hal tersebut ditunjukkan pada trend grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**. Pada grafik tersebut terlihat jelas bahwa pada rasio $h/B = 0,75$, nilai daya dukung adalah maksimum dibandingkan rasio yang lain baik yang ditunjukkan oleh nilai BCR dan q_u itu sendiri. Oleh karena itu, merujuk penelitian yang dilakukan Saeed Alamshahi dan Nader Hataf ini, penulis menggunakan parameter jarak antar lapisan geogrid sebesar $0,75B$. Lebar pondasi yang digunakan penulis sebesar 4 cm, sehingga jarak vertikal antar lapisan geogrid yang dipakai adalah 3 cm pada pemodelan.

2.5.6. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah

Geosintetik, khususnya geogrid memiliki banyak kegunaan dalam rekayasa teknik sipil. Salah satunya adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam (kurang dari 70°).

Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geosintetik yang disusun ke arah horisontal. Ketika tanah dan geosintetik digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geosintetik berlaku sebagai bagian tahanan tarik (gesekan, *adhesi*, saling

mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah.

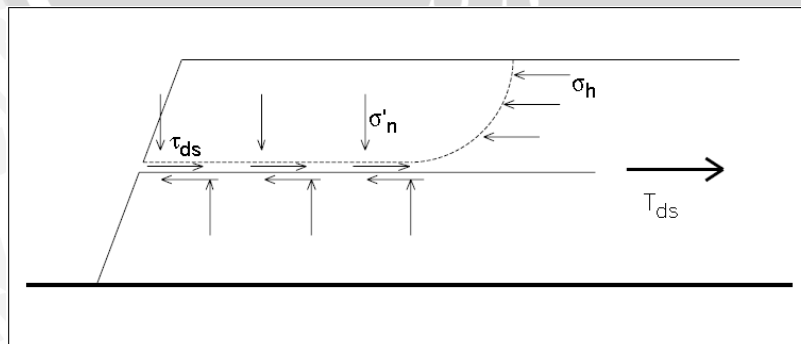


Gambar 2.14 Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik

2.5.7. Mekanisme Transfer Beban antara Geogrid dengan Tanah

Transfer beban antara geogrid dengan tanah dapat dijelaskan dengan mekanisme kegagalan geogrid. Terdapat dua mekanisme kegagalan pada geogrid yaitu meluncurnya massa tanah di atas perkuatan dan tercabutnya perkuatan geogrid. Kedua kegagalan tersebut sangat bergantung pada besarnya hambatan lekat pada geogrid.

Mekanisme kegagalan luncur dapat dilihat pada **Gambar 2.15**. Gaya penahan untuk kegagalan luncur ini berasal dari hambatan lekat antara geogrid dengan tanah sehingga menimbulkan tahanan geser. Tahanan geser tersebut juga dipengaruhi oleh besarnya tegangan normal diatas perkuatan geogrid. Tegangan normal di atas perkuatan geogrid tersebut tidak hanya berasal dari massa tanah, tetapi bisa juga dari berat beban di atas lereng.



Gambar 2.15 Mekanisme kegagalan luncur pada perkuatan geogrid

Dimana :

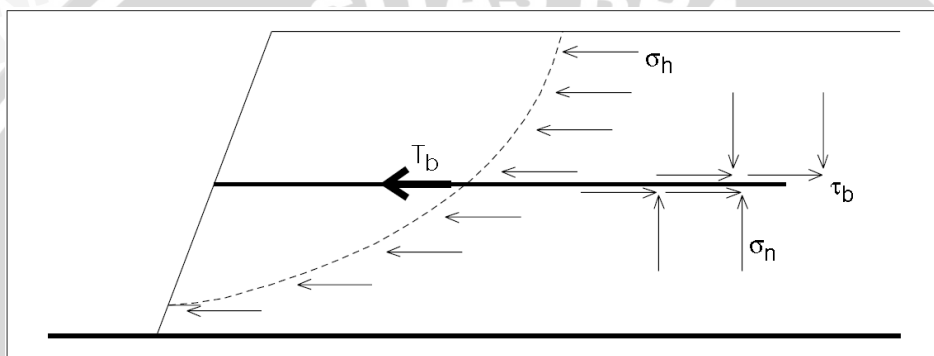
τ_{ds} = tahanan geser kegagalan luncur

σ_n' = tegangan normal efektif di atas perkuatan

f_{ds} = faktor luncur langsung

Φ = sudut geser tanah (dari *direct shear test*)

Mekanisme kegagalan cabut dapat dilihat pada **Gambar 2.16**. Gaya penahan untuk kegagalan cabut berupa tahanan geser yang juga berasal dari hambatan lekat geogrid dengan tanah, khususnya di atas dan di bawah permukaan geogrid. Tahanan geser tersebut juga dipengaruhi oleh besarnya tegangan normal diatas perkuatan geogrid.



Gambar 2.16 Mekanisme kegagalan cabut pada perkuatan geogrid

Dimana :

T_b = tahanan geser kegagalan cabut

σ_n = tegangan normal efektif di atas perkuatan

f_{po} = faktor cabut

Φ = sudut geser tanah (dari *direct shear test*)

Apabila geogrid menahan gaya akibat masa tanah dan beban luar yaitu P sehingga merupakan fungsi dari tekanan tanah lateral σ_h , maka diperlukan panjang geogrid yang cukup untuk menahan kedua mekanisme kegagalan.

2.6. Bearing Capacity Improvement (BCI)

Pengaruh adanya perkuatan baik menggunakan geogrid ataupun perkuatan yang lain, digambarkan dalam bentuk besaran non-dimensional yang biasanya disebut BCI. *Bearing Capacity Improvement* (BCI) adalah suatu perbandingan rasio yang menjelaskan perbandingan antara daya dukung tanah saat diberi perkuatan dengan daya dukung tanah

tanpa diberi perkuatan. Nilai BCI dapat ditentukan berdasarkan dua hal, yaitu daya dukung pada saat ultimit atau BCI_u (S.M. Marandi, 2008; P.K. haripal dkk, 2008; E. C. shin dkk, 2000; J. Thanapalasingam dkk, 2008; M.J. Kenny dkk, 1997) dan daya dukung pada penurunan yang sama atau BCI_s (A. Zahmatkesh dkk, 2010; S. M. Marandi, 2008)

Dari penelitian ini dapat diketahui peningkatan daya dukung (*Improvement Bearing Capacity*) dengan membandingkan daya dukung dengan dan tanpa perkuatan geogrid, sebagai berikut :

$$BCI = \frac{q}{q_0} \quad (2-12)$$

Dimana,

BCI = *Bearing Capacity Improvement*

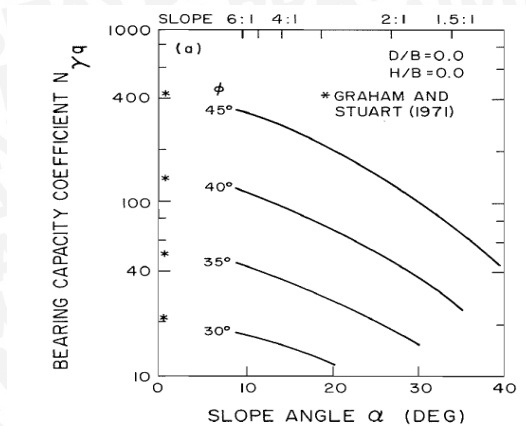
q = daya dukung dengan perkuatan geogrid menurut kemiringan sudut lereng dan jumlah lapisan geogrid

q_0 = daya dukung tanpa perkuatan geogrid

2.7. Pengaruh Kemiringan Sudut Lereng terhadap daya Dukung Pondasi di Dekat Lereng

Graham, Andrews, dan Shields (1987) selain meneliti tentang mekanisme keruntuhan pondasi di atas lereng, juga sekaligus menyelidiki pengaruh dari sudut kemiringan lereng terhadap daya dukung pondasi. Pemodelan yang dilakukan pada lereng tanah pasir dengan memakai rasio kedalaman pondasi (D/B) dan rasio jarak pondasi ke tepi lereng (H/B) sebesar nol. Besarnya daya dukung pondasi dinyatakan dalam faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ dimana faktor tersebut adalah yang paling berpengaruh terhadap besarnya daya dukung pada tanah granular.

Faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng α . Berdasarkan penelitian Graham, Andrews, dan Shields (1987), semakin besar sudut kemiringan lereng α maka nilai $N_{\gamma q}$ semakin kecil seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.17**. Graham juga menyebutkan bahwa apabila sudut kemiringan lereng tersebut mendekati sudut geser tanah ϕ , maka besarnya daya dukung tanah di atas lereng akan mendekati nol sesuai dengan trend kurva yang ditunjukkan pada **Gambar 2.17** tersebut.



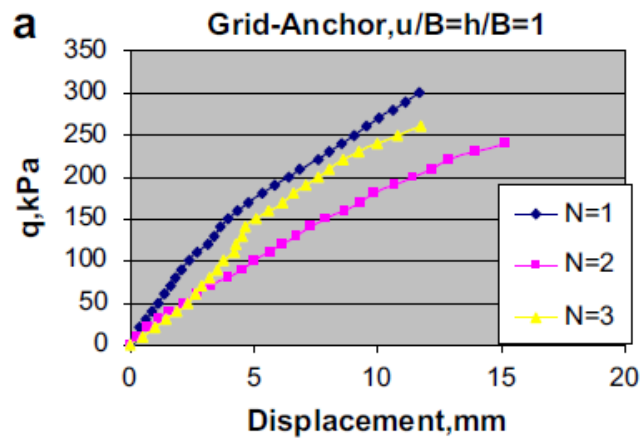
Gambar 2.17 Kurva faktor $N_{\gamma q}$ terhadap sudut kemiringan lereng menurut penelitian Graham, Andrews, dan Shields (1987)

2.8. Pengaruh Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Daya Dukung Pondasi di Dekat Lereng

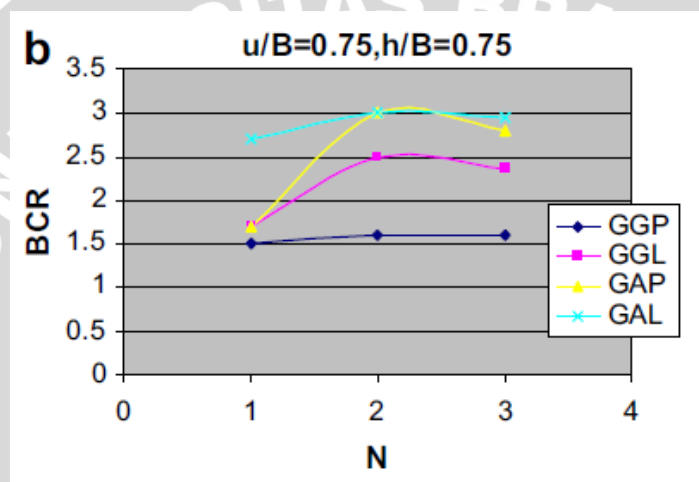
Saeed Alamshahi dan Nader Hataf (2009) meneliti mengenai pengaruh jumlah lapisan geogrid pada perkuatan lereng terhadap penurunan dan nilai daya dukung pondasi di dekat lereng.

Gambar 2.18 (a) menunjukkan pengaruh jumlah lapisan geogrid terhadap penurunan pada lereng. Pada kasus ini panjang geogrid dan jarak pondasi terhadap ujung lereng adalah konstan, tetapi jumlah lapisan geogrid dibuat bervariasi. Nilai BCR (perbandingan antara daya dukung lereng dengan perkuatan terhadap daya dukung lereng tanpa perkuatan) ditunjukkan oleh grafik pada **Gambar 2.18** (b). Untuk penurunan yang sama, grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan lapisan geogrid pada lereng akan menghasilkan peningkatan kapasitas daya dukung pada pondasi model. Selain itu, pada pembebanan pondasi yang sama, rasio penurunan berkurang secara drastis dengan penambahan lapisan geogrid, tetapi kondisi ini hanya berlanjut hingga $N=2$. Untuk $N=3$, tidak ada peningkatan nilai BCR justru penurunan nilai BCR yang terlihat.

Grafik tersebut menyatakan bahwa untuk lereng pasir dan kondisi perkuatan tertentu, terdapat jumlah kritis lapisan perkuatan yang menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas daya dukung sudah tidak mungkin terjadi dan dapat menghasilkan pengaruh sebaliknya. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya mengenai plat persegi di atas pasir kering (Omar et al., 1993; Das et al., 1994; Yoo, 2001; El Sawwaf, 2005; Lee and Manjunath, 2000) yang menunjukkan bahwa terdapat jumlah kritis lapisan geogrid setelah nilai BCR menjadi konstan.



(a)



(b)

Gambar 2.18 Pengaruh jumlah lapisan geogrid : (a) Kurva beban-penurunan; (b) BCR

2.9. Penelitian Sebelumnya Mengenai Perkuatan Geogrid

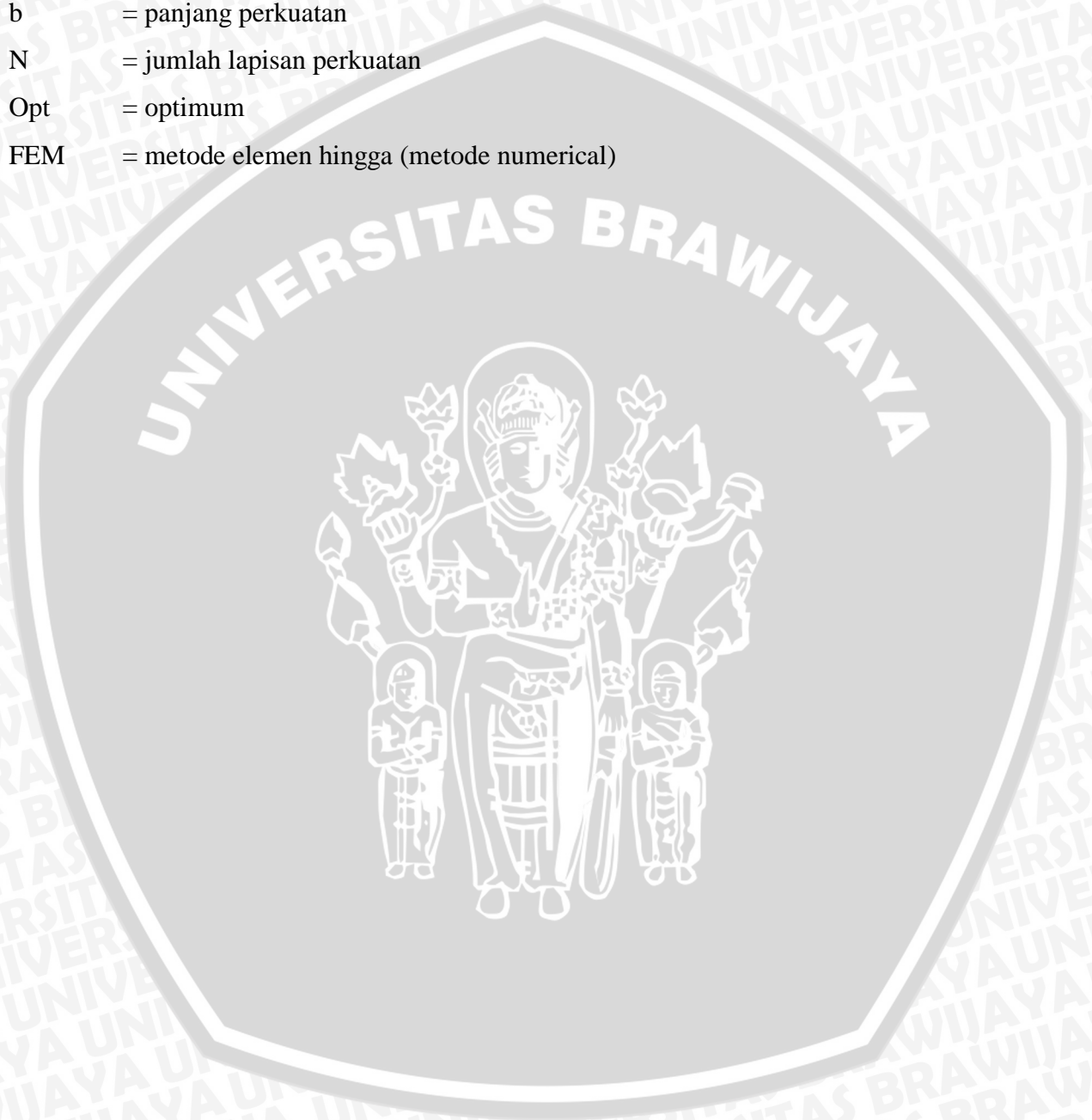
Ghazavi dan Mirzaeifar (2010) menyatakan bahwa penggunaan perkuatan geosintetik dapat meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan tanah. Banyak penelitian analitis, numerik, dan eksperimental telah dilakukan untuk menguji perilaku tanah dengan perkuatan yang di atasnya dibangun pondasi pada berbagai macam jenis tanah. Binquet dan Lee (1975) adalah yang pertama kali meneliti efek perkuatan pada tanah terhadap peningkatan daya dukung pondasi dangkal dan kemudian dilanjutkan oleh banyak peneliti lainnya. **Tabel 2.6** merangkum beberapa penelitian sebelumnya mengenai parameter yang paling optimum untuk tanah dengan perkuatan geogrid.

Tabel 2.6 Parameter Optimum pada Penelitian Sebelumnya

Researcher	Year	Type of Reinforcement	Type of Footing	$(u/B)_{Opt}$	$(b/B)_{Opt}$	$(h/B)_{Opt}$	N _{Opt}
Akinmusuru & Akinbolade	1981	Woven Strips	Square	0.5 – 1			3
Guido et al.	1985	Geotextil	Square	0.5	2.5		3
Singh	1988	Geogrid	Square			0.15 – 0.25	
Omar et al.	1993	Geogrid	Square	1	4.5	0.33	3
Yetimoglu et al.	1994	Geogrid	Square	0.25	4.5	0.2	
Ismail & Raymond	1995	Geogrid FEM	Strip	0.31			2
Adams & Collin	1997	Geogrid		0.48		0.25 – 1.5	3
Hataf & Baziar	2000	Waste Tires Materials	Square	0.315		0.46	
Boushehrian & Hataf	2003	Geogrid	Circular	0.47		0.2	3
Boushehrian & Hataf	2003	Geogrid FEM	Circular	0.56		0.33	3
Patra, Das & Atalar	2005	Geogrid	Strip	0.35	5	0.25	
Chang & Cascante	2006	Geogrid FEM	Square	0.3 – 0.5			
Hataf & Baziar	2007		Square			0.46	
Mosallamezhad et al.	2008	Grid – Anchor	Square				
Alamshahi & Hataf	2009	Geogrid FEM	Strip	0.75		0.75	3
Mosallamezhad & Hataf	2010	Grid – Anchor FEM	Square	0.25	1.5	0.25	
Ghazavi & Mirzaeifar	2010	Geogrid	Square	0.3	3	0.3	
El Sawwaf & Nazir	2010	Geogrid	Strip	0.3	5	0.6	3
El Sawwaf & Nazir	2011	Geogrid	Strip			0.5	3
Zidan	2012	Geogrid FEM	Circular	0.19		0.2	4

Dimana :

- B = lebar pondasi dangkal
- D = diameter pondasi melingkar
- U = kedalaman lapisan perkuatan pertama
- h = jarak vertikal antara lapisan perkuatan
- b = panjang perkuatan
- N = jumlah lapisan perkuatan
- Opt = optimum
- FEM = metode elemen hingga (metode numerical)



BAB III METODE PENELITIAN

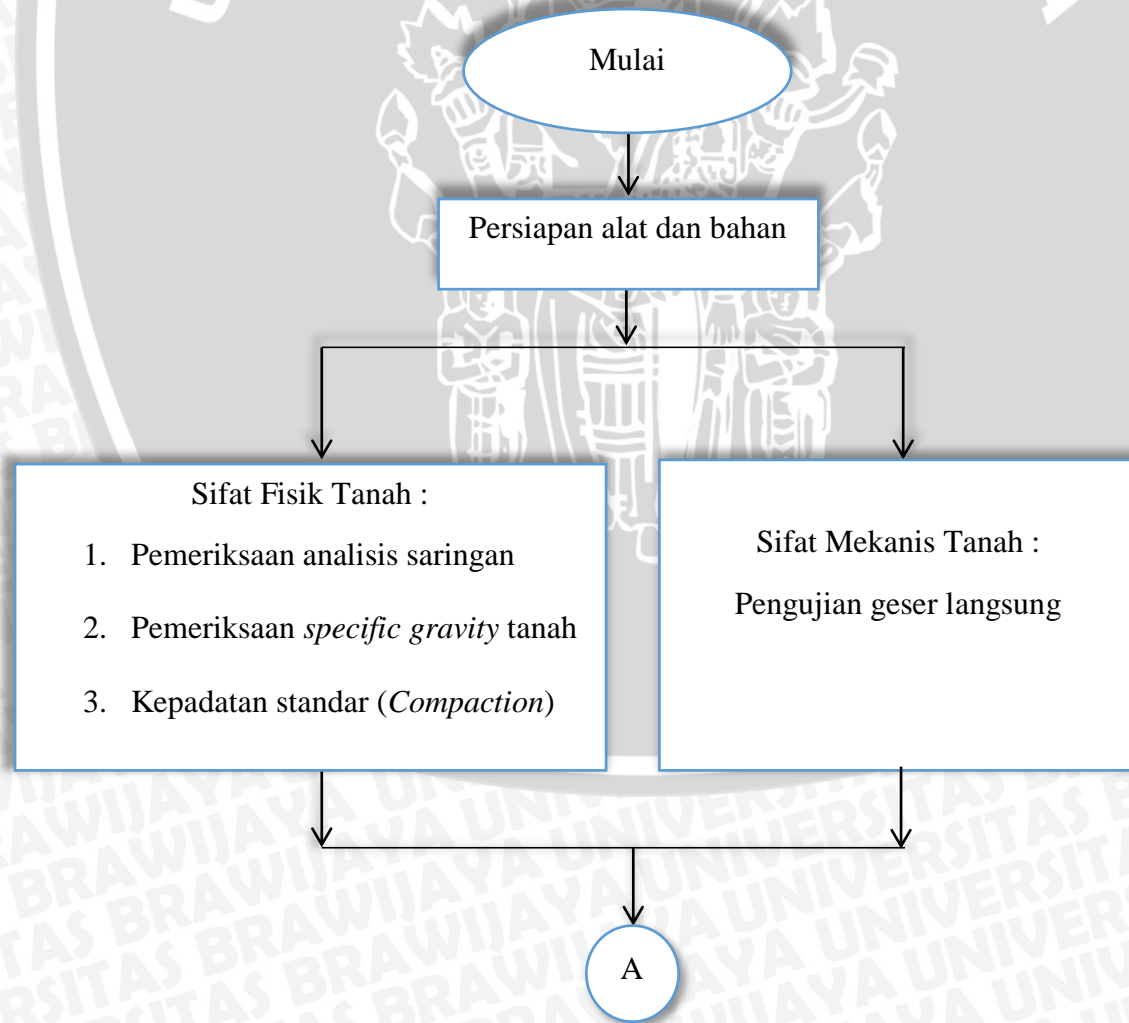
3.1. Waktu dan Tempat

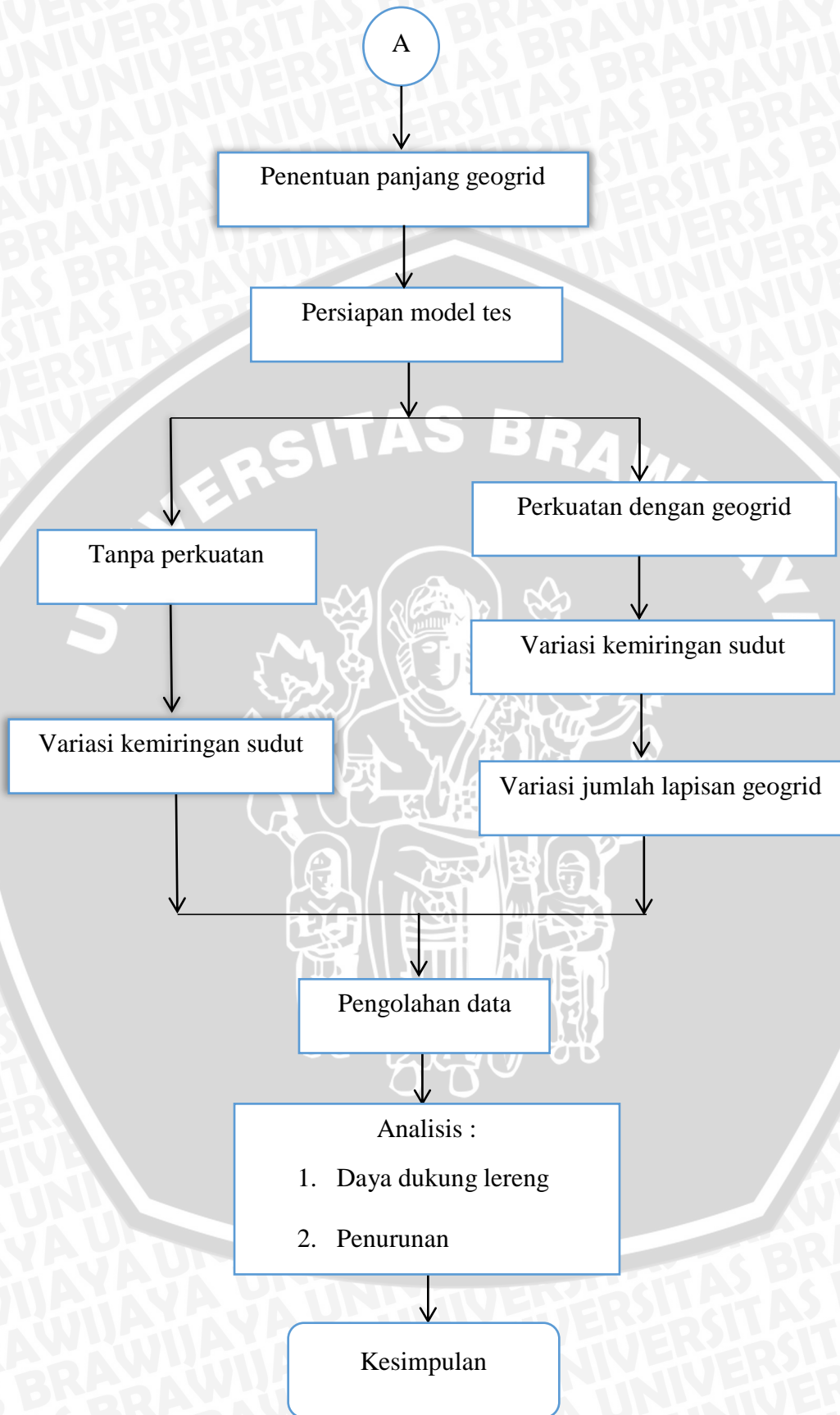
Waktu : Oktober 2015 sampai dengan selesai

Tempat : Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi serta Laboratorium Mekanika Tanah dan Geoteknik Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya

3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, tahap-tahap pelaksanaan dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan pada **Gambar 3.1** berikut.





Gambar 3.1 Bagan alir percobaan

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model lereng yang dibentuk dari timbunan tanah pasir. Tanah tersebut termasuk jenis tanah pasir dengan simbol SP (*Poorly Graded Sand*) berdasarkan Sistem *Unified* (U.S.C.S).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Silinder beton
- b. Dongkrak hidrolik
- c. Balok pembeban
- d. LVDT
- e. *Load cell*

Gambar peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada

Gambar 3.1



(a)



(b)



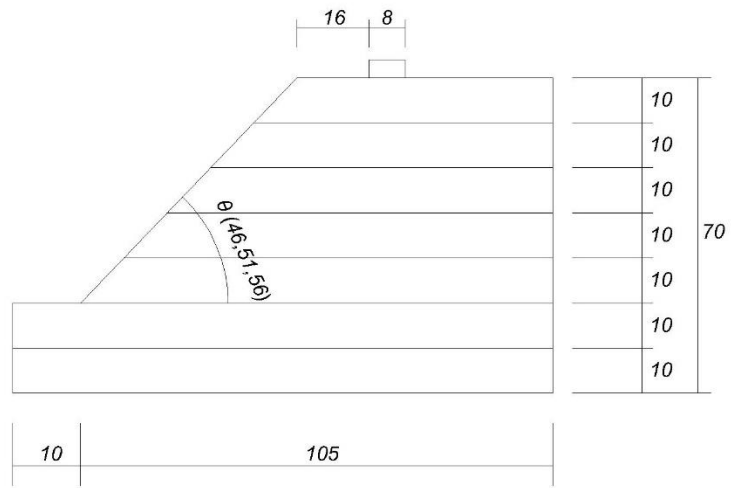
(c)

Gambar 3.2 (a) Silinder Beton; (b) Dial LVDT; (c) *Load cell*

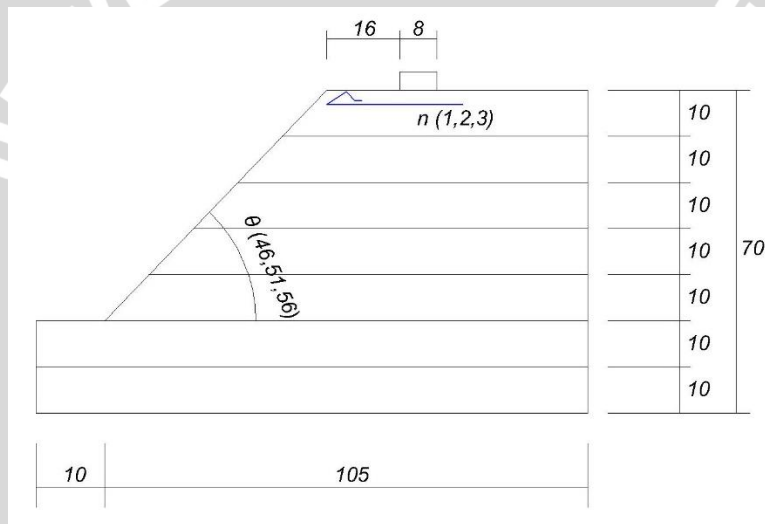
3.4. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

Pada percobaan ini dibuat 9 buah benda uji dengan 3 variasi kemiringan sudut lereng dan 3 variasi jumlah lapisan geogrid untuk pondasi menerus yang diletakkan di permukaan lereng dengan RC 85%.

Lereng dibuat dengan sudut kemiringan 46° , 51° , 56° . Pondasi menerus dengan lebar pondasi 8 cm diletakkan pada jarak 16 cm dari tepi lereng (rasio $d/B=2$). Jumlah lapisan geogrid yang digunakan adalah 1, 2, dan 3 lapis perkuatan. Pengulangan dilakukan dengan perlakuan yang sama apabila hasil dari pengujian benda uji terdapat penyimpangan. Adapun perlakuan benda uji ditunjukkan pada **Gambar 3.3** berikut.



(a)



(b)

Gambar 3.3 Model tes lereng percobaan : (a) Tanpa perkuatan geogrid; (b) Dengan perkuatan geogrid

Dalam penelitian ini, ada beberapa faktor dalam pembuatan benda uji yang sangat menentukan penelitian ini sehingga perlu diperhatikan. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. Pemadatan

Karena tanah yang dipakai merupakan tanah dengan jenis pasir, maka metode mekanis pemadatan yang dipakai adalah dengan menggilas menggunakan beton silinder. Jenis pemadatan seperti ini lebih memungkinkan pemadatan yang lebih merata pada setiap lapisan. Pemadatan dilakukan per lapis. Adapun ketinggian tanah

yang diinginkan di tiap lapisan yaitu 10 cm, sehingga penggilasan dilakukan beberapa kali sampai ketinggian yang diinginkan di tiap lapisannya.

Pemadatan dengan cara ini didasarkan pada kontrol volume, sehingga berat tanah yang dimasukkan ke dalam box pengujian tiap lapisannya diukur dan ditimbang. Volume tanah yang dimasukkan di tiap lapisannya didasarkan pada penelitian pendahuluan untuk mengukur kepadatan tanah dengan menggunakan *density ring*.

2. Ketinggian Lereng

Selain sudut kemiringan lereng stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh dimensi tinggi lereng. Agar tidak terjadi keruntuhan lereng sebelum model tersebut diuji maka untuk mengimbangi kemiringan lereng yang cukup curam, ditetapkan tinggi lereng sebesar 50 cm. Setelah ditambah susunan pembebanan, maka ketinggian tersebut sudah menempatkan ujung atas susunan beban pada *reaction beam*.

3. Sudut Kemiringan Lereng

Penggunaan sudut lereng yang merupakan batas curam juga mempermudah memperoleh data hasil keruntuhan setelah dibebani. Tebing yang rawan longsor dan mempunyai sudut kemiringan lebih besar dari sudut geser dalam dari tanahnya dapat dilandaikan dengan sudut lereng yang cukup aman. Jadi pada penelitian kali ini sudut kemiringan yang digunakan sebesar 46° , 51° , 56° .

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. Pengujian Dasar

Dalam penelitian ini dilakukan penelitian dasar pada tanah, yaitu antara lain :

- Pemeriksaan analisis saringan menurut ASTM C-136-46
- Pemeriksaan *specific gravity* butiran tanah mengikuti ASTM D-854-58
- Kepadatan standar (*Compaction*) mengikuti ASTM D-698-70 metode B
- Pemeriksaan kekuatan geser langsung (*Direct Shear*) menurut ASTM D-3080-72

3.5.2. Persiapan Benda Uji

Tanah yang akan digunakan sebagai model lereng diayak terlebih dahulu dengan saringan No. 4 dan yang lolos saringan digunakan untuk pemodelan lereng.

Pemadatan tanah model untuk tiap lapisannya dilakukan dengan cara menggilas tanah menggunakan beton silinder dengan berat 11,28 kg dengan tinggi beton 30 cm. Pemadatan dengan cara ini didasarkan pada kontrol volume, sehingga berat tanah yang dimasukkan ke dalam *box* pengujian tiap lapisannya diukur dan ditimbang. Jumlah gilasan yang dilakukan

untuk mendapatkan kepadatan yang diinginkan didapatkan dengan cara memadatkan hingga ketinggian yang diinginkan, yaitu 10 cm dan kemudian dilakukan uji *density ring* untuk mengontrol nilai kepadatan. Sedangkan, pada lapisan pertama dan ketiga dari permukaan atas lereng dilakukan uji *sand cone* untuk mengontrol nilai kepadatan pada lapisan tersebut.

Elemen utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *box*, terbuat dari *fiber glass* dengan ukuran panjang 1,50 m, lebar 1,0 m, dan tinggi *box* 1,0 m. Dasar *box* menggunakan pelat baja dengan tebal 1,2 cm. *Box* dibuat cukup kaku dengan harapan agar dapat mempertahankan kondisi regangan bidang dengan memberikan perkuatan di sekeliling bagian tengah ke empat sisi *fiber glass* dengan menggunakan pelat siku baja 40.40.4. Penggunaan *fiber glass* diharapkan dapat digunakan supaya dapat diamati dan dilihat saat pelaksanaan. Gambar *box* ditunjukkan pada **Gambar 3.4** berikut ini.



Gambar 3.4 Model box penelitian

3.5.3. Model Tes Lereng

Pemodelan fisik lereng tanah pasir yang dibuat di laboratorium dirancang menyerupai kondisi yang ada di lapangan. Pemodelan ini bertujuan untuk mempermudah dalam pengamatan dan mengurangi volume bahan, sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan dan menghemat lahan penelitian.

Langkah-langkah percobaan pada pembuatan pemodelan fisik lereng tanah pasir tanpa perkuatan, yaitu:

1. Tanah pasir dipersiapkan dengan gradasi halus sampai sedang.

2. Tanah pasir dimasukkan per lapisan ke dalam box kemudian dipadatkan dengan cara digilas menggunakan silinder beton di setiap lapisan sesuai tinggi lapisan yang dijelaskan pada **Gambar 3.3** (a). Setiap lapisan dicek dan dikontrol kadar airnya dan kepadatannya menggunakan *density ring*.
3. Tanah didiamkan selama ± 30 menit dengan tujuan agar partikel-partikel tanah ada kesempatan untuk melakukan pergeseran rongga-rongga yang masih dapat diisi.
4. Kemiringan lereng dibuat sesuai sudut yang akan diuji, yaitu 46° , 51° , 56° .

Sedangkan langkah-langkah percobaan pada pembuatan pemodelan fisik lereng tanah pasir dengan perkuatan geogrid, yaitu:

1. Tanah pasir dipersiapkan dengan gradasi halus sampai sedang.
2. Tanah pasir dimasukkan per lapisan ke dalam box kemudian dipadatkan di setiap lapisan sesuai tinggi lapisan yang dijelaskan pada **Gambar 3.3** (b) menggunakan silinder beton.
3. Perkuatan geogrid dipasang sesuai dengan letak yang telah dijelaskan pada **Gambar 3.3** (b).
4. Setelah lapisan geogrid di hamparkan, ditimbun dengan pasir dan kemudian dijangkarkan.
5. Dilakukan pemadatan dengan cara yang sama, yaitu menggilas pasir pada model lereng dengan menggunakan silinder beton hingga ketinggian yang diinginkan.
6. Setiap lapisan dicek kadar airnya dan kepadatannya menggunakan *density ring*.
7. Tanah didiamkan selama ± 30 menit dengan tujuan agar partikel-partikel tanah ada kesempatan untuk melakukan pergeseran rongga-rongga yang masih dapat diisi.
8. Kemiringan lereng dibuat sesuai sudut yang akan diuji, yaitu 46° , 51° , 56° .

3.5.4. Pengujian Pembebanan

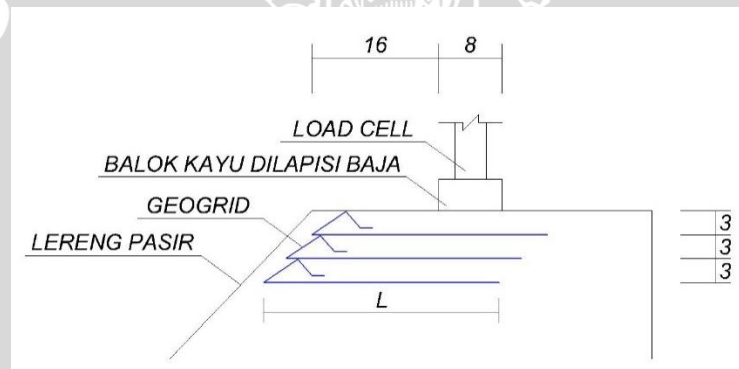
Pembebanan dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi, dalam pembebanan digunakan *load cell*. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan balok kayu yang dilapisi baja pada seluruh permukaannya.

Baja profil yang dipasang di bagian bawah balok kayu berfungsi untuk meratakan beban yang dihasilkan pompa hidrolik ke tanah. Balok kayu yang digunakan memiliki dimensi sebesar $8 \times 4 \times 98$ cm. Beban yang diberikan diusahakan dapat berupa beban merata pada permukaan atas model lereng, dengan luasan beban 8×98 cm.

Adapun langkah-langkah pengujian pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Memasang pondasi menerus yang terbuat dari baja yang didalamnya diisi dengan balok kayu. Pondasi yang digunakan memiliki dimensi 8 x 4 x 98 cm. Pondasi dipasang dengan jarak 16 cm dari ujung lereng sesuai variabel $d/B=2$.
2. Memasang *load cell* untuk mengukur besarnya beban yang terjadi. Untuk memastikan beban sentris di tengah pondasi, dilakukan pengecekan dengan *waterpass*.
3. Memasang *dial LVDT* dan *LVDT digital* pada pondasi untuk mengetahui besarnya penurunan selama pembebanan.
4. Melakukan uji pembebanan menggunakan dongkrak hidrolik. Pembebanan dilakukan bertahap tiap 5 kg hingga beban tidak dapat ditambahkan lagi atau hingga lereng mengalami keruntuhan.
5. Mencatat beban yang diberikan dan penurunan yang terjadi.

Tampak samping susunan pembebanan ditunjukkan pada **Gambar 3.5** berikut ini.



Gambar 3.5 Contoh susunan pembebanan

3.6. Metode Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian pembebanan, diperoleh data beban dan penurunan untuk lereng tanpa perkuatan serta beban dan penurunan untuk lereng dengan perkuatan geogrid yang divariasikan panjang dan spasi vertikal antar lapisannya.

Daya dukung dihitung dengan **Persamaan 3-1** berikut:

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (3-1)$$

Dimana,

P_u = beban maksimum yang dicatat saat uji pembebanan

A = luasan pondasi

Data-data di atas kemudian disajikan pada **Tabel 3.1**, **Tabel 3.2**, dan **Tabel 3.3** berikut ini:

Tabel 3.1 Daya Dukung dan Penurunan Lereng tanpa Perkuatan

No.	Sudut (α°)	Penurunan (mm)	Beban Maksimum (kg)	q_u (kN/cm ²)
1	46			
2	51			
3	56			

Tabel 3.2 Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Variasi Sudut Kemiringan Lereng Menggunakan Perkuatan

No.	Jumlah lapisan geogrid (n)	Sudut (α°)	Penurunan (mm)	Beban maksimum (kg)	q_u (kN/cm ²)
1		46			
2	1	51			
3		56			
4		46			
5	2	51			
6		56			
7		46			
8	3	51			
9		56			

Tabel 3.3 Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Variasi Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid

No.	Sudut (α°)	Jumlah lapisan geogrid (n)	Penurunan (mm)	Beban maksimum (kg)	q_u (kN/cm ²)
1		1			
2	46	2			
3		3			
4		1			
5	51	2			
6		3			
7		1			
8	56	2			
9		3			

Data-data pada tabel diatas kemudian disajikan dalam grafik hubungan daya dukung dan penurunan. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan geogrid sebagai perkuatan lereng dalam meningkatkan daya dukung dilakukan analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI)*. Nilai *BCI* diperoleh dengan rumus pada **Persamaan 3-2**.

$$BCI = \frac{q}{q_0} \quad (3-2)$$

Dimana,

BCI = *Bearing Capacity Improvement*

q = daya dukung dengan perkuatan geogrid

q_0 = daya dukung tanpa perkuatan

Hasil analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI)* kemudian disajikan dalam **Tabel 3.4** berikut ini:

Tabel 3.4 *Bearing Capacity Improvement (BCI)* untuk Variasi Sudut Kemiringan Lereng dan Jumlah Lapisan Geogrid

No.	Sudut (α °)	qu lereng tanpa perkuatan (kN/cm ²)	qu lereng dengan perkuatan (kN/cm ²)			BCI		
			n = 1	n = 2	n = 3	n = 1	n = 2	n = 3
1	46							
2	51							
3	56							

3.7. Variasi Penelitian

Dalam hubungan antara dua variabel, misalnya antara variabel X dan Y. Jika variabel X disebabkan oleh variabel Y, maka variabel X merupakan variabel *dependent* (konsekuensi) dan variabel Y adalah variabel *antecedent* (bebas).

Variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Variabel *antecedent* (bebas) dalam penelitian ini antara lain.
 - Jumlah lapisan geogrid yang digunakan untuk perkuatan (n=1, n=2, n=3)
 - Pondasi terletak diatas permukaan lereng
 - Panjang geogrid terukur dari tepi lereng sebesar (L= 40 cm)
 - Jarak vertikal antar lapisan geogrid (3 cm)
 - Sudut kemiringan lereng 46 °, 51 °, 56°
 - Kepadatan tanah pasir dengan RC 85%
- b. Variabel *dependent* (konsekuensi) dalam penelitian ini antara lain.
 - Pola keruntuhan yang terjadi
 - Beban maksimum yang mampu ditahan oleh lereng
 - Penurunan maksimum yang terjadi akibat beban maksimum di atasnya
 - Daya dukung lereng menahan beban diatasnya



BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Analisis Bahan

Penelitian ini menggunakan 3 bahan utama yaitu tanah pasir, pondasi, dan geogrid untuk perkuatannya. Karakteristik bahan-bahan tersebut yaitu :

- a. Tanah pasir bergradasi buruk dengan simbol SP (*Poorly Graded Sand*) menurut sistem klasifikasi USCS.
- b. Pondasi yang digunakan untuk menopang dan meneruskan beban adalah pondasi menerus lebar pondasi (B) 8 cm. Pondasi terbuat dari kayu dengan lapisan luarnya berupa baja sehingga bersifat kaku (*rigid*).
- c. Bahan perkuatan yang digunakan adalah geogrid biaksial tipe Miragrid GX 40/40 dengan kuat Tarik 40 kN/m². Geogrid terbuat dari bahan poliester dan diperoleh dari PT. Tetrasa Geosinindo.

Tabel 4.1 Tipe Geogrid

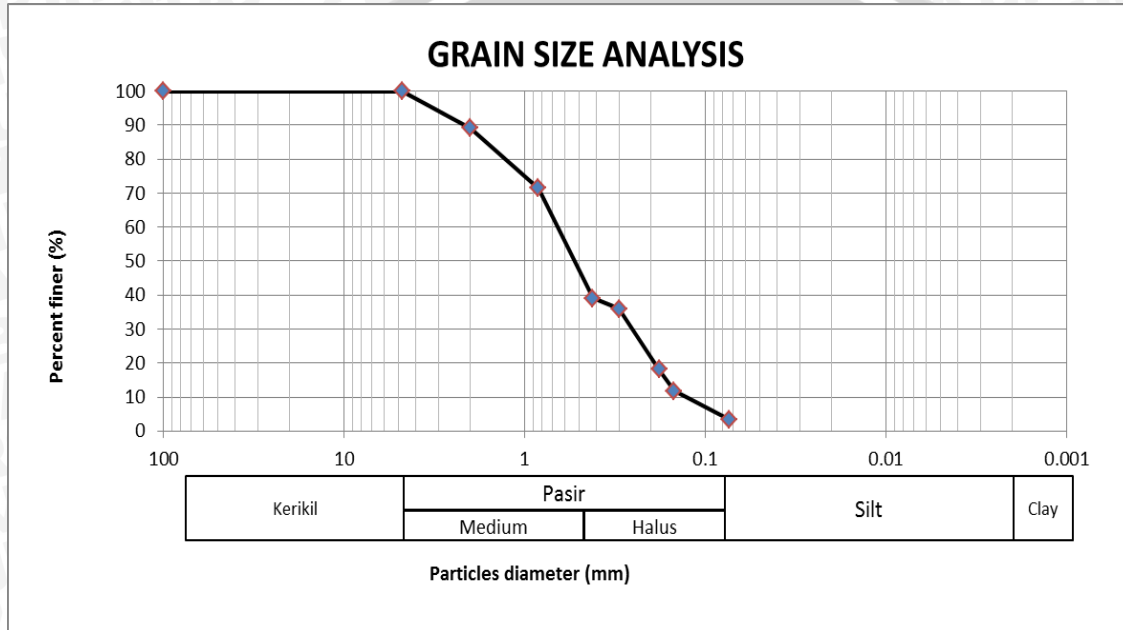
Properties of TenCate Miragrid® GX Geogrids										
Property	Unit	GX 40/40	GX 60/30	GX 60/60	GX 80/30	GX 80/80	GX 100/30	GX 130/30	GX 160/50	GX 200/50
Characteristic short term tensile strength (ISO 10319) MD	kN/m	40	60	60	80	80	100	130	160	200
Characteristic short term tensile strength (ISO 10319) CD	kN/m	40	30	60	30	80	30	30	50	50
Strain at short term strength	MD %	11	11	11	11	11	11	11	12	12
Partial factor -creep rupture										
at 60 years design life		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
at 120 years design life		1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Creep limited strength										
at 60 years design life	kN/m	28.6	42.9	42.9	57.1	57.1	71.4	92.9	114.3	142.9
at 120 years design life	kN/m	27.6	41.4	41.4	55.2	55.2	68.0	89.7	110.3	137.9
Partial factor -construction damage										
in clay, silt or sand		1.15	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.05	1.05
in sandy gravel		1.21	1.19	1.19	1.17	1.17	1.14	1.11	1.10	1.08
in gravel		1.25	1.23	1.23	1.20	1.20	1.17	1.14	1.12	1.10
Partial factor -environmental effects in soil environment (pH <11)										
at 60 years design life		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
at 120 years design life		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Long term design strength at 60 years design life										
in clay, silt or sand	kN/m	23.7	37.8	37.8	50.4	50.4	63.0	81.9	103.7	129.6
in sandy gravel	kN/m	22.5	34.3	34.3	46.5	46.5	58.7	79.7	98.9	126.0
in gravel	kN/m	21.8	33.2	33.2	45.4	45.4	58.1	77.6	97.2	123.7
at 120 years design life										
in clay, silt or sand	kN/m	21.8	34.8	34.8	46.4	46.4	58.1	75.5	95.5	119.4
in sandy gravel	kN/m	20.7	31.6	31.6	42.9	42.9	55.0	73.4	91.2	116.1
in gravel	kN/m	20.1	30.6	30.6	41.8	41.8	53.6	71.5	89.6	114.0
Nominal roll width	m	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
Nominal roll length	m	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Estimated roll weight (+/- 10%)	kg	132	129	176	160	249	189	244	310	374

(Sumber : PT. Tetrasa Geosinindo)



4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah

Pada awal penelitian dilakukan beberapa pengujian dasar untuk mengetahui karakteristik pasir yang digunakan. Salah satunya adalah analisis gradasi butiran tanah. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Data yang diperoleh dari hasil pengujian analisis saringan terhadap gradasi butiran tanah disajikan pada **Gambar 4.1** di bawah ini.



Gambar 4.1 Hasil pembagian ukuran butiran tanah

Berdasarkan data hasil pengujian dapat diketahui pasir yang lolos saringan no. 200 sebesar 3,47%. Pada sistem Klasifikasi Unified, tanah tersebut digolongkan sebagai tanah berbutir kasar dengan prosentase tanah yang tertahan saringan no. 200 lebih dari dari 50%.

Untuk menentukan jenis pasir, maka digunakan Rumus (4-1) berikut ini.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 6 \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \neq 1 < C_c < 3 \quad (4-1)$$

Diketahui:

$$D_{60} = 0,65$$

$$D_{30} = 0,25$$

$$D_{10} = 0,15$$

$$Cu = \frac{(0,65)}{0,15} = 4,333 < 6 \quad Cc = \frac{(0,25)^2}{0,15 \times 0,65} = 0,641$$

Karena nilai Cu kurang dari 6 dan nilai Cc tidak diantara 1 dan 3 maka dapat disimpulkan bahwa jenis pasir ini tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW (*Well Graded Sand*) sehingga gradasi pasir tersebut adalah SP (*Poorly Graded Sand*), yaitu pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.

4.1.2. Analisis Specific Gravity

Pengujian dasar berikutnya adalah *Specific Gravity*. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan no.4 dengan picnometer. *Specific Gravity* merupakan perbandingan antara berat butir tanah dan berat suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

Data yang diperoleh dari laboratorium dimasukkan ke dalam **Persamaan 4-2** berikut.

$$SG = \frac{W_s}{W_s - W_1 + W_2} \quad (4-2)$$

dengan,

SG = *Specific Gravity*

W_s = berat tanah kering

W_1 = berat labu ukur + air + tanah

W_2 = berat labu ukur + air

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis yang dilakukan di laboratorium diperoleh nilai *Specific Gravity* sebesar 2,6481 seperti yang disajikan dalam **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4.2 Rata-rata *Specific Gravity* Pasir

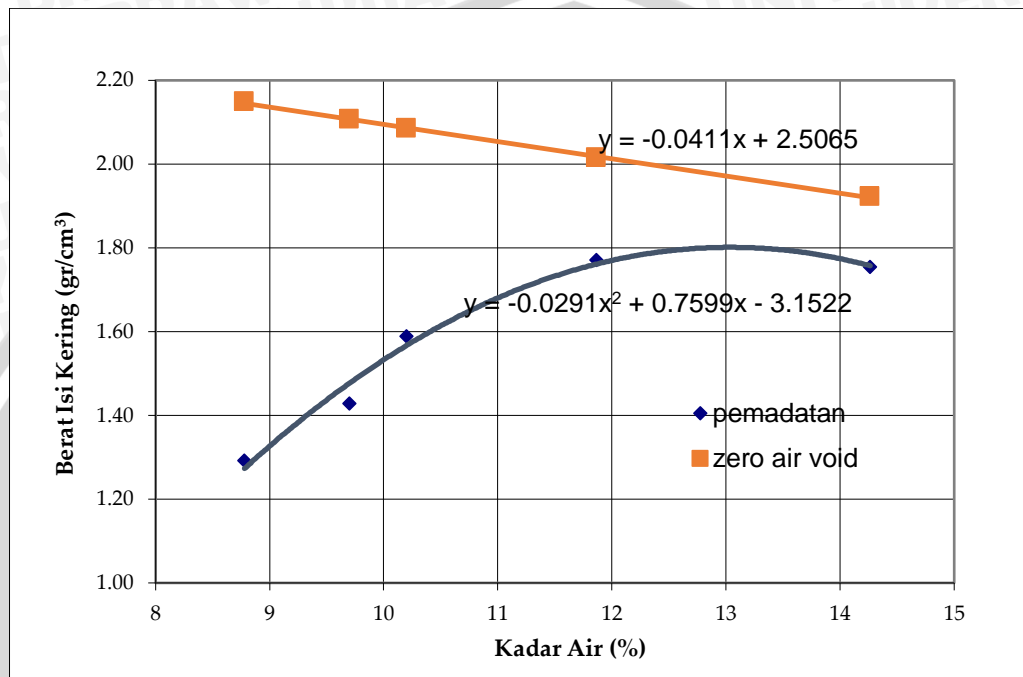
Labu ukur	A	B	C
Berat jenis	2,6157	2,6751	2,6536
Berat jenis rata-rata	2,6481		

4.1.3. Analisis Pemeriksaan Kepadatan Tanah (*Compaction*)

4.1.3.1. Kepadatan Tanah Standar di Laboratorium (*Proctor Test*)

Pengujian kepadatan standar (*compaction*) bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah yang dinyatakan dalam berat isi kering dengan memadatkan tanah di dalam *mold* berdiameter 15,5 cm menggunakan proktor standar dengan

berat 2,5 kg. Tinggi jatuh untuk pemadatan standar adalah sebesar 30,48 cm (12 inch) dengan jumlah tumbukan sebanyak 56 kali setiap lapisan. Acuan dari uji pemadatan ini adalah ASTM D-698-70 metode B. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai berat isi kering (γ_d) maksimum sebesar 1,801 gr/cm³ dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 13,038%. Grafik hasil pengujian tersebut disajikan dalam **Gambar 4.2** berikut :



Gambar 4.2 Grafik pemadatan standar

4.1.3.2. Kepadatan Tanah Model

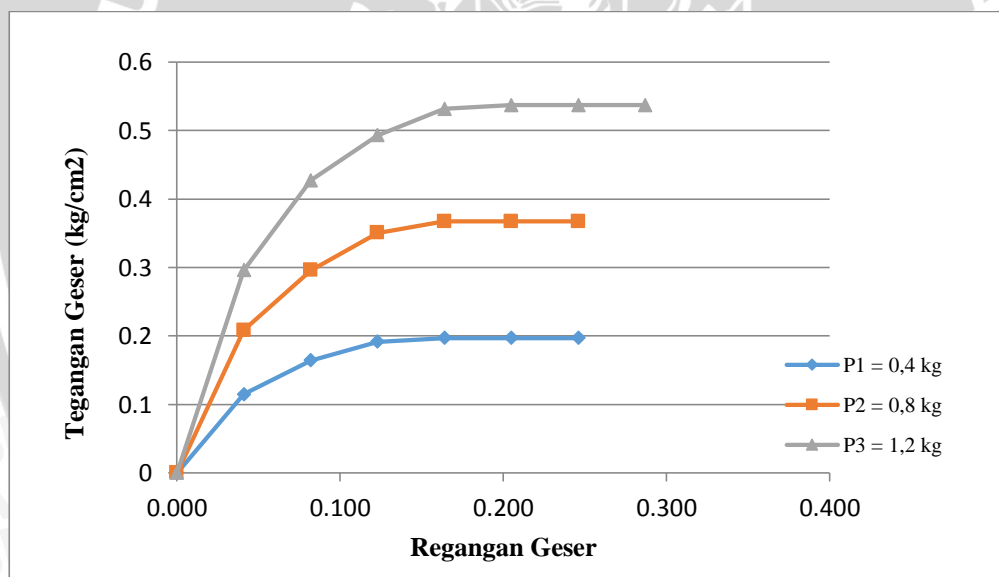
Kepadatan tanah model (γ_{lap}) digunakan karena pada saat percobaan dalam model sangat sulit didapatkan kepadatan maksimum seperti halnya pada percobaan di laboratorium. Untuk menentukan berat isi kering pada model, digunakan *density ring* yang menghasilkan nilai berat isi kering model (γ_{lap}). Perbandingan berat isi kering model (γ_{lap}) dengan berat isi kering yang diperoleh dari pemadatan standar di laboratorium (γ_{lab}) menghasilkan nilai kepadatan relatif (RC). Berat isi kering (γ_{lap}) yang dipakai dalam penelitian ini adalah 1,531 gr/cm³ untuk kepadatan relatif sebesar 85%.

Pemodelan lereng dibagi menjadi 7 lapisan dengan tinggi masing-masing sebesar 10 cm. Pemadatan tanah pada tiap lapisan dilakukan dengan cara menggilas tanah dengan menggunakan beton silinder dengan berat 11,28 kg dan tinggi 30 cm. Jumlah gelindingan yang dilakukan untuk mendapatkan kepadatan yang diinginkan didapatkan dengan cara memadatkan hingga ketinggian yang diinginkan yaitu 10 cm. Kemudian dilakukan

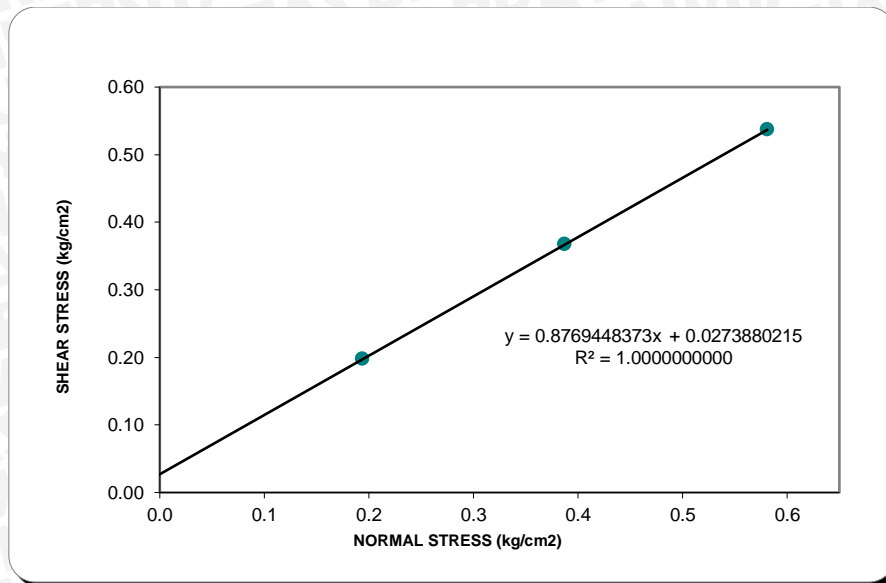
pengujian *density ring* untuk mengontrol nilai kepadatan agar sesuai dengan kepadatan rencana.

4.1.4. Analisis Kuat Geser Langsung (*Direct Shear*)

Analisis pengujian geser langsung ini dimaksudkan untuk menentukan parameter nilai kohesi tanah (c) serta nilai sudut geser dalam tanah (ϕ). Hasil dari pengujian ini disajikan dalam grafik hubungan antara tegangan normal (σ) dan tegangan geser maksimum (τ). Dari grafik tersebut dapat diperoleh nilai kohesi tanah serta nilai sudut geser tanah dengan menghubungkan ketiga titik yang diperoleh dengan garis linear sehingga membentuk garis lurus yang memotong sumbu vertikal pada nilai kohesi (c) dan memotong sumbu horizontal dengan membentuk sebuah sudut yang merupakan sudut geser dalam tanah (ϕ). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai sudut geser dalam tanah (ϕ) sebesar $41,25^\circ$ dan nilai kohesi (c) sebesar $0,027 \text{ kg/cm}^2$. Grafik hasil pengujian *direct shear* disajikan pada Gambar 4.3.



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser
(b) Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal

4.2. Pengujian Model Test

Pada penelitian ini digunakan boks dengan ukuran 100 cm x 150 cm x 100 cm yang diisi dengan pasir dan kemudian dibentuk menjadi lereng. Pengisian pasir dilakukan dengan cara membagi menjadi 7 lapisan dengan ukuran tiap lapisannya adalah 100 cm x 115 cm x 10 cm. Pada tiap lapisan dilakukan kontrol volume dengan cara memasukkan pasir (WC = 9,99%) seberat 193,66 kg di setiap lapisannya. Pemeriksaan kepadatan dan kadar air dilakukan di setiap lapisan menggunakan *density ring*.

Setelah tanah mencapai tinggi 70 cm, kemudian didiamkan selama ± 30 menit agar tanah dapat mengisi rongga-rongga yang masih kosong. Selanjutnya dibuat lereng sesuai dengan kemiringan sudut yang akan diuji yaitu 46°, 51°, 56°. Setelah lereng terbentuk, pondasi dengan lebar (B) 8 cm diletakkan pada lereng dengan jarak tepi lereng ke pondasi (d) sebesar 16 cm ($d/B = 2$). Setelah semua persiapan sudah dilakukan dan lereng sudah siap diuji, beban diberikan setiap kelipatan 5 kg sampai lereng mengalami keruntuhan dan tidak mampu menahan beban yang diberikan.

4.3. Hasil Pengujian Model Test

4.3.1. Lereng Tanpa Perkuatan

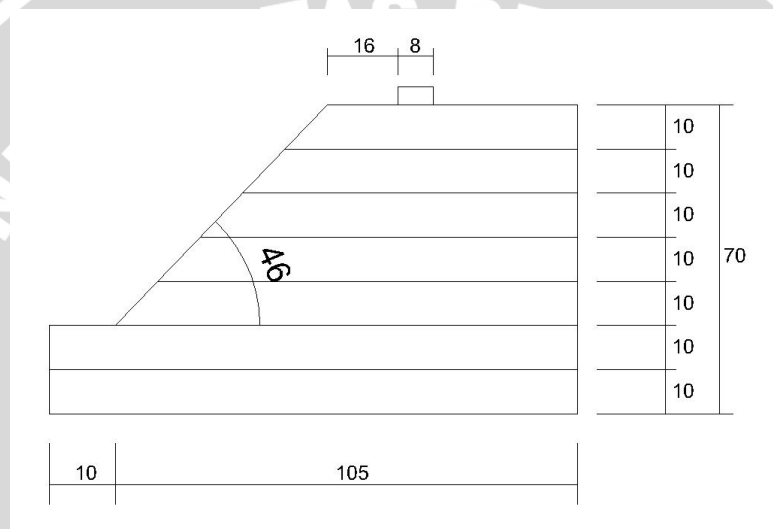
Sebagai tahapan awal pengujian model lereng dengan perkuatan, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian lereng tanpa perkuatan. Hasilnya akan digunakan sebagai pembanding

untuk lereng dengan perkuatan geogrid. Untuk pemodelan lereng tanpa perkuatan dilakukan pengujian terhadap 3 model lereng sesuai dengan matriks pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Matriks Pengujian

RC 85%	α		
	$d/B = 2$	46°	51°
$B = 8 \text{ cm}$	√	√	√

Salah satu contoh pemodelan lereng tanpa perkuatan dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Pemodelan lereng dengan sudut kemiringan $\alpha = 46^\circ$, $d/B = 2$, dan $B = 8 \text{ cm}$

4.3.1.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

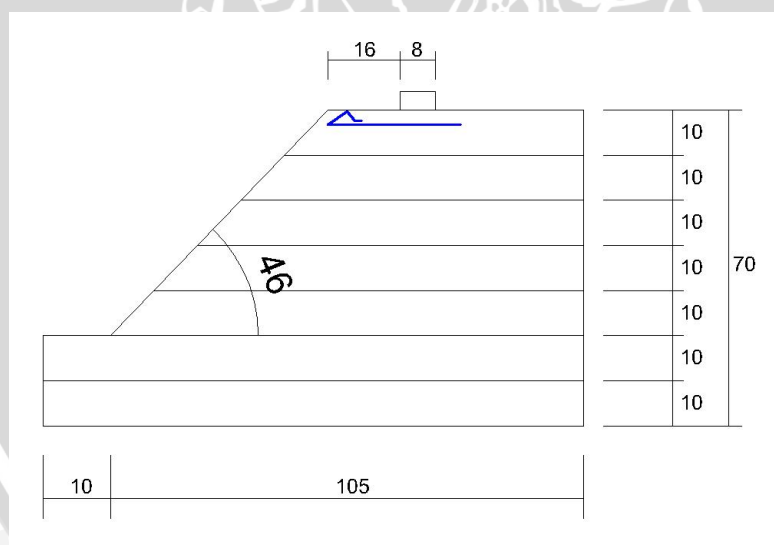
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada pemodelan lereng tanpa perkuatan diperoleh nilai kadar air dan berat isi kering dengan menggunakan *density ring* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Lereng tanpa Perkuatan

No.	Variabel Terikat	Variabel Bebas	Berat isi kering (gr/cm ³)	Kadar air (%)
1.	B = 8 cm	$\alpha = 46^\circ$	1,540	10,32
2.	d/B = 2	$\alpha = 51^\circ$	1,547	10,21
3.		$\alpha = 56^\circ$	1,540	10,10

4.3.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

Pengujian lereng dengan perkuatan dilakukan sebanyak 9 kali sesuai dengan variable yang diteliti. Pemodelan lereng dibuat dengan variasi kemiringan lereng (α) yaitu 46° ; 51° ; 56° dan variasi jumlah lapisan geogrid (n) yaitu 1, 2, dan 3. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah lebar pondasi (B) sebesar 8 cm dan jarak tepi lereng ke pondasi (d) sebesar 16 cm. Salah satu contoh pemodelan lereng dengan perkuatan geogrid dapat dilihat pada **Gambar 4.5** berikut.



Gambar 4.5 Pemodelan lereng dengan sudut kemiringan $\alpha = 46^\circ$, $d/B = 2$, dan $B = 8$ cm, $n = 1$

4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada pemodelan lereng tanpa perkuatan diperoleh nilai kadar air dan berat isi kering dengan menggunakan *density ring* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Lereng dengan Perkuatan

No.	Variabel Terikat	Variabel Bebas	Berat isi kering (gr/cm ³)	Kadar air (%)
1.		$\alpha = 46^\circ$ n = 1	1,546	9,73
2.		$\alpha = 46^\circ$ n = 2	1,524	10,16
3.		$\alpha = 46^\circ$ n = 3	1,525	10,15
4.	B = 8 cm d/B = 2	$\alpha = 51^\circ$ n = 1	1,534	10,46
5.		$\alpha = 51^\circ$ n = 2	1,540	10,90
6.		$\alpha = 51^\circ$ n = 3	1,542	10,79
7.		$\alpha = 56^\circ$ n = 1	1,542	9,86
8.		$\alpha = 56^\circ$ n = 2	1,547	10,63
9.		$\alpha = 56^\circ$ n = 3	1,536	10,34

4.4. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir RC 85%

4.4.1. Lereng Tanpa Perkuatan

4.4.1.1. Metode Analitik

Selain dengan melakukan pengujian secara langsung di laboratorium, ada beberapa cara pendekatan perhitungan secara analitik pada tanah lereng tanpa perkuatan. Untuk mendapatkan perkiraan dasar nilai daya dukung tersebut pada penelitian ini, maka digunakan metode Meyerhof-Gemperline dan metode Hansen-Vesic. Nilai daya dukung yang didapatkan menggunakan 2 metode tersebut ditampilkan pada **Tabel 4.6** berikut.

Tabel 4.6 Nilai Daya Dukung Analitik untuk Lereng tanpa Perkuatan

Variabel Terikat	Variabel Bebas	Metode Analitik	qu (kN/m ²)
B = 8 cm, d/B = 2	$\alpha = 46^\circ$	Meyerhof-Gemperline	258,6723
		Hansen-Vaesic	60,1115
	$\alpha = 51^\circ$	Meyerhof-Gemperline	258,0734
		Hansen-Vaesic	60,02
	$\alpha = 56^\circ$	Meyerhof-Gemperline	257,479
		Hansen-Vaesic	59,9287

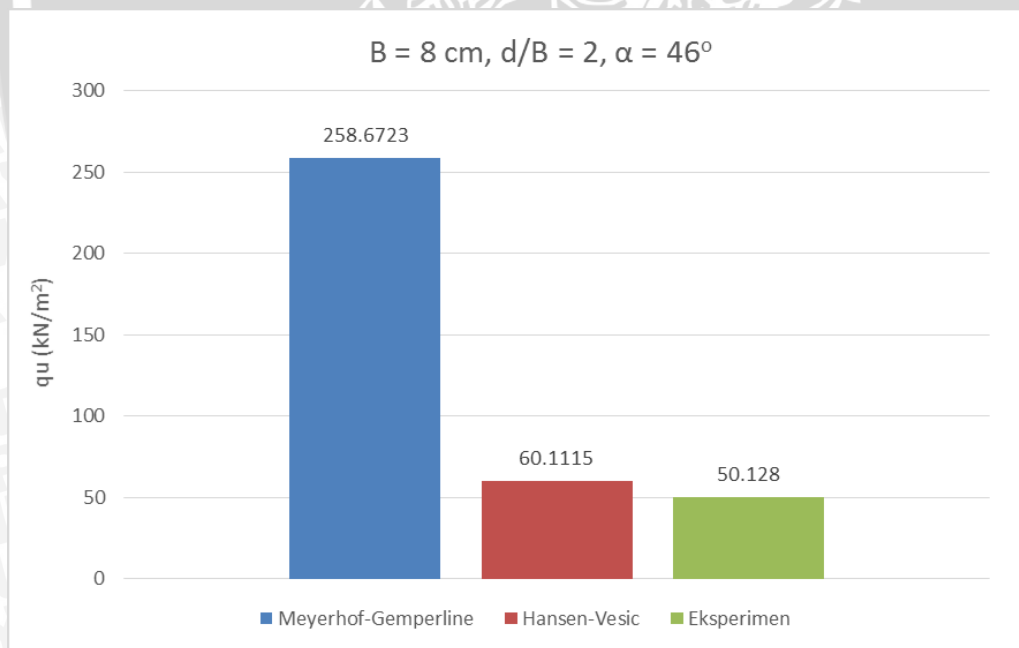
4.4.1.2. Metode Eksperimen

Salah satu tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung maksimum yang terjadi. Dari percobaan pembebanan yang sudah dilakukan pada lereng tanpa perkuatan, hasil pengujian daya dukung yang diperoleh dengan melakukan eksperimen disajikan dalam **Tabel 4.7** berikut ini.

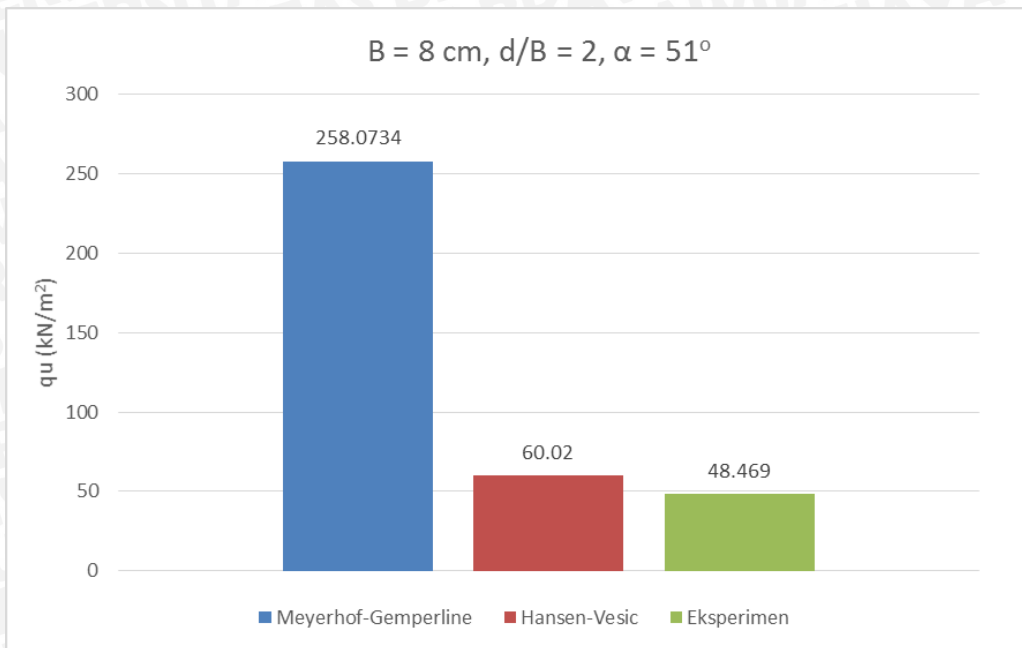
Tabel 4.7 Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng tanpa Perkuatan

Variabel Terikat	Variabel Bebas	Penurunan (mm)	s/B (%)	qu (kN/m ²)
B = 8 cm, d/B = 2	$\alpha = 46^\circ$	7,260	9,075	50,128
	$\alpha = 51^\circ$	3,525	4,406	48,469
	$\alpha = 56^\circ$	3,420	4,275	45,663

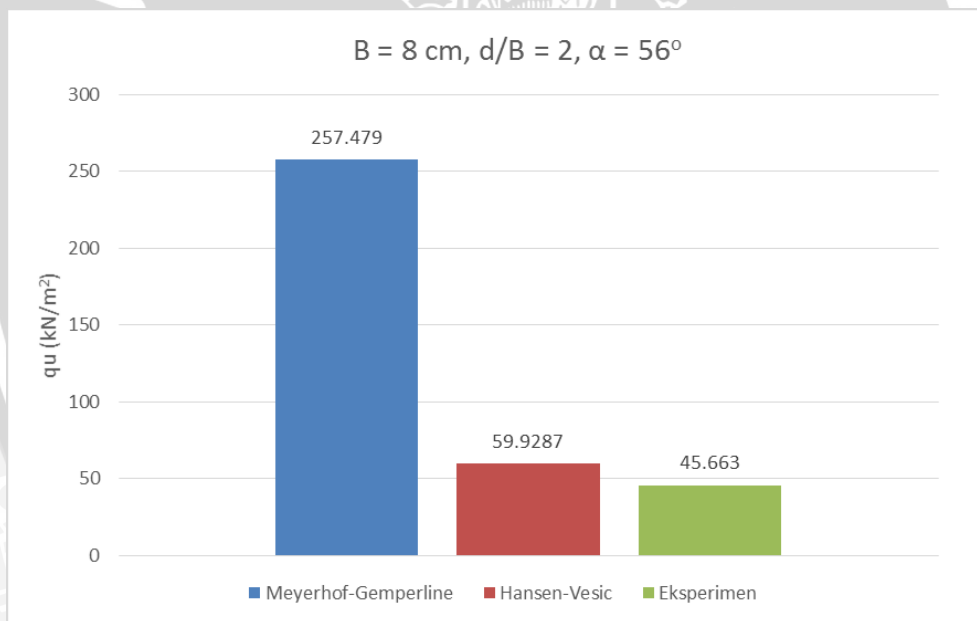
Sedangkan untuk perbandingan nilai daya dukung yang didapat antara metode analitik dengan metode eksperimen ditunjukkan pada **Gambar 4.6** sebagai berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Perbandingan nilai daya dukung pada model lereng tanpa perkuatan berdasarkan metode eksperimen dan analitik

4.4.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

Pada pengujian yang dilakukan pada model lereng pasir menggunakan perkuatan geogrid dengan variasi sudut kemiringan lereng dan jumlah lapisan perkuatan geogrid didapatkan nilai daya dukung sebagai berikut.

Tabel 4.8 Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Perkuatan dengan Variasi Sudut Kemiringan (α)

Jumlah Lapisan Geogrid (n)	Kemiringan Lereng (α)	Beban (kg)	Penurunan (mm)	s/B (%)	qu (kg/cm ²)	qu (kN/cm ²)
1	46	580	9,660	12,075	0,740	73,980
	51	540	7,410	9,263	0,689	68,878
	56	417	6,155	7,694	0,532	53,189
2	46	720	14,420	18,025	0,918	91,837
	51	675	5,810	7,263	0,861	86,097
	56	580	11,325	14,156	0,740	73,980
3	46	852	5,360	6,700	1,087	108,673
	51	814	11,350	14,188	1,038	103,827
	56	741,5	6,725	8,406	0,946	94,579

Tabel 4.9 Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan Geogrid (n)

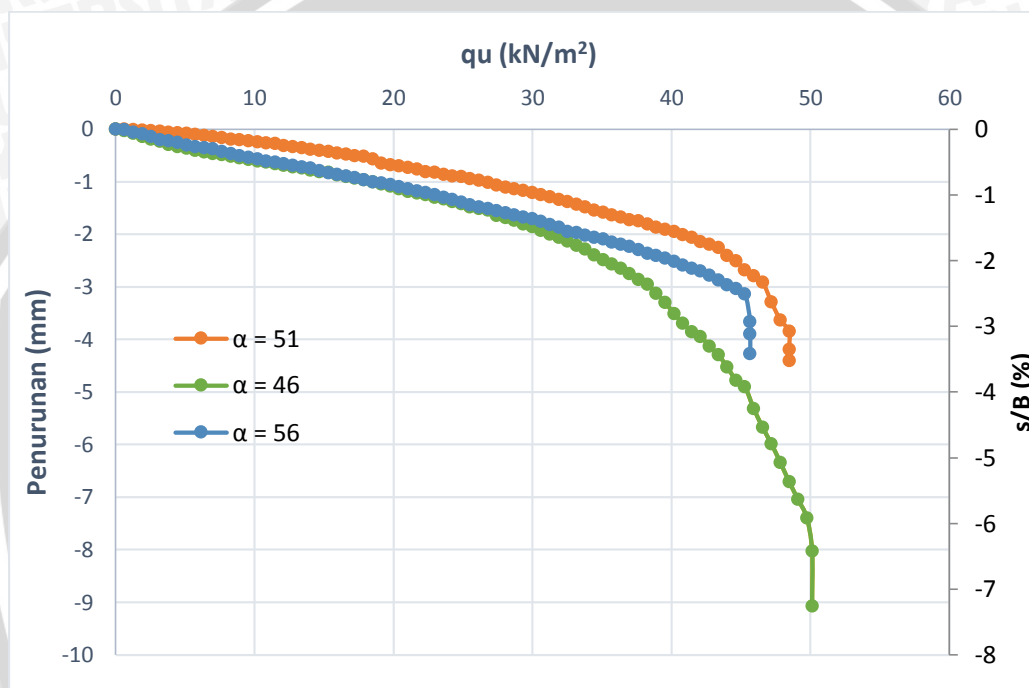
Kemiringan Lereng (α)	Jumlah Lapisan Geogrid (n)	Beban (kg)	Penurunan (mm)	s/B (%)	qu (kg/cm ²)	qu (kN/cm ²)
46	1	580	9,66	12,075	0,740	73,980
	2	720	14,42	18,025	0,918	91,837
	3	852	5,36	6,700	1,087	108,673
51	1	540	7,41	9,263	0,689	68,878
	2	675	5,81	7,263	0,861	86,097
	3	814	11,35	14,188	1,038	103,827
56	1	417	6,155	7,694	0,532	53,189
	2	580	11,325	14,156	0,740	73,980
	3	741,5	6,725	8,406	0,946	94,579

4.5. Analisis Penurunan Tanah Pasir RC 85%

4.5.1. Lereng Tanpa Perkuatan

4.5.1.1. Penurunan Tanah Lereng tanpa Perkuatan pada Variasi Sudut Kemiringan

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan untuk pemodelan lereng dengan menggunakan perkuatan didapatkan nilai pembacaan untuk daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan menggunakan perkuatan disajikan dengan grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.7** berikut ini.



Gambar 4.7 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dengan $B = 8$ cm dan $d/B = 2$

Pada lereng tanpa perkuatan geogrid dengan variasi sudut kemiringan 46° , 51° , dan 56° terlihat bahwa lereng dengan sudut kemiringan 46° mampu menahan beban paling besar yaitu sebesar $50,128$ kN/m² dengan penurunan yang paling besar pula yaitu sebesar $9,075$ mm.

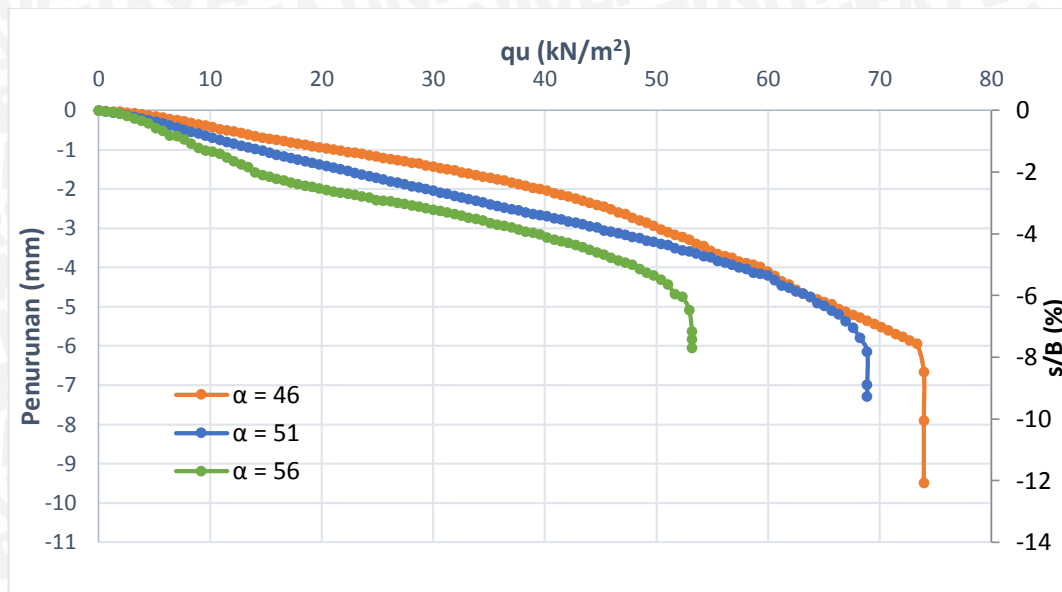
4.5.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

4.5.2.1. Penurunan Tanah Lereng pada Variasi Sudut Kemiringan Lereng terhadap Jumlah Lapisan Geogrid

4.5.2.1.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan menggunakan 1 lapisan perkuatan geogrid, didapatkan nilai daya dukung dan

penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan menggunakan 1 lapisan perkuatan geogrid disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut.

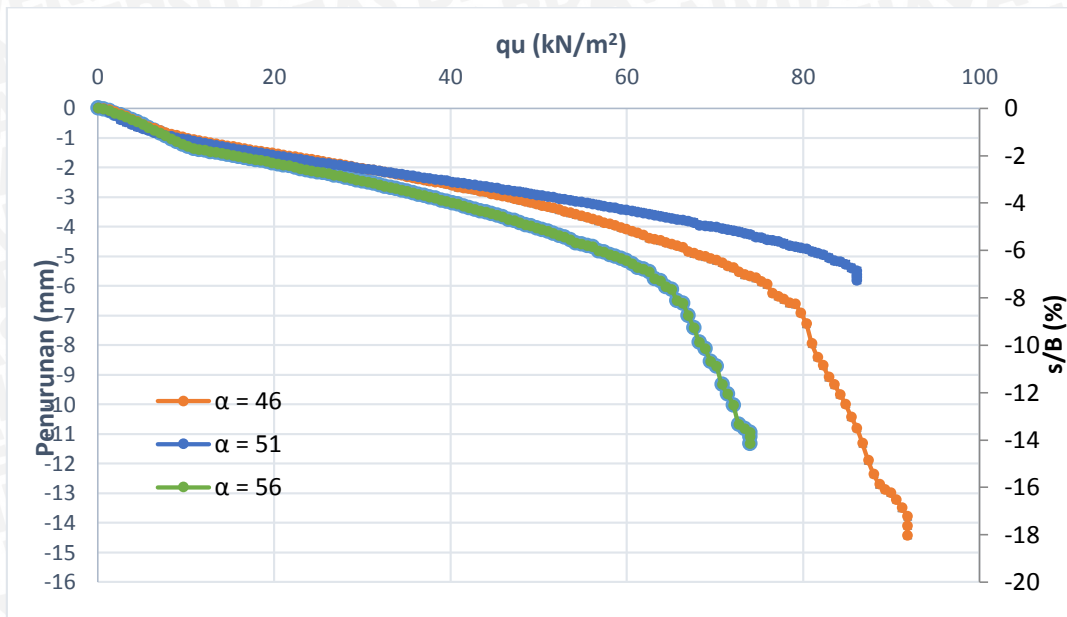


Gambar 4.8 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid, $B = 8$ cm, $d/B = 2$

Dari **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi akan semakin kecil jika sudut kemiringan semakin kecil / landai ditinjau pada beban yang sama. Jika ditinjau dari beban runtuhnya, semakin kecil sudut kemiringan lereng, maka penurunannya akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin kecil sudut kemiringan lereng, maka beban runtuh yang dapat ditahan akan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan 1 lapisan geogrid, pada sudut kemiringan 46° didapatkan penurunan sebesar 9,66 mm dengan beban runtuh $73,980 \text{ kN/cm}^2$, pada sudut kemiringan 51° didapatkan penurunan sebesar 7,41 mm dengan beban runtuh $68,878 \text{ kN/cm}^2$, dan pada sudut kemiringan 56° didapatkan penurunan sebesar 6,155 mm dengan beban runtuh $53,189 \text{ kN/cm}^2$.

4.5.2.1.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan menggunakan 2 lapisan perkuatan geogrid, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan menggunakan 2 lapisan perkuatan geogrid disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut.

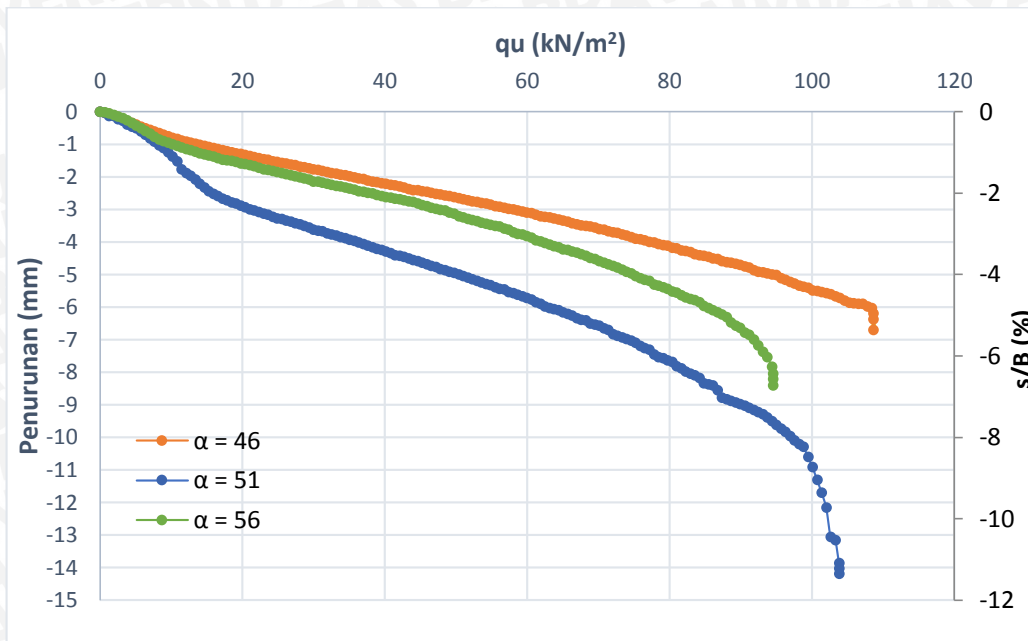


Gambar 4.9 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$

Dari **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi polanya tidak teratur untuk variasi sudut 46° , 51° , dan 56° . Akan tetapi semakin kecil sudut kemiringan lereng, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan 2 lapisan geogrid, pada sudut kemiringan 46° didapatkan penurunan sebesar 14,42 mm dengan beban runtuh $91,837 \text{ kN/cm}^2$, pada sudut kemiringan 51° didapatkan penurunan sebesar 5,81 mm dengan beban runtuh $86,097 \text{ kN/cm}^2$, dan pada sudut kemiringan 56° didapatkan penurunan sebesar 11,325 mm dengan beban runtuh $73,980 \text{ kN/cm}^2$.

4.5.2.1.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan menggunakan 3 lapisan perkuatan geogrid, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan menggunakan 3 lapisan perkuatan geogrid disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.10** berikut.



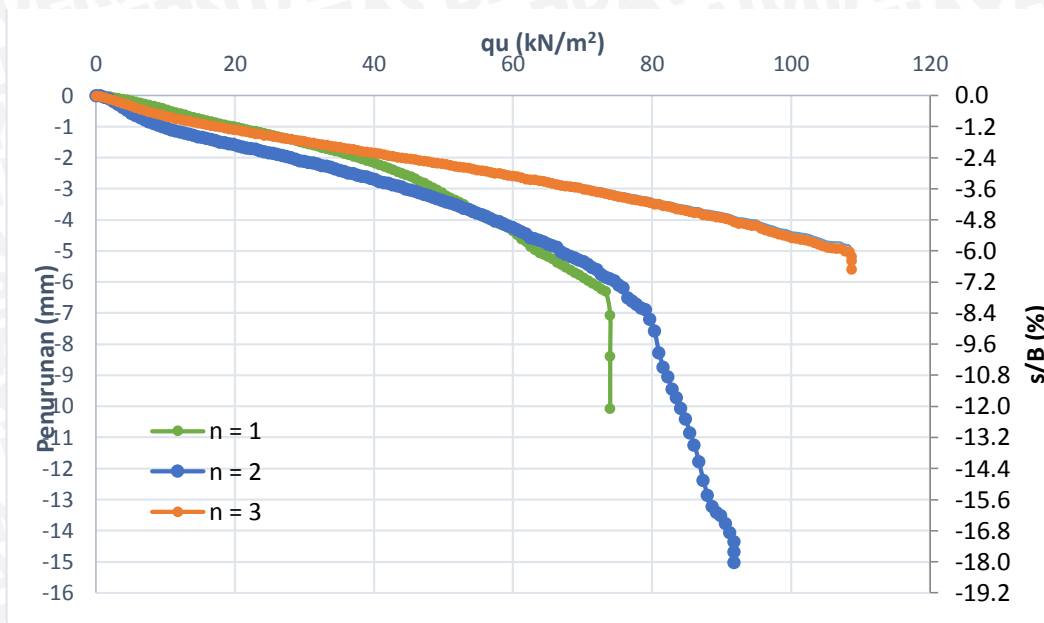
Gambar 4.10 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid, $B = 8$ cm, $d/B = 2$

Dari **Gambar 4.10** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi polanya tidak teratur untuk variasi sudut 46° , 51° , dan 56° . Akan tetapi semakin kecil sudut kemiringan lereng, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan 3 lapisan geogrid, pada sudut kemiringan 46° didapatkan penurunan sebesar 5,36 mm dengan beban runtuh $108,673 \text{ kN/cm}^2$, pada sudut kemiringan 51° didapatkan penurunan sebesar 11,350 mm dengan beban runtuh $103,827 \text{ kN/cm}^2$, dan pada sudut kemiringan 56° didapatkan penurunan sebesar 6,725 mm dengan beban runtuh $94,579 \text{ kN/cm}^2$.

4.5.2.2. Penurunan Tanah pada Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Sudut Kemiringan Lereng

4.5.2.2.1. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 46°

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan sudut kemiringan lereng 46° , didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan sudut kemiringan lereng 46° disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.11** berikut.

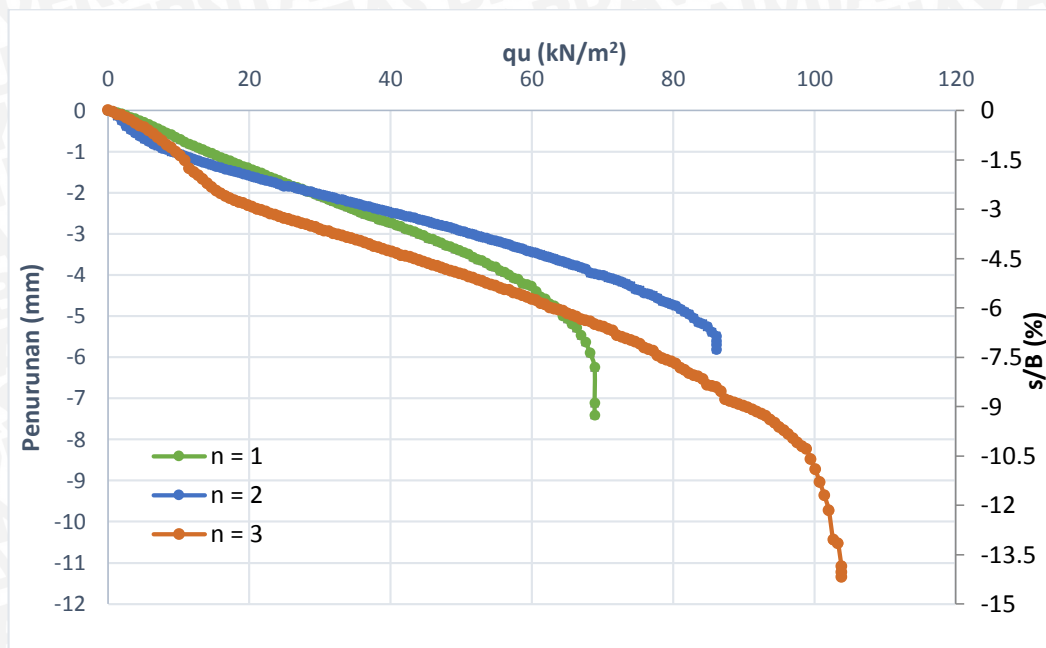


Gambar 4.11 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$

Dari **Gambar 4.11** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi polanya tidak teratur untuk variasi jumlah lapisan perkuatan 1, 2, dan 3. Untuk grafik pada lereng dengan jumlah lapisan perkuatan geogrid 1 dan 2 berpotongan pada s/B sekitar 4,8%. Itu artinya lereng dengan kemiringan sudut 46° pada jumlah lapisan perkuatan 1 dan 2 mengalami penurunan yang sama pada beban runtuh yang sama. Akan tetapi semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan sudut kemiringan lereng 46° , pada jumlah lapisan geogrid 1 didapatkan penurunan sebesar 9,66 mm dengan beban runtuh $73,980 \text{ kN/cm}^2$, pada jumlah lapisan geogrid 2 didapatkan penurunan sebesar 14,42 mm dengan beban runtuh $91,837 \text{ kN/cm}^2$, dan pada jumlah lapisan geogrid 3 didapatkan penurunan sebesar 5,36 mm dengan beban runtuh $108,673 \text{ kN/cm}^2$.

4.5.2.2.2. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 51°

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan sudut kemiringan lereng 51° , didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan sudut kemiringan lereng 51° disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.12** berikut.

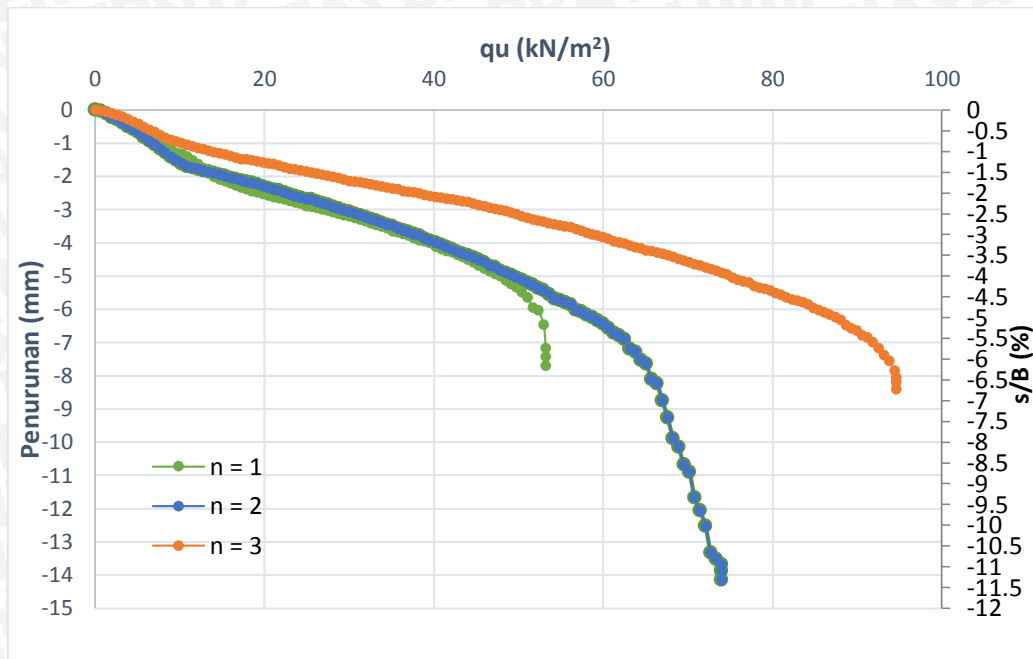


Gambar 4.12 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$

Dari **Gambar 4.12** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi polanya tidak teratur untuk variasi jumlah lapisan perkuatan 1, 2, dan 3. Untuk grafik pada lereng dengan jumlah lapisan perkuatan geogrid 1 dan 2 berpotongan pada s/B sekitar 2% dan untuk jumlah lapisan perkuatan geogrid 1 dan 3 berpotongan pada s/B sekitar 6%. Itu artinya lereng dengan kemiringan sudut 51° pada jumlah lapisan perkuatan 1 dan 2 serta jumlah lapisan perkuatan 1 dan 3 mengalami penurunan yang sama pada beban runtuh yang sama. Akan tetapi semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan sudut kemiringan lereng 51° , pada jumlah lapisan geogrid 1 didapatkan penurunan sebesar 7,41 mm dengan beban runtuh 68,878 kN/cm², pada jumlah lapisan geogrid 2 didapatkan penurunan sebesar 5,81 mm dengan beban runtuh 86,097 kN/cm², dan pada jumlah lapisan geogrid 3 didapatkan penurunan sebesar 11,35 mm dengan beban runtuh 103,827 kN/cm².

4.5.2.2.3. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 56°

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model lereng di laboratorium dengan sudut kemiringan lereng 56° , didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model lereng dengan sudut kemiringan lereng 56° disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13** berikut.



Gambar 4.13 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng dengan sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$

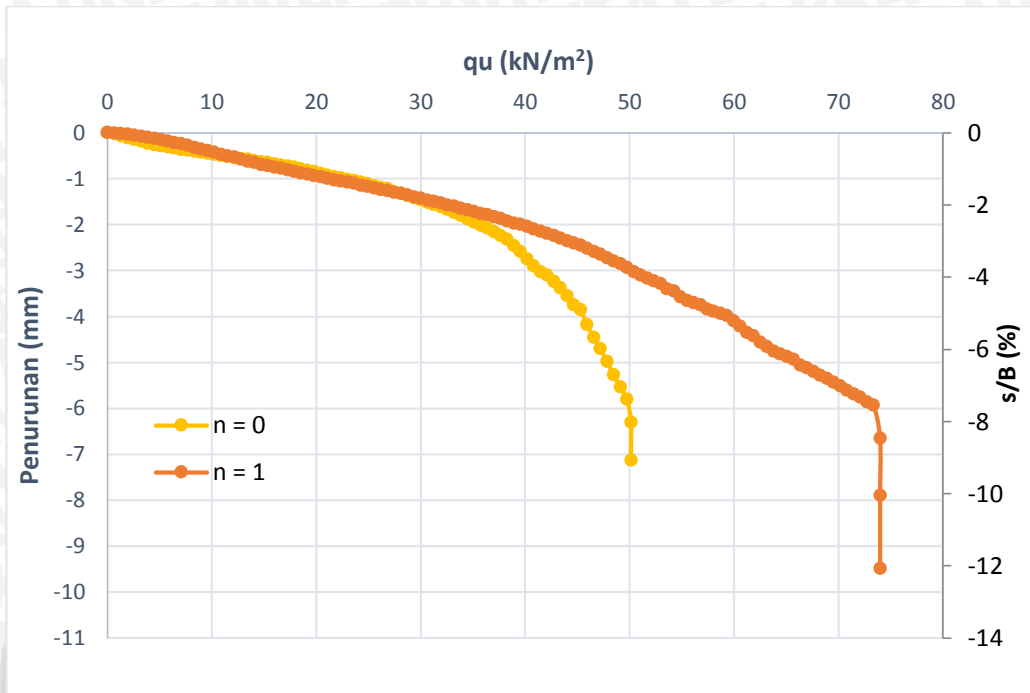
Dari **Gambar 4.13** dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi akan semakin kecil jika jumlah lapisan perkuatan geogrid semakin banyak ditinjau pada beban yang sama. Akan tetapi pada grafik tersebut terlihat bahwa pada jumlah lapisan perkuatan 2 menghasilkan penurunan akhir yang paling besar. Semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar. Untuk hasil pembebanan model lereng dengan sudut kemiringan lereng 56° , pada jumlah lapisan geogrid 1 didapatkan penurunan sebesar 6,155 mm dengan beban runtuh $53,189$ kN/cm², pada jumlah lapisan geogrid 2 didapatkan penurunan sebesar 11,325 mm dengan beban runtuh $73,980$ kN/cm², dan pada jumlah lapisan geogrid 3 didapatkan penurunan sebesar 6,725 mm dengan beban runtuh $94,579$ kN/cm².

4.6. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan antara Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid

4.6.1. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid pada Variasi Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid

4.6.1.1. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 46°

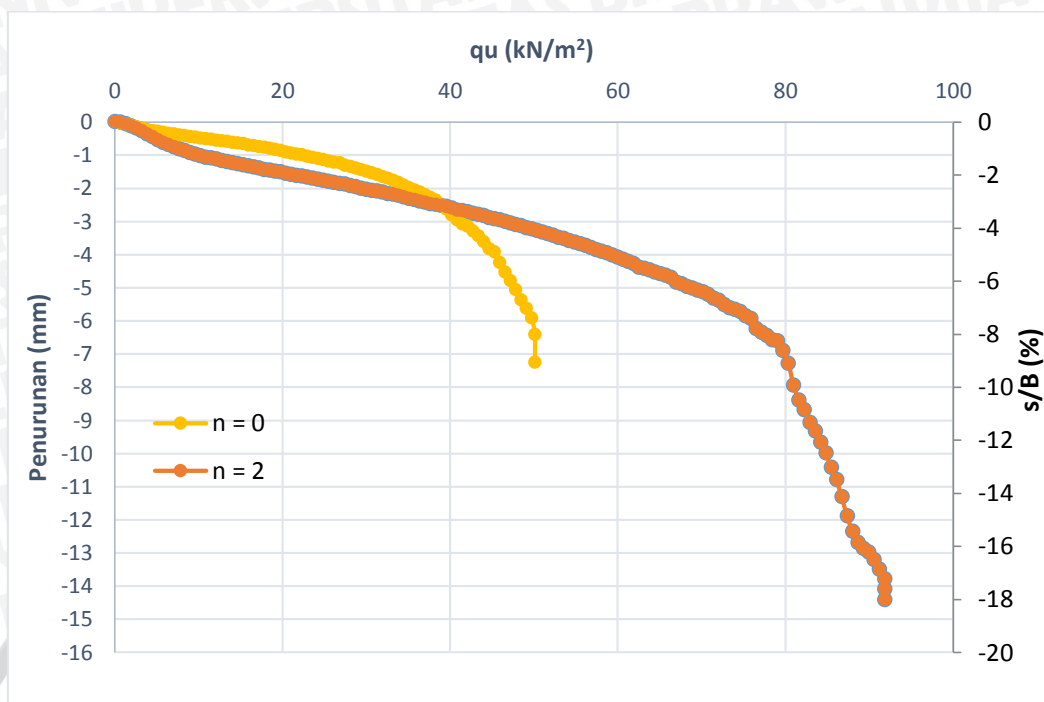
4.6.1.1.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1



Gambar 4.14 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.14** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid cenderung lebih kecil dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Akan tetapi jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 46° pada lereng tanpa perkuatan adalah 7,26 mm dengan beban runtuh $50,128 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid adalah 9,66 mm dengan beban runtuh $73,980 \text{ kN/cm}^2$.

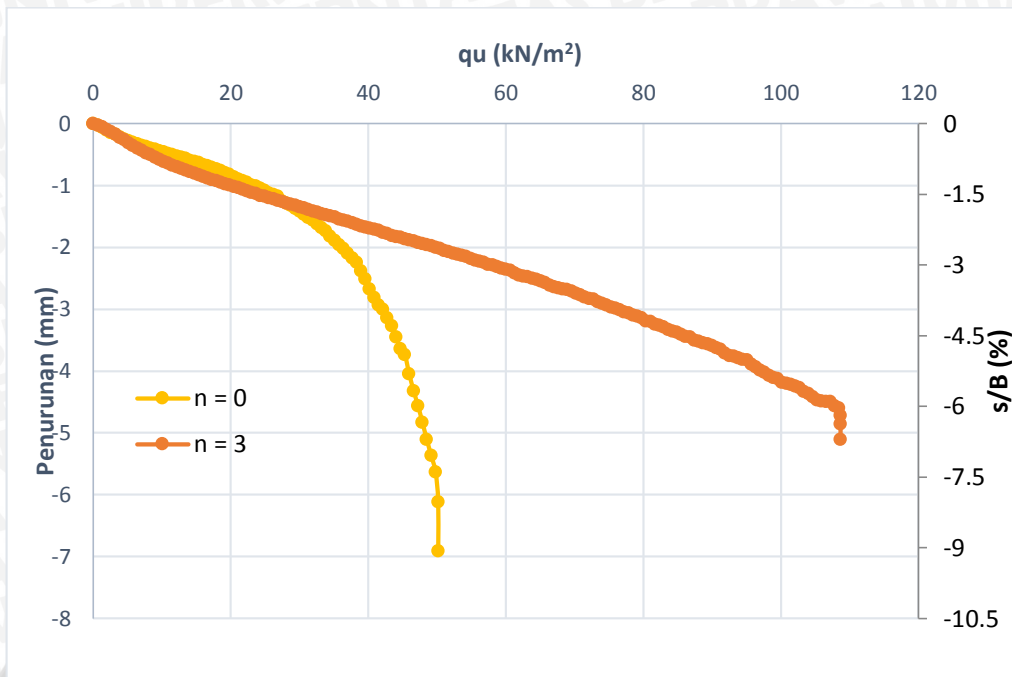
4.6.1.1.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2



Gambar 4.15 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.15** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada awal pembebanan lebih besar dari penurunan lereng tanpa perkuatan, kemudian di akhir penurunannya menjadi lebih kecil daripada lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Akan tetapi jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 46° pada lereng tanpa perkuatan adalah 7,26 mm dengan beban runtuh 50,128 kN/cm², sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid adalah 14,42 mm dengan beban runtuh 91,837 kN/cm².

4.6.1.1.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3

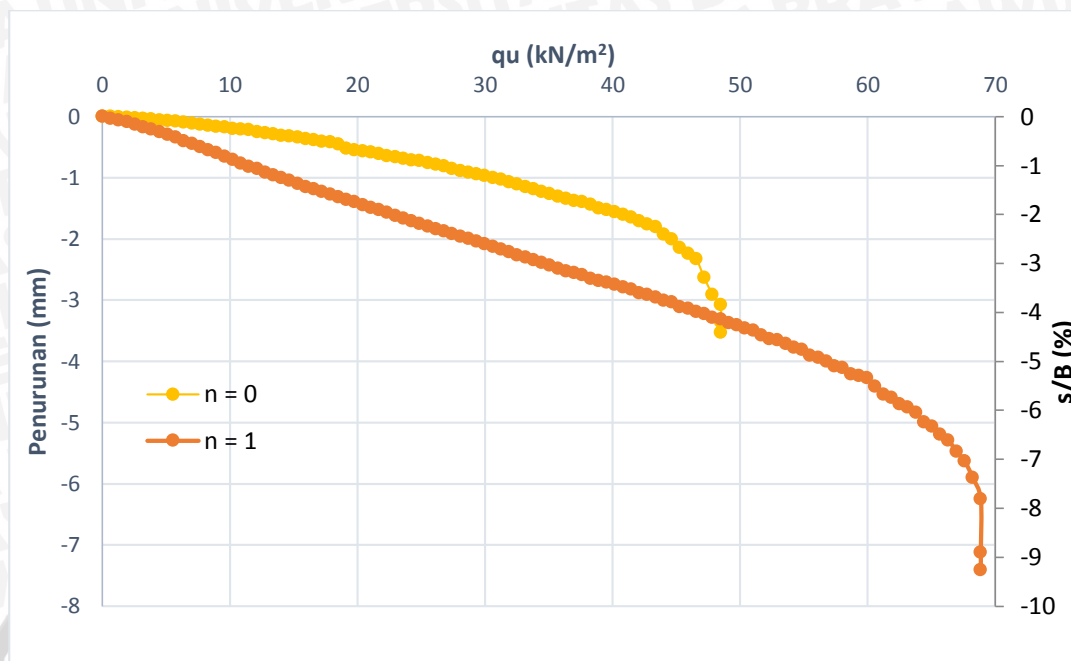


Gambar 4.16 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 46° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.16** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid cenderung lebih kecil dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid lebih kecil daripada lereng tanpa perkuatan. Akan tetapi beban runtuh yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 46° pada lereng tanpa perkuatan adalah 7,26 mm dengan beban runtuh $50,128 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid adalah 5,36 mm dengan beban runtuh $108,673 \text{ kN/cm}^2$.

4.6.1.2. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 51°

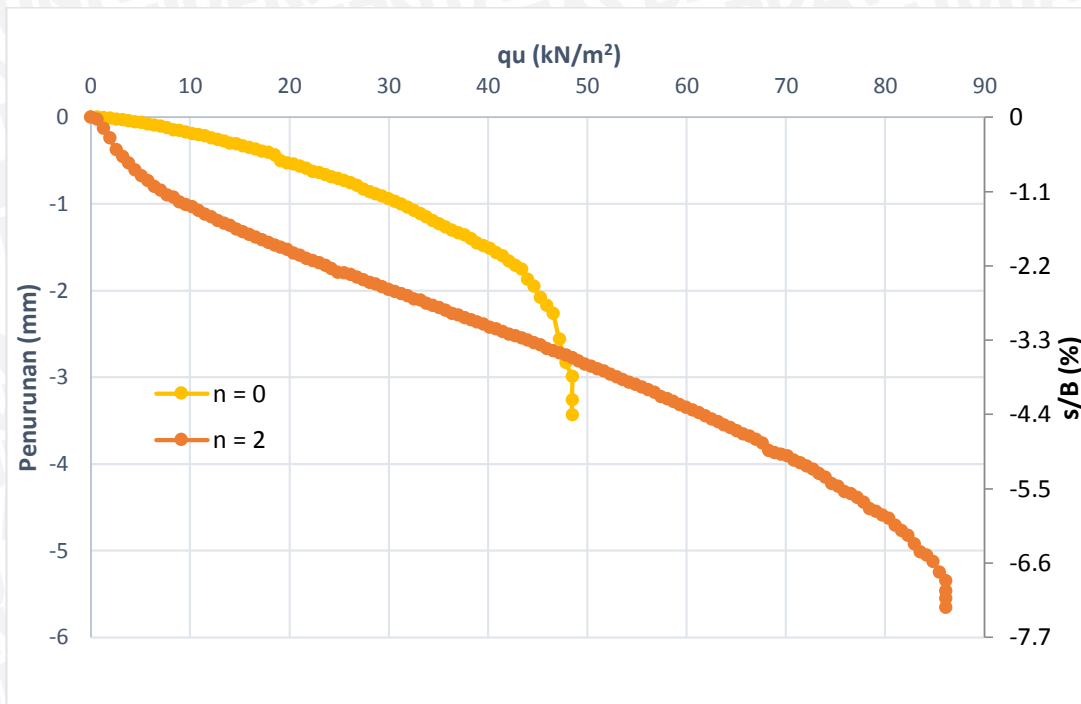
4.6.1.2.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1



Gambar 4.17 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.17** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 51° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,525 mm dengan beban runtuh $48,469$ kN/cm², sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid adalah 7,41 mm dengan beban runtuh $68,878$ kN/cm².

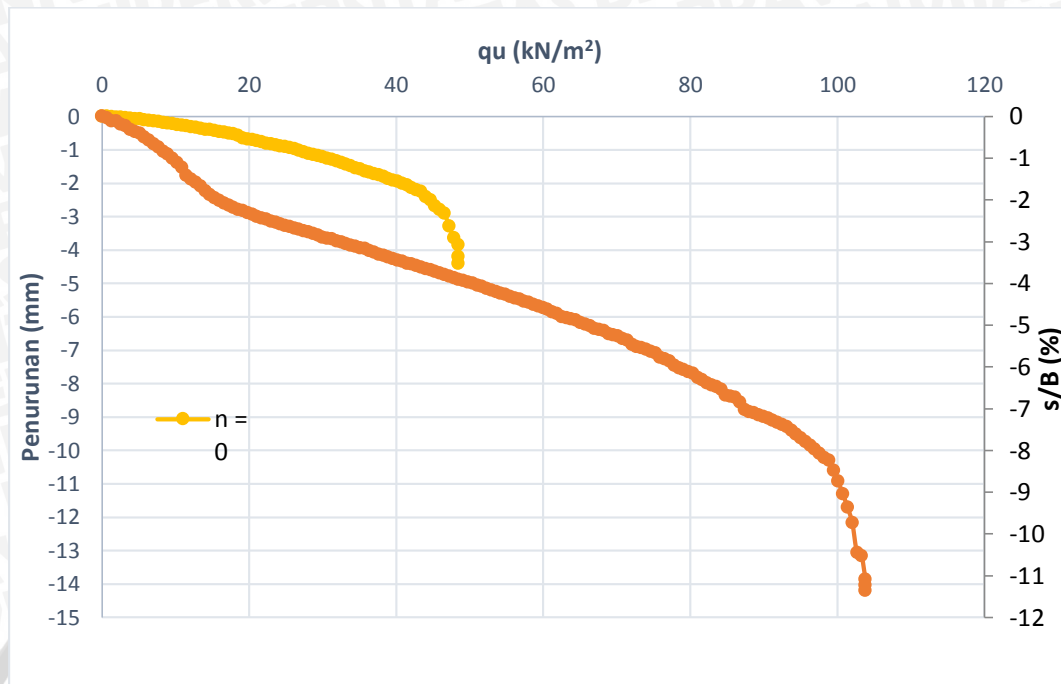
4.6.1.2.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2



Gambar 4.18 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.18** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 51° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,525 mm dengan beban runtuh 48,469 kN/cm², sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid adalah 5,81 mm dengan beban runtuh 86,097 kN/cm².

4.6.1.2.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3

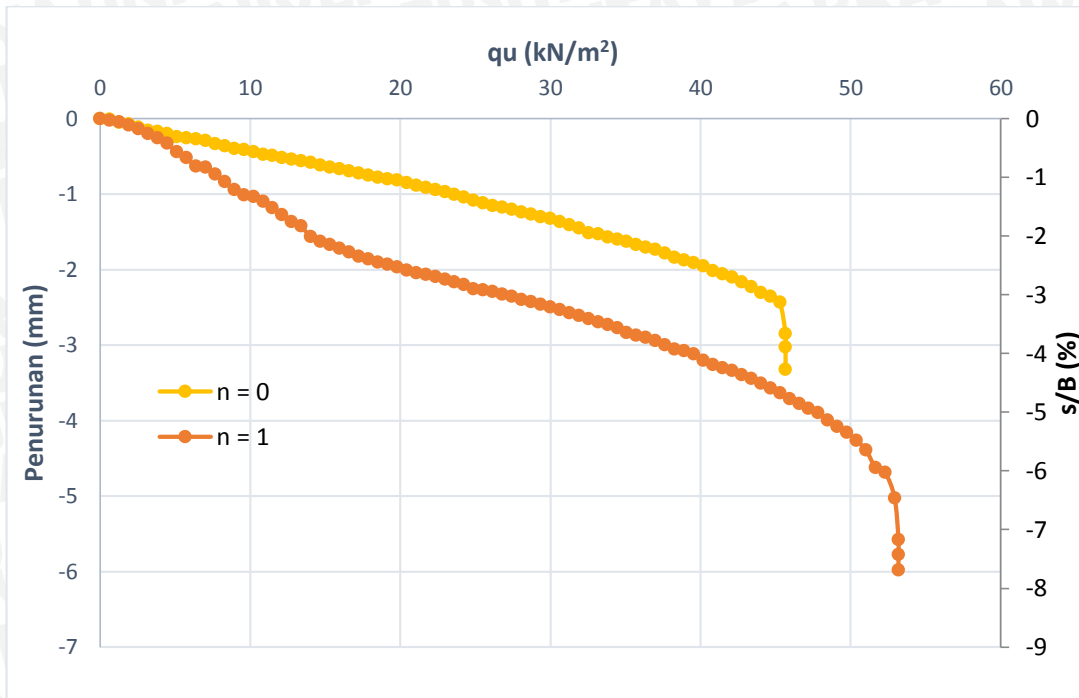


Gambar 4.19 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 51° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.19** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 51° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,525 mm dengan beban runtuh 48,469 kN/cm², sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid adalah 11,35 mm dengan beban runtuh 103,827 kN/cm².

4.6.1.3. Sudut Kemiringan Lereng (α) = 56°

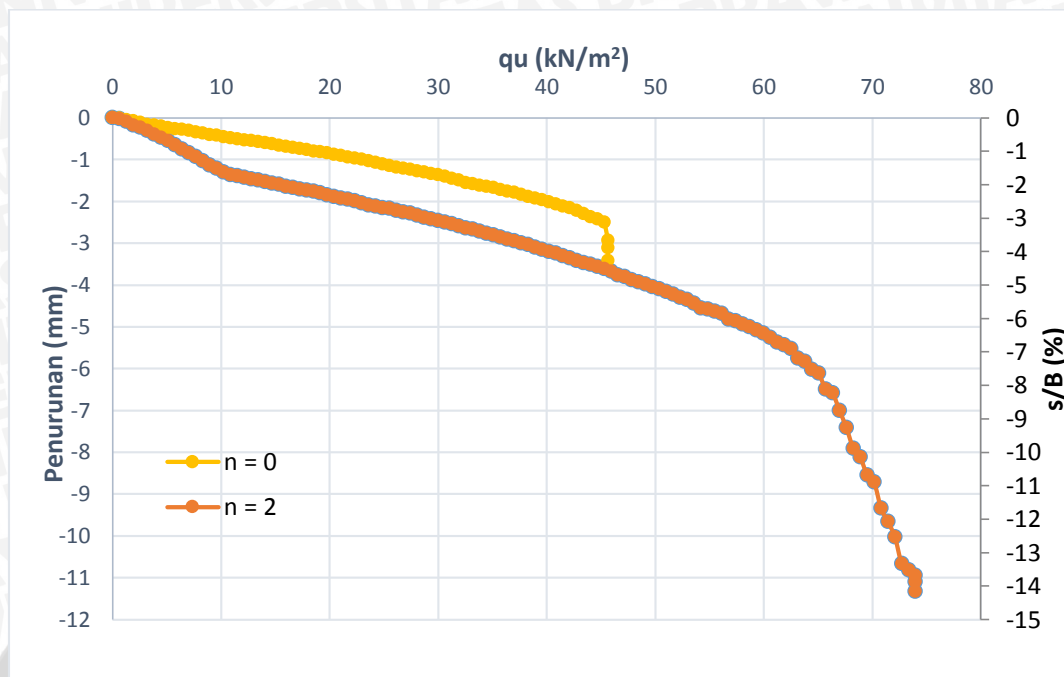
4.6.1.3.1. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 1



Gambar 4.20 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.20** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 56° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,42 mm dengan beban runtuh $45,663 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 1 lapisan geogrid adalah 6,155 mm dengan beban runtuh $53,189 \text{ kN/cm}^2$.

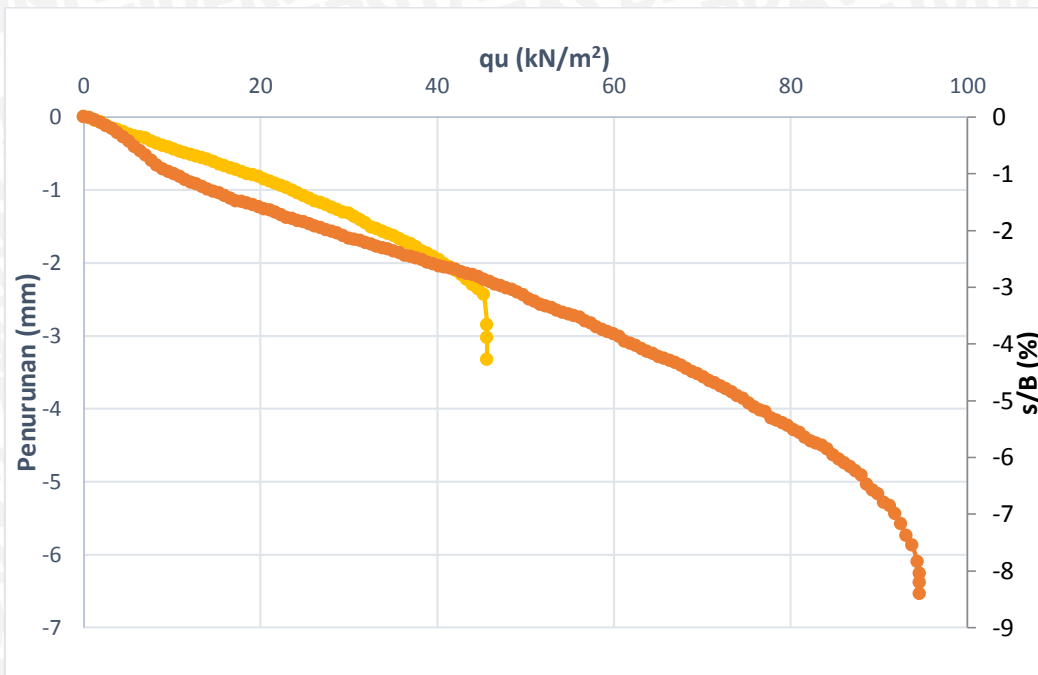
4.6.1.3.2. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 2



Gambar 4.21 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 2 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.21** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 56° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,42 mm dengan beban runtuh $45,663 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 2 lapisan geogrid adalah 11,325 mm dengan beban runtuh $73,980 \text{ kN/cm}^2$.

4.6.1.3.3. Jumlah Lapisan Geogrid (n) = 3



Gambar 4.22 Hubungan q_u dan penurunan pada model lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 3 lapisan geogrid pada sudut kemiringan lereng 56° , $B = 8$ cm, $d/B=2$

Dari **Gambar 4.22** terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid cenderung lebih besar dibandingkan lereng tanpa perkuatan jika ditinjau dari beban yang sama. Ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh lereng dengan perkuatan jauh lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh lereng dengan perkuatan pun lebih besar daripada lereng tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk sudut kemiringan lereng 56° pada lereng tanpa perkuatan adalah 3,42 mm dengan beban runtuh $45,663 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada lereng dengan perkuatan 3 lapisan geogrid adalah 6,725 mm dengan beban runtuh $94,579 \text{ kN/cm}^2$.

4.7. Analisis *Bearing Capacity Improvement* berdasarkan Data Dukung Ultimit (BCIu)

Analisis BCIu merupakan analisis perbandingan nilai daya dukung maksimum pada saat beban runtuh antara lereng dengan perkuatan dan lereng tanpa perkuatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan terhadap nilai daya dukung yang terjadi ketika lereng sudah diperkuat menggunakan geogrid. Sehingga dapat diketahui banyaknya jumlah

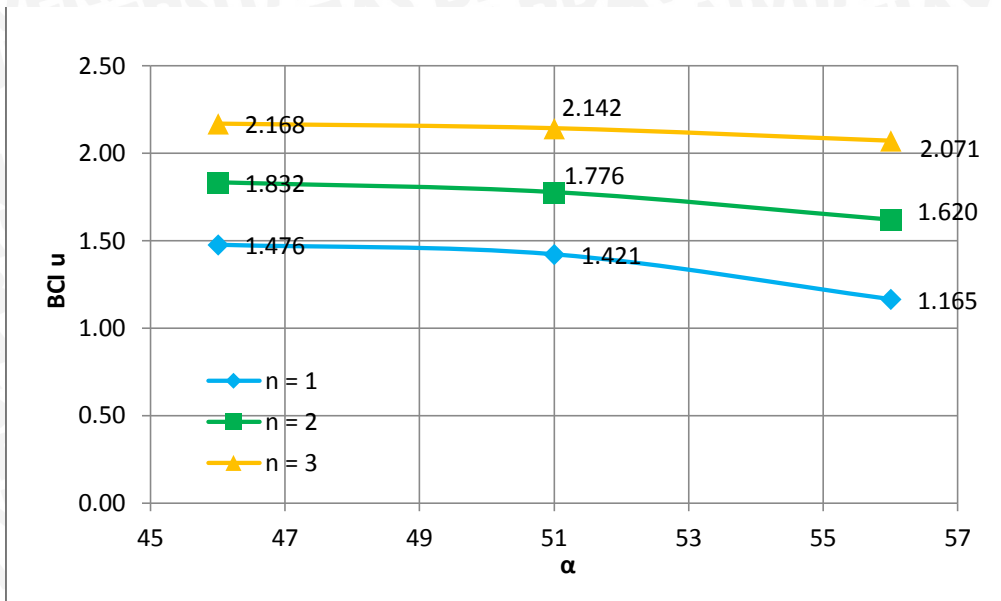
lapisan geogrid dan sudut kemiringan lereng yang menghasilkan peningkatan nilai daya dukung paling optimum.

4.7.1. Perbandingan BC_{Iu} pada Variasi Sudut Kemiringan Lereng terhadap Jumlah Lapisan Geogrid

Berdasarkan pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada setiap variasi sudut kemiringan lereng, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BC_{Iu}) seperti pada **Tabel 4.10** berikut dan grafik perbandingan nilai BC_{Iu} untuk variasi sudut kemiringan lereng ditunjukkan pada **Gambar 4.23**.

Tabel 4.10 Nilai BC_{Iu} untuk Variasi Sudut Kemiringan Lereng

Jumlah Lapisan Geogrid (n)	Sudut Kemiringan (α)	qu Perkuatan (kN/cm ²)	qu tanpa Perkuatan (kN/cm ²)	BC _{Iu}
1	46	73,980	50,128	1,476
	51	68,878	48,469	1,421
	56	53,189	45,663	1,165
2	46	91,837	50,128	1,832
	51	86,097	48,469	1,776
	56	73,980	45,663	1,620
3	46	108,673	50,128	2,168
	51	103,827	48,469	2,142
	56	94,579	45,663	2,071



Gambar 4.23 Perbandingan nilai BCIu untuk variasi sudut kemiringan lereng

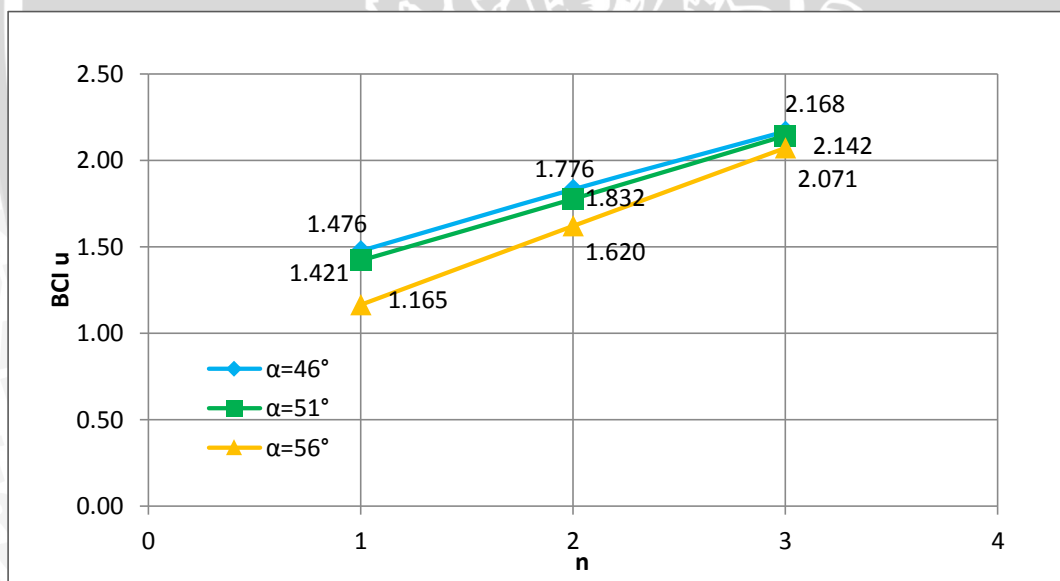
Dapat dilihat dari **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.23** bahwa semakin besar sudut kemiringan lereng, maka nilai daya dukung akan semakin kecil. Nilai BCIu maksimum pada penelitian ini diperoleh saat lereng dengan sudut kemiringan (α) 46° dan 3 lapisan geogrid ($n = 3$) yaitu sebesar 2,168.

4.7.2. Perbandingan BCIu pada Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Sudut Kemiringan Lereng

Berdasarkan pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada setiap variasi sudut kemiringan lereng, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_u) seperti pada **Tabel 4.11** berikut dan grafik perbandingan nilai BCIu untuk variasi sudut jumlah lapisan perkuatan geogrid ditunjukkan pada **Gambar 4.24**.

Tabel 4.11 Nilai BC_{Iu} untuk Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Sudut Kemiringan (α)	Jumlah Lapisan Geogrid (n)	qu Perkuatan (kN/cm ²)	qu tanpa Perkuatan (kN/cm ²)	BC _{Iu}
46	1	73,980	50,128	1,476
	2	91,837	50,128	1,832
	3	108,673	50,128	2,168
51	1	68,878	48,469	1,421
	2	86,097	48,469	1,776
	3	103,827	48,469	2,142
56	1	53,189	45,663	1,165
	2	73,980	45,663	1,620
	3	94,579	45,663	2,071

**Gambar 4.24** Perbandingan nilai BC_{Iu} untuk variasi jumlah lapisan perkuatan geogrid

Dapat dilihat dari **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.24** bahwa semakin besar sudut kemiringan lereng, maka nilai daya dukung akan semakin kecil. Nilai BC_{Iu} maksimum pada penelitian ini diperoleh saat lereng dengan sudut kemiringan (α) 46° dan 3 lapisan geogrid (n = 3) yaitu sebesar 2,168.

4.8. Analisis Peningkatan Nilai Daya Dukung pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lereng yang Menggunakan Perkuatan Geogrid

Dari hasil analisis BCIu yang telah dilakukan, maka dapat dilihat peningkatan nilai daya dukung lereng tanpa perkuatan dengan lereng yang menggunakan perkuatan geogrid. Presentase peningkatan nilai daya dukung dapat dilihat pada **Tabel 4.12** berikut. Sedangkan untuk peningkatan daya dukung antara variabel pada lereng dengan perkuatan dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**.

Tabel 4.12 Peningkatan Daya Dukung Lereng

Sudut Kemiringan (α)	Jumlah Lapisan Perkuatan (n)	qu perkuatan (kN/cm ²)	qu tanpa perkuatan (kN/cm ²)	Peningkatan
46	1	73,980	50,128	47,583%
	2	91,837	50,128	83,206%
	3	108,673	50,128	116,794%
51	1	68,878	48,469	42,105%
	2	86,097	48,469	77,632%
	3	103,827	48,469	114,211%
56	1	53,189	45,663	16,480%
	2	73,980	45,663	62,011%
	3	94,579	45,663	107,123%
			Rata-rata Total Peningkatan	74,127%

Tabel 4.13 Peningkatan Daya Dukung antara Variasi Sudut Kemiringan Lereng

n	Sudut (α)	qu (kN/cm ²)	Peningkatan antara variabel	Rata-rata peningkatan
1	46	73,980	7,407%	18,452%
	51	68,878	29,496%	
	56	53,189	-	
2	46	91,837	6,667%	11,523%
	51	86,097	16,379%	
	56	73,980	-	
3	46	108,673	4,668%	7,223%
	51	103,827	9,777%	
	56	94,579	-	
Rata-rata Total Peningkatan				12,399%

Tabel 4.14 Peningkatan Daya Dukung antara Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Sudut (α)	n	qu (kN/cm ²)	Peningkatan antara variabel	Rata-rata peningkatan
46	1	73,980	-	21,236%
	2	91,837	24,138%	
	3	108,673	18,333%	
51	1	68,878	-	22,796%
	2	86,097	25,000%	
	3	103,827	20,593%	
56	1	53,189	-	33,467%
	2	73,980	39,089%	
	3	94,579	27,845%	
Rata-rata Total Peningkatan				25,833%

Dari **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**, dapat dilihat bahwa persentase rata-rata terhadap kontribusi peningkatan daya dukung untuk variabel sudut kemiringan lereng adalah sebesar 12,399%, sedangkan untuk variabel jumlah lapisan geogrid adalah sebesar 25,833%. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada penelitian ini, variabel jumlah lapisan geogrid memiliki pengaruh yang lebih besar daripada variabel sudut kemiringan lereng dalam meningkatkan nilai daya dukung pondasi menerus pada lereng dengan tanah pasir.

4.9. Pengaruh Sudut Kemiringan Lereng dan Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Nilai Daya Dukung

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap pemodelan fisik lereng tanah pasir RC = 85% dengan variabel tetap yaitu lebar pondasi sebesar 8 cm dan jarak pondasi dari tepi lereng sebesar $2B$ (16 cm), serta variabel bebas yaitu sudut kemiringan lereng (46° , 51° , 56°) dan jumlah lapisan geogrid (1 lapisan, 2 lapisan, 3 lapisan), diperoleh hasil bahwa variasi dari kedua variabel bebas tersebut memiliki pengaruh terhadap daya dukung tanah pada model lereng.

Dari hasil yang didapatkan dari pengujian, pada variasi sudut kemiringan lereng apabila ditinjau dari beban ultimit yang bekerja didapatkan bahwa semakin besar sudut kemiringan lereng maka nilai daya dukungnya akan semakin menurun. Sedangkan untuk variasi jumlah lapisan geogrid, jika ditinjau pada beban ultimitnya didapatkan bahwa semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan maka akan semakin meningkat pula nilai daya dukungnya. Sehingga pada penelitian yang menghasilkan nilai daya dukung paling besar adalah variasi kemiringan sudut 46° dengan 3 lapisan perkuatan geogrid. Variasi tersebut juga menghasilkan nilai BCIu yang paling besar.

Penurunan yang terjadi pada lereng dengan perkuatan lebih besar jika dibandingkan dengan lereng tanpa perkuatan pada beban yang sama, menurut penelitian yang dilakukan oleh Mohd Raihan Taha dan Enas B. Altahe (2013) hal itu terjadi karena tanah yang terkekang di antara lapisan geogrid mengalami kegagalan tarik terlebih dahulu sebelum mengalami geser, yang disebabkan oleh jarak antara lapisan geogrid yang terlalu dekat.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi sudut kemiringan lereng (α) sebesar 46° , 51° , dan 56° serta jumlah lapisan perkuatan geogrid (n) sebanyak 1, 2, dan 3 pada pemodelan fisik lereng pasir dengan lebar pondasi (B) 8 cm dan perbandingan antara jarak tepi lereng ke pondasi dengan lebar pondasi $d/B = 2$ dengan RC = 85%, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung *ultimate* pada lereng tanpa perkuatan nilainya lebih kecil dibandingkan daya dukung *ultimate* pada lereng dengan perkuatan pada variasi kemiringan sudut dan jumlah lapisan perkuatan geogrid, sehingga dengan adanya perkuatan geogrid terjadi peningkatan daya dukung pada lereng sebesar 74,127%.
2. Semakin kecil kemiringan sudut lereng / semakin landai lereng, maka akan semakin besar nilai daya dukung *ultimate* lereng tersebut. Dengan rata-rata nilai peningkatan pada variasi kemiringan sudut sebesar 12,399%.
3. Semakin banyak jumlah lapisan geogrid yang digunakan untuk perkuatan, maka akan semakin besar nilai daya dukung *ultimate* lereng tersebut. Dengan rata-rata nilai peningkatan pada variasi jumlah lapisan perkuatan geogrid sebesar 25,833%.
4. Dapat dilihat dari hasil analisis BCIu bahwa nilai daya dukung dari lereng dengan sudut kemiringan 56° hingga sudut kemiringan 46° dan penggunaan 1 lapisan geogrid hingga 3 lapisan geogrid masih terus mengalami peningkatan, sehingga pada penelitian ini belum didapatkan variasi sudut kemiringan lereng dan jumlah lapisan geogrid yang optimum.

5.2. Saran

Penelitian ini membutuhkan ketelitian, waktu yang cukup, dan metode pelaksanaan yang baik dan sesuai untuk tercapainya kesempurnaan dalam hasil penelitian. Karena itu ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pemadatan yang baik dan rata pada keseluruhan daerah pemadatan karena pemadatan yang kurang baik mengakibatkan respon lereng yang ditunjukkan oleh kurva q_u vs penurunan yang kurang sempurna dan tidak konsisten.
2. Karena pada penelitian ini belum didapatkan hasil yang optimum, maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai nilai daya dukung pondasi pada tanah lereng yang diperkuat geogrid dengan variasi variabel yang berbeda atau dengan menambah variasi variabel yang belum diteliti.



DAFTAR PUSTAKA

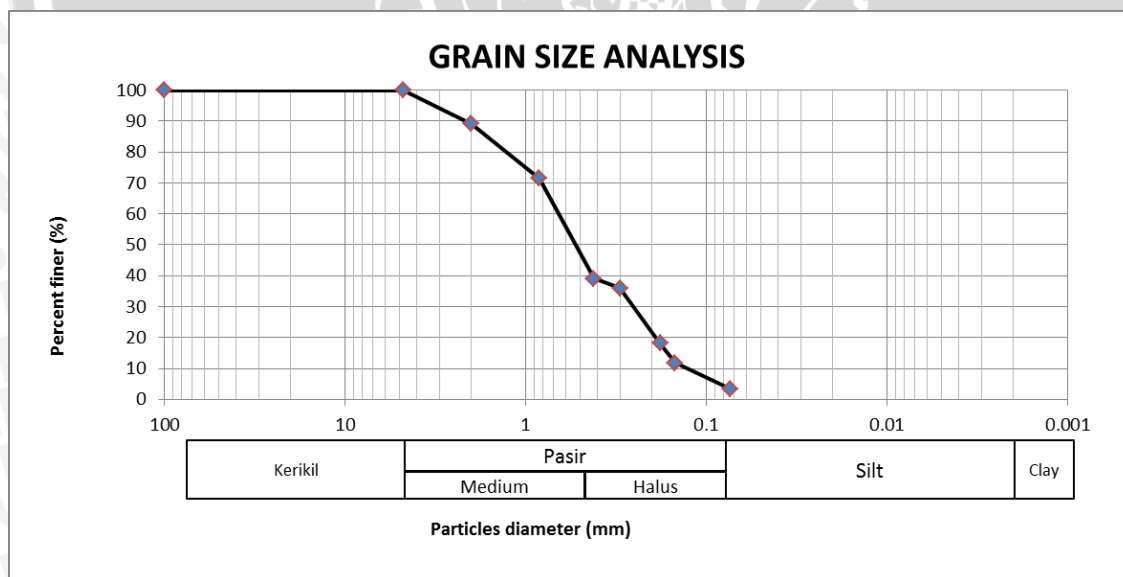
- Alamshahi, Saeed & Hataf, Nader. 2009. *Bearing Capacity of Strip Footing on Sand Slopes Reinforced with Geogrid and Grid-anchor*. Journal Elsevier *Geotextiles and Geomembranes*. Iran : Universitas Shiraz
- Bowles, J. E. 1993. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta : Erlangga
- Christady H., Hary. 1990. *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada
- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Terjemahan Noor Endah & Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Terjemahan Noor Endah & Indrasurya B. Mochtar. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 2009. *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement Second Edition*. New York : Taylor and Francis Group
- DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009*
- Ghazian, Dio. 2015. Pengaruh Sudut Kemiringan dan Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid terhadap Daya Dukung Pondasi Menerus pada Pemodelan Fisik Lereng Tanah Pasir. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Graham, J., Andrews, M., and Shields, D. H.,. 1987. *Stress Characteristics for Shallow Footings in Cohesionless Slopes*. *Geotech*, 25: 238-249. Canada
- Kumar, S.V. Anil & Ilamaparuthi, K. 2009. *Respon of Footing on Sand Slopes*. *Indian Geotechnical Society Chennai Chapter*. India : Anna University Chennai
- Marto, Aminaton., Oghabi, Mohsen., & Eisazadeh, Amin. 2013. *The Effect of Geogrid Reinforcement on Bearing Capacity Properties of Soil Under Static Load; A Review*. *EJGE Vol.18* (2013)
- Suroso, Munawir, As'ad. & Indrawahyuni, Herlien. *Buku Ajar Teknik Pondasi*. Malang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Taha, Mohd. Raihan & Altalhe, Enas B. 2013. *Numerical and Experimental Evaluation of Bearing Capacity Factor N_y of Strip Footing on Sand Slopes*. *International Journal of Physcial Sciences*. Malaysia : Universitas Kebangsaan Malaysia
- Teng, Wayne C. 1981. *Foundation Design*. New Delhi : Prentice Hall
- Terzaghi K, Peck RB. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta : Erlangga



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis Gradasi Butir Tanah

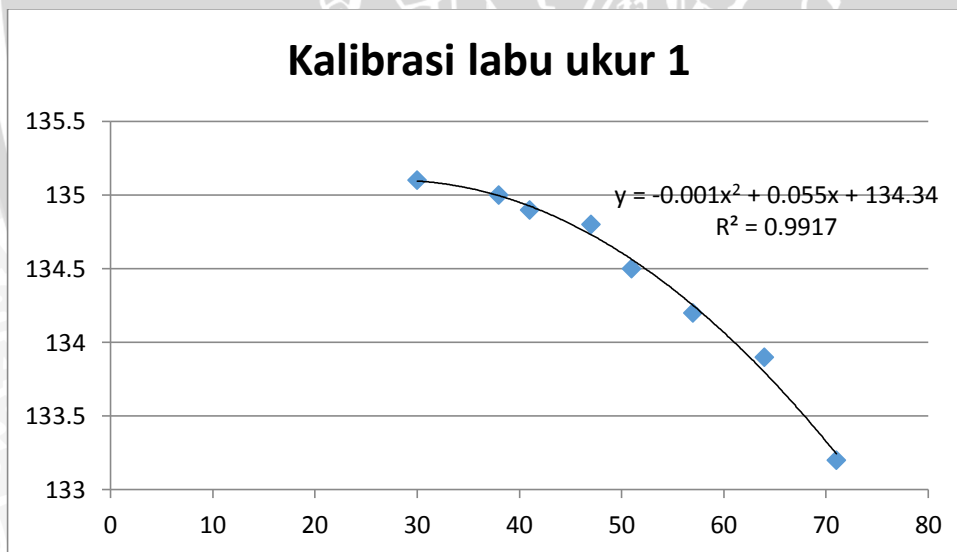
Ayakan No	Diameter Ayakan mm	Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Persen Tertahan %	Persen Lolos %
No. 4	4.75	0.0	0	0.00	100.00
No. 10	2	109.5	109.5	10.96	89.04
No. 20	0.84	175.4	284.9	28.50	71.50
No. 40	0.42	324.6	609.5	60.98	39.02
No. 50	0.3	30.7	640.2	64.05	35.95
No. 80	0.18	177.3	817.5	81.79	18.21
No. 100	0.149	64.1	881.6	88.20	11.80
No. 200	0.074	83.2	964.8	96.53	3.47
PAN		34.7	999.5	100.00	0.00



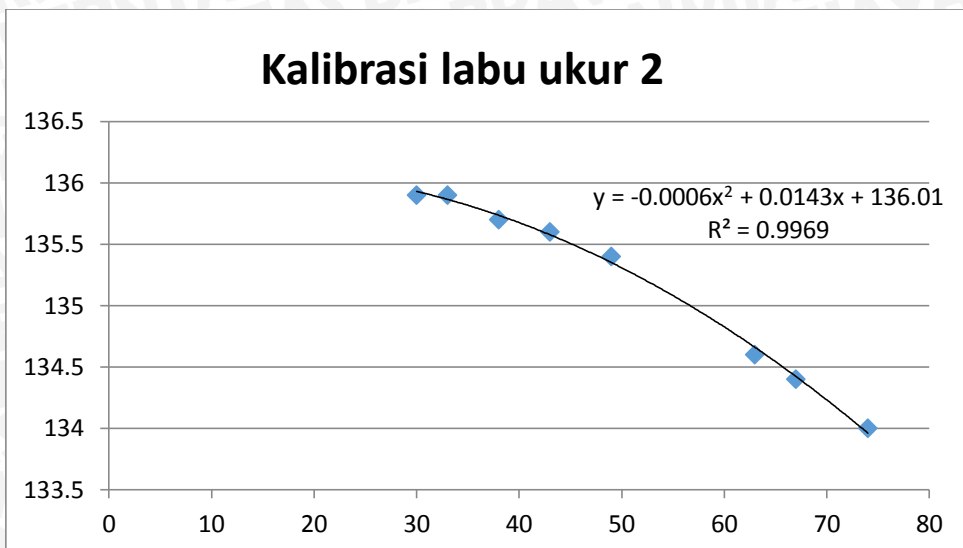
Lampiran 2. Analisis *Specific Gravity* Tanah

Data Percobaan Kalibrasi Labu Ukur

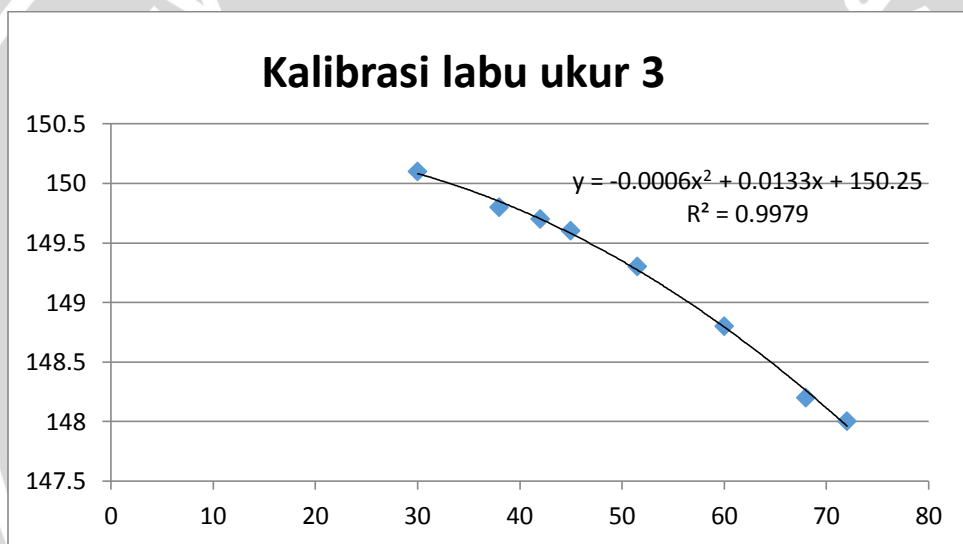
No	1		2		3	
	Berat Labu ukur +air	Temp. (°C)	Berat Labu ukur +air	Temp. (°C)	Berat Labu ukur +air	Temp. (°C)
1	133.2	71	134	74	148	72
2	133.9	64	134.4	67	148.2	68
3	134.2	57	134.6	63	148.8	60
4	134.5	51	135.4	49	149.3	51.5
5	134.8	47	135.6	43	149.6	45
6	134.9	41	135.7	38	149.7	42
7	135	38	135.9	33	149.8	38
8	135.1	30	135.9	30	150.1	30



Kalibrasi labu ukur 2



Kalibrasi labu ukur 3

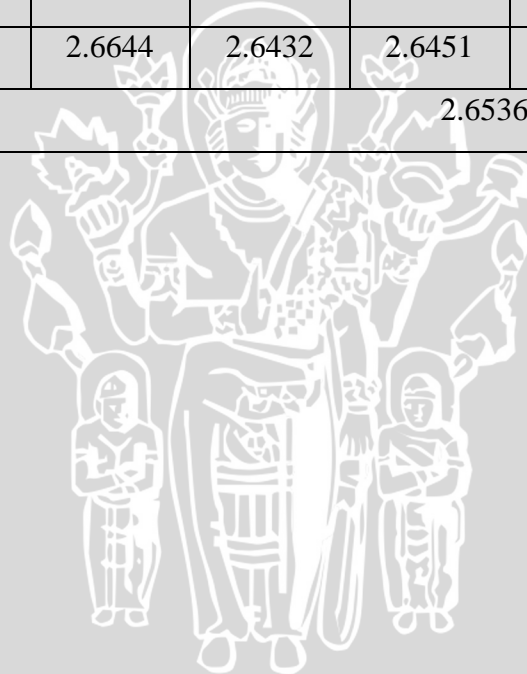


Labu Ukur	Satuan	1							
Berat Labu ukur	gr	35.4							
Berat tanah kering (Ws)	gr	20							
Berat labu ukur+air+ tanah (W1)		146	146.4	146.7	146.8	147.1	147.3	147.5	147.6
Suhu	°C	67	60	52	47	45	41	37	30
Berat labu ukur+air (W2)	gr	133.536	134.04	134.496	134.716	134.79	134.914	135.006	135.09
Berat jenis tanah (Gs)		2.6539	2.6178	2.5654	2.5265	2.6008	2.6267	2.6645	2.6702
Rata-rata berat jenis		2.6157							

Labu Ukur	Satuan	2							
Berat Labu ukur	gr	34.7							
Berat tanah kering (Ws)	gr	20							
Berat labu ukur+air+ tanah (W1)		146.4	147	147.5	147.7	148	148.2	148.4	148.5
Suhu	°C	71	63	54	52	45	39	33	30
Berat labu ukur+air (W2)	gr	134.0	134.5	135.0	135.1	135.4	135.7	135.8	135.9
Berat jenis tanah (Gs)		2.6313	2.6562	2.6551	2.6914	2.6887	2.6827	2.6923	2.7031
Rata-rata berat jenis		2.6751							

Labu Ukur	Satuan	3							
Berat Labu ukur	gr	50.5							
Berat tanah kering (Ws)	gr	20							
Berat labu ukur+air+ tanah (W1)		161	161.2	161.6	161.9	162	162.3	162.5	162.5
Suhu	°C	67	63	55	49	47	40	33	30
Berat labu ukur+air (W2)	gr	148.4	148.7	149.2	149.5	149.5	149.8	150.0	150.1
Berat jenis tanah (Gs)		2.6854	2.6644	2.6432	2.6451	2.6491	2.6589	2.6541	2.6285
Rata-rata berat jenis		2.6536							

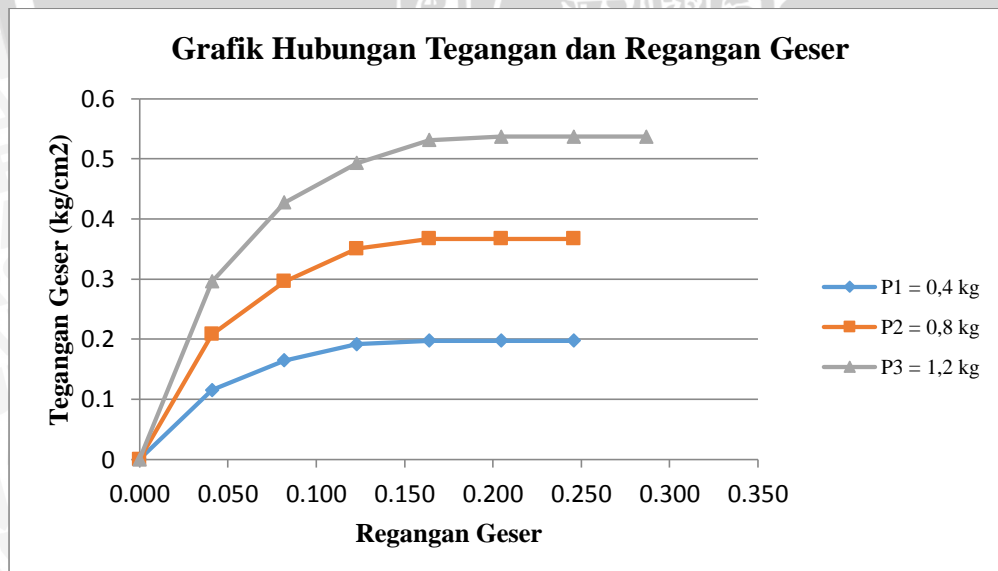
Rata-rata	2.648145
-----------	----------

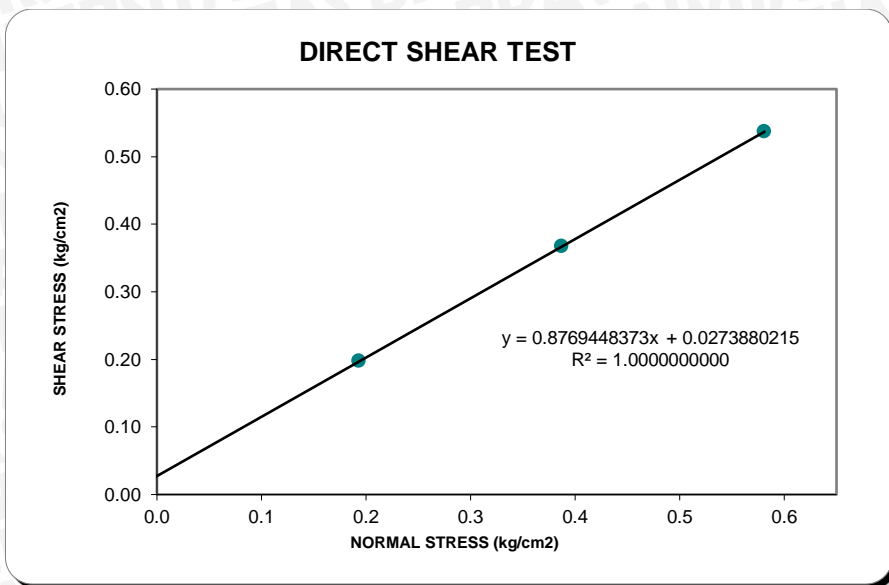


Lampiran 3. Analisis Uji Geser Langsung (*Direct Shear*)

Diameter : 6.1 cm
 Area : 29.21 cm²
 Height : 1.8 cm
 Lever Ratio : 14.14
 Volume Weight : 1.531 gr/cm³
 Calibration : 0.32

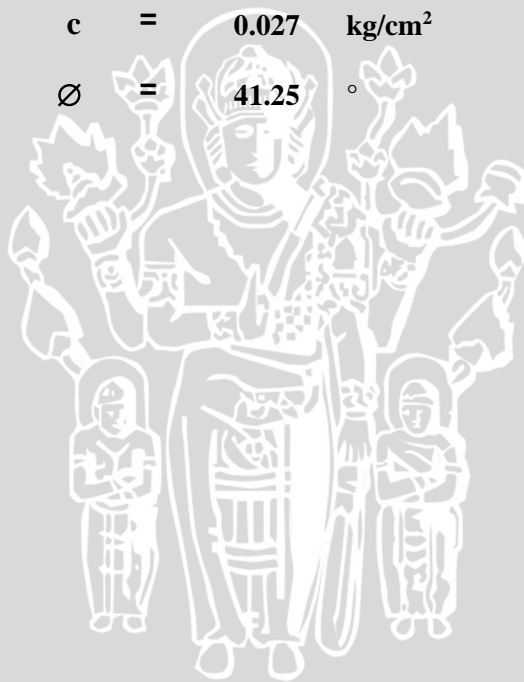
NORMAL FORCE	P1 = 0.4 kg			P2 = 0.8 kg			P3 = 1.2 kg			Regangan Geser
NORMAL STRESS	s1 = 0.2 kg/cm ²			s2 = 0.4 kg/cm ²			s3 = 0.6 kg/cm ²			
STRAIN	DIAL READING	SHEAR FORCE	SHEAR STRESS	DIAL READING	SHEAR FORCE	SHEAR STRESS	DIAL READING	SHEAR FORCE	SHEAR STRESS	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
25	10.5	3.3600	0.1150	19.0	6.0800	0.2081	27.0	8.6400	0.2958	0.041
50	15.0	4.8000	0.1643	27.0	8.6400	0.2958	39.0	12.4800	0.4273	0.082
75	17.5	5.6000	0.1917	32.0	10.2400	0.3506	45.0	14.4000	0.4930	0.123
100	18.0	5.7600	0.1972	33.5	10.7200	0.3670	48.5	15.5200	0.5313	0.164
125	18.0	5.7600	0.1972	33.5	10.7200	0.3670	49.0	15.6800	0.5368	0.205
150	18.0	5.7600	0.1972	33.5	10.7200	0.3670	49.0	15.6800	0.5368	0.246
175							49.0	15.6800	0.5368	0.287
200										





$c = 0.027 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 41.25^\circ$



Lampiran 4. Analisis Uji Pemadatan Standar (ASTM D-698-70 METODE B)

Berat *Mold* = 6000 gr
 Tinggi *Mold* = 11,5 cm
 Diameter *Mold* = 15,5 cm

Kadar Air

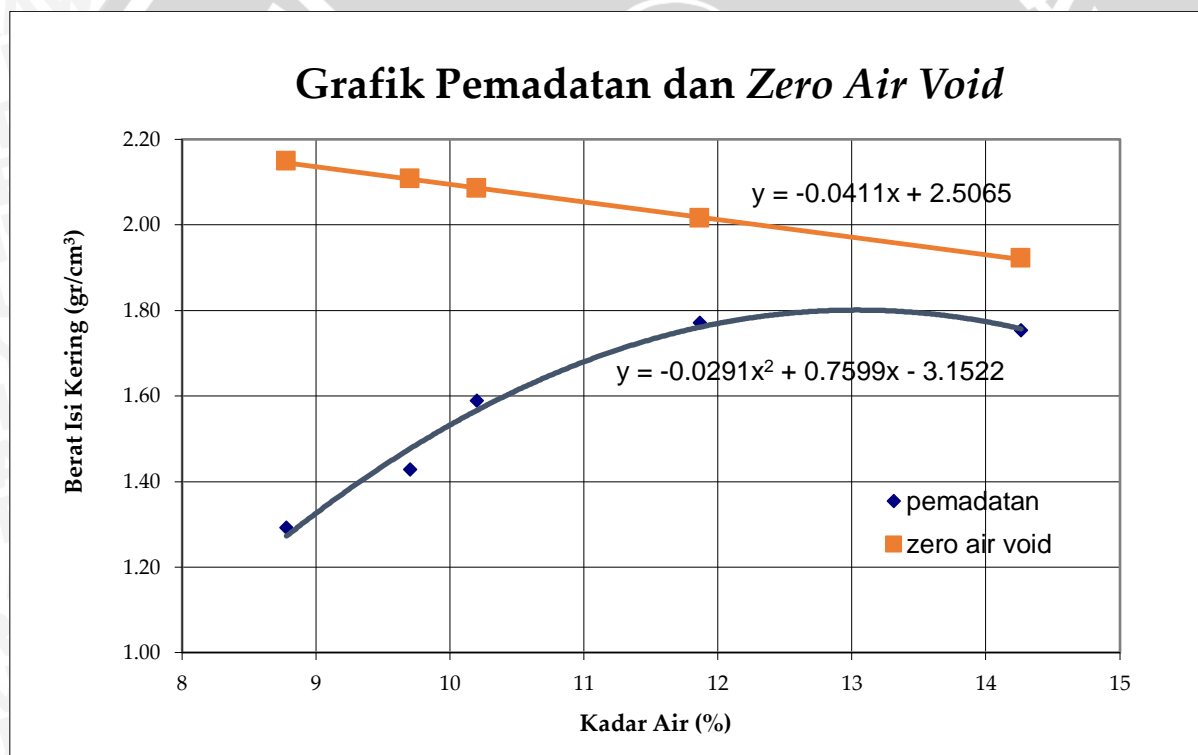
Penambahan Air	p1			p2			p3			p4			p5		
	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah
Berat Cawan	6.00	4.00	4.00	5.60	4.00	4.10	6.00	5.50	5.30	7.80	6.10	4.10	5.50	5.50	5.60
Berat Tanah Basah + Cawan	29.40	31.80	35.80	29.30	17.20	28.60	29.10	27.90	20.00	32.00	29.70	31.80	30.70	29.70	32.60
Berat Tanah Kering + Cawan	27.50	29.60	33.20	27.20	16.00	26.50	27.00	25.70	18.70	29.50	27.10	28.90	27.30	26.60	29.60
Berat Air	1.90	2.20	2.60	2.10	1.20	2.10	2.10	2.20	1.30	2.50	2.60	2.90	3.40	3.10	3.00
Berat Tanah Kering	21.50	25.60	29.20	21.60	12.00	22.40	21.00	20.20	13.40	21.70	21.00	24.80	21.80	21.10	24.00
Kadar Air (w) (%)	8.84	8.59	8.90	9.72	10.00	9.38	10.00	10.89	9.70	11.52	12.38	11.69	15.60	14.69	12.50
Kadar Air Rata-rata (%)	8.7784			9.6991			10.1975			11.8651			14.2628		

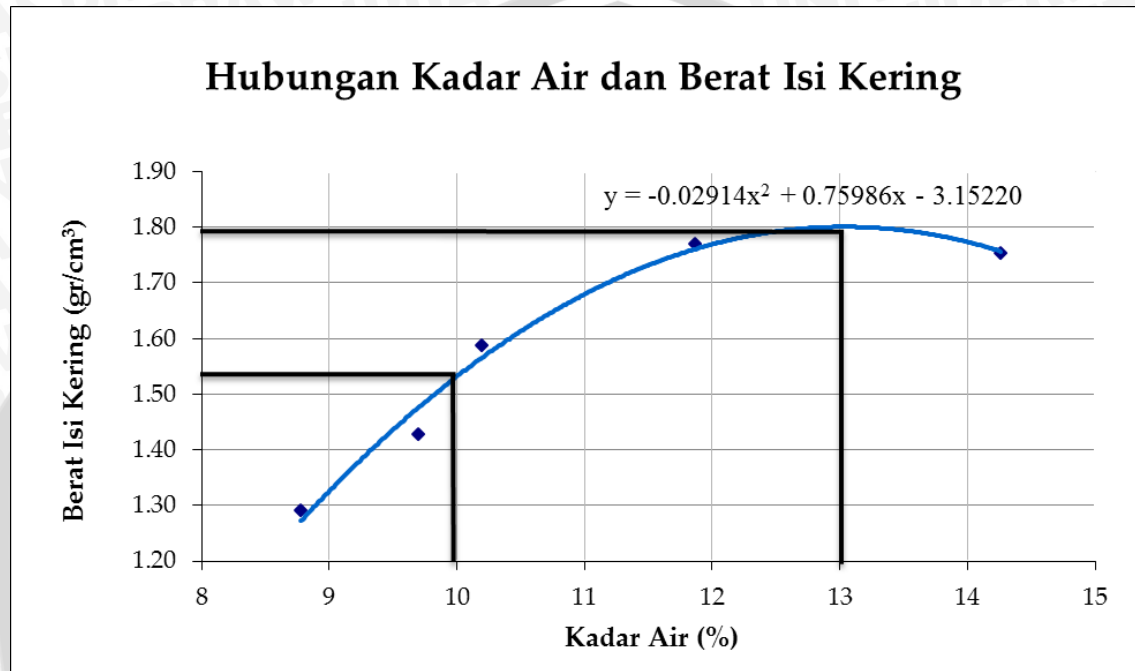
Density

Penambahan Air	cc	p1	p2	p3	p4	p5
Berat Cetakan	gr	6000	6000	6000	6000	6000
Berat Tanah Basah + Cetakan	gr	9050	9400	9800	10300	10350
Berat Tanah Basah	gr	3050	3400	3800	4300	4350
Isi Cetakan	ml	2170.83	2170.83	2170.83	2170.83	2170.83
Berat Isi Basah	gr/cm ³	1.4050	1.5662	1.7505	1.9808	2.0038
Berat Isi Kering	gr/cm ³	1.2916	1.4277	1.5885	1.7707	1.7537

Zero Air Void

Kadar Air (%)	Gs	γ_w	Zero Air Void Line
8.778	2.648	1	2.149
9.699	2.648	1	2.107
10.198	2.648	1	2.085
11.865	2.648	1	2.015
14.263	2.648	1	1.922





OMC	13.038%
γ_d max	1.801 gr/cm ³
85% γ_d	1.531 gr/cm ³
WC 85%	9.99%

Lampiran 5. Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Pasir

Tanpa perkuatan sudut 46°, B = 8 cm, d/B = 2

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.30	36.50	36.90	36.50	35.90	35.80	36.80	37.10	36.70	36.10	36.50	36.40	36.50	36.90	35.90	36.60	36.70	36.20	36.30	36.40	36.60
3. Berat Tanah Basah	gr	18.20	18.40	18.80	18.40	17.80	17.70	18.70	19.00	18.60	18.00	18.40	18.30	18.40	18.80	17.80	18.50	18.60	18.10	18.20	18.30	18.50
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.684	1.703	1.740	1.703	1.647	1.638	1.730	1.758	1.721	1.666	1.703	1.693	1.703	1.740	1.647	1.712	1.721	1.675	1.684	1.693	1.712
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.89	34.98	35.29	34.88	34.27	34.29	35.08	35.38	34.97	34.28	34.69	34.68	34.69	34.98	34.19	34.88	34.89	34.49	34.48	34.48	34.78
7. Berat Tanah Kering	gr	16.79	16.88	17.19	16.78	16.17	16.19	16.98	17.28	16.87	16.18	16.59	16.58	16.59	16.88	16.09	16.78	16.79	16.39	16.38	16.38	16.68
8. Berat Air	gr	1.41	1.52	1.61	1.62	1.63	1.51	1.72	1.72	1.73	1.82	1.81	1.72	1.81	1.92	1.71	1.72	1.81	1.71	1.82	1.92	1.82
9. Kadar Air	%	8.42	8.98	9.40	9.65	10.06	9.33	10.11	9.92	10.27	11.23	10.93	10.38	10.94	11.36	10.65	10.25	10.77	10.43	11.10	11.69	10.90
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10.32										
11. γ_d	gr/cm ³	1.553	1.562	1.590	1.553	1.497	1.498	1.571	1.599	1.561	1.497	1.535	1.534	1.535	1.562	1.489	1.553	1.554	1.517	1.516	1.516	1.544
12. γ_d rata-rata	gr											1.540										

Tanpa perkuatan sudut 51°, B = 8 cm, d/B = 2

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.90	36.30	36.60	36.60	36.10	36.60	36.60	36.20	36.70	36.50	36.00	36.60	36.30	36.70	36.30	36.40	36.60	36.30	37.30	36.60	36.80
3. Berat Tanah Basah	gr	18.80	18.20	18.50	18.50	18.00	18.50	18.50	18.10	18.60	18.40	17.90	18.50	18.20	18.60	18.20	18.30	18.50	18.20	19.20	18.50	18.70
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.740	1.684	1.712	1.712	1.666	1.712	1.712	1.675	1.721	1.703	1.656	1.712	1.684	1.721	1.684	1.693	1.712	1.684	1.777	1.712	1.730
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	35.20	34.60	34.83	34.91	34.50	34.91	34.83	34.62	35.01	34.81	34.32	34.82	34.62	35.00	34.53	34.72	34.91	34.61	35.41	34.91	35.11
7. Berat Tanah Kering	gr	17.10	16.50	16.73	16.81	16.40	16.81	16.73	16.52	16.91	16.71	16.22	16.72	16.52	16.90	16.43	16.62	16.81	16.51	17.31	16.81	17.01
8. Berat Air	gr	1.70	1.70	1.77	1.69	1.60	1.69	1.77	1.58	1.69	1.69	1.68	1.78	1.68	1.70	1.77	1.68	1.69	1.69	1.89	1.69	1.69
9. Kadar Air	%	9.94	10.30	10.59	10.06	9.76	10.06	10.59	9.58	10.00	10.12	10.37	10.65	10.18	10.06	10.78	10.12	10.06	10.24	10.92	10.06	9.94
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10.21										
11. γ_d	gr/cm ³	1.582	1.527	1.548	1.555	1.518	1.555	1.548	1.528	1.565	1.546	1.501	1.547	1.529	1.564	1.520	1.538	1.555	1.528	1.602	1.555	1.574
12. γ_d rata-rata	gr											1.547										

Tanpa kekuatan sudut 56° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.00	36.20	35.90	36.60	35.90	36.50	36.70	36.30	35.90	35.50	36.00	36.90	36.70	36.80	37.00	36.40	36.70	36.00	37.20	36.90	36.80
3. Berat Tanah Basah	gr	17.90	18.10	17.80	18.50	17.80	18.40	18.60	18.20	17.80	17.40	17.90	18.80	18.60	18.70	18.90	18.30	18.60	17.90	19.10	18.80	18.70
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.656	1.675	1.647	1.712	1.647	1.703	1.721	1.684	1.647	1.610	1.656	1.740	1.721	1.730	1.749	1.693	1.721	1.656	1.767	1.740	1.730
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.41	34.61	34.41	34.91	34.41	35.01	35.01	34.61	34.32	33.91	34.31	35.10	34.91	34.91	35.31	34.71	35.11	34.40	35.31	35.01	34.91
7. Berat Tanah Kering	gr	16.31	16.51	16.31	16.81	16.31	16.91	16.91	16.51	16.22	15.81	16.21	17.00	16.81	16.81	17.21	16.61	17.01	16.30	17.21	16.91	16.81
8. Berat Air	gr	1.59	1.59	1.49	1.69	1.49	1.49	1.69	1.69	1.58	1.59	1.69	1.80	1.79	1.89	1.69	1.69	1.59	1.60	1.89	1.89	1.89
9. Kadar Air	%	9.76	9.64	9.15	10.06	9.15	8.82	10.00	10.24	9.76	10.06	10.43	10.59	10.65	11.24	9.83	10.18	9.36	9.82	10.98	11.18	11.24
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10.10										
11. γ_d	gr/cm ³	1.509	1.528	1.509	1.555	1.509	1.565	1.565	1.528	1.501	1.463	1.500	1.573	1.555	1.556	1.592	1.537	1.574	1.508	1.593	1.565	1.556
12. γ_d rata-rata	gr											1.540										

Dengan perkuatan sudut 46° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 1$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.20	36.50	36.50	36.00	36.50	36.40	36.70	36.30	36.30	36.20	36.70	36.70	36.30	36.30	36.10	37.00	37.20	35.70	37.30	36.70	35.60
3. Berat Tanah Basah	gr	18.10	18.40	18.40	17.90	18.40	18.30	18.60	18.20	18.20	18.10	18.60	18.60	18.20	18.20	18.00	18.90	19.10	17.60	19.20	18.60	17.50
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.675	1.703	1.703	1.656	1.703	1.693	1.721	1.684	1.684	1.675	1.721	1.721	1.684	1.684	1.666	1.749	1.767	1.629	1.777	1.721	1.619
6. Berat Ring + Tnah Kering	gr	34.60	34.81	34.91	34.41	34.81	34.80	35.10	34.60	34.69	34.58	35.01	35.10	34.71	34.60	34.59	35.40	35.59	34.19	35.65	34.89	34.01
7. Berat Tanah Kering	gr	16.50	16.71	16.81	16.31	16.71	16.70	17.00	16.50	16.59	16.48	16.91	17.00	16.61	16.50	16.49	17.30	17.49	16.09	17.55	16.79	15.91
8. Berat Air	gr	1.60	1.69	1.59	1.59	1.69	1.60	1.60	1.70	1.61	1.62	1.69	1.60	1.59	1.70	1.51	1.60	1.61	1.51	1.65	1.81	1.59
9. Kadar Air	%	9.70	10.12	9.47	9.76	10.12	9.58	9.41	10.30	9.70	9.82	10.00	9.41	9.58	10.30	9.15	9.25	9.20	9.38	9.41	10.78	10.00
10. Kadar Air Rata-Rata	%	9.73																				
11. γ_d	gr/cm ³	1.527	1.546	1.555	1.509	1.546	1.545	1.573	1.527	1.535	1.525	1.565	1.573	1.537	1.527	1.526	1.601	1.619	1.489	1.624	1.554	1.472
12. γ_d rata-rata	gr	1.546																				

Dengan perkuatan sudut 46° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 2$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	35.90	35.60	36.30	36.50	36.20	35.90	35.90	36.10	36.00	36.20	36.40	36.70	36.10	36.20	35.90	36.30	36.50	36.50	37.20	36.10	36.70
3. Berat Tanah Basah	gr	17.80	17.50	18.20	18.40	18.10	17.80	17.80	18.00	17.90	18.10	18.30	18.60	18.00	18.10	17.80	18.20	18.40	18.40	19.10	18.00	18.60
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.647	1.619	1.684	1.703	1.675	1.647	1.647	1.666	1.656	1.675	1.693	1.721	1.666	1.675	1.647	1.684	1.703	1.703	1.767	1.666	1.721
6. Berat Ring + Tnah Kering	gr	34.41	34.01	34.63	34.90	34.52	34.22	34.13	34.51	34.41	34.50	34.71	34.81	34.42	34.51	34.22	34.62	34.81	34.81	35.30	34.32	35.31
7. Berat Tanah Kering	gr	16.31	15.91	16.53	16.80	16.42	16.12	16.03	16.41	16.31	16.40	16.61	16.71	16.32	16.41	16.12	16.52	16.71	16.71	17.20	16.22	17.21
8. Berat Air	gr	1.49	1.59	1.67	1.60	1.68	1.68	1.77	1.59	1.59	1.70	1.69	1.89	1.68	1.69	1.68	1.68	1.69	1.69	1.90	1.78	1.39
9. Kadar Air	%	9.15	10.00	10.12	9.52	10.24	10.43	11.04	9.70	9.76	10.37	10.18	11.31	10.30	10.30	10.43	10.18	10.12	10.12	11.05	10.98	8.09
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10.16																				
11. γ_d	gr/cm ³	1.509	1.472	1.529	1.555	1.519	1.492	1.483	1.518	1.509	1.518	1.537	1.546	1.510	1.518	1.492	1.529	1.546	1.546	1.592	1.501	1.592
12. γ_d rata-rata	gr	1.524																				

Dengan perkuatan sudut 46° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$, $n = 3$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	35.80	36.70	36.50	36.10	36.10	36.40	36.30	36.50	36.30	36.40	36.00	36.40	35.80	35.90	36.50	36.60	36.10	36.00	36.30	36.20	36.40
3. Berat Tanah Basah	gr	17.70	18.60	18.40	18.00	18.00	18.30	18.20	18.40	18.20	18.30	17.90	18.30	17.70	17.80	18.40	18.50	18.00	17.90	18.20	18.10	18.30
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.638	1.721	1.703	1.666	1.666	1.693	1.684	1.703	1.684	1.693	1.656	1.693	1.638	1.647	1.703	1.712	1.666	1.656	1.684	1.675	1.693
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.11	34.82	34.72	34.41	34.42	34.71	34.71	34.82	34.71	34.80	34.41	34.60	34.21	34.29	34.81	34.91	34.41	34.51	34.70	34.42	34.70
7. Berat Tanah Kering	gr	16.01	16.72	16.62	16.31	16.32	16.61	16.61	16.72	16.61	16.70	16.31	16.50	16.11	16.19	16.71	16.81	16.31	16.41	16.60	16.32	16.60
8. Berat Air	gr	1.69	1.88	1.78	1.69	1.68	1.69	1.59	1.68	1.59	1.60	1.59	1.80	1.59	1.61	1.69	1.69	1.69	1.49	1.60	1.78	1.70
9. Kadar Air	%	10.56	11.24	10.71	10.37	10.30	10.18	9.58	10.06	9.58	9.58	9.76	10.91	9.88	9.94	10.12	10.06	10.37	9.09	9.64	10.91	10.24
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10.15										
11. γ_d	gr/cm ³	1.481	1.547	1.538	1.509	1.510	1.537	1.537	1.547	1.537	1.545	1.509	1.527	1.491	1.498	1.546	1.555	1.509	1.518	1.536	1.510	1.536
12. γ_d rata-rata	gr											1.525										

Dengan perkuatan sudut 51° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$, $n = 1$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.20	36.20	36.40	36.20	36.00	36.60	36.40	35.90	36.80	36.50	36.00	37.00	36.30	37.00	35.90	36.10	36.20	36.60	36.70	37.00	36.60
3. Berat Tanah Basah	gr	18.10	18.10	18.30	18.10	17.90	18.50	18.30	17.80	18.70	18.40	17.90	18.90	18.20	18.90	17.80	18.00	18.10	18.50	18.60	18.90	18.50
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.675	1.675	1.693	1.675	1.656	1.712	1.693	1.647	1.730	1.703	1.656	1.749	1.684	1.749	1.647	1.666	1.675	1.712	1.721	1.749	1.712
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.60	34.61	34.80	34.51	34.31	34.99	34.82	34.31	35.11	34.72	34.22	35.20	34.41	35.11	34.01	34.40	34.51	34.90	34.90	34.76	35.00
7. Berat Tanah Kering	gr	16.50	16.51	16.70	16.41	16.21	16.89	16.72	16.21	17.01	16.62	16.12	17.10	16.31	17.01	15.91	16.30	16.41	16.80	16.80	16.66	16.90
8. Berat Air	gr	1.60	1.59	1.60	1.69	1.69	1.61	1.58	1.59	1.69	1.78	1.78	1.80	1.89	1.89	1.89	1.70	1.69	1.70	1.80	2.24	1.60
9. Kadar Air	%	9.70	9.64	9.58	10.30	10.43	9.52	9.47	9.82	9.94	10.71	11.04	10.53	11.59	11.11	11.88	10.46	10.30	10.12	10.71	13.45	9.47
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10.46										
11. γ_d	gr/cm ³	1.527	1.528	1.545	1.518	1.500	1.563	1.547	1.500	1.574	1.538	1.492	1.582	1.509	1.574	1.472	1.508	1.518	1.555	1.555	1.542	1.564
12. γ_d rata-rata	gr											1.534										

Dengan perkuatan sudut 51° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 2$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.60	35.60	37.00	36.40	36.10	36.10	36.40	36.90	36.60	36.40	36.60	36.70	36.50	36.70	36.60	36.30	37.10	36.60	37.10	36.50	37.00
3. Berat Tanah Basah	gr	18.50	17.50	18.90	18.30	18.00	18.00	18.30	18.80	18.50	18.30	18.50	18.60	18.40	18.60	18.50	18.20	19.00	18.50	19.00	18.40	18.90
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.712	1.619	1.749	1.693	1.666	1.666	1.693	1.740	1.712	1.693	1.712	1.721	1.703	1.721	1.712	1.684	1.758	1.712	1.758	1.703	1.749
6. Berat Ring + Tnah Kering	gr	34.91	34.11	35.30	34.62	34.41	34.51	34.62	35.11	34.91	34.61	34.61	34.81	34.51	34.81	34.70	34.41	35.12	34.81	35.21	34.60	35.00
7. Berat Tanah Kering	gr	16.81	16.01	17.20	16.52	16.31	16.41	16.52	17.01	16.81	16.51	16.51	16.71	16.41	16.71	16.60	16.31	17.02	16.71	17.11	16.50	16.90
8. Berat Air	gr	1.69	1.49	1.70	1.78	1.69	1.59	1.78	1.79	1.69	1.79	1.99	1.89	1.99	1.89	1.90	1.89	1.98	1.79	1.89	1.90	2.00
9. Kadar Air	%	10.06	9.32	9.88	10.78	10.37	9.70	10.78	10.53	10.06	10.84	12.05	11.31	12.12	11.31	11.45	11.59	11.63	10.71	11.05	11.52	11.83
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10.90																				
11. γ_d	gr/cm ³	1.555	1.481	1.592	1.529	1.509	1.518	1.529	1.574	1.555	1.528	1.528	1.546	1.519	1.546	1.536	1.509	1.575	1.546	1.583	1.527	1.564
12. γ_d rata-rata	gr	1.540																				

Dengan perkuatan sudut 51° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 3$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.80	37.20	36.60	36.40	37.30	36.70	36.60	36.80	37.00	36.60	36.30	35.90	36.40	36.00	36.10	36.70	36.40	36.50	36.30	36.50	36.70
3. Berat Tanah Basah	gr	18.70	19.10	18.50	18.30	19.20	18.60	18.50	18.70	18.90	18.50	18.20	17.80	18.30	17.90	18.00	18.60	18.30	18.40	18.20	18.40	18.60
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.730	1.767	1.712	1.693	1.777	1.721	1.712	1.730	1.749	1.712	1.684	1.647	1.693	1.656	1.666	1.721	1.693	1.703	1.684	1.703	1.721
6. Berat Ring + Tnah Kering	gr	35.01	35.11	34.71	34.52	35.31	34.90	34.81	34.91	35.12	34.91	34.62	34.31	34.61	34.30	34.42	34.91	34.71	34.71	34.61	34.71	34.80
7. Berat Tanah Kering	gr	16.91	17.01	16.61	16.42	17.21	16.80	16.71	16.81	17.02	16.81	16.52	16.21	16.51	16.20	16.32	16.81	16.61	16.61	16.51	16.61	16.70
8. Berat Air	gr	1.79	2.09	1.89	1.88	1.99	1.80	1.79	1.89	1.88	1.69	1.68	1.59	1.79	1.70	1.68	1.79	1.69	1.79	1.69	1.79	1.90
9. Kadar Air	%	10.59	12.28	11.38	11.45	11.56	10.71	10.71	11.24	11.05	10.06	10.18	9.82	10.84	10.49	10.30	10.65	10.18	10.78	10.24	10.78	11.38
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10.79																				
11. γ_d	gr/cm ³	1.565	1.574	1.537	1.519	1.593	1.555	1.546	1.556	1.575	1.555	1.529	1.500	1.528	1.499	1.510	1.555	1.537	1.537	1.528	1.537	1.545
12. γ_d rata-rata	gr	1.542																				

Dengan perkuatan sudut 56° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$, $n = 1$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.20	36.20	36.60	36.10	36.50	36.80	36.40	36.40	36.20	36.40	36.50	36.20	36.30	36.20	36.90	35.90	36.50	36.30	36.70	36.80	36.40
3. Berat Tanah Basah	gr	18.10	18.10	18.50	18.00	18.40	18.70	18.30	18.30	18.10	18.30	18.40	18.10	18.20	18.10	18.80	17.80	18.40	18.20	18.60	18.70	18.30
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.675	1.675	1.712	1.666	1.703	1.730	1.693	1.693	1.675	1.693	1.703	1.675	1.684	1.675	1.740	1.647	1.703	1.684	1.721	1.730	1.693
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.61	34.60	34.92	34.53	34.81	35.10	34.80	34.71	34.61	34.81	34.91	34.51	34.27	34.70	35.28	34.31	34.81	34.79	35.11	35.12	34.72
7. Berat Tanah Kering	gr	16.51	16.50	16.82	16.43	16.71	17.00	16.70	16.61	16.51	16.71	16.81	16.41	16.17	16.60	17.18	16.21	16.71	16.69	17.01	17.02	16.62
8. Berat Air	gr	1.59	1.60	1.68	1.57	1.69	1.70	1.60	1.69	1.59	1.59	1.69	1.69	2.03	1.50	1.62	1.59	1.69	1.51	1.59	1.68	1.68
9. Kadar Air	%	9.64	9.70	10.00	9.58	10.12	10.00	9.58	10.18	9.64	9.52	9.47	10.30	12.57	9.04	9.41	9.82	10.12	9.04	9.36	9.88	10.12
10. Kadar Air Rata-Rata	%												9.86									
11. γ_d	gr/cm ³	1.528	1.527	1.556	1.520	1.546	1.573	1.545	1.537	1.528	1.546	1.555	1.518	1.496	1.536	1.590	1.500	1.546	1.545	1.574	1.575	1.538
12. γ_d rata-rata	gr												1.542									

Dengan perkuatan sudut 56° , $B = 8$ cm, $d/B = 2$, $n = 2$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.50	37.50	37.10	36.60	36.40	36.60	35.80	36.60	37.10	36.70	36.60	36.40	36.50	37.10	36.30	35.90	36.20	36.50	36.60	36.80	36.70
3. Berat Tanah Basah	gr	18.40	19.40	19.00	18.50	18.30	18.50	17.70	18.50	19.00	18.60	18.50	18.30	18.40	19.00	18.20	17.80	18.10	18.40	18.50	18.70	18.60
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.703	1.795	1.758	1.712	1.693	1.712	1.638	1.712	1.758	1.721	1.712	1.693	1.703	1.758	1.684	1.647	1.675	1.703	1.712	1.730	1.721
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.80	35.61	35.21	34.90	34.70	34.90	34.21	34.91	35.31	34.99	34.81	34.70	34.72	35.30	34.51	33.70	34.43	34.80	34.80	35.01	34.91
7. Berat Tanah Kering	gr	16.70	17.51	17.11	16.80	16.60	16.80	16.11	16.81	17.21	16.89	16.71	16.60	16.62	17.20	16.41	15.60	16.33	16.70	16.70	16.91	16.81
8. Berat Air	gr	1.70	1.89	1.89	1.70	1.70	1.70	1.59	1.69	1.79	1.71	1.79	1.70	1.78	1.80	1.79	2.20	1.77	1.70	1.80	1.79	1.79
9. Kadar Air	%	10.18	10.80	11.05	10.12	10.24	10.12	9.88	10.06	10.40	10.12	10.71	10.24	10.71	10.47	10.91	14.10	10.84	10.18	10.78	10.59	10.65
10. Kadar Air Rata-Rata	%												10.63									
11. γ_d	gr/cm ³	1.545	1.620	1.583	1.555	1.536	1.555	1.491	1.555	1.592	1.563	1.546	1.536	1.538	1.592	1.518	1.444	1.511	1.545	1.545	1.565	1.555
12. γ_d rata-rata	gr												1.547									

Dengan perkuatan sudut 56° , $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 3$

Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Diameter Ring	cm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
1. Berat Ring	gr	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	36.60	36.20	36.20	35.80	36.70	36.40	36.30	35.90	36.60	36.20	36.50	36.60	36.00	36.30	36.70	36.70	36.20	36.20	37.10	37.10	36.50
3. Berat Tanah Basah	gr	18.50	18.10	18.10	17.70	18.60	18.30	18.20	17.80	18.50	18.10	18.40	18.50	17.90	18.20	18.60	18.60	18.10	18.10	19.00	19.00	18.40
4. Volume Tanah	cm ³	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
5. γ_w	gr/cm ³	1.712	1.675	1.675	1.638	1.721	1.693	1.684	1.647	1.712	1.675	1.703	1.712	1.656	1.684	1.721	1.721	1.675	1.675	1.758	1.758	1.703
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34.91	34.51	34.61	34.12	35.01	34.81	34.61	34.31	35.00	34.50	34.90	34.91	34.31	34.49	34.82	35.00	34.41	34.50	35.21	35.21	34.61
7. Berat Tanah Kering	gr	16.81	16.41	16.51	16.02	16.91	16.71	16.51	16.21	16.90	16.40	16.80	16.81	16.21	16.39	16.72	16.90	16.31	16.40	17.11	17.11	16.51
8. Berat Air	gr	1.69	1.69	1.59	1.68	1.69	1.59	1.69	1.59	1.60	1.70	1.60	1.69	1.69	1.81	1.88	1.70	1.79	1.70	1.89	1.89	1.89
9. Kadar Air	%	10.06	10.30	9.64	10.49	10.00	9.52	10.24	9.82	9.47	10.37	9.52	10.06	10.43	11.04	11.24	10.06	10.98	10.37	11.05	11.05	11.45
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10.34																				
11. γ_d	gr/cm ³	1.555	1.518	1.528	1.482	1.565	1.546	1.528	1.500	1.564	1.518	1.555	1.555	1.500	1.517	1.547	1.564	1.509	1.518	1.583	1.583	1.528
12. γ_d rata-rata	gr	1.536																				



Lampiran 6. Rekapitulasi Data Daya Dukung dan Penurunan Berdasarkan Eksperimen

Lereng tanpa perkuatan

1. $\alpha = 46^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4837	4833	4835	0	0	0	0
5	4832	4828	4830	0.025	0.031	0.006	0.638
10	4825	4819	4822	0.065	0.081	0.013	1.276
15	4815	4811	4813	0.110	0.138	0.019	1.913
20	4806	4802	4804	0.155	0.194	0.026	2.551
25	4800	4796	4798	0.185	0.231	0.032	3.189
30	4792	4786	4789	0.230	0.288	0.038	3.827
35	4784	4780	4782	0.265	0.331	0.045	4.464
40	4779	4775	4777	0.290	0.363	0.051	5.102
45	4773	4769	4771	0.320	0.400	0.057	5.740
50	4769	4763	4766	0.345	0.431	0.064	6.378
55	4763	4759	4761	0.370	0.463	0.070	7.015
60	4759	4755	4757	0.390	0.488	0.077	7.653
65	4754	4750	4752	0.415	0.519	0.083	8.291
70	4750	4744	4747	0.440	0.550	0.089	8.929
75	4745	4741	4743	0.460	0.575	0.096	9.566
80	4740	4736	4738	0.485	0.606	0.102	10.204
85	4736	4732	4734	0.505	0.631	0.108	10.842
90	4733	4727	4730	0.525	0.656	0.115	11.480
95	4727	4723	4725	0.550	0.688	0.121	12.117
100	4722	4718	4720	0.575	0.719	0.128	12.755
105	4719	4715	4717	0.590	0.738	0.134	13.393
110	4713	4707	4710	0.625	0.781	0.140	14.031
115	4708	4704	4706	0.645	0.806	0.147	14.668
120	4705	4701	4703	0.660	0.825	0.153	15.306
125	4698	4694	4696	0.695	0.869	0.159	15.944
130	4693	4688	4691	0.720	0.900	0.166	16.582
135	4688	4684	4686	0.745	0.931	0.172	17.219
140	4683	4679	4681	0.770	0.963	0.179	17.857
145	4678	4673	4675	0.800	1.000	0.185	18.495
150	4670	4665	4668	0.835	1.044	0.191	19.133
155	4664	4660	4662	0.865	1.081	0.198	19.770
160	4656	4652	4654	0.905	1.131	0.204	20.408
165	4649	4644	4646	0.945	1.181	0.210	21.046
170	4642	4637	4640	0.975	1.219	0.217	21.684
175	4637	4633	4635	1.000	1.250	0.223	22.321
180	4629	4625	4627	1.040	1.300	0.230	22.959
185	4625	4620	4622	1.065	1.331	0.236	23.597
190	4617	4612	4615	1.100	1.375	0.242	24.235
195	4610	4606	4608	1.135	1.419	0.249	24.872
200	4601	4597	4599	1.180	1.475	0.255	25.510
205	4595	4591	4593	1.210	1.513	0.261	26.148
210	4590	4585	4588	1.235	1.544	0.268	26.786
215	4574	4570	4572	1.315	1.644	0.274	27.423
220	4568	4563	4565	1.350	1.688	0.281	28.061
225	4559	4555	4557	1.390	1.738	0.287	28.699
230	4548	4543	4546	1.445	1.806	0.293	29.337
235	4540	4536	4538	1.485	1.856	0.300	29.974
240	4529	4524	4526	1.545	1.931	0.306	30.612

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
245	4518	4514	4516	1.595	1.994	0.313	31.250
250	4508	4503	4506	1.645	2.056	0.319	31.888
255	4496	4492	4494	1.705	2.131	0.325	32.526
260	4484	4479	4481	1.770	2.213	0.332	33.163
265	4472	4468	4470	1.825	2.281	0.338	33.801
270	4454	4449	4452	1.915	2.394	0.344	34.439
275	4440	4436	4438	1.985	2.481	0.351	35.077
280	4426	4422	4424	2.055	2.569	0.357	35.714
285	4413	4409	4411	2.120	2.650	0.364	36.352
290	4397	4392	4395	2.200	2.750	0.370	36.990
295	4381	4376	4378	2.285	2.856	0.376	37.628
300	4365	4361	4363	2.360	2.950	0.383	38.265
305	4337	4333	4335	2.500	3.125	0.389	38.903
310	4309	4304	4307	2.640	3.300	0.395	39.541
315	4277	4272	4274	2.805	3.506	0.402	40.179
320	4246	4242	4244	2.955	3.694	0.408	40.816
325	4220	4216	4218	3.085	3.856	0.415	41.454
330	4206	4201	4204	3.155	3.944	0.421	42.092
335	4178	4173	4175	3.300	4.125	0.427	42.730
340	4150	4146	4148	3.435	4.294	0.434	43.367
345	4113	4109	4111	3.620	4.525	0.440	44.005
350	4073	4068	4071	3.820	4.775	0.446	44.643
355	4053	4049	4051	3.920	4.900	0.453	45.281
360	3987	3983	3985	4.250	5.313	0.459	45.918
365	3930	3926	3928	4.535	5.669	0.466	46.556
370	3880	3874	3877	4.790	5.988	0.472	47.194
375	3823	3819	3821	5.070	6.338	0.478	47.832
380	3764	3760	3762	5.365	6.706	0.485	48.469
385	3710	3706	3708	5.635	7.044	0.491	49.107
390	3654	3650	3652	5.915	7.394	0.497	49.745
393	3553	3549	3551	6.420	8.025	0.501	50.128
393	3385	3381	3383	7.260	9.075	0.501	50.128



2. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8$ cm, $d/B = 2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4947	4951	4949	0	0	0	0
5	4950	4948	4949	0.000	0.000	0.006	0.638
10	4946	4948	4947	0.010	0.013	0.013	1.276
15	4947	4945	4946	0.015	0.019	0.019	1.913
20	4942	4946	4944	0.025	0.031	0.026	2.551
25	4943	4941	4942	0.035	0.044	0.032	3.189
30	4938	4942	4940	0.045	0.056	0.038	3.827
35	4939	4937	4938	0.055	0.069	0.045	4.464
40	4935	4937	4936	0.065	0.081	0.051	5.102
45	4934	4932	4933	0.080	0.100	0.057	5.740
50	4928	4932	4930	0.095	0.119	0.064	6.378
55	4928	4926	4927	0.110	0.138	0.070	7.015
60	4922	4926	4924	0.125	0.156	0.077	7.653
65	4920	4918	4919	0.150	0.188	0.083	8.291
70	4916	4918	4917	0.160	0.200	0.089	8.929
75	4915	4913	4914	0.175	0.219	0.096	9.566
80	4908	4912	4910	0.195	0.244	0.102	10.204
85	4908	4906	4907	0.210	0.263	0.108	10.842
90	4903	4907	4905	0.220	0.275	0.115	11.480
95	4900	4898	4899	0.250	0.313	0.121	12.117
100	4895	4897	4896	0.265	0.331	0.128	12.755
105	4893	4891	4892	0.285	0.356	0.134	13.393
110	4885	4889	4887	0.310	0.388	0.140	14.031
115	4886	4884	4885	0.320	0.400	0.147	14.668
120	4879	4883	4881	0.340	0.425	0.153	15.306
125	4878	4876	4877	0.360	0.450	0.159	15.944
130	4872	4874	4873	0.380	0.475	0.166	16.582
135	4869	4867	4868	0.405	0.506	0.172	17.219
140	4864	4868	4866	0.415	0.519	0.179	17.857
145	4860	4858	4859	0.450	0.563	0.185	18.495
150	4843	4847	4845	0.520	0.650	0.191	19.133
155	4841	4839	4840	0.545	0.681	0.198	19.770
160	4836	4838	4837	0.560	0.700	0.204	20.408
165	4833	4831	4832	0.585	0.731	0.210	21.046
170	4825	4829	4827	0.610	0.763	0.217	21.684
175	4821	4819	4820	0.645	0.806	0.223	22.321
180	4815	4819	4817	0.660	0.825	0.230	22.959
185	4813	4811	4812	0.685	0.856	0.236	23.597
190	4806	4808	4807	0.710	0.888	0.242	24.235
195	4805	4803	4804	0.725	0.906	0.249	24.872
200	4796	4800	4798	0.755	0.944	0.255	25.510
205	4794	4792	4793	0.780	0.975	0.261	26.148
210	4785	4789	4787	0.810	1.013	0.268	26.786
215	4779	4777	4778	0.855	1.069	0.274	27.423
220	4771	4773	4772	0.885	1.106	0.281	28.061
225	4768	4766	4767	0.910	1.138	0.287	28.699
230	4760	4764	4762	0.935	1.169	0.293	29.337
235	4757	4755	4756	0.965	1.206	0.300	29.974
240	4747	4751	4749	1.000	1.250	0.306	30.612

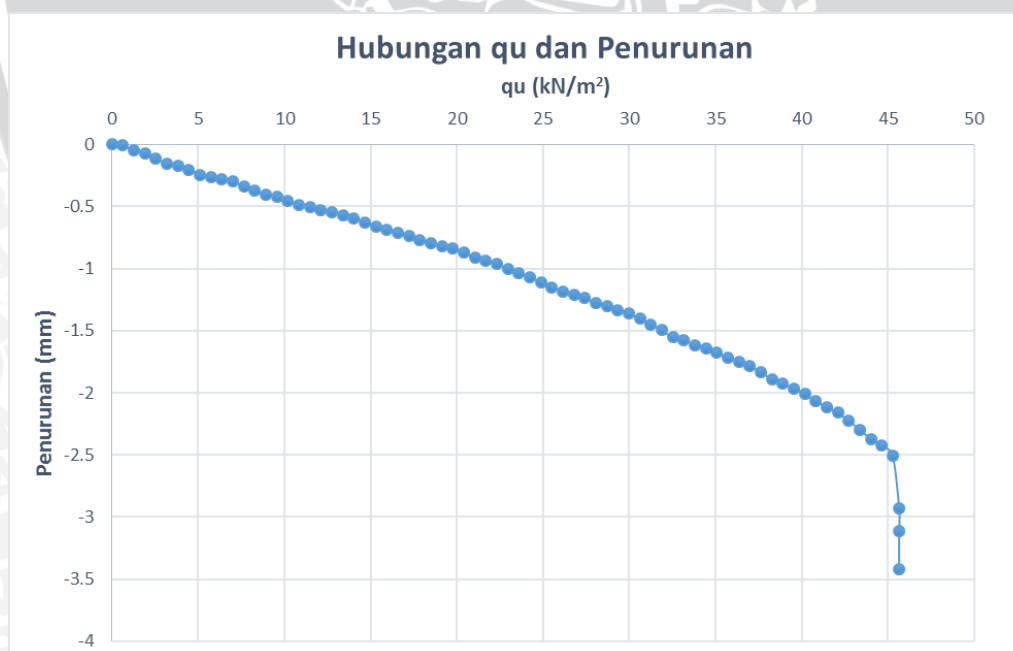
Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
245	4744	4742	4743	1.030	1.288	0.313	31.250
250	4734	4736	4735	1.070	1.338	0.319	31.888
255	4729	4727	4728	1.105	1.381	0.325	32.526
260	4718	4722	4720	1.145	1.431	0.332	33.163
265	4713	4711	4712	1.185	1.481	0.338	33.801
270	4701	4705	4703	1.230	1.538	0.344	34.439
275	4697	4695	4696	1.265	1.581	0.351	35.077
280	4687	4689	4688	1.305	1.631	0.357	35.714
285	4682	4680	4681	1.340	1.675	0.364	36.352
290	4672	4676	4674	1.375	1.719	0.370	36.990
295	4671	4669	4670	1.395	1.744	0.376	37.628
300	4659	4663	4661	1.440	1.800	0.383	38.265
305	4651	4649	4650	1.495	1.869	0.389	38.903
310	4643	4645	4644	1.525	1.906	0.395	39.541
315	4639	4637	4638	1.555	1.944	0.402	40.179
320	4626	4630	4628	1.605	2.006	0.408	40.816
325	4621	4619	4620	1.645	2.056	0.415	41.454
330	4605	4609	4607	1.710	2.138	0.421	42.092
335	4599	4597	4598	1.755	2.194	0.427	42.730
340	4588	4590	4589	1.800	2.250	0.434	43.367
345	4566	4564	4565	1.920	2.400	0.440	44.005
350	4546	4550	4548	2.005	2.506	0.446	44.643
355	4522	4520	4521	2.140	2.675	0.453	45.281
360	4500	4504	4502	2.235	2.794	0.459	45.918
365	4485	4483	4484	2.325	2.906	0.466	46.556
370	4422	4424	4423	2.630	3.288	0.472	47.194
375	4369	4367	4368	2.905	3.631	0.478	47.832
380	4332	4336	4334	3.075	3.844	0.485	48.469
380	4280	4278	4279	3.350	4.188	0.485	48.469
380	4242	4246	4244	3.525	4.406	0.485	48.469

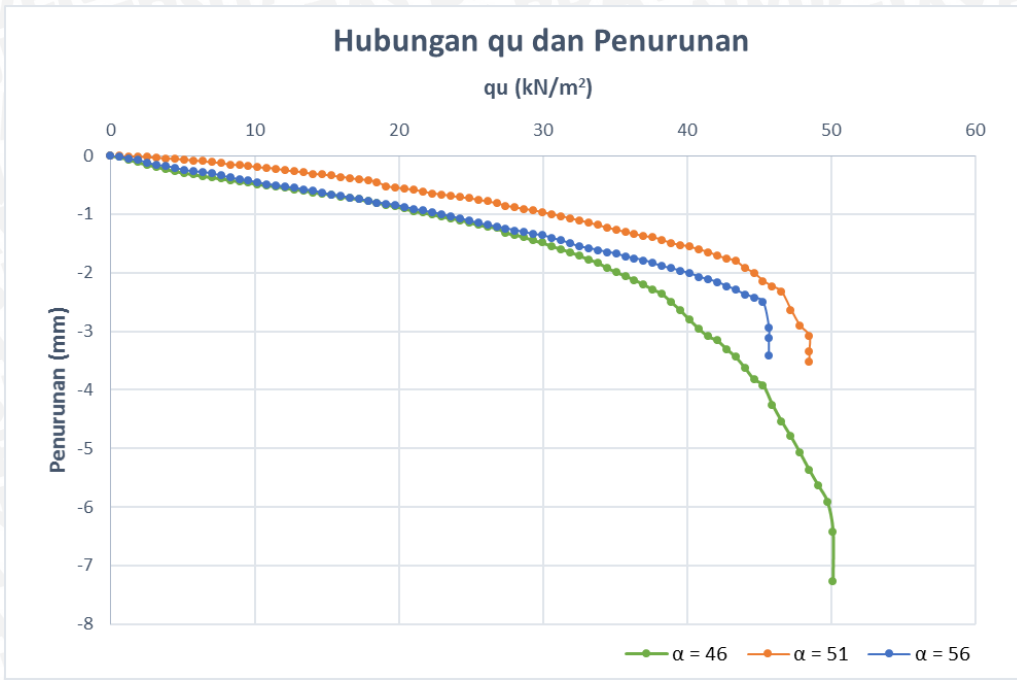


3. $\alpha = 56^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4879	4883	4881	0	0	0	0
5	4880	4878	4879	0.010	0.013	0.006	0.638
10	4870	4872	4871	0.050	0.063	0.013	1.276
15	4867	4865	4866	0.075	0.094	0.019	1.913
20	4856	4860	4858	0.115	0.144	0.026	2.551
25	4850	4848	4849	0.160	0.200	0.032	3.189
30	4844	4848	4846	0.175	0.219	0.038	3.827
35	4841	4839	4840	0.205	0.256	0.045	4.464
40	4831	4833	4832	0.245	0.306	0.051	5.102
45	4829	4827	4828	0.265	0.331	0.057	5.740
50	4823	4827	4825	0.280	0.350	0.064	6.378
55	4822	4820	4821	0.300	0.375	0.070	7.015
60	4811	4815	4813	0.340	0.425	0.077	7.653
65	4808	4806	4807	0.370	0.463	0.083	8.291
70	4799	4801	4800	0.405	0.506	0.089	8.929
75	4797	4795	4796	0.425	0.531	0.096	9.566
80	4788	4792	4790	0.455	0.569	0.102	10.204
85	4785	4783	4784	0.485	0.606	0.108	10.842
90	4778	4782	4780	0.505	0.631	0.115	11.480
95	4776	4774	4775	0.530	0.663	0.121	12.117
100	4770	4772	4771	0.550	0.688	0.128	12.755
105	4767	4765	4766	0.575	0.719	0.134	13.393
110	4760	4764	4762	0.595	0.744	0.140	14.031
115	4756	4754	4755	0.630	0.788	0.147	14.668
120	4746	4750	4748	0.665	0.831	0.153	15.306
125	4745	4743	4744	0.685	0.856	0.159	15.944
130	4737	4739	4738	0.715	0.894	0.166	16.582
135	4734	4732	4733	0.740	0.925	0.172	17.219
140	4725	4729	4727	0.770	0.963	0.179	17.857
145	4722	4720	4721	0.800	1.000	0.185	18.495
150	4715	4719	4717	0.820	1.025	0.191	19.133
155	4714	4712	4713	0.840	1.050	0.198	19.770
160	4705	4707	4706	0.875	1.094	0.204	20.408
165	4700	4698	4699	0.910	1.138	0.210	21.046
170	4691	4695	4693	0.940	1.175	0.217	21.684
175	4689	4687	4688	0.965	1.206	0.223	22.321
180	4679	4683	4681	1.000	1.250	0.230	22.959
185	4675	4673	4674	1.035	1.294	0.236	23.597
190	4666	4668	4667	1.070	1.338	0.242	24.235
195	4660	4658	4659	1.110	1.388	0.249	24.872
200	4649	4653	4651	1.150	1.438	0.255	25.510
205	4645	4643	4644	1.185	1.481	0.261	26.148
210	4637	4641	4639	1.210	1.513	0.268	26.786
215	4634	4632	4633	1.240	1.550	0.274	27.423
220	4625	4627	4626	1.275	1.594	0.281	28.061
225	4621	4619	4620	1.305	1.631	0.287	28.699
230	4611	4615	4613	1.340	1.675	0.293	29.337
235	4610	4608	4609	1.360	1.700	0.300	29.974
240	4598	4602	4600	1.405	1.756	0.306	30.612

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
245	4592	4590	4591	1.450	1.813	0.313	31.250
250	4581	4583	4582	1.495	1.869	0.319	31.888
255	4571	4569	4570	1.555	1.944	0.325	32.526
260	4564	4568	4566	1.575	1.969	0.332	33.163
265	4559	4557	4558	1.615	2.019	0.338	33.801
270	4550	4554	4552	1.645	2.056	0.344	34.439
275	4547	4545	4546	1.675	2.094	0.351	35.077
280	4536	4538	4537	1.720	2.150	0.357	35.714
285	4531	4529	4530	1.755	2.194	0.364	36.352
290	4522	4526	4524	1.785	2.231	0.370	36.990
295	4515	4513	4514	1.835	2.294	0.376	37.628
300	4501	4505	4503	1.890	2.363	0.383	38.265
305	4497	4495	4496	1.925	2.406	0.389	38.903
310	4487	4489	4488	1.965	2.456	0.395	39.541
315	4480	4478	4479	2.010	2.513	0.402	40.179
320	4465	4469	4467	2.070	2.588	0.408	40.816
325	4459	4457	4458	2.115	2.644	0.415	41.454
330	4447	4451	4449	2.160	2.700	0.421	42.092
335	4437	4435	4436	2.225	2.781	0.427	42.730
340	4421	4423	4422	2.295	2.869	0.434	43.367
345	4408	4406	4407	2.370	2.963	0.440	44.005
350	4394	4398	4396	2.425	3.031	0.446	44.643
355	4381	4379	4380	2.505	3.131	0.453	45.281
358	4293	4297	4295	2.930	3.663	0.457	45.663
358	4259	4257	4258	3.115	3.894	0.457	45.663
358	4196	4198	4197	3.420	4.275	0.457	45.663





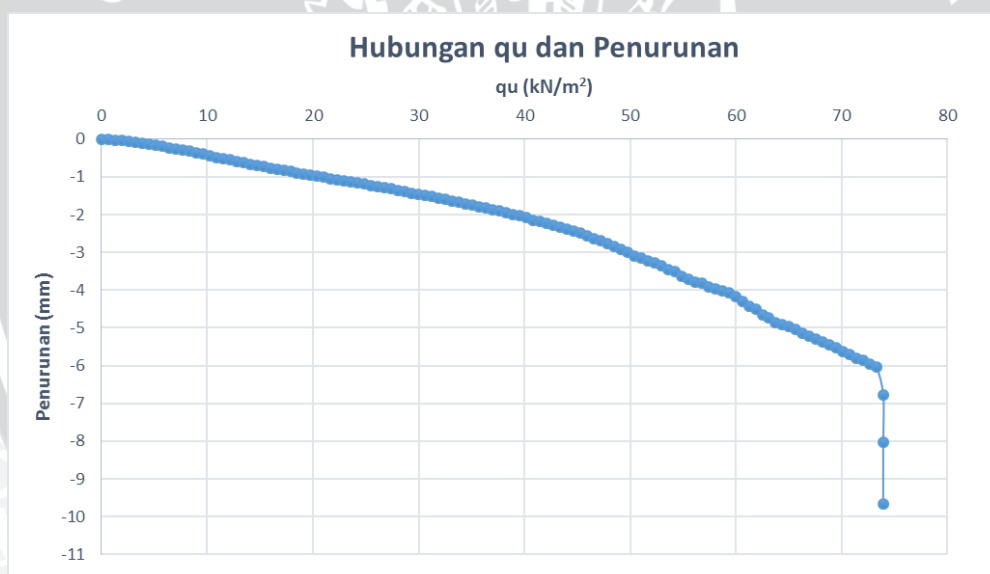
Lereng dengan perkuatan

1. $\alpha = 46^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4880	4882	4881	0	0	0	0
5	4881	4877	4879	0.010	0.013	0.006	0.638
10	4879	4873	4876	0.025	0.031	0.013	1.276
15	4877	4873	4875	0.030	0.038	0.019	1.913
20	4868	4874	4871	0.050	0.063	0.026	2.551
25	4865	4867	4866	0.075	0.094	0.032	3.189
30	4860	4862	4861	0.100	0.125	0.038	3.827
35	4858	4854	4856	0.125	0.156	0.045	4.464
40	4853	4847	4850	0.155	0.194	0.051	5.102
45	4846	4842	4844	0.185	0.231	0.057	5.740
50	4833	4839	4836	0.225	0.281	0.064	6.378
55	4830	4832	4831	0.250	0.313	0.070	7.015
60	4824	4826	4825	0.280	0.350	0.077	7.653
65	4818	4814	4816	0.325	0.406	0.083	8.291
70	4812	4806	4809	0.360	0.450	0.089	8.929
75	4804	4800	4802	0.395	0.494	0.096	9.566
80	4791	4797	4794	0.435	0.544	0.102	10.204
85	4784	4786	4785	0.480	0.600	0.108	10.842
90	4777	4779	4778	0.515	0.644	0.115	11.480
95	4774	4770	4772	0.545	0.681	0.121	12.117
100	4767	4761	4764	0.585	0.731	0.128	12.755
105	4757	4753	4755	0.630	0.788	0.134	13.393
110	4746	4752	4749	0.660	0.825	0.140	14.031
115	4739	4741	4740	0.705	0.881	0.147	14.668
120	4734	4736	4735	0.730	0.913	0.153	15.306
125	4730	4726	4728	0.765	0.956	0.159	15.944
130	4725	4719	4722	0.795	0.994	0.166	16.582
135	4717	4713	4715	0.830	1.038	0.172	17.219
140	4706	4712	4709	0.860	1.075	0.179	17.857
145	4702	4704	4703	0.890	1.113	0.185	18.495
150	4695	4697	4696	0.925	1.156	0.191	19.133
155	4692	4688	4690	0.955	1.194	0.198	19.770
160	4688	4682	4685	0.980	1.225	0.204	20.408
165	4680	4676	4678	1.015	1.269	0.210	21.046
170	4669	4675	4672	1.045	1.306	0.217	21.684
175	4665	4667	4666	1.075	1.344	0.223	22.321
180	4660	4662	4661	1.100	1.375	0.230	22.959
185	4658	4654	4656	1.125	1.406	0.236	23.597
190	4651	4645	4648	1.165	1.456	0.242	24.235
195	4645	4641	4643	1.190	1.488	0.249	24.872
200	4632	4638	4635	1.230	1.538	0.255	25.510
205	4627	4629	4628	1.265	1.581	0.261	26.148
210	4622	4624	4623	1.290	1.613	0.268	26.786
215	4619	4615	4617	1.320	1.650	0.274	27.423
220	4614	4608	4611	1.350	1.688	0.281	28.061
225	4608	4604	4606	1.375	1.719	0.287	28.699
230	4592	4598	4595	1.430	1.788	0.293	29.337
235	4589	4591	4590	1.455	1.819	0.300	29.974
240	4581	4583	4582	1.495	1.869	0.306	30.612

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
245	4578	4574	4576	1.525	1.906	0.313	31.250
250	4573	4567	4570	1.555	1.944	0.319	31.888
255	4563	4559	4561	1.600	2.000	0.325	32.526
260	4551	4557	4554	1.635	2.044	0.332	33.163
265	4545	4547	4546	1.675	2.094	0.338	33.801
270	4538	4540	4539	1.710	2.138	0.344	34.439
275	4534	4530	4532	1.745	2.181	0.351	35.077
280	4526	4520	4523	1.790	2.238	0.357	35.714
285	4519	4515	4517	1.820	2.275	0.364	36.352
290	4505	4511	4508	1.865	2.331	0.370	36.990
295	4499	4501	4500	1.905	2.381	0.376	37.628
300	4489	4491	4490	1.955	2.444	0.383	38.265
305	4482	4478	4480	2.005	2.506	0.389	38.903
310	4477	4471	4474	2.035	2.544	0.395	39.541
315	4467	4463	4465	2.080	2.600	0.402	40.179
320	4450	4456	4453	2.140	2.675	0.408	40.816
325	4443	4445	4444	2.185	2.731	0.415	41.454
330	4433	4435	4434	2.235	2.794	0.421	42.092
335	4426	4422	4424	2.285	2.856	0.427	42.730
340	4416	4410	4413	2.340	2.925	0.434	43.367
345	4404	4400	4402	2.395	2.994	0.440	44.005
350	4389	4395	4392	2.445	3.056	0.446	44.643
355	4382	4384	4383	2.490	3.113	0.453	45.281
360	4367	4369	4368	2.565	3.206	0.459	45.918
365	4355	4351	4353	2.640	3.300	0.466	46.556
370	4346	4340	4343	2.690	3.363	0.472	47.194
375	4328	4324	4326	2.775	3.469	0.478	47.832
380	4309	4315	4312	2.845	3.556	0.485	48.469
385	4298	4300	4299	2.910	3.638	0.491	49.107
390	4282	4284	4283	2.990	3.738	0.497	49.745
395	4265	4261	4263	3.090	3.863	0.504	50.383
400	4253	4247	4250	3.155	3.944	0.510	51.020
405	4238	4234	4236	3.225	4.031	0.517	51.658
410	4221	4227	4224	3.285	4.106	0.523	52.296
415	4210	4212	4211	3.350	4.188	0.529	52.934
420	4187	4189	4188	3.465	4.331	0.536	53.571
425	4180	4176	4178	3.515	4.394	0.542	54.209
430	4157	4151	4154	3.635	4.544	0.548	54.847
435	4139	4135	4137	3.720	4.650	0.555	55.485
440	4123	4129	4126	3.775	4.719	0.561	56.122
445	4116	4118	4117	3.820	4.775	0.568	56.760
450	4098	4100	4099	3.910	4.888	0.574	57.398
455	4092	4088	4090	3.955	4.944	0.580	58.036
460	4083	4077	4080	4.005	5.006	0.587	58.673
465	4068	4070	4069	4.060	5.075	0.593	59.311
470	4048	4044	4046	4.175	5.219	0.599	59.949
475	4025	4019	4022	4.295	5.369	0.606	60.587
480	3997	3993	3995	4.430	5.538	0.612	61.224

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
485	3977	3983	3980	4.505	5.631	0.619	61.862
490	3950	3952	3951	4.650	5.813	0.625	62.500
495	3931	3933	3932	4.745	5.931	0.631	63.138
500	3913	3909	3911	4.850	6.063	0.638	63.776
505	3903	3897	3900	4.905	6.131	0.644	64.413
510	3886	3888	3887	4.970	6.213	0.651	65.051
515	3877	3873	3875	5.030	6.288	0.657	65.689
520	3854	3848	3851	5.150	6.438	0.663	66.327
525	3840	3836	3838	5.215	6.519	0.670	66.964
530	3819	3825	3822	5.295	6.619	0.676	67.602
535	3805	3807	3806	5.375	6.719	0.682	68.240
540	3789	3791	3790	5.455	6.819	0.689	68.878
545	3776	3772	3774	5.535	6.919	0.695	69.515
550	3760	3754	3757	5.620	7.025	0.702	70.153
555	3739	3741	3740	5.705	7.131	0.708	70.791
560	3724	3720	3722	5.795	7.244	0.714	71.429
565	3711	3705	3708	5.865	7.331	0.721	72.066
570	3689	3685	3687	5.970	7.463	0.727	72.704
575	3670	3676	3673	6.040	7.550	0.733	73.342
580	3525	3527	3526	6.775	8.469	0.740	73.980
580	3272	3274	3273	8.040	10.050	0.740	73.980
580	2951	2947	2949	9.660	12.075	0.740	73.980

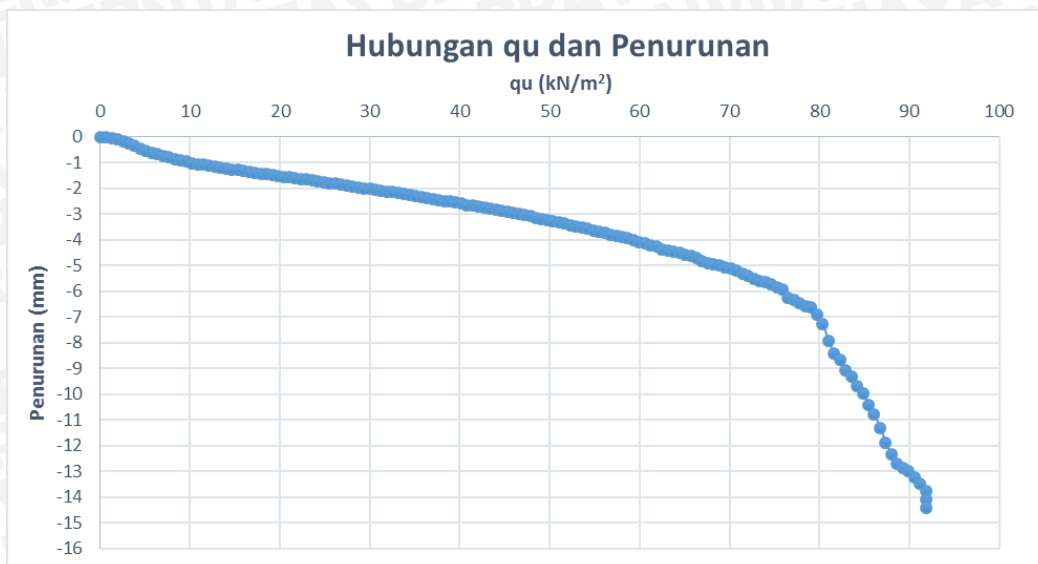


2. $\alpha = 46^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4839	4841	4840	0	0	0	0
5	4839	4835	4837	0.015	0.019	0.006	0.638
10	4832	4826	4829	0.055	0.069	0.013	1.276
15	4819	4815	4817	0.115	0.144	0.019	1.913
20	4799	4805	4802	0.190	0.238	0.026	2.551
25	4786	4788	4787	0.265	0.331	0.032	3.189
30	4766	4768	4767	0.365	0.456	0.038	3.827
35	4752	4748	4750	0.450	0.563	0.045	4.464
40	4734	4728	4731	0.545	0.681	0.051	5.102
45	4719	4715	4717	0.615	0.769	0.057	5.740
50	4701	4707	4704	0.680	0.850	0.064	6.378
55	4688	4690	4689	0.755	0.944	0.070	7.015
60	4676	4678	4677	0.815	1.019	0.077	7.653
65	4668	4664	4666	0.870	1.088	0.083	8.291
70	4659	4653	4656	0.920	1.150	0.089	8.929
75	4648	4644	4646	0.970	1.213	0.096	9.566
80	4633	4639	4636	1.020	1.275	0.102	10.204
85	4626	4628	4627	1.065	1.331	0.108	10.842
90	4621	4623	4622	1.090	1.363	0.115	11.480
95	4617	4613	4615	1.125	1.406	0.121	12.117
100	4610	4604	4607	1.165	1.456	0.128	12.755
105	4603	4599	4601	1.195	1.494	0.134	13.393
110	4590	4596	4593	1.235	1.544	0.140	14.031
115	4585	4587	4586	1.270	1.588	0.147	14.668
120	4581	4583	4582	1.290	1.613	0.153	15.306
125	4576	4572	4574	1.330	1.663	0.159	15.944
130	4571	4565	4568	1.360	1.700	0.166	16.582
135	4563	4559	4561	1.395	1.744	0.172	17.219
140	4549	4555	4552	1.440	1.800	0.179	17.857
145	4547	4549	4548	1.460	1.825	0.185	18.495
150	4541	4543	4542	1.490	1.863	0.191	19.133
155	4539	4535	4537	1.515	1.894	0.198	19.770
160	4533	4527	4530	1.550	1.938	0.204	20.408
165	4525	4521	4523	1.585	1.981	0.210	21.046
170	4514	4520	4517	1.615	2.019	0.217	21.684
175	4511	4513	4512	1.640	2.050	0.223	22.321
180	4507	4509	4508	1.660	2.075	0.230	22.959
185	4502	4498	4500	1.700	2.125	0.236	23.597
190	4497	4491	4494	1.730	2.163	0.242	24.235
195	4489	4485	4487	1.765	2.206	0.249	24.872
200	4478	4484	4481	1.795	2.244	0.255	25.510
205	4474	4476	4475	1.825	2.281	0.261	26.148
210	4467	4469	4468	1.860	2.325	0.268	26.786
215	4465	4461	4463	1.885	2.356	0.274	27.423
220	4458	4452	4455	1.925	2.406	0.281	28.061
225	4449	4445	4447	1.965	2.456	0.287	28.699
230	4435	4441	4438	2.010	2.513	0.293	29.337
235	4432	4434	4433	2.035	2.544	0.300	29.974
240	4426	4428	4427	2.065	2.581	0.306	30.612
245	4424	4420	4422	2.090	2.613	0.313	31.250
250	4418	4412	4415	2.125	2.656	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4410	4406	4408	2.160	2.700	0.325	32.526
260	4399	4405	4402	2.190	2.738	0.332	33.163
265	4395	4397	4396	2.220	2.775	0.338	33.801
270	4385	4387	4386	2.270	2.838	0.344	34.439
275	4380	4376	4378	2.310	2.888	0.351	35.077
280	4374	4368	4371	2.345	2.931	0.357	35.714
285	4364	4360	4362	2.390	2.988	0.364	36.352
290	4353	4359	4356	2.420	3.025	0.370	36.990
295	4346	4348	4347	2.465	3.081	0.376	37.628
300	4340	4342	4341	2.495	3.119	0.383	38.265
305	4339	4335	4337	2.515	3.144	0.389	38.903
310	4332	4326	4329	2.555	3.194	0.395	39.541
315	4322	4318	4320	2.600	3.250	0.402	40.179
320	4305	4311	4308	2.660	3.325	0.408	40.816
325	4301	4303	4302	2.690	3.363	0.415	41.454
330	4296	4298	4297	2.715	3.394	0.421	42.092
335	4291	4287	4289	2.755	3.444	0.427	42.730
340	4283	4277	4280	2.800	3.500	0.434	43.367
345	4276	4272	4274	2.830	3.538	0.440	44.005
350	4259	4265	4262	2.890	3.613	0.446	44.643
355	4253	4255	4254	2.930	3.663	0.453	45.281
360	4247	4249	4248	2.960	3.700	0.459	45.918
365	4242	4238	4240	3.000	3.750	0.466	46.556
370	4233	4227	4230	3.050	3.813	0.472	47.194
375	4223	4219	4221	3.095	3.869	0.478	47.832
380	4209	4215	4212	3.140	3.925	0.485	48.469
385	4201	4203	4202	3.190	3.988	0.491	49.107
390	4192	4194	4193	3.235	4.044	0.497	49.745
395	4185	4181	4183	3.285	4.106	0.504	50.383
400	4178	4172	4175	3.325	4.156	0.510	51.020
405	4168	4164	4166	3.370	4.213	0.517	51.658
410	4152	4158	4155	3.425	4.281	0.523	52.296
415	4143	4145	4144	3.480	4.350	0.529	52.934
420	4134	4136	4135	3.525	4.406	0.536	53.571
425	4126	4122	4124	3.580	4.475	0.542	54.209
430	4116	4110	4113	3.635	4.544	0.548	54.847
435	4105	4101	4103	3.685	4.606	0.555	55.485
440	4090	4096	4093	3.735	4.669	0.561	56.122
445	4080	4082	4081	3.795	4.744	0.568	56.760
450	4067	4069	4068	3.860	4.825	0.574	57.398
455	4062	4058	4060	3.900	4.875	0.580	58.036
460	4052	4046	4049	3.955	4.944	0.587	58.673
465	4038	4032	4035	4.025	5.031	0.593	59.311
470	4027	4021	4024	4.080	5.100	0.599	59.949
475	4013	4007	4010	4.150	5.188	0.606	60.587
480	4002	3996	3999	4.205	5.256	0.612	61.224
485	3987	3981	3984	4.280	5.350	0.619	61.862
490	3966	3960	3963	4.385	5.481	0.625	62.500
495	3958	3952	3955	4.425	5.531	0.631	63.138
500	3949	3943	3946	4.470	5.588	0.638	63.776
505	3938	3932	3935	4.525	5.656	0.644	64.413
510	3927	3921	3924	4.580	5.725	0.651	65.051

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
515	3916	3910	3913	4.635	5.794	0.657	65.689
520	3904	3898	3901	4.695	5.869	0.663	66.327
525	3876	3870	3873	4.835	6.044	0.670	66.964
530	3864	3858	3861	4.895	6.119	0.676	67.602
535	3850	3844	3847	4.965	6.206	0.682	68.240
540	3841	3835	3838	5.010	6.263	0.689	68.878
545	3828	3822	3825	5.075	6.344	0.695	69.515
550	3816	3810	3813	5.135	6.419	0.702	70.153
555	3800	3794	3797	5.215	6.519	0.708	70.791
560	3779	3773	3776	5.320	6.650	0.714	71.429
565	3766	3760	3763	5.385	6.731	0.721	72.066
570	3739	3733	3736	5.520	6.900	0.727	72.704
575	3720	3714	3717	5.615	7.019	0.733	73.342
580	3710	3704	3707	5.665	7.081	0.740	73.980
585	3697	3691	3694	5.730	7.163	0.746	74.617
590	3673	3667	3670	5.850	7.313	0.753	75.255
595	3655	3649	3652	5.940	7.425	0.759	75.893
600	3594	3588	3591	6.245	7.806	0.765	76.531
605	3573	3567	3570	6.350	7.938	0.772	77.168
610	3553	3547	3550	6.450	8.063	0.778	77.806
615	3529	3523	3526	6.570	8.213	0.784	78.444
620	3521	3515	3518	6.610	8.263	0.791	79.082
625	3462	3456	3459	6.905	8.631	0.797	79.719
630	3387	3381	3384	7.280	9.100	0.804	80.357
635	3254	3248	3251	7.945	9.931	0.810	80.995
640	3163	3157	3160	8.400	10.500	0.816	81.633
645	3106	3100	3103	8.685	10.856	0.823	82.270
650	3028	3022	3025	9.075	11.344	0.829	82.908
655	2976	2970	2973	9.335	11.669	0.835	83.546
660	2910	2904	2907	9.665	12.081	0.842	84.184
665	2845	2839	2842	9.990	12.488	0.848	84.821
670	2758	2752	2755	10.425	13.031	0.855	85.459
675	2684	2678	2681	10.795	13.494	0.861	86.097
680	2580	2574	2577	11.315	14.144	0.867	86.735
685	2466	2460	2463	11.885	14.856	0.874	87.372
690	2373	2367	2370	12.350	15.438	0.880	88.010
695	2303	2297	2300	12.700	15.875	0.886	88.648
700	2268	2262	2265	12.875	16.094	0.893	89.286
705	2248	2242	2245	12.975	16.219	0.899	89.923
710	2200	2194	2197	13.215	16.519	0.906	90.561
715	2144	2138	2141	13.495	16.869	0.912	91.199
720	2087	2081	2084	13.780	17.225	0.918	91.837
720	2023	2017	2020	14.100	17.625	0.918	91.837
720	1959	1953	1956	14.420	18.025	0.918	91.837



3. $\alpha = 46^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=3$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4858	4860	4859	0	0	0	0
5	4856	4852	4854	0.025	0.031	0.006	0.638
10	4850	4844	4847	0.060	0.075	0.013	1.276
15	4841	4837	4839	0.100	0.125	0.019	1.913
20	4829	4835	4832	0.135	0.169	0.026	2.551
25	4821	4823	4822	0.185	0.231	0.032	3.189
30	4811	4813	4812	0.235	0.294	0.038	3.827
35	4806	4802	4804	0.275	0.344	0.045	4.464
40	4797	4791	4794	0.325	0.406	0.051	5.102
45	4786	4782	4784	0.375	0.469	0.057	5.740
50	4773	4779	4776	0.415	0.519	0.064	6.378
55	4767	4769	4768	0.455	0.569	0.070	7.015
60	4759	4761	4760	0.495	0.619	0.077	7.653
65	4755	4751	4753	0.530	0.663	0.083	8.291
70	4748	4742	4745	0.570	0.713	0.089	8.929
75	4740	4736	4738	0.605	0.756	0.096	9.566
80	4727	4733	4730	0.645	0.806	0.102	10.204
85	4724	4726	4725	0.670	0.838	0.108	10.842
90	4716	4718	4717	0.710	0.888	0.115	11.480
95	4714	4710	4712	0.735	0.919	0.121	12.117
100	4709	4703	4706	0.765	0.956	0.128	12.755
105	4703	4699	4701	0.790	0.988	0.134	13.393
110	4693	4699	4696	0.815	1.019	0.140	14.031
115	4689	4691	4690	0.845	1.056	0.147	14.668
120	4684	4686	4685	0.870	1.088	0.153	15.306
125	4681	4677	4679	0.900	1.125	0.159	15.944
130	4677	4671	4674	0.925	1.156	0.166	16.582
135	4671	4667	4669	0.950	1.188	0.172	17.219
140	4662	4668	4665	0.970	1.213	0.179	17.857
145	4659	4661	4660	0.995	1.244	0.185	18.495
150	4653	4655	4654	1.025	1.281	0.191	19.133
155	4652	4648	4650	1.045	1.306	0.198	19.770
160	4648	4642	4645	1.070	1.338	0.204	20.408
165	4643	4639	4641	1.090	1.363	0.210	21.046
170	4633	4639	4636	1.115	1.394	0.217	21.684
175	4629	4631	4630	1.145	1.431	0.223	22.321
180	4624	4626	4625	1.170	1.463	0.230	22.959
185	4624	4620	4622	1.185	1.481	0.236	23.597
190	4618	4612	4615	1.220	1.525	0.242	24.235
195	4614	4610	4612	1.235	1.544	0.249	24.872
200	4604	4610	4607	1.260	1.575	0.255	25.510
205	4602	4604	4603	1.280	1.600	0.261	26.148
210	4597	4599	4598	1.305	1.631	0.268	26.786
215	4597	4593	4595	1.320	1.650	0.274	27.423
220	4592	4586	4589	1.350	1.688	0.281	28.061
225	4587	4583	4585	1.370	1.713	0.287	28.699
230	4578	4584	4581	1.390	1.738	0.293	29.337
235	4575	4577	4576	1.415	1.769	0.300	29.974
240	4571	4573	4572	1.435	1.794	0.306	30.612
245	4569	4565	4567	1.460	1.825	0.313	31.250
250	4565	4559	4562	1.485	1.856	0.319	31.888
255	4560	4556	4558	1.505	1.881	0.325	32.526
260	4550	4556	4553	1.530	1.913	0.332	33.163

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
265	4548	4550	4549	1.550	1.938	0.338	33.801
270	4544	4546	4545	1.570	1.963	0.344	34.439
275	4543	4539	4541	1.590	1.988	0.351	35.077
280	4538	4532	4535	1.620	2.025	0.357	35.714
285	4532	4528	4530	1.645	2.056	0.364	36.352
290	4524	4530	4527	1.660	2.075	0.370	36.990
295	4520	4522	4521	1.690	2.113	0.376	37.628
300	4515	4517	4516	1.715	2.144	0.383	38.265
305	4513	4509	4511	1.740	2.175	0.389	38.903
310	4511	4505	4508	1.755	2.194	0.395	39.541
315	4506	4502	4504	1.775	2.219	0.402	40.179
320	4497	4503	4500	1.795	2.244	0.408	40.816
325	4495	4497	4496	1.815	2.269	0.415	41.454
330	4489	4491	4490	1.845	2.306	0.421	42.092
335	4488	4484	4486	1.865	2.331	0.427	42.730
340	4481	4475	4478	1.905	2.381	0.434	43.367
345	4476	4472	4474	1.925	2.406	0.440	44.005
350	4469	4475	4472	1.935	2.419	0.446	44.643
355	4467	4469	4468	1.955	2.444	0.453	45.281
360	4463	4465	4464	1.975	2.469	0.459	45.918
365	4462	4458	4460	1.995	2.494	0.466	46.556
370	4457	4451	4454	2.025	2.531	0.472	47.194
375	4453	4449	4451	2.040	2.550	0.478	47.832
380	4444	4450	4447	2.060	2.575	0.485	48.469
385	4442	4444	4443	2.080	2.600	0.491	49.107
390	4438	4440	4439	2.100	2.625	0.497	49.745
395	4436	4432	4434	2.125	2.656	0.504	50.383
400	4431	4425	4428	2.155	2.694	0.510	51.020
405	4426	4422	4424	2.175	2.719	0.517	51.658
410	4416	4422	4419	2.200	2.750	0.523	52.296
415	4414	4416	4415	2.220	2.775	0.529	52.934
420	4410	4412	4411	2.240	2.800	0.536	53.571
425	4409	4405	4407	2.260	2.825	0.542	54.209
430	4404	4398	4401	2.290	2.863	0.548	54.847
435	4397	4393	4395	2.320	2.900	0.555	55.485
440	4389	4395	4392	2.335	2.919	0.561	56.122
445	4386	4388	4387	2.360	2.950	0.568	56.760
450	4380	4382	4381	2.390	2.988	0.574	57.398
455	4380	4376	4378	2.405	3.006	0.580	58.036
460	4377	4371	4374	2.425	3.031	0.587	58.673
465	4371	4365	4368	2.455	3.069	0.593	59.311
470	4367	4361	4364	2.475	3.094	0.599	59.949
475	4363	4357	4360	2.495	3.119	0.606	60.587
480	4355	4349	4352	2.535	3.169	0.612	61.224
485	4348	4342	4345	2.570	3.213	0.619	61.862
490	4344	4338	4341	2.590	3.238	0.625	62.500
495	4342	4336	4339	2.600	3.250	0.631	63.138
500	4336	4330	4333	2.630	3.288	0.638	63.776
505	4332	4326	4329	2.650	3.313	0.644	64.413
510	4327	4321	4324	2.675	3.344	0.651	65.051
515	4321	4315	4318	2.705	3.381	0.657	65.689
520	4313	4307	4310	2.745	3.431	0.663	66.327
525	4307	4301	4304	2.775	3.469	0.670	66.964
530	4304	4298	4301	2.790	3.488	0.676	67.602

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
535	4301	4295	4298	2.805	3.506	0.682	68.240
540	4298	4292	4295	2.820	3.525	0.689	68.878
545	4293	4287	4290	2.845	3.556	0.695	69.515
550	4285	4279	4282	2.885	3.606	0.702	70.153
555	4281	4275	4278	2.905	3.631	0.708	70.791
560	4273	4267	4270	2.945	3.681	0.714	71.429
565	4268	4262	4265	2.970	3.713	0.721	72.066
570	4265	4259	4262	2.985	3.731	0.727	72.704
575	4257	4251	4254	3.025	3.781	0.733	73.342
580	4252	4246	4249	3.050	3.813	0.740	73.980
585	4245	4239	4242	3.085	3.856	0.746	74.617
590	4238	4232	4235	3.120	3.900	0.753	75.255
595	4235	4229	4232	3.135	3.919	0.759	75.893
600	4229	4223	4226	3.165	3.956	0.765	76.531
605	4222	4216	4219	3.200	4.000	0.772	77.168
610	4219	4213	4216	3.215	4.019	0.778	77.806
615	4211	4205	4208	3.255	4.069	0.784	78.444
620	4207	4201	4204	3.275	4.094	0.791	79.082
625	4203	4197	4200	3.295	4.119	0.797	79.719
630	4192	4186	4189	3.350	4.188	0.804	80.357
635	4190	4184	4187	3.360	4.200	0.810	80.995
640	4180	4174	4177	3.410	4.263	0.816	81.633
645	4177	4171	4174	3.425	4.281	0.823	82.270
650	4172	4166	4169	3.450	4.313	0.829	82.908
655	4162	4156	4159	3.500	4.375	0.835	83.546
660	4157	4151	4154	3.525	4.406	0.842	84.184
665	4153	4147	4150	3.545	4.431	0.848	84.821
670	4147	4141	4144	3.575	4.469	0.855	85.459
675	4139	4133	4136	3.615	4.519	0.861	86.097
680	4138	4132	4135	3.620	4.525	0.867	86.735
685	4126	4120	4123	3.680	4.600	0.874	87.372
690	4123	4117	4120	3.695	4.619	0.880	88.010
695	4118	4112	4115	3.720	4.650	0.886	88.648
700	4113	4107	4110	3.745	4.681	0.893	89.286
705	4108	4102	4105	3.770	4.713	0.899	89.923
710	4101	4095	4098	3.805	4.756	0.906	90.561
715	4095	4089	4092	3.835	4.794	0.912	91.199
720	4083	4077	4080	3.895	4.869	0.918	91.837
725	4074	4068	4071	3.940	4.925	0.925	92.474
730	4072	4066	4069	3.950	4.938	0.931	93.112
735	4066	4060	4063	3.980	4.975	0.938	93.750
740	4061	4055	4058	4.005	5.006	0.944	94.388
745	4059	4053	4056	4.015	5.019	0.950	95.026
750	4044	4038	4041	4.090	5.113	0.957	95.663
755	4035	4029	4032	4.135	5.169	0.963	96.301
760	4025	4019	4022	4.185	5.231	0.969	96.939
765	4018	4012	4015	4.220	5.275	0.976	97.577
770	4006	4000	4003	4.280	5.350	0.982	98.214
775	4000	3994	3997	4.310	5.388	0.989	98.852
780	3995	3989	3992	4.335	5.419	0.995	99.490

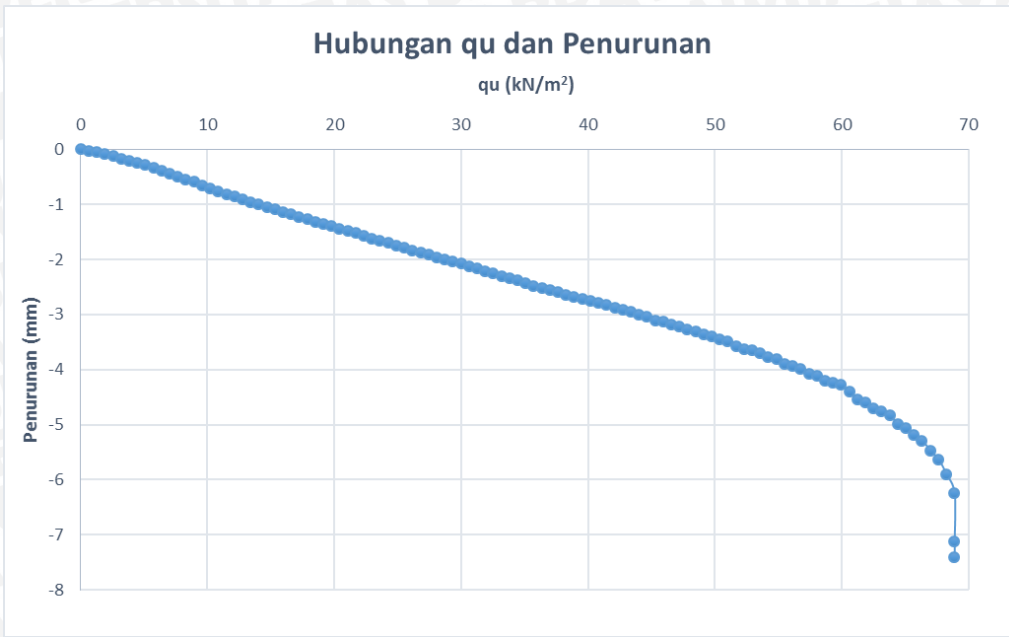
Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
785	3983	3977	3980	4.395	5.494	1.001	100.128
790	3980	3974	3977	4.410	5.513	1.008	100.765
795	3975	3969	3972	4.435	5.544	1.014	101.403
800	3971	3965	3968	4.455	5.569	1.020	102.041
805	3965	3959	3962	4.485	5.606	1.027	102.679
810	3953	3947	3950	4.545	5.681	1.033	103.316
815	3945	3939	3942	4.585	5.731	1.040	103.954
820	3934	3928	3931	4.640	5.800	1.046	104.592
825	3923	3917	3920	4.695	5.869	1.052	105.230
830	3920	3914	3917	4.710	5.888	1.059	105.867
835	3918	3912	3915	4.720	5.900	1.065	106.505
840	3917	3911	3914	4.725	5.906	1.071	107.143
845	3903	3897	3900	4.795	5.994	1.078	107.781
850	3897	3891	3894	4.825	6.031	1.084	108.418
852	3870	3864	3867	4.960	6.200	1.087	108.673
852	3841	3835	3838	5.105	6.381	1.087	108.673
852	3790	3784	3787	5.360	6.700	1.087	108.673



4. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8$ cm, $d/B = 2$, $n=1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4723	4725	4724	0	0	0	0
5	4720	4716	4718	0.030	0.038	0.006	0.638
10	4716	4710	4713	0.055	0.069	0.013	1.276
15	4709	4705	4707	0.085	0.106	0.019	1.913
20	4696	4702	4699	0.125	0.156	0.026	2.551
25	4689	4691	4690	0.170	0.213	0.032	3.189
30	4682	4684	4683	0.205	0.256	0.038	3.827
35	4676	4672	4674	0.250	0.313	0.045	4.464
40	4669	4663	4666	0.290	0.363	0.051	5.102
45	4659	4655	4657	0.335	0.419	0.057	5.740
50	4642	4648	4645	0.395	0.494	0.064	6.378
55	4634	4636	4635	0.445	0.556	0.070	7.015
60	4624	4626	4625	0.495	0.619	0.077	7.653
65	4616	4612	4614	0.550	0.688	0.083	8.291
70	4609	4603	4606	0.590	0.738	0.089	8.929
75	4596	4592	4594	0.650	0.813	0.096	9.566
80	4580	4586	4583	0.705	0.881	0.102	10.204
85	4570	4572	4571	0.765	0.956	0.108	10.842
90	4560	4562	4561	0.815	1.019	0.115	11.480
95	4555	4551	4553	0.855	1.069	0.121	12.117
100	4545	4539	4542	0.910	1.138	0.128	12.755
105	4535	4531	4533	0.955	1.194	0.134	13.393
110	4521	4527	4524	1.000	1.250	0.140	14.031
115	4514	4516	4515	1.045	1.306	0.147	14.668
120	4504	4506	4505	1.095	1.369	0.153	15.306
125	4497	4493	4495	1.145	1.431	0.159	15.944
130	4490	4484	4487	1.185	1.481	0.166	16.582
135	4480	4476	4478	1.230	1.538	0.172	17.219
140	4467	4473	4470	1.270	1.588	0.179	17.857
145	4460	4462	4461	1.315	1.644	0.185	18.495
150	4451	4453	4452	1.360	1.700	0.191	19.133
155	4447	4443	4445	1.395	1.744	0.198	19.770
160	4438	4432	4435	1.445	1.806	0.204	20.408
165	4429	4425	4427	1.485	1.856	0.210	21.046
170	4416	4422	4419	1.525	1.906	0.217	21.684
175	4409	4411	4410	1.570	1.963	0.223	22.321
180	4399	4401	4400	1.620	2.025	0.230	22.959
185	4393	4389	4391	1.665	2.081	0.236	23.597
190	4386	4380	4383	1.705	2.131	0.242	24.235
195	4376	4372	4374	1.750	2.188	0.249	24.872
200	4363	4369	4366	1.790	2.238	0.255	25.510
205	4355	4357	4356	1.840	2.300	0.261	26.148
210	4349	4351	4350	1.870	2.338	0.268	26.786
215	4343	4339	4341	1.915	2.394	0.274	27.423
220	4335	4329	4332	1.960	2.450	0.281	28.061
225	4327	4323	4325	1.995	2.494	0.287	28.699
230	4313	4319	4316	2.040	2.550	0.293	29.337
235	4307	4309	4308	2.080	2.600	0.300	29.974
240	4298	4300	4299	2.125	2.656	0.306	30.612
245	4293	4289	4291	2.165	2.706	0.313	31.250
250	4284	4278	4281	2.215	2.769	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4274	4270	4272	2.260	2.825	0.325	32.526
260	4261	4267	4264	2.300	2.875	0.332	33.163
265	4255	4257	4256	2.340	2.925	0.338	33.801
270	4246	4248	4247	2.385	2.981	0.344	34.439
275	4240	4236	4238	2.430	3.038	0.351	35.077
280	4231	4225	4228	2.480	3.100	0.357	35.714
285	4221	4217	4219	2.525	3.156	0.364	36.352
290	4210	4216	4213	2.555	3.194	0.370	36.990
295	4205	4207	4206	2.590	3.238	0.376	37.628
300	4194	4196	4195	2.645	3.306	0.383	38.265
305	4190	4186	4188	2.680	3.350	0.389	38.903
310	4185	4179	4182	2.710	3.388	0.395	39.541
315	4177	4173	4175	2.745	3.431	0.402	40.179
320	4163	4169	4166	2.790	3.488	0.408	40.816
325	4158	4160	4159	2.825	3.531	0.415	41.454
330	4147	4149	4148	2.880	3.600	0.421	42.092
335	4144	4140	4142	2.910	3.638	0.427	42.730
340	4137	4131	4134	2.950	3.688	0.434	43.367
345	4125	4121	4123	3.005	3.756	0.440	44.005
350	4114	4120	4117	3.035	3.794	0.446	44.643
355	4101	4103	4102	3.110	3.888	0.453	45.281
360	4096	4098	4097	3.135	3.919	0.459	45.918
365	4090	4084	4087	3.185	3.981	0.466	46.556
370	4082	4078	4080	3.220	4.025	0.472	47.194
375	4065	4071	4068	3.280	4.100	0.478	47.832
380	4061	4063	4062	3.310	4.138	0.485	48.469
385	4049	4051	4050	3.370	4.213	0.491	49.107
390	4046	4040	4043	3.405	4.256	0.497	49.745
395	4035	4031	4033	3.455	4.319	0.504	50.383
400	4023	4029	4026	3.490	4.363	0.510	51.020
405	4009	4011	4010	3.570	4.463	0.517	51.658
410	3997	3999	3998	3.630	4.538	0.523	52.296
415	3997	3991	3994	3.650	4.563	0.529	52.934
420	3984	3980	3982	3.710	4.638	0.536	53.571
425	3966	3972	3969	3.775	4.719	0.542	54.209
430	3961	3963	3962	3.810	4.763	0.548	54.847
435	3941	3947	3944	3.900	4.875	0.555	55.485
440	3935	3937	3936	3.940	4.925	0.561	56.122
445	3922	3928	3925	3.995	4.994	0.568	56.760
450	3908	3910	3909	4.075	5.094	0.574	57.398
455	3900	3906	3903	4.105	5.131	0.580	58.036
460	3882	3884	3883	4.205	5.256	0.587	58.673
465	3875	3881	3878	4.230	5.288	0.593	59.311
470	3869	3871	3870	4.270	5.338	0.599	59.949
475	3840	3846	3843	4.405	5.506	0.606	60.587
480	3816	3818	3817	4.535	5.669	0.612	61.224
485	3803	3809	3806	4.590	5.738	0.619	61.862
490	3784	3786	3785	4.695	5.869	0.625	62.500
495	3771	3777	3774	4.750	5.938	0.631	63.138
500	3756	3758	3757	4.835	6.044	0.638	63.776
505	3722	3728	3725	4.995	6.244	0.644	64.413
510	3710	3712	3711	5.065	6.331	0.651	65.051
515	3683	3689	3686	5.190	6.488	0.657	65.689
520	3665	3667	3666	5.290	6.613	0.663	66.327
525	3627	3633	3630	5.470	6.838	0.670	66.964
530	3597	3599	3598	5.630	7.038	0.676	67.602
535	3541	3547	3544	5.900	7.375	0.682	68.240
540	3473	3475	3474	6.250	7.813	0.689	68.878
540	3298	3304	3301	7.115	8.894	0.689	68.878
540	3241	3243	3242	7.410	9.263	0.689	68.878



5. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n = 2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4919	4921	4920	0	0	0	0
5	4917	4913	4915	0.025	0.031	0.006	0.638
10	4896	4890	4893	0.135	0.169	0.013	1.276
15	4872	4868	4870	0.250	0.313	0.019	1.913
20	4840	4846	4843	0.385	0.481	0.026	2.551
25	4825	4827	4826	0.470	0.588	0.032	3.189
30	4810	4812	4811	0.545	0.681	0.038	3.827
35	4797	4793	4795	0.625	0.781	0.045	4.464
40	4784	4778	4781	0.695	0.869	0.051	5.102
45	4772	4768	4770	0.750	0.938	0.057	5.740
50	4753	4759	4756	0.820	1.025	0.064	6.378
55	4746	4748	4747	0.865	1.081	0.070	7.015
60	4734	4736	4735	0.925	1.156	0.077	7.653
65	4732	4728	4730	0.950	1.188	0.083	8.291
70	4722	4716	4719	1.005	1.256	0.089	8.929
75	4715	4711	4713	1.035	1.294	0.096	9.566
80	4704	4710	4707	1.065	1.331	0.102	10.204
85	4697	4699	4698	1.110	1.388	0.108	10.842
90	4689	4691	4690	1.150	1.438	0.115	11.480
95	4685	4681	4683	1.185	1.481	0.121	12.117
100	4678	4672	4675	1.225	1.531	0.128	12.755
105	4670	4666	4668	1.260	1.575	0.134	13.393
110	4660	4666	4663	1.285	1.606	0.140	14.031
115	4653	4655	4654	1.330	1.663	0.147	14.668
120	4647	4649	4648	1.360	1.700	0.153	15.306
125	4644	4640	4642	1.390	1.738	0.159	15.944
130	4638	4632	4635	1.425	1.781	0.166	16.582
135	4631	4627	4629	1.455	1.819	0.172	17.219
140	4620	4626	4623	1.485	1.856	0.179	17.857
145	4616	4618	4617	1.515	1.894	0.185	18.495
150	4610	4612	4611	1.545	1.931	0.191	19.133
155	4608	4604	4606	1.570	1.963	0.198	19.770
160	4601	4595	4598	1.610	2.013	0.204	20.408
165	4594	4590	4592	1.640	2.050	0.210	21.046
170	4582	4588	4585	1.675	2.094	0.217	21.684
175	4579	4581	4580	1.700	2.125	0.223	22.321
180	4574	4576	4575	1.725	2.156	0.230	22.959
185	4570	4566	4568	1.760	2.200	0.236	23.597
190	4564	4558	4561	1.795	2.244	0.242	24.235
195	4554	4550	4552	1.840	2.300	0.249	24.872
200	4548	4554	4551	1.845	2.306	0.255	25.510
205	4546	4548	4547	1.865	2.331	0.261	26.148
210	4539	4541	4540	1.900	2.375	0.268	26.786
215	4536	4532	4534	1.930	2.413	0.274	27.423
220	4531	4525	4528	1.960	2.450	0.281	28.061
225	4526	4522	4524	1.980	2.475	0.287	28.699
230	4515	4521	4518	2.010	2.513	0.293	29.337
235	4511	4513	4512	2.040	2.550	0.300	29.974
240	4506	4508	4507	2.065	2.581	0.306	30.612
245	4504	4500	4502	2.090	2.613	0.313	31.250
250	4500	4494	4497	2.115	2.644	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4491	4487	4489	2.155	2.694	0.325	32.526
260	4483	4489	4486	2.170	2.713	0.332	33.163
265	4478	4480	4479	2.205	2.756	0.338	33.801
270	4473	4475	4474	2.230	2.788	0.344	34.439
275	4470	4466	4468	2.260	2.825	0.351	35.077
280	4465	4459	4462	2.290	2.863	0.357	35.714
285	4457	4453	4455	2.325	2.906	0.364	36.352
290	4448	4454	4451	2.345	2.931	0.370	36.990
295	4444	4446	4445	2.375	2.969	0.376	37.628
300	4439	4441	4440	2.400	3.000	0.383	38.265
305	4437	4433	4435	2.425	3.031	0.389	38.903
310	4433	4427	4430	2.450	3.063	0.395	39.541
315	4424	4420	4422	2.490	3.113	0.402	40.179
320	4415	4421	4418	2.510	3.138	0.408	40.816
325	4411	4413	4412	2.540	3.175	0.415	41.454
330	4405	4407	4406	2.570	3.213	0.421	42.092
335	4404	4400	4402	2.590	3.238	0.427	42.730
340	4400	4394	4397	2.615	3.269	0.434	43.367
345	4393	4389	4391	2.645	3.306	0.440	44.005
350	4382	4388	4385	2.675	3.344	0.446	44.643
355	4379	4381	4380	2.700	3.375	0.453	45.281
360	4370	4372	4371	2.745	3.431	0.459	45.918
365	4369	4363	4366	2.770	3.463	0.466	46.556
370	4363	4359	4361	2.795	3.494	0.472	47.194
375	4353	4359	4356	2.820	3.525	0.478	47.832
380	4349	4351	4350	2.850	3.563	0.485	48.469
385	4341	4343	4342	2.890	3.613	0.491	49.107
390	4338	4332	4335	2.925	3.656	0.497	49.745
395	4332	4328	4330	2.950	3.688	0.504	50.383
400	4320	4326	4323	2.985	3.731	0.510	51.020
405	4317	4319	4318	3.010	3.763	0.517	51.658
410	4309	4311	4310	3.050	3.813	0.523	52.296
415	4307	4301	4304	3.080	3.850	0.529	52.934
420	4300	4296	4298	3.110	3.888	0.536	53.571
425	4288	4294	4291	3.145	3.931	0.542	54.209
430	4285	4287	4286	3.170	3.963	0.548	54.847
435	4277	4283	4280	3.200	4.000	0.555	55.485
440	4273	4275	4274	3.230	4.038	0.561	56.122
445	4264	4270	4267	3.265	4.081	0.568	56.760
450	4257	4259	4258	3.310	4.138	0.574	57.398
455	4249	4255	4252	3.340	4.175	0.580	58.036
460	4245	4247	4246	3.370	4.213	0.587	58.673
465	4235	4241	4238	3.410	4.263	0.593	59.311
470	4231	4233	4232	3.440	4.300	0.599	59.949
475	4223	4229	4226	3.470	4.338	0.606	60.587
480	4218	4220	4219	3.505	4.381	0.612	61.224
485	4209	4215	4212	3.540	4.425	0.619	61.862
490	4204	4206	4205	3.575	4.469	0.625	62.500
495	4195	4201	4198	3.610	4.513	0.631	63.138
500	4189	4191	4190	3.650	4.563	0.638	63.776
505	4181	4187	4184	3.680	4.600	0.644	64.413
510	4176	4178	4177	3.715	4.644	0.651	65.051
515	4166	4172	4169	3.755	4.694	0.657	65.689
520	4163	4165	4164	3.780	4.725	0.663	66.327

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
525	4153	4159	4156	3.820	4.775	0.670	66.964
530	4147	4149	4148	3.860	4.825	0.676	67.602
535	4127	4133	4130	3.950	4.938	0.682	68.240
540	4124	4126	4125	3.975	4.969	0.689	68.878
545	4118	4124	4121	3.995	4.994	0.695	69.515
550	4116	4118	4117	4.015	5.019	0.702	70.153
555	4106	4108	4107	4.065	5.081	0.708	70.791
560	4100	4102	4101	4.095	5.119	0.714	71.429
565	4092	4094	4093	4.135	5.169	0.721	72.066
570	4085	4087	4086	4.170	5.213	0.727	72.704
575	4075	4077	4076	4.220	5.275	0.733	73.342
580	4065	4067	4066	4.270	5.338	0.740	73.980
585	4050	4052	4051	4.345	5.431	0.746	74.617
590	4044	4046	4045	4.375	5.469	0.753	75.255
595	4032	4034	4033	4.435	5.544	0.759	75.893
600	4026	4028	4027	4.465	5.581	0.765	76.531
605	4018	4020	4019	4.505	5.631	0.772	77.168
610	4006	4008	4007	4.565	5.706	0.778	77.806
615	3991	3993	3992	4.640	5.800	0.784	78.444
620	3985	3987	3986	4.670	5.838	0.791	79.082
625	3976	3978	3977	4.715	5.894	0.797	79.719
630	3968	3970	3969	4.755	5.944	0.804	80.357
635	3952	3954	3953	4.835	6.044	0.810	80.995
640	3939	3941	3940	4.900	6.125	0.816	81.633
645	3928	3930	3929	4.955	6.194	0.823	82.270
650	3908	3910	3909	5.055	6.319	0.829	82.908
655	3889	3891	3890	5.150	6.438	0.835	83.546
660	3881	3883	3882	5.190	6.488	0.842	84.184
665	3866	3868	3867	5.265	6.581	0.848	84.821
670	3841	3843	3842	5.390	6.738	0.855	85.459
675	3821	3823	3822	5.490	6.863	0.861	86.097
675	3796	3798	3797	5.615	7.019	0.861	86.097
675	3779	3781	3780	5.700	7.125	0.861	86.097
675	3757	3759	3758	5.810	7.263	0.861	86.097



6. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=3$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4960	4962	4961	0	0	0	0
5	4957	4953	4955	0.030	0.038	0.006	0.638
10	4943	4937	4940	0.105	0.131	0.013	1.276
15	4940	4936	4938	0.115	0.144	0.019	1.913
20	4921	4927	4924	0.185	0.231	0.026	2.551
25	4914	4916	4915	0.230	0.288	0.032	3.189
30	4897	4899	4898	0.315	0.394	0.038	3.827
35	4889	4885	4887	0.370	0.463	0.045	4.464
40	4882	4876	4879	0.410	0.513	0.051	5.102
45	4865	4861	4863	0.490	0.613	0.057	5.740
50	4844	4850	4847	0.570	0.713	0.064	6.378
55	4829	4831	4830	0.655	0.819	0.070	7.015
60	4812	4814	4813	0.740	0.925	0.077	7.653
65	4796	4792	4794	0.835	1.044	0.083	8.291
70	4784	4778	4781	0.900	1.125	0.089	8.929
75	4762	4758	4760	1.005	1.256	0.096	9.566
80	4737	4743	4740	1.105	1.381	0.102	10.204
85	4716	4718	4717	1.220	1.525	0.108	10.842
90	4677	4679	4678	1.415	1.769	0.115	11.480
95	4662	4658	4660	1.505	1.881	0.121	12.117
100	4648	4642	4645	1.580	1.975	0.128	12.755
105	4629	4625	4627	1.670	2.088	0.134	13.393
110	4602	4608	4605	1.780	2.225	0.140	14.031
115	4586	4588	4587	1.870	2.338	0.147	14.668
120	4569	4571	4570	1.955	2.444	0.153	15.306
125	4559	4555	4557	2.020	2.525	0.159	15.944
130	4548	4542	4545	2.080	2.600	0.166	16.582
135	4536	4532	4534	2.135	2.669	0.172	17.219
140	4521	4527	4524	2.185	2.731	0.179	17.857
145	4514	4516	4515	2.230	2.788	0.185	18.495
150	4508	4510	4509	2.260	2.825	0.191	19.133
155	4501	4497	4499	2.310	2.888	0.198	19.770
160	4494	4488	4491	2.350	2.938	0.204	20.408
165	4483	4479	4481	2.400	3.000	0.210	21.046
170	4472	4478	4475	2.430	3.038	0.217	21.684
175	4467	4469	4468	2.465	3.081	0.223	22.321
180	4458	4460	4459	2.510	3.138	0.230	22.959
185	4455	4451	4453	2.540	3.175	0.236	23.597
190	4448	4442	4445	2.580	3.225	0.242	24.235
195	4439	4435	4437	2.620	3.275	0.249	24.872
200	4429	4435	4432	2.645	3.306	0.255	25.510
205	4424	4426	4425	2.680	3.350	0.261	26.148
210	4418	4420	4419	2.710	3.388	0.268	26.786
215	4414	4410	4412	2.745	3.431	0.274	27.423
220	4410	4404	4407	2.770	3.463	0.281	28.061
225	4401	4397	4399	2.810	3.513	0.287	28.699
230	4389	4395	4392	2.845	3.556	0.293	29.337
235	4381	4383	4382	2.895	3.619	0.300	29.974
240	4375	4377	4376	2.925	3.656	0.306	30.612
245	4375	4371	4373	2.940	3.675	0.313	31.250
250	4366	4360	4363	2.990	3.738	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4360	4356	4358	3.015	3.769	0.325	32.526
260	4348	4354	4351	3.050	3.813	0.332	33.163
265	4342	4344	4343	3.090	3.863	0.338	33.801
270	4338	4340	4339	3.110	3.888	0.344	34.439
275	4333	4329	4331	3.150	3.938	0.351	35.077
280	4330	4324	4327	3.170	3.963	0.357	35.714
285	4319	4315	4317	3.220	4.025	0.364	36.352
290	4307	4313	4310	3.255	4.069	0.370	36.990
295	4300	4302	4301	3.300	4.125	0.376	37.628
300	4294	4296	4295	3.330	4.163	0.383	38.265
305	4289	4285	4287	3.370	4.213	0.389	38.903
310	4283	4277	4280	3.405	4.256	0.395	39.541
315	4275	4271	4273	3.440	4.300	0.402	40.179
320	4263	4269	4266	3.475	4.344	0.408	40.816
325	4255	4257	4256	3.525	4.406	0.415	41.454
330	4252	4254	4253	3.540	4.425	0.421	42.092
335	4249	4245	4247	3.570	4.463	0.427	42.730
340	4243	4237	4240	3.605	4.506	0.434	43.367
345	4234	4230	4232	3.645	4.556	0.440	44.005
350	4222	4228	4225	3.680	4.600	0.446	44.643
355	4217	4219	4218	3.715	4.644	0.453	45.281
360	4209	4211	4210	3.755	4.694	0.459	45.918
365	4206	4200	4203	3.790	4.738	0.466	46.556
370	4198	4194	4196	3.825	4.781	0.472	47.194
375	4185	4191	4188	3.865	4.831	0.478	47.832
380	4180	4182	4181	3.900	4.875	0.485	48.469
385	4174	4176	4175	3.930	4.913	0.491	49.107
390	4171	4165	4168	3.965	4.956	0.497	49.745
395	4163	4159	4161	4.000	5.000	0.504	50.383
400	4150	4156	4153	4.040	5.050	0.510	51.020
405	4145	4147	4146	4.075	5.094	0.517	51.658
410	4136	4138	4137	4.120	5.150	0.523	52.296
415	4133	4127	4130	4.155	5.194	0.529	52.934
420	4124	4120	4122	4.195	5.244	0.536	53.571
425	4111	4117	4114	4.235	5.294	0.542	54.209
430	4107	4109	4108	4.265	5.331	0.548	54.847
435	4094	4100	4097	4.320	5.400	0.555	55.485
440	4089	4091	4090	4.355	5.444	0.561	56.122
445	4083	4089	4086	4.375	5.469	0.568	56.760
450	4074	4076	4075	4.430	5.538	0.574	57.398
455	4066	4072	4069	4.460	5.575	0.580	58.036
460	4060	4062	4061	4.500	5.625	0.587	58.673
465	4050	4056	4053	4.540	5.675	0.593	59.311
470	4043	4045	4044	4.585	5.731	0.599	59.949
475	4034	4040	4037	4.620	5.775	0.606	60.587
480	4022	4024	4023	4.690	5.863	0.612	61.224
485	4013	4019	4016	4.725	5.906	0.619	61.862
490	4001	4003	4002	4.795	5.994	0.625	62.500
495	3993	3999	3996	4.825	6.031	0.631	63.138
500	3990	3992	3991	4.850	6.063	0.638	63.776
505	3982	3988	3985	4.880	6.100	0.644	64.413
510	3973	3975	3974	4.935	6.169	0.651	65.051
515	3963	3969	3966	4.975	6.219	0.657	65.689
520	3957	3959	3958	5.015	6.269	0.663	66.327

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
525	3942	3948	3945	5.080	6.350	0.670	66.964
530	3938	3940	3939	5.110	6.388	0.676	67.602
535	3931	3937	3934	5.135	6.419	0.682	68.240
540	3919	3921	3920	5.205	6.506	0.689	68.878
545	3911	3917	3914	5.235	6.544	0.695	69.515
550	3908	3910	3909	5.260	6.575	0.702	70.153
555	3896	3898	3897	5.320	6.650	0.708	70.791
560	3888	3890	3889	5.360	6.700	0.714	71.429
565	3866	3868	3867	5.470	6.838	0.721	72.066
570	3858	3860	3859	5.510	6.888	0.727	72.704
575	3851	3853	3852	5.545	6.931	0.733	73.342
580	3843	3845	3844	5.585	6.981	0.740	73.980
585	3835	3837	3836	5.625	7.031	0.746	74.617
590	3825	3827	3826	5.675	7.094	0.753	75.255
595	3807	3809	3808	5.765	7.206	0.759	75.893
600	3798	3800	3799	5.810	7.263	0.765	76.531
605	3789	3791	3790	5.855	7.319	0.772	77.168
610	3767	3769	3768	5.965	7.456	0.778	77.806
615	3754	3756	3755	6.030	7.538	0.784	78.444
620	3747	3749	3748	6.065	7.581	0.791	79.082
625	3738	3740	3739	6.110	7.638	0.797	79.719
630	3729	3731	3730	6.155	7.694	0.804	80.357
635	3708	3710	3709	6.260	7.825	0.810	80.995
640	3698	3700	3699	6.310	7.888	0.816	81.633
645	3682	3684	3683	6.390	7.988	0.823	82.270
650	3672	3674	3673	6.440	8.050	0.829	82.908
655	3665	3667	3666	6.475	8.094	0.835	83.546
660	3652	3654	3653	6.540	8.175	0.842	84.184
665	3625	3627	3626	6.675	8.344	0.848	84.821
670	3619	3621	3620	6.705	8.381	0.855	85.459
675	3613	3615	3614	6.735	8.419	0.861	86.097
680	3592	3594	3593	6.840	8.550	0.867	86.735
685	3555	3557	3556	7.025	8.781	0.874	87.372
690	3546	3548	3547	7.070	8.838	0.880	88.010
695	3539	3541	3540	7.105	8.881	0.886	88.648
700	3531	3533	3532	7.145	8.931	0.893	89.286
705	3522	3524	3523	7.190	8.988	0.899	89.923
710	3514	3516	3515	7.230	9.038	0.906	90.561
715	3504	3506	3505	7.280	9.100	0.912	91.199
720	3494	3496	3495	7.330	9.163	0.918	91.837
725	3484	3486	3485	7.380	9.225	0.925	92.474
730	3474	3476	3475	7.430	9.288	0.931	93.112
735	3456	3458	3457	7.520	9.400	0.938	93.750
740	3439	3441	3440	7.605	9.506	0.944	94.388
745	3420	3422	3421	7.700	9.625	0.950	95.026
750	3403	3405	3404	7.785	9.731	0.957	95.663
755	3385	3387	3386	7.875	9.844	0.963	96.301
760	3365	3367	3366	7.975	9.969	0.969	96.939

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
765	3345	3347	3346	8.075	10.094	0.976	97.577
770	3325	3327	3326	8.175	10.219	0.982	98.214
775	3313	3315	3314	8.235	10.294	0.989	98.852
780	3263	3265	3264	8.485	10.606	0.995	99.490
785	3213	3215	3214	8.735	10.919	1.001	100.128
790	3151	3153	3152	9.045	11.306	1.008	100.765
795	3088	3090	3089	9.360	11.700	1.014	101.403
800	3014	3016	3015	9.730	12.163	1.020	102.041
805	2871	2873	2872	10.445	13.056	1.027	102.679
810	2854	2856	2855	10.530	13.163	1.033	103.316
814	2742	2744	2743	11.090	13.863	1.038	103.827
814	2714	2716	2715	11.230	14.038	1.038	103.827
814	2690	2692	2691	11.350	14.188	1.038	103.827



7. $\alpha = 56^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4944	4946	4945	0	0	0	0
5	4942	4938	4940	0.025	0.031	0.006	0.638
10	4939	4933	4936	0.045	0.056	0.013	1.276
15	4930	4926	4928	0.085	0.106	0.019	1.913
20	4914	4920	4917	0.140	0.175	0.026	2.551
25	4903	4905	4904	0.205	0.256	0.032	3.189
30	4892	4894	4893	0.260	0.325	0.038	3.827
35	4880	4876	4878	0.335	0.419	0.045	4.464
40	4857	4851	4854	0.455	0.569	0.051	5.102
45	4841	4837	4839	0.530	0.663	0.057	5.740
50	4812	4818	4815	0.650	0.813	0.064	6.378
55	4812	4814	4813	0.660	0.825	0.070	7.015
60	4793	4795	4794	0.755	0.944	0.077	7.653
65	4775	4771	4773	0.860	1.075	0.083	8.291
70	4754	4748	4751	0.970	1.213	0.089	8.929
75	4739	4735	4737	1.040	1.300	0.096	9.566
80	4729	4735	4732	1.065	1.331	0.102	10.204
85	4719	4721	4720	1.125	1.406	0.108	10.842
90	4701	4703	4702	1.215	1.519	0.115	11.480
95	4685	4681	4683	1.310	1.638	0.121	12.117
100	4667	4661	4664	1.405	1.756	0.128	12.755
105	4654	4650	4652	1.465	1.831	0.134	13.393
110	4620	4626	4623	1.610	2.013	0.140	14.031
115	4609	4611	4610	1.675	2.094	0.147	14.668
120	4600	4602	4601	1.720	2.150	0.153	15.306
125	4593	4589	4591	1.770	2.213	0.159	15.944
130	4584	4578	4581	1.820	2.275	0.166	16.582
135	4572	4568	4570	1.875	2.344	0.172	17.219
140	4559	4565	4562	1.915	2.394	0.179	17.857
145	4553	4555	4554	1.955	2.444	0.185	18.495
150	4547	4549	4548	1.985	2.481	0.191	19.133
155	4542	4538	4540	2.025	2.531	0.198	19.770
160	4535	4529	4532	2.065	2.581	0.204	20.408
165	4527	4523	4525	2.100	2.625	0.210	21.046
170	4517	4523	4520	2.125	2.656	0.217	21.684
175	4513	4515	4514	2.155	2.694	0.223	22.321
180	4506	4508	4507	2.190	2.738	0.230	22.959
185	4502	4498	4500	2.225	2.781	0.236	23.597
190	4496	4490	4493	2.260	2.825	0.242	24.235
195	4483	4479	4481	2.320	2.900	0.249	24.872
200	4475	4481	4478	2.335	2.919	0.255	25.510
205	4473	4475	4474	2.355	2.944	0.261	26.148
210	4465	4467	4466	2.395	2.994	0.268	26.786
215	4462	4458	4460	2.425	3.031	0.274	27.423
220	4455	4449	4452	2.465	3.081	0.281	28.061
225	4448	4444	4446	2.495	3.119	0.287	28.699
230	4435	4441	4438	2.535	3.169	0.293	29.337
235	4430	4432	4431	2.570	3.213	0.300	29.974
240	4423	4425	4424	2.605	3.256	0.306	30.612
245	4418	4414	4416	2.645	3.306	0.313	31.250
250	4411	4405	4408	2.685	3.356	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4402	4398	4400	2.725	3.406	0.325	32.526
260	4387	4393	4390	2.775	3.469	0.332	33.163
265	4382	4384	4383	2.810	3.513	0.338	33.801
270	4374	4376	4375	2.850	3.563	0.344	34.439
275	4363	4359	4361	2.920	3.650	0.351	35.077
280	4357	4351	4354	2.955	3.694	0.357	35.714
285	4350	4346	4348	2.985	3.731	0.364	36.352
290	4337	4343	4340	3.025	3.781	0.370	36.990
295	4327	4329	4328	3.085	3.856	0.376	37.628
300	4315	4317	4316	3.145	3.931	0.383	38.265
305	4314	4310	4312	3.165	3.956	0.389	38.903
310	4306	4300	4303	3.210	4.013	0.395	39.541
315	4288	4284	4286	3.295	4.119	0.402	40.179
320	4272	4278	4275	3.350	4.188	0.408	40.816
325	4265	4267	4266	3.395	4.244	0.415	41.454
330	4258	4260	4259	3.430	4.288	0.421	42.092
335	4249	4245	4247	3.490	4.363	0.427	42.730
340	4240	4234	4237	3.540	4.425	0.434	43.367
345	4225	4221	4223	3.610	4.513	0.440	44.005
350	4207	4213	4210	3.675	4.594	0.446	44.643
355	4196	4198	4197	3.740	4.675	0.453	45.281
360	4180	4182	4181	3.820	4.775	0.459	45.918
365	4171	4165	4168	3.885	4.856	0.466	46.556
370	4157	4153	4155	3.950	4.938	0.472	47.194
375	4141	4147	4144	4.005	5.006	0.478	47.832
380	4122	4124	4123	4.110	5.138	0.485	48.469
385	4104	4106	4105	4.200	5.250	0.491	49.107
390	4093	4087	4090	4.275	5.344	0.497	49.745
395	4070	4066	4068	4.385	5.481	0.504	50.383
400	4039	4045	4042	4.515	5.644	0.510	51.020
405	3993	3995	3994	4.755	5.944	0.517	51.658
410	3979	3981	3980	4.825	6.031	0.523	52.296
415	3914	3908	3911	5.170	6.463	0.529	52.934
417	3800	3796	3798	5.735	7.169	0.532	53.189
417	3754	3760	3757	5.940	7.425	0.532	53.189
417	3713	3715	3714	6.155	7.694	0.532	53.189



8. $\alpha = 56^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4992	4994	4993	0	0	0	0
5	4990	4986	4988	0.025	0.031	0.006	0.638
10	4978	4972	4975	0.090	0.113	0.013	1.276
15	4960	4956	4958	0.175	0.219	0.019	1.913
20	4944	4950	4947	0.230	0.288	0.026	2.551
25	4931	4933	4932	0.305	0.381	0.032	3.189
30	4913	4915	4914	0.395	0.494	0.038	3.827
35	4902	4898	4900	0.465	0.581	0.045	4.464
40	4887	4881	4884	0.545	0.681	0.051	5.102
45	4864	4860	4862	0.655	0.819	0.057	5.740
50	4840	4846	4843	0.750	0.938	0.064	6.378
55	4825	4827	4826	0.835	1.044	0.070	7.015
60	4805	4807	4806	0.935	1.169	0.077	7.653
65	4789	4785	4787	1.030	1.288	0.083	8.291
70	4769	4763	4766	1.135	1.419	0.089	8.929
75	4752	4748	4750	1.215	1.519	0.096	9.566
80	4731	4737	4734	1.295	1.619	0.102	10.204
85	4720	4722	4721	1.360	1.700	0.108	10.842
90	4713	4715	4714	1.395	1.744	0.115	11.480
95	4710	4706	4708	1.425	1.781	0.121	12.117
100	4703	4697	4700	1.465	1.831	0.128	12.755
105	4696	4692	4694	1.495	1.869	0.134	13.393
110	4685	4691	4688	1.525	1.906	0.140	14.031
115	4679	4681	4680	1.565	1.956	0.147	14.668
120	4673	4675	4674	1.595	1.994	0.153	15.306
125	4667	4663	4665	1.640	2.050	0.159	15.944
130	4662	4656	4659	1.670	2.088	0.166	16.582
135	4654	4650	4652	1.705	2.131	0.172	17.219
140	4642	4648	4645	1.740	2.175	0.179	17.857
145	4639	4641	4640	1.765	2.206	0.185	18.495
150	4633	4635	4634	1.795	2.244	0.191	19.133
155	4626	4622	4624	1.845	2.306	0.198	19.770
160	4619	4613	4616	1.885	2.356	0.204	20.408
165	4610	4606	4608	1.925	2.406	0.210	21.046
170	4601	4607	4604	1.945	2.431	0.217	21.684
175	4593	4595	4594	1.995	2.494	0.223	22.321
180	4584	4586	4585	2.040	2.550	0.230	22.959
185	4578	4574	4576	2.085	2.606	0.236	23.597
190	4573	4567	4570	2.115	2.644	0.242	24.235
195	4564	4560	4562	2.155	2.694	0.249	24.872
200	4557	4563	4560	2.165	2.706	0.255	25.510
205	4549	4551	4550	2.215	2.769	0.261	26.148
210	4541	4543	4542	2.255	2.819	0.268	26.786
215	4538	4534	4536	2.285	2.856	0.274	27.423
220	4528	4522	4525	2.340	2.925	0.281	28.061
225	4519	4515	4517	2.380	2.975	0.287	28.699
230	4505	4511	4508	2.425	3.031	0.293	29.337
235	4501	4503	4502	2.455	3.069	0.300	29.974
240	4492	4494	4493	2.500	3.125	0.306	30.612
245	4487	4483	4485	2.540	3.175	0.313	31.250
250	4479	4473	4476	2.585	3.231	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4467	4463	4465	2.640	3.300	0.325	32.526
260	4456	4462	4459	2.670	3.338	0.332	33.163
265	4448	4450	4449	2.720	3.400	0.338	33.801
270	4438	4440	4439	2.770	3.463	0.344	34.439
275	4435	4431	4433	2.800	3.500	0.351	35.077
280	4424	4418	4421	2.860	3.575	0.357	35.714
285	4413	4409	4411	2.910	3.638	0.364	36.352
290	4401	4407	4404	2.945	3.681	0.370	36.990
295	4393	4395	4394	2.995	3.744	0.376	37.628
300	4386	4388	4387	3.030	3.788	0.383	38.265
305	4374	4370	4372	3.105	3.881	0.389	38.903
310	4365	4359	4362	3.155	3.944	0.395	39.541
315	4355	4351	4353	3.200	4.000	0.402	40.179
320	4341	4347	4344	3.245	4.056	0.408	40.816
325	4331	4333	4332	3.305	4.131	0.415	41.454
330	4321	4323	4322	3.355	4.194	0.421	42.092
335	4311	4307	4309	3.420	4.275	0.427	42.730
340	4303	4297	4300	3.465	4.331	0.434	43.367
345	4293	4289	4291	3.510	4.388	0.440	44.005
350	4277	4283	4280	3.565	4.456	0.446	44.643
355	4269	4271	4270	3.615	4.519	0.453	45.281
360	4257	4259	4258	3.675	4.594	0.459	45.918
365	4244	4238	4241	3.760	4.700	0.466	46.556
370	4236	4232	4234	3.795	4.744	0.472	47.194
375	4215	4221	4218	3.875	4.844	0.478	47.832
380	4206	4208	4207	3.930	4.913	0.485	48.469
385	4196	4198	4197	3.980	4.975	0.491	49.107
390	4187	4181	4184	4.045	5.056	0.497	49.745
395	4176	4172	4174	4.095	5.119	0.504	50.383
400	4158	4164	4161	4.160	5.200	0.510	51.020
405	4148	4150	4149	4.220	5.275	0.517	51.658
410	4133	4135	4134	4.295	5.369	0.523	52.296
415	4127	4121	4124	4.345	5.431	0.529	52.934
420	4107	4103	4105	4.440	5.550	0.536	53.571
425	4080	4086	4083	4.550	5.688	0.542	54.209
430	4075	4077	4076	4.585	5.731	0.548	54.847
435	4065	4067	4066	4.635	5.794	0.555	55.485
440	4055	4057	4056	4.685	5.856	0.561	56.122
445	4028	4030	4029	4.820	6.025	0.568	56.760
450	4020	4022	4021	4.860	6.075	0.574	57.398
455	4004	4006	4005	4.940	6.175	0.580	58.036
460	3993	3995	3994	4.995	6.244	0.587	58.673
465	3976	3978	3977	5.080	6.350	0.593	59.311
470	3962	3964	3963	5.150	6.438	0.599	59.949
475	3942	3944	3943	5.250	6.563	0.606	60.587
480	3917	3919	3918	5.375	6.719	0.612	61.224
485	3904	3906	3905	5.440	6.800	0.619	61.862
490	3888	3890	3889	5.520	6.900	0.625	62.500
495	3842	3844	3843	5.750	7.188	0.631	63.138
500	3826	3828	3827	5.830	7.288	0.638	63.776
505	3787	3789	3788	6.025	7.531	0.644	64.413
510	3769	3771	3770	6.115	7.644	0.651	65.051
515	3694	3696	3695	6.490	8.113	0.657	65.689
520	3675	3677	3676	6.585	8.231	0.663	66.327

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
525	3592	3594	3593	7.000	8.750	0.670	66.964
530	3509	3511	3510	7.415	9.269	0.676	67.602
535	3410	3412	3411	7.910	9.888	0.682	68.240
540	3368	3370	3369	8.120	10.150	0.689	68.878
545	3283	3285	3284	8.545	10.681	0.695	69.515
550	3248	3250	3249	8.720	10.900	0.702	70.153
555	3125	3127	3126	9.335	11.669	0.708	70.791
560	3061	3063	3062	9.655	12.069	0.714	71.429
565	2987	2989	2988	10.025	12.531	0.721	72.066
570	2858	2860	2859	10.670	13.338	0.727	72.704
575	2829	2831	2830	10.815	13.519	0.733	73.342
580	2802	2804	2803	10.950	13.688	0.740	73.980
580	2773	2775	2774	11.095	13.869	0.740	73.980
580	2727	2729	2728	11.325	14.156	0.740	73.980

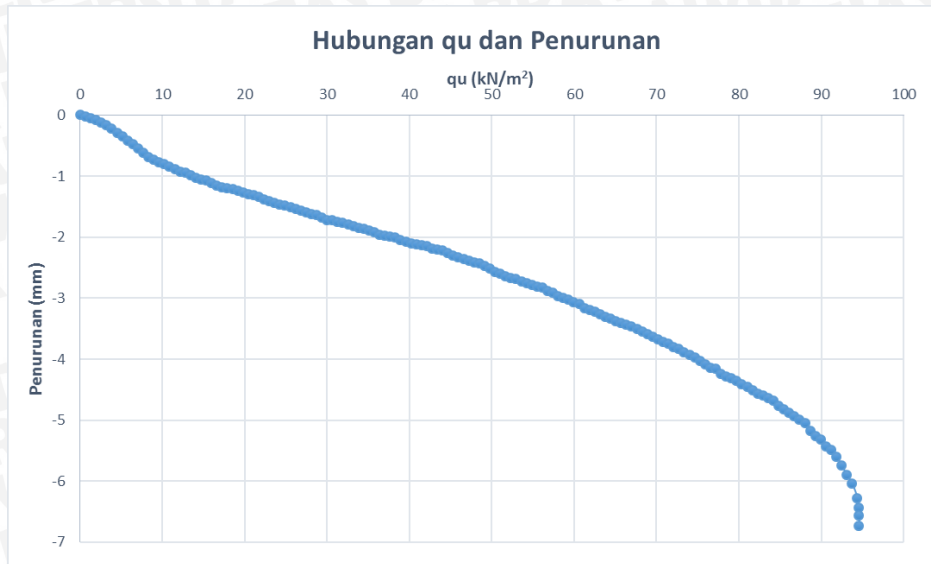


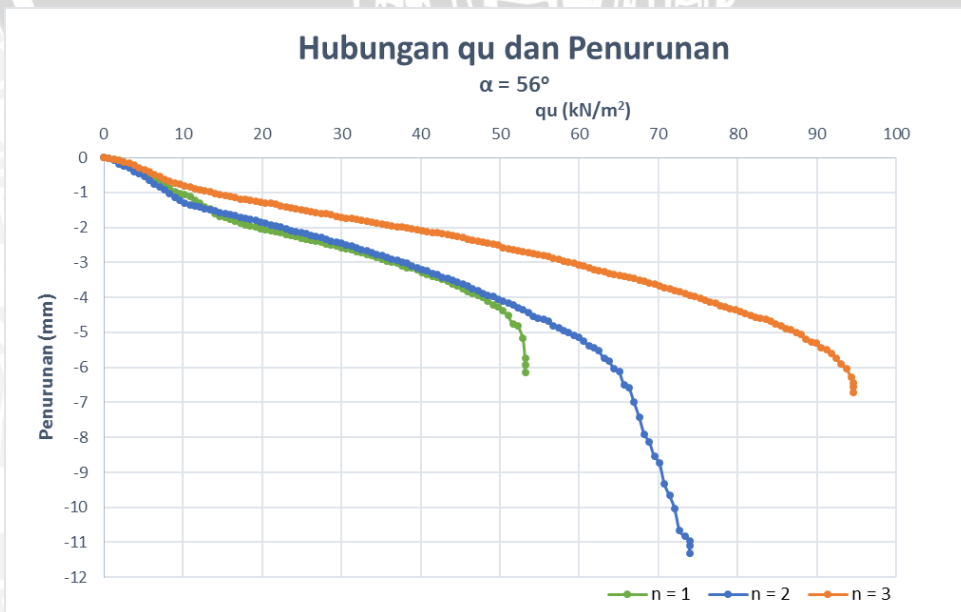
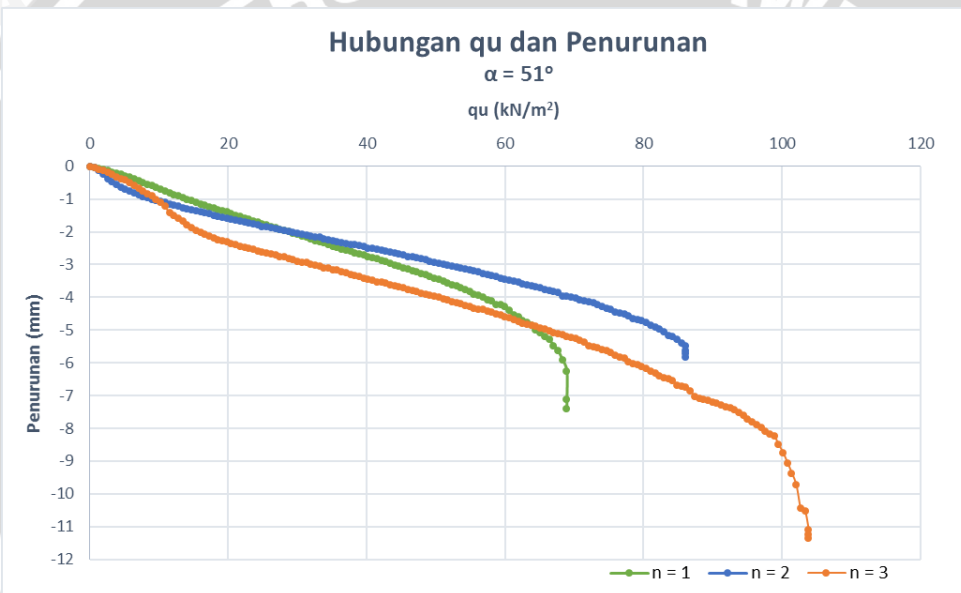
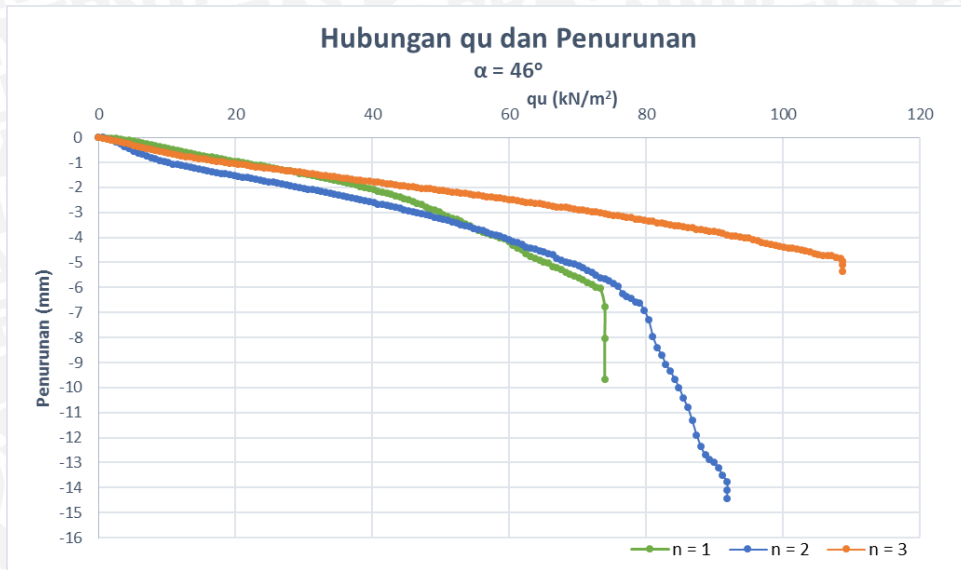
9. $\alpha = 56^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 2$, $n=3$

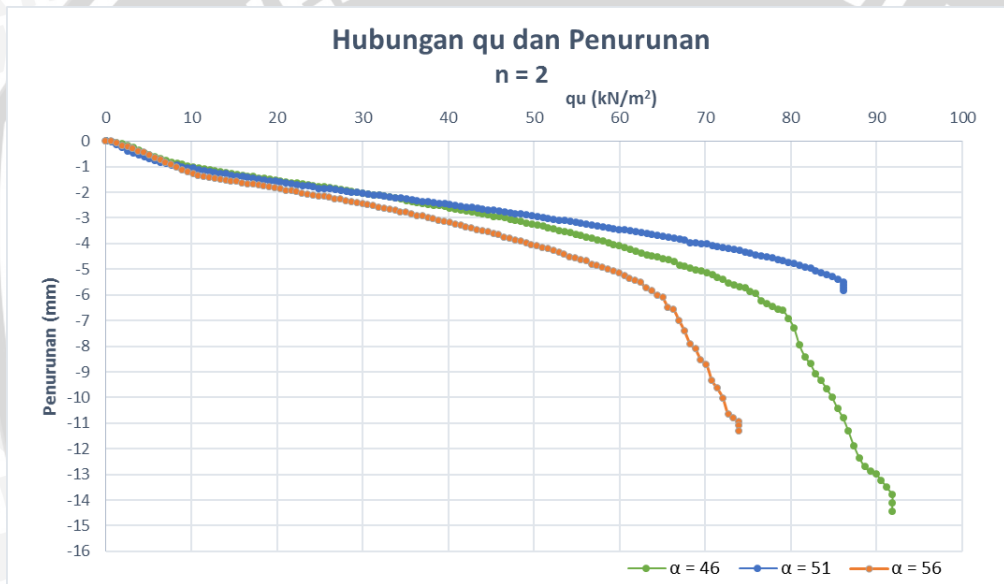
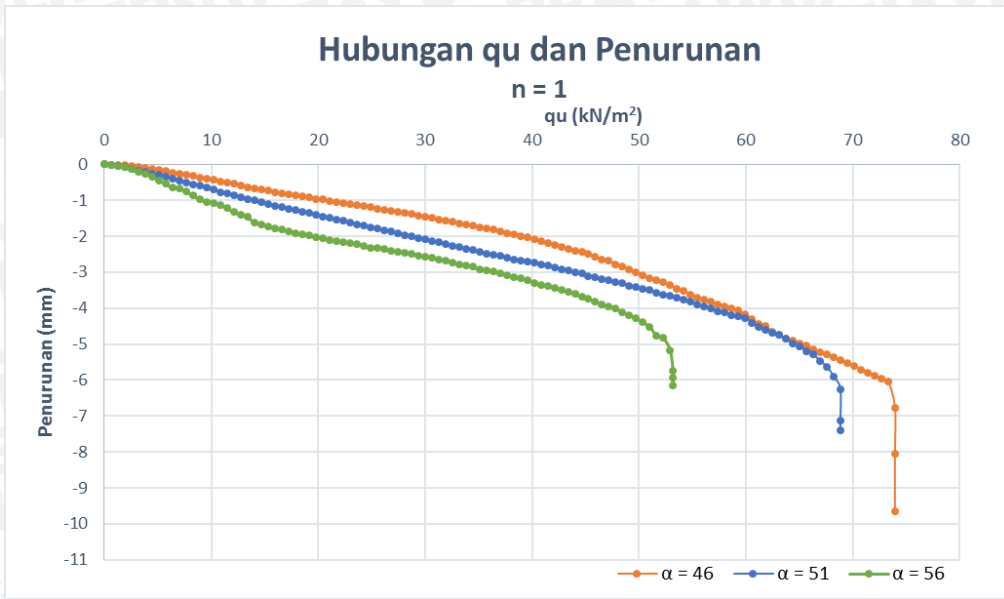
Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
0	4843	4845	4844	0	0	0	0
5	4843	4839	4841	0.015	0.019	0.006	0.638
10	4838	4832	4835	0.045	0.056	0.013	1.276
15	4830	4826	4828	0.080	0.100	0.019	1.913
20	4816	4822	4819	0.125	0.156	0.026	2.551
25	4810	4812	4811	0.165	0.206	0.032	3.189
30	4799	4801	4800	0.220	0.275	0.038	3.827
35	4789	4785	4787	0.285	0.356	0.045	4.464
40	4778	4772	4775	0.345	0.431	0.051	5.102
45	4763	4759	4761	0.415	0.519	0.057	5.740
50	4745	4751	4748	0.480	0.600	0.064	6.378
55	4735	4737	4736	0.540	0.675	0.070	7.015
60	4720	4722	4721	0.615	0.769	0.077	7.653
65	4710	4706	4708	0.680	0.850	0.083	8.291
70	4701	4695	4698	0.730	0.913	0.089	8.929
75	4692	4688	4690	0.770	0.963	0.096	9.566
80	4680	4686	4683	0.805	1.006	0.102	10.204
85	4675	4677	4676	0.840	1.050	0.108	10.842
90	4666	4668	4667	0.885	1.106	0.115	11.480
95	4661	4657	4659	0.925	1.156	0.121	12.117
100	4658	4652	4655	0.945	1.181	0.128	12.755
105	4649	4645	4647	0.985	1.231	0.134	13.393
110	4637	4643	4640	1.020	1.275	0.140	14.031
115	4633	4635	4634	1.050	1.313	0.147	14.668
120	4628	4630	4629	1.075	1.344	0.153	15.306
125	4624	4620	4622	1.110	1.388	0.159	15.944
130	4617	4611	4614	1.150	1.438	0.166	16.582
135	4609	4605	4607	1.185	1.481	0.172	17.219
140	4602	4608	4605	1.195	1.494	0.179	17.857
145	4600	4602	4601	1.215	1.519	0.185	18.495
150	4595	4597	4596	1.240	1.550	0.191	19.133
155	4592	4588	4590	1.270	1.588	0.198	19.770
160	4588	4582	4585	1.295	1.619	0.204	20.408
165	4584	4580	4582	1.310	1.638	0.210	21.046
170	4573	4579	4576	1.340	1.675	0.217	21.684
175	4567	4569	4568	1.380	1.725	0.223	22.321
180	4560	4562	4561	1.415	1.769	0.230	22.959
185	4559	4555	4557	1.435	1.794	0.236	23.597
190	4555	4549	4552	1.460	1.825	0.242	24.235
195	4550	4546	4548	1.480	1.850	0.249	24.872
200	4539	4545	4542	1.510	1.888	0.255	25.510
205	4535	4537	4536	1.540	1.925	0.261	26.148
210	4530	4532	4531	1.565	1.956	0.268	26.786
215	4528	4524	4526	1.590	1.988	0.274	27.423
220	4524	4518	4521	1.615	2.019	0.281	28.061
225	4518	4514	4516	1.640	2.050	0.287	28.699
230	4506	4512	4509	1.675	2.094	0.293	29.337
235	4500	4502	4501	1.715	2.144	0.300	29.974
240	4498	4500	4499	1.725	2.156	0.306	30.612
245	4497	4493	4495	1.745	2.181	0.313	31.250
250	4493	4487	4490	1.770	2.213	0.319	31.888

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
255	4487	4483	4485	1.795	2.244	0.325	32.526
260	4476	4482	4479	1.825	2.281	0.332	33.163
265	4474	4476	4475	1.845	2.306	0.338	33.801
270	4470	4472	4471	1.865	2.331	0.344	34.439
275	4467	4463	4465	1.895	2.369	0.351	35.077
280	4464	4458	4461	1.915	2.394	0.357	35.714
285	4455	4451	4453	1.955	2.444	0.364	36.352
290	4447	4453	4450	1.970	2.463	0.370	36.990
295	4445	4447	4446	1.990	2.488	0.376	37.628
300	4441	4443	4442	2.010	2.513	0.383	38.265
305	4436	4432	4434	2.050	2.563	0.389	38.903
310	4432	4426	4429	2.075	2.594	0.395	39.541
315	4425	4421	4423	2.105	2.631	0.402	40.179
320	4417	4423	4420	2.120	2.650	0.408	40.816
325	4416	4418	4417	2.135	2.669	0.415	41.454
330	4413	4415	4414	2.150	2.688	0.421	42.092
335	4409	4405	4407	2.185	2.731	0.427	42.730
340	4406	4400	4403	2.205	2.756	0.434	43.367
345	4402	4398	4400	2.220	2.775	0.440	44.005
350	4390	4396	4393	2.255	2.819	0.446	44.643
355	4384	4386	4385	2.295	2.869	0.453	45.281
360	4378	4380	4379	2.325	2.906	0.459	45.918
365	4375	4369	4372	2.360	2.950	0.466	46.556
370	4369	4365	4367	2.385	2.981	0.472	47.194
375	4359	4365	4362	2.410	3.013	0.478	47.832
380	4356	4358	4357	2.435	3.044	0.485	48.469
385	4348	4350	4349	2.475	3.094	0.491	49.107
390	4345	4339	4342	2.510	3.138	0.497	49.745
395	4332	4328	4330	2.570	3.213	0.504	50.383
400	4321	4327	4324	2.600	3.250	0.510	51.020
405	4314	4316	4315	2.645	3.306	0.517	51.658
410	4310	4312	4311	2.665	3.331	0.523	52.296
415	4309	4303	4306	2.690	3.363	0.529	52.934
420	4301	4297	4299	2.725	3.406	0.536	53.571
425	4290	4296	4293	2.755	3.444	0.542	54.209
430	4287	4289	4288	2.780	3.475	0.548	54.847
435	4282	4284	4283	2.805	3.506	0.555	55.485
440	4278	4280	4279	2.825	3.531	0.561	56.122
445	4268	4270	4269	2.875	3.594	0.568	56.760
450	4262	4264	4263	2.905	3.631	0.574	57.398
455	4251	4253	4252	2.960	3.700	0.580	58.036
460	4243	4245	4244	3.000	3.750	0.587	58.673
465	4238	4240	4239	3.025	3.781	0.593	59.311
470	4231	4233	4232	3.060	3.825	0.599	59.949
475	4223	4225	4224	3.100	3.875	0.606	60.587
480	4210	4212	4211	3.165	3.956	0.612	61.224
485	4204	4206	4205	3.195	3.994	0.619	61.862
490	4198	4200	4199	3.225	4.031	0.625	62.500
495	4189	4191	4190	3.270	4.088	0.631	63.138
500	4182	4184	4183	3.305	4.131	0.638	63.776
505	4176	4178	4177	3.335	4.169	0.644	64.413
510	4167	4169	4168	3.380	4.225	0.651	65.051
515	4162	4164	4163	3.405	4.256	0.657	65.689
520	4156	4158	4157	3.435	4.294	0.663	66.327

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	Pembacaan 1	Pembacaan 2	Rata-rata				
525	4150	4152	4151	3.465	4.331	0.670	66.964
530	4143	4145	4144	3.500	4.375	0.676	67.602
535	4134	4136	4135	3.545	4.431	0.682	68.240
540	4125	4127	4126	3.590	4.488	0.689	68.878
545	4118	4120	4119	3.625	4.531	0.695	69.515
550	4109	4111	4110	3.670	4.588	0.702	70.153
555	4099	4101	4100	3.720	4.650	0.708	70.791
560	4093	4095	4094	3.750	4.688	0.714	71.429
565	4084	4086	4085	3.795	4.744	0.721	72.066
570	4076	4078	4077	3.835	4.794	0.727	72.704
575	4067	4069	4068	3.880	4.850	0.733	73.342
580	4057	4059	4058	3.930	4.913	0.740	73.980
585	4049	4051	4050	3.970	4.963	0.746	74.617
590	4036	4038	4037	4.035	5.044	0.753	75.255
595	4025	4027	4026	4.090	5.113	0.759	75.893
600	4016	4018	4017	4.135	5.169	0.765	76.531
605	4011	4013	4012	4.160	5.200	0.772	77.168
610	3994	3996	3995	4.245	5.306	0.778	77.806
615	3987	3989	3988	4.280	5.350	0.784	78.444
620	3980	3982	3981	4.315	5.394	0.791	79.082
625	3972	3974	3973	4.355	5.444	0.797	79.719
630	3960	3962	3961	4.415	5.519	0.804	80.357
635	3953	3955	3954	4.450	5.563	0.810	80.995
640	3940	3942	3941	4.515	5.644	0.816	81.633
645	3929	3931	3930	4.570	5.713	0.823	82.270
650	3923	3925	3924	4.600	5.750	0.829	82.908
655	3916	3918	3917	4.635	5.794	0.835	83.546
660	3906	3908	3907	4.685	5.856	0.842	84.184
665	3889	3891	3890	4.770	5.963	0.848	84.821
670	3878	3880	3879	4.825	6.031	0.855	85.459
675	3867	3869	3868	4.880	6.100	0.861	86.097
680	3857	3859	3858	4.930	6.163	0.867	86.735
685	3845	3847	3846	4.990	6.238	0.874	87.372
690	3833	3835	3834	5.050	6.313	0.880	88.010
695	3807	3809	3808	5.180	6.475	0.886	88.648
700	3790	3792	3791	5.265	6.581	0.893	89.286
705	3780	3782	3781	5.315	6.644	0.899	89.923
710	3756	3758	3757	5.435	6.794	0.906	90.561
715	3746	3748	3747	5.485	6.856	0.912	91.199
720	3724	3726	3725	5.595	6.994	0.918	91.837
725	3695	3697	3696	5.740	7.175	0.925	92.474
730	3663	3665	3664	5.900	7.375	0.931	93.112
735	3635	3637	3636	6.040	7.550	0.938	93.750
740	3588	3590	3589	6.275	7.844	0.944	94.388
741.5	3555	3557	3556	6.440	8.050	0.946	94.579
741.5	3530	3532	3531	6.565	8.206	0.946	94.579
741.5	3498	3500	3499	6.725	8.406	0.946	94.579







Lampiran 7. Perhitungan Daya Dukung Lereng tanpa Perkuatan dengan Metode Analitik

A. Metode Gempeline

$$\gamma = 1,531 \text{ gr/cm}^3$$

$$c = 0$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah} = 41,25^\circ$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

$$B = 8 \text{ cm}$$

Persamaan Gempeline :

$$N\gamma q = f_\phi \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/B, B/L}$$

Solusi Meyerhof :

$$q_u = cN_{cq} + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma q}$$

1. $B = 8$, $\beta = 46^\circ$, $d/B = 2$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 46^\circ = 0,803 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$f_\phi = 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159 \cdot 41,25 - 2,386)} = 248,2419$$

$$f_B = 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 3,14961)} = 1,7392$$

$$f_{D/B} = 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/3,1496) = 1$$

$$f_{B/L} = 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (3,14961/\sim) = 1$$

$$f_{D/B, B/L} = 1 + 0,39 (D/L) = 1 + 0,39 (0/\sim) = 1$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 0,803^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,803^\circ]\} \\ &= 0,9783 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 + 0,6 (3,1496/\sim) [1 - 1(1 - \tan 0,803^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,803^\circ]\} \end{aligned}$$

$$= 1$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/B, B/L} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 + 0,33 (0/3,1496) \tan 0,803^\circ \{2/[2+(6,29921/3,1496)^2 \tan 0,803^\circ]\} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\gamma q} &= 248,2419 \times 1,7392 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9783 \times 1 \times 1 \\ &= 422,3911 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\ &= 0,5 \times 1,531 \times 8 \times 422,3911 \\ &= 2586,7233 \text{ gr/cm}^2 = 258,6723 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. $B = 8$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 2$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ = 0,89 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar Pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{Jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$f_\phi = 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159 \cdot 41,25 - 2,386)} = 248,2419$$

$$f_B = 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 3,14961)} = 1,7392$$

$$f_{D/B} = 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/3,1496) = 1$$

$$f_{B/L} = 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (3,14961/\sim) = 1$$

$$f_{D/B, B/L} = 1 + 0,39 (D/L) = 1 + 0,39 (0/\sim) = 1$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 0,89^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,89^\circ]\} \\ &= 0,9761 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 + 0,6 (3,1496/\sim) [1 - 1(1 - \tan 0,89^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,89^\circ]\} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/B, B/L} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\ &= 1 + 0,33 (0/3,1496) \tan 0,89^\circ \{2/[2+(6,29921/3,1496)^2 \tan 0,89^\circ]\} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\gamma q} &= 248,2419 \times 1,7392 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9761 \times 1 \times 1 \\ &= 421,4132 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\
 &= 0,5 \times 1,531 \times 8 \times 421,4132 \\
 &= 2580,7344 \text{ gr/cm}^2 = 258,0734 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3. $B = 8$, $\beta = 56^\circ$, $d/B = 2$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 56^\circ = 0,977 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar Pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{Jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$f_{\phi} = 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159,41,25 - 2,386)} = 248,2419$$

$$f_B = 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 3,14961)} = 1,7392$$

$$f_{D/B} = 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/3,14961) = 1$$

$$f_{B/L} = 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (3,14961 / \sim) = 1$$

$$f_{D/B, B/L} = 1 + 0,39 (D/L) = 1 + 0,39 (0/\sim) = 1$$

$$\begin{aligned}
 f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\
 &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 0,977^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,977^\circ]\} \\
 &= 0,9738
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \beta)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\
 &= 1 + 0,6 (3,1496/\sim) [1 - 1(1 - \tan 0,89^\circ)^2] \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,977^\circ]\} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\beta, b/B, B/L} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta]\} \\
 &= 1 + 0,33 (0/3,1496) \tan 0,977^\circ \{2/[2 + (6,29921/3,1496)^2 \tan 0,977^\circ]\} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{\gamma q} &= 248,2419 \times 1,7392 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9738 \times 1 \times 1 \\
 &= 420,4425
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\
 &= 0,5 \times 1,531 \times 8 \times 420,4425 \\
 &= 2574,79 \text{ gr/cm}^2 = 257,479 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

B. Metode Hansen-Vesic

$$\gamma = 1,531 \text{ gr/cm}^3$$

$$c = 0$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah} = 41,25^\circ$$

$$D = \text{kedalaman pondasi} = 0$$

$$L = \text{panjang pondasi} = \sim$$

1. $B = 8$, $\beta = 46^\circ$, $d/B = 2$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 46^\circ = 0,803 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,6709$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,6709 - 1) \cdot \cot 41,25 = 86,2862$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,6709 - 1) \cdot \tan 41,25 = 99,5424$$

Untuk $d = 4b$ (tanah datar)

Karena nilai $D_f = 0$, maka diperoleh daya dukung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} qu &= (c \times N_c) + (D_f \times \gamma \times N_q) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N_\gamma \right) \\ &= (0 \times 86,2862) + (0 \times 1,531 \times 76,6709) + \left(1,531 \times \frac{8}{2} \times 99,5424 \right) \\ &= 609,5979 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk lereng pasir

$$qu = \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N_\gamma \times \lambda_{\gamma\beta}$$

Untuk $d = 0$ cm, maka :

$$\lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan \beta)^2 = (1 - \tan 0,803)^2 = 0,9722$$

Untuk $D_f = 0$, maka nilai daya dukung :

$$\begin{aligned} qu &= \frac{1}{2} \times 1,531 \times 8 \times 99,5424 \times 0,9722 \\ &= 592,6326 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan interpolasi, dihitung daya dukung pada kondisi $d=2B$ (16 cm) sebagai berikut :

$$d = 0 \quad qu = 592,6326 \text{ gr/cm}^2$$

$$d = 4B (32 \text{ cm}) \quad qu = 609,5979 \text{ gr/cm}^2$$

$$\frac{609,5979 - 592,6326}{32 - 0} = \frac{qu - 592,6326}{16 - 0}$$

$$qu = 601,1152 \text{ gr/cm}^2 = 60,1115 \text{ kN/m}^2$$

2. $B = 8$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 2$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ = 0,89 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$Nq = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,6709$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi = (76,6709 - 1) \cdot \cot 41,25 = 86,2862$$

$$N\gamma = 1,5 (Nq - 1) \tan \phi = 1,5 (76,6709 - 1) \cdot \tan 41,25 = 99,5424$$

Untuk $d = 4b$ (tanah datar)

Karena nilai $D_f = 0$, maka diperoleh daya dukung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} qu &= (c \times Nc) + (D_f \times \gamma \times Nq) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N\gamma \right) \\ &= (0 \times 86,2862) + (0 \times 1,531 \times 76,6709) + \left(1,531 \times \frac{8}{2} \times 99,5424 \right) \\ &= 609,5979 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk lereng pasir

$$qu = \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \times \lambda_{\gamma\beta}$$

Untuk $d = 0$ cm, maka :

$$\lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan \beta)^2 = (1 - \tan 0,89)^2 = 0,9692$$

Untuk $D_f = 0$, maka nilai daya dukung :

$$\begin{aligned} qu &= \frac{1}{2} \times 1,531 \times 8 \times 99,5424 \times 0,9692 \\ &= 590,8027 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan interpolasi, dihitung daya dukung pada kondisi $d=2B$ (16 cm) sebagai berikut :

$$d = 0 \qquad qu = 590,8027 \text{ gr/cm}^2$$

$$d = 4B (32 \text{ cm}) \qquad qu = 609,5979 \text{ gr/cm}^2$$

$$\frac{609,5979 - 590,8027}{32 - 0} = \frac{qu - 590,8027}{16 - 0}$$

$$qu = 600,2003 \text{ gr/cm}^2 = 60,02 \text{ kN/m}^2$$

3. **B = 8, $\beta = 56^\circ$, d/B = 2**

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 56^\circ = 0,977 \text{ rad}$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,14961 \text{ inchi}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke puncak lereng} = 16 \text{ cm} = 6,29921 \text{ inchi}$$

$$Nq = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,6709$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi = (76,6709 - 1) \cdot \cot 41,25 = 86,2862$$

$$N\gamma = 1,5 (Nq - 1) \tan \phi = 1,5 (76,6709 - 1) \cdot \tan 41,25 = 99,5424$$

Untuk d = 4b (tanah datar)

Karena nilai $D_f = 0$, maka diperoleh daya dukung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} qu &= (c \times Nc) + (D_f \times \gamma \times Nq) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N\gamma \right) \\ &= (0 \times 86,2862) + (0 \times 1,531 \times 76,6709) + \left(1,531 \times \frac{8}{2} \times 99,5424 \right) \\ &= 609,5979 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk lereng pasir

$$qu = \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \times \lambda_{\gamma\beta}$$

Untuk d = 0 cm, maka :

$$\lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan \beta)^2 = (1 - \tan 0,977)^2 = 0,9661$$

Untuk $D_f = 0$, maka nilai daya dukung :

$$\begin{aligned} qu &= \frac{1}{2} \times 1,531 \times 8 \times 99,5424 \times 0,9692 \\ &= 588,9755 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan interpolasi, dihitung daya dukung pada kondisi d=2B (16 cm) sebagai berikut :

$$d = 0 \qquad qu = 588,9755 \text{ gr/cm}^2$$

$$d = 4B (32 \text{ cm}) \qquad qu = 609,5979 \text{ gr/cm}^2$$

$$\frac{609,5979 - 588,9755}{32 - 0} = \frac{qu - 588,9755}{16 - 0}$$

$$qu = 599,2867 \text{ gr/cm}^2 = 59,9287 \text{ kN/m}^2$$

Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian



