

**PENGARUH LEBAR PONDASI DAN JUMLAH LAPISAN GEOGRID
TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH PADA PEMODELAN FISIK
LERENG PASIR DENGAN KEPADATAN RELATIF (RC) 85%**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



**ANNAS AFIFUDDIN
NIM. 115060113111003**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LEBAR PONDASI DAN JUMLAH LAPISAN GEOGRID
TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH PADA PEMODELAN FISIK LERENG
PASIR DENGAN KEPADATAN RELATIF (RC) 85%**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANNAS AFIFUDDIN
NIM. 115060113111003

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 13 Mei 2016

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.
NIP. 19591111 198601 1 003

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Arief Rachmansyah
NIP. 19660420 199303 1 002

Mengetahui Ketua Program Studi

Dr. Eng. Indradi W, ST, M..Eng (Prac)
NIP. 19810220 200604 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Mei 2016

Mahasiswa,

Annas Afifuddin
NIM. 115060113111003



LEMBAR IDENTITAS PENGUJI**JUDUL SKRIPSI:**

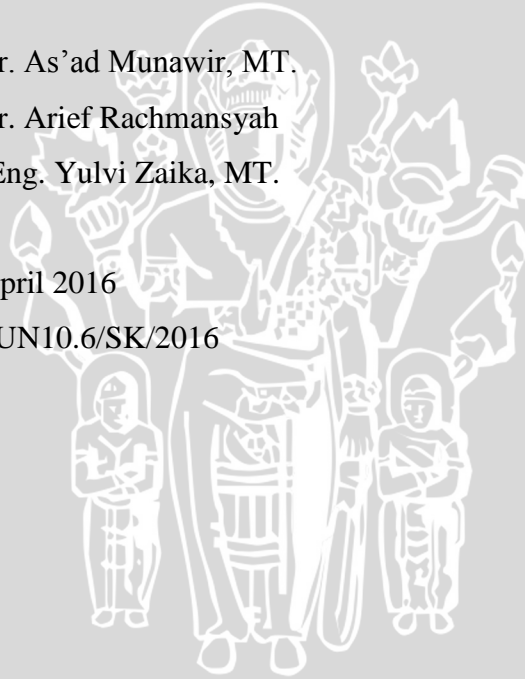
PENGARUH LEBAR PONDASI DAN JUMLAH LAPISAN GEOGRID TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH PADA PEMODELAN FISIK LERENG PASIR DENGAN KEPADATAN RELATIF (RC) 85%.

Nama Mahasiswa : Annas Afifuddin
NIM : 115060113111003
Program Studi : Teknik Sipil
Bidang : Geoteknik

DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.
Dosen Penguji II : Dr. Ir. Arief Rachmansyah
Dosen Penguji III : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.

Tanggal Ujian : 26 April 2016
SK Penguji : 520/UN10.6/SK/2016



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Annas Afifuddin lahir di Jakarta pada tanggal 27 Februari 1993. Merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Sulaiman dan Mas'adah. Menjalani masa sekolah tinggal di dusun Parerejo, desa Gedangsewu, Kecamatan Pare, Kabupaten Kediri.

Latar belakang pendidikan mulai dari Madrasah Ibtidaiyah Raudlatus Shibyan Parerejo (1999-2005), MTs Negeri Model Pare (2005-2008), SMA Negeri 1 Pare (2008-2011), dan S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang (2011-2016) serta mengikuti pendidikan non-formal di Lembaga Tinggi Pesantren Luhur Malang (2011-2016).

Penulis juga tergabung aktif dalam beberapa organisasi, diantaranya sebagai Ketua Departemen Syiar Forum Studi Islam Sipil FT UB (2013-2014), Ketua Departemen Kesejahteraan Santri Lembaga Tinggi Pesantren Luhur Malang (2014-2015), anggota UKM Bulutangkis Universitas Brawijaya, dan anggota IPNU PKPT Universitas Brawijaya Malang. Juga tergabung dalam berbagai kepanitiaan diantaranya sebagai Ketua Panitia Seminar Kesehatan (2014) dan Ketua Panitia Ziaroh Wali 9 (2015) Lembaga Tinggi Pesantren Luhur Malang, dll.

Malang, Mei 2016

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Lebar Pondasi dan Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Daya Dukung Tanah pada Pemodelan Fisik Lereng Pasir dengan Kepadatan Relatif (RC) 85%”**.

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, MT dan Dr. rernat Ir. Arief Rachmansyah 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. Harimurti, MT, Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng, MT, Dr.Eng Yulvi Zaika, MT, selaku dosen geoteknik yang telah meluangkan waktu memberi saran serta masukan kepada penulis.
5. Christin Remayanti Nainggolan, 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 jalannya penelitian.
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. Danu, Faisal, Arrizal, Zulfikar, Tosar, Atika, dan Rani 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, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

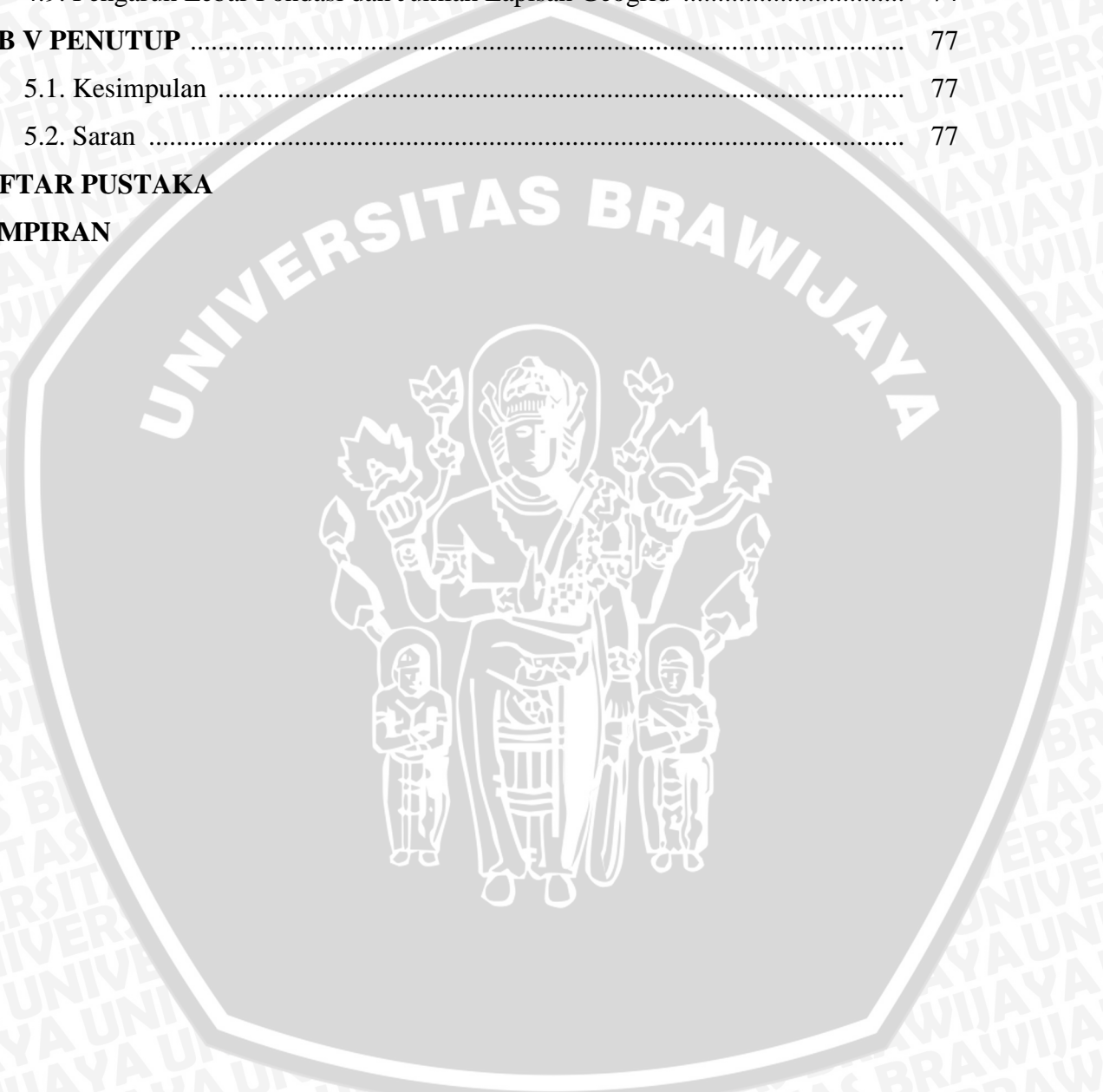
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Karakteristik Pasir	6
2.2. Pengujian Gradasi dan Klasifikasi Tanah Pasir	6
2.3. Kepadatan Tanah Pasir	7
2.3.1. Parameter Kekuatan Geser	9
2.4. Geosintetik	10
2.4.1. Pengertian Geosintetik	10
2.4.2. Geogrid	11
2.4.2.1. Pengertian Geogrid	11
2.4.2.2. Jenis Geogrid	11
2.4.3. Karakteristik Geogrid sebagai Bahan Perkuatan	13
2.4.4. Geogrid sebagai Bahan Perkuatan Tanah	15
2.4.5. Panjang Penyaluran Geogrid	15
2.4.6. Jarak Antar Lapisan Geogrid	16
2.4.7. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah	17
2.4.8. Mekanisme Transfer Beban Antara Geogrid dengan Tanah	18
2.4.9. Kajian Penggunaan Geogrid sebagai Bahan Perkuatan Tanah	19
2.5. Pondasi Dangkal	21

2.5.1. Tekanan Kontak	21
2.5.2. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi pada Lereng	21
2.5.3. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi pada Lereng dengan Perkuatan.....	22
2.6. Teori Daya Dukung Pondasi	23
2.6.1. Solusi Meyerhof	24
2.6.2. Solusi Hansen dan Vesic	25
2.6.3. Solusi Gemperline	29
2.6.4. Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Pasir	30
2.7. <i>Bearing Capacity Improvement</i> (BCI)	30
2.8. Pengaruh Jumlah Lapisan Perkuatan pada Lereng terhadap Daya Dukung Pondasi.....	31
2.9. Pengaruh Lebar Pondasi terhadap Daya Dukung Pondasi Di Dekat Lereng.....	32
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitian	33
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	34
3.4. Pengujian Bahan	35
3.4.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah	35
3.4.2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah	35
3.5. Persiapan Model Test	36
3.5.1. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji	36
3.5.2. Persiapan Benda Uji	38
3.5.3. Model Test Lereng	39
3.6. Pengujian Pembebanan	41
3.7. Metode Analisis Data	42
3.8. Variabel Penelitian	44
BAB IV PEMBAHASAN	46
4.1. Analisis Karakteristik Bahan	46
4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah	46
4.1.2. Analisis <i>Spesific Gravity</i>	47
4.1.3. Analisis Kepadatan Tanah (<i>compaction</i>)	48
4.1.3.1. Kepadatan Tanah Standar Di Laboratorium (<i>proctor test</i>)	48



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>	51
4.3.1. Model Lereng Tanpa Perkuatan	51
4.3.1.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air	52
4.3.2. Model Lereng dengan Perkuatan Geogrid	52
4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air	53
4.4. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir RC 85%	54
4.4.1. Lereng Tanpa Perkuatan	54
4.4.1.1. Metode Analitik	54
4.4.1.2. Metode Eksperimen	56
4.4.2. Lereng dengan Perkuatan Geogrid	57
4.5. Analisis Penurunan Tanah Pasir RC 85%	58
4.5.1. Lereng Tanpa Perkuatan	58
4.5.1.1. Variasi Lebar Pondasi	58
4.5.1.1.1. Lebar Pondasi B = 4 cm	58
4.5.1.1.2. Lebar Pondasi B = 6 cm	59
4.5.1.1.3. Lebar Pondasi B = 8 cm	60
4.5.1.2. Perbandingan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan	60
4.5.2. Lereng dengan Perkuatan Geogrid	61
4.5.2.1. Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Lebar Pondasi	61
4.5.2.1.1. Lebar Pondasi B = 4 cm	61
4.5.2.1.2. Lebar Pondasi B = 6 cm	62
4.5.2.1.3. Lebar Pondasi B = 8 cm	63
4.5.2.2. Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid	64
4.5.2.2.1. Jumlah Lapisan n = 1	64
4.5.2.2.2. Jumlah Lapisan n = 2	65
4.5.2.2.3. Jumlah Lapisan n = 3	66
4.6. Perbandingan Daya Dukung Lereng Pasir	67
4.6.1. Lebar Pondasi B = 4 cm	67
4.6.2. Lebar Pondasi B = 6 cm	68
4.6.3. Lebar Pondasi B = 8 cm	69
4.7. Analisis <i>Bearing Capacity Improvement (BCI_{qu})</i>	69

4.7.1. Perbandingan Nilai BCIqu pada Variasi Jumlah Lapisan Geogrid	69
4.7.2. Perbandingan BCIqu terhadap Variasi Lebar Pondasi	71
4.8. Perbandingan Nilai Nyq Menggunakan Perkuatan Geogrid	72
4.8.1. Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid	72
4.8.2. Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Lebar Pondasi	73
4.9. Pengaruh Lebar Pondasi dan Jumlah Lapisan Geogrid	74
BAB V PENUTUP	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah Sistem <i>U.S.C.S</i>	8
Tabel 2.2	Fungsi berbagai macam produk Geosintetik.....	11
Tabel 2.3	Pengaruh panjang perkuatan Geogrid terhadap daya dukung pondasi pada lereng pasir	16
Tabel 2.4	Hasil penelitian terdahulu untuk parameter optimum pada Geogrid	20
Tabel 2.5	Rasio H_c/B terhadap sudut geser tanah	22
Tabel 2.6	Faktor daya dukung dan koreksi menurut Hansen.....	27
Tabel 2.7	Faktor daya dukung dan koreksi menurut Vesic.....	28
Tabel 3.1	Fungsi dan standar uji fisik tanah	35
Tabel 3.2	Variasi perlakuan variabel	36
Tabel 3.3	Daya dukung dan penurunan lereng tanpa perkuatan	42
Tabel 3.4	Daya dukung dan penurunan lereng dengan perkuatan dengan variasi Jumlah lapisan Geogrid.....	43
Tabel 3.5	Daya dukung dan penurunan lereng dengan perkuatan dengan variasi Lebar pondasi.....	43
Tabel 3.6	<i>Bearing Capacity Improvement (BCI)</i> untuk variasi jumlah lapisan Geogrid	44
Tabel 3.7	<i>Bearing Capacity Improvement (BCI)</i> untuk variasi lebar pondasi.....	44
Tabel 4.1	<i>Specific Gravity</i> Tanah Rata-Rata.....	48
Tabel 4.2	Tabel Matriks untuk Lereng Tanpa Perkuatan.....	51
Tabel 4.3	Nilai kadar air dan berat isi kering tanah lereng tanpa perkuatan.....	52
Tabel 4.4	Tabel matriks untuk lereng menggunakan perkuatan	53
Tabel 4.5	Nilai kadar air dan berat isi kering tanah lereng dengan perkuatan.....	54
Tabel 4.6	Nilai daya dukung analitik untuk lereng tanpa perkuatan	54
Tabel 4.7	Nilai daya dukung berdasarkan eksperimen untuk lereng tanpa Perkuatan.....	57
Tabel 4.8	Nilai daya dukung berdasarkan eksperimen untuk lereng perkuatan dengan variasi lebar pondasi (B).....	57
Tabel 4.9	Nilai daya dukung berdasarkan eksperimen untuk lereng perkuatan dengan jumlah lapisan Geogrid (n).....	58
Tabel 4.10	Nilai <i>Bearing Capacity Improvement (BCI_{qu})</i> untuk variasi jumlah	

	lapisan Geogrid.....	70
Tabel 4.11	Nilai <i>Bearing Capacity Improvement</i> (BCI _{qu}) untuk variasi lebar Pondasi.....	71
Tabel 4.12	Perbandingan nilai faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk variasi lebar pondasi.....	72
Tabel 4.13	Perbandingan nilai faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ dengan variasi jumlah lapisan	73
Tabel 4.14	Besar peningkatan daya dukung lereng pada variasi lebar pondasi	75
Tabel 4.15	Besar peningkatan daya dukung lereng pada variasi jumlah lapis Geogrid	75
Tabel 4.16	Peningkatan nilai daya dukung lereng antar variabel terhadap variasi lebar pondasi.....	76
Tabel 4.17	Peningkatan nilai daya dukung lereng antar variabel dengan variasi Jumlah lapisan Geogrid	76



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis-jenis Geogrid.....	12
Gambar 2.2	Sifat kekuatan Geosintetik tipikal	14
Gambar 2.3	Grafik Hubungan q_u terhadap penurunan dengan variasi S_v	16
Gambar 2.4	Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan Geosintetik.....	17
Gambar 2.5	Mekanisme kegagalan luncur pada perkuatan Geogrid	18
Gambar 2.6	Mekanisme kegagalan cabut pada perkuatan Geogrid.....	19
Gambar 2.7	Skema zona keruntuhan pondasi di atas lereng.....	22
Gambar 2.8	Titik-titik plastis yang terbentuk dibawah pondasi pada lereng: (a) Tanpa perkuatan, (b) Panjang perkuatan $L=B$, (c) Panjang perkuatan $L = 2B$	23
Gambar 2.9	Faktor daya dukung Meyerhof $N_{\gamma q}$ untuk tanah granular/pasir (pondasi di dekat lereng).....	25
Gambar 2.10	Grafik beban-penurunan untuk tanah pasir yang diberi perkuatan	31
Gambar 2.11	Variasi beban dengan penurunan untuk model lereng dengan variasi lebar pondasi.....	32
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 3.2	<i>Model test</i> lereng tanpa perkuatan.....	37
Gambar 3.3	<i>Model test</i> lereng dengan perkuatan: (a) 1 lapisan; (b) 2 lapisan (c) 3 lapisan	38
Gambar 3.4	Model box penelitian.....	39
Gambar 3.5	Contoh susunan pembebanan	42
Gambar 4.1	Grafik hasil pengujian gradasi butiran tanah	47
Gambar 4.2	Grafik pemadatan standar	49
Gambar 4.3	(a) Grafik hubungan antara tegangan geser dan regangan geser (b) Grafik hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal.....	50
Gambar 4.4	Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $B = 4$ cm dan $d/B=1$	52
Gambar 4.5	Pemodelan Lereng dengan Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $B=4$ cm; $d/B=1$ dan jumlah lapisan $n = 1$	53
Gambar 4.6	Perbandingan nilai daya dukung untuk lereng tanpa perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $d/B = 1$; $B = 4$ cm.....	55

Gambar 4.7	Perbandingan nilai daya dukung untuk lereng tanpa perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $d/B = 1$; $B = 6$ cm	55
Gambar 4.8	Perbandingan nilai daya dukung untuk lereng tanpa perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $d/B = 1$; $B = 8$ cm	56
Gambar 4.9	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng tanpa perkuatan dengan lebar pondasi $B = 4$ cm	59
Gambar 4.10	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng tanpa perkuatan dengan lebar pondasi $B = 6$ cm	59
Gambar 4.11	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng tanpa perkuatan dengan lebar pondasi $B = 8$ cm	60
Gambar 4.12	Grafik perbandingan q_u dan penurunan tanah pada lereng tanpa perkuatan dengan variasi lebar pondasi	61
Gambar 4.13	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi jumlah lapisan terhadap lebar pondasi $B = 4$ cm	62
Gambar 4.14	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi jumlah lapisan terhadap lebar pondasi $B = 6$ cm	63
Gambar 4.15	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi jumlah lapisan terhadap lebar pondasi $B = 8$ cm	64
Gambar 4.16	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi lebar pondasi terhadap jumlah lapisan Geogrid $n = 1$	65
Gambar 4.17	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi lebar pondasi terhadap jumlah lapisan Geogrid $n = 2$	66
Gambar 4.18	Grafik hubungan q_u dan penurunan tanah pada lereng perkuatan dengan variasi lebar pondasi terhadap jumlah lapisan Geogrid $n = 3$	67
Gambar 4.19	Grafik hubungan q_u -penurunan lereng dengan dan tanpa perkuatan terhadap lebar pondasi $B = 4$	68
Gambar 4.20	Grafik hubungan q_u -penurunan lereng dengan dan tanpa perkuatan terhadap lebar pondasi $B = 6$	68
Gambar 4.21	Grafik hubungan q_u -penurunan lereng dengan dan tanpa perkuatan terhadap lebar pondasi $B = 8$	69
Gambar 4.22	Grafik perbandingan peningkatan nilai BCI_{qu} untuk variasi	

	Jumlah lapis perkuatan.....	70
Gambar 4.23	Grafik perubahan Nilai BCIqu terhadap variasi lebar pondasi	71
Gambar 4.24	Grafik perbandingan nilai N _{γq} untuk variasi lebar pondasi.....	72
Gambar 4.25	Grafik perbandingan nilai N _{γq} untuk variasi jumlah lapis Geogrid.....	73



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Hasil Analisis Gradasi Butiran Tanah.....	80
Lampiran 2.	Hasil Analisis Specific Gravity Tanah.....	81
Lampiran 3.	Hasil Analisis Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>).....	85
Lampiran 4.	Hasil Analisis Uji Pemadatan Standar.....	87
Lampiran 5.	Hasil Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Tanah Model.....	90
Lampiran 6.	Perhitungan Daya Dukung Lereng Tanpa Perkuatan dengan dengan Metode Analitik.....	97
Lampiran 7.	Rekapitulasi Nilai Penurunan dan Perhitungan Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen.....	106
Lampiran 8.	Perhitungan γ_b Lereng Perkuatan dan Faktor Daya Dukung Nyq Pondasi.....	142



RINGKASAN

Annas Afifuddin, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2016, *Pengaruh Lebar Pondasi dan Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Daya Dukung Tanah pada Pemodelan Fisik Lereng Pasir dengan Kepadatan Relatif (RC) 85%*, Dosen Pembimbing: Arief Rachmansyah dan As'ad Munawir.

Penggunaan Geogrid sebagai bahan perkuatan tanah telah menarik banyak perhatian peneliti terutama di bidang Geoteknik. Penggunaan Geogrid dapat meningkatkan kemampuan agar pondasi dangkal dapat digunakan sebagai ganti penggunaan pondasi dalam yang relatif mahal. Berbagai penelitian telah dilakukan, baik eksperimental maupun secara numerik terhadap penggunaan Geogrid untuk mengevaluasi keunggulannya. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik daya dukung maupun karakteristik penurunan pondasi dapat ditingkatkan dengan digunakannya Geogrid sebagai bahan perkuatan tanah. Akan tetapi, dalam penggunaan perkuatan Geogrid untuk tanah di bawah pondasi dangkal yang terletak di daerah lereng, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan guna mendapatkan nilai daya dukung tanah maksimum.

Penelitian lanjutan ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan fisik lereng pasir dengan *Relative Compaction* (RC) 85% yang diberi perkuatan Geogrid. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi lebar pondasi dan variasi jumlah lapisan Geogrid yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid terhadap peningkatan daya dukung tanah pasir di bawah pondasi dangkal. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan lereng pasir di dalam *box* berukuran 150x100x98 cm. Model lereng dalam *box* dibagi menjadi 7 lapisan, tiap-tiap lapisan dipadatkan menggunakan silinder beton. Kemudian dilakukan pengujian pembebanan terhadap model lereng tanpa perkuatan dan yang diberi perkuatan. Pembebanan dilakukan menggunakan dongkrak hidrolik melalui *Load cell* lalu dicatat nilai penurunan yang terjadi pada LVDT setiap kenaikan beban sebesar 5 kg. Parameter jarak tepi pondasi ke ujung lereng dan kepadatan tanah dijaga agar konstan. Pembebanan dilakukan hingga model lereng mengalami keruntuhan sehingga penambahan beban tidak dapat dilakukan lebih lanjut.

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan data-data yang kemudian dianalisis lebih lanjut. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung pada tanah lereng yang diberi perkuatan Geogrid. Nilai daya dukung pondasi bervariasi sesuai jumlah lapisan Geogrid yang digunakan, yaitu $n=1$, $n=2$, $n=3$. Analisis BCI yang telah dilakukan menunjukkan bahwa rasio peningkatan daya dukung terbesar adalah pada saat digunakan jumlah lapisan $n=3$. Selain itu, diketahui bahwa semakin lebar pondasi yang digunakan, nilai daya dukungnya semakin kecil, akan tetapi nilai beban runtuhnya semakin besar seiring peningkatan besar nilai lebar pondasi. Sudut kemiringan lereng yang digunakan adalah 51° untuk semua model lereng.

Kata kunci: Geogrid, daya dukung, lereng pasir, lebar pondasi, jumlah lapisan, BCI.

SUMMARY

Annas Afifuddin, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2016, *Effect of Footing Width and Number of Geogrid Layers on Soil Bearing Capacity on Physical Modelling Sand Slope with Relative Compaction (RC) of 85%*, Academic Supervisor: Arief Rachmansyah dan As'ad Munawir.

The use of Geogrid as soil reinforcement material has attracted a great deal of attention to many researchers especially in the field of geotechnical engineering. The use of Geogrid can enhance the ability to use shallow foundations in lieu of the expensive deep foundation. Several research studies on the use of Geogrid have been performed both experimental and numerical to evaluate its performance. Results from these studies showed that both the ultimate bearing capacity and the settlement characteristics of the footing can be improved by the inclusion of Geogrid reinforcements material in the soil. However, the use of Geogrid of reinforcing soil underneath shallow footing located near slopes, there are several factors that need to be considered in order to obtain maximum value for the bearing capacity of the soil.

This research is conducted by using physical modeling sand slope with Relative Compaction (RC) of 85% using Geogrid reinforcement. The parameters used in this study is variations of width footing and variations of number of Geogrid layers. The purpose of this study was to determine the effect of variations of width footing and variations of number of Geogrid layers to increase the bearing capacity of the sandy soil under shallow foundation. This research was conducted by modeling the sand slope in a box measuring 150x100x98 cm. Slope model in the box is divided into seven layers, each layer is compacted using concrete cylinders. Then the slope model was tested for loading of reinforced slope and unreinforced slope. The loading is performed using a hydraulic jack via Load cell and then the settlement value showed in LVDT was recorded in the loading interval of 5 kg. Edge distance of footing to the end of the slope and soil density parameter were kept to a constant. The loading of a model made up the slope to collapse so that load additions can not be done any further.

From a series of studies that have been done, the data results are then analyzed further. The results showed an increase of bearing capacity on the sand slopes using Geogrid reinforcement. Bearing capacity varies with the footing layers of Geogrid used, ie $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$. BCI analyzes have shown that the maximum ratio of the bearing capacity increase is when the number of Geogrid layers $n = 3$. In addition, it is known that wider footing used, the smaller the value of its bearing capacity, but the value of the collapse load are greater as a big increase the width of the foundation. Angle of slope is used for all models 51° incline.

Keyword: Geogrid, bearing capacity, sand slope, footing width, Geogrid layers, BCI.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan Geosintetik untuk meningkatkan daya dukung tanah telah meningkat tajam dalam bidang Geoteknik, seperti pada pembangunan jalan raya, bandara, bantaran sungai, bendungan, dan lain-lain. Penggunaan Geosintetik dapat meningkatkan kemampuan agar dapat digunakannya pondasi dangkal sebagai ganti penggunaan pondasi dalam yang relatif mahal. Berkembangnya penggunaan Geosintetik telah menarik banyak perhatian, berbagai penelitian baik eksperimental maupun numerik terhadap penggunaan Geosintetik untuk mengevaluasi keunggulannya telah banyak dilakukan, seperti Binquet dan Lee (1975), Anil Kumar dan Ilamparuthi (2009), Taha dan Altalhe (2013), dan lain-lain. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik daya dukung tanah maupun karakteristik penurunan pondasi dapat ditingkatkan dengan digunakannya Geosintetik sebagai bahan perkuatan tanah.

Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kemampuan penggunaan bahan perkuatan tanah, antara lain : (1) jenis perkuatan; (2) jumlah lapis perkuatan; (3) kedalaman dibawah pondasi sampai lapis perkuatan pertama; (4) jarak antar lapis perkuatan; (5) panjang perkuatan di luar pondasi; dan (6) tipe serta penempatan bahan pengisi (Alamshahi dan Hataf, 2008). Tanah pondasi yang diberi perkuatan Geosintetik memberi kemungkinan untuk dapat digunakannya konstruksi pondasi dangkal pada berbagai jenis tanah. Jenis Geosintetik yang dapat digunakan pun terdapat beberapa jenis, seperti Geogrid dan Geocell. Ada banyak kondisi dimana pondasi diletakkan, ketika pondasi dibangun pada tanah lereng, daya dukung tanah dapat turun dengan signifikan, tergantung letak pondasi tersebut terhadap lereng.

Stabilitas lereng dan kemampuan pondasi yang didirikan dekat dengan lereng adalah faktor penting yang berpengaruh terhadap kemampuan strukturnya. Dibanding konstruksi pondasi pada tanah datar, pondasi dangkal yang diletakkan dekat lereng dan dibebani di atasnya menghasilkan pengurangan daya dukung ultimitnya. Oleh karena itu, penyelidikan untuk meningkatkan daya dukung dan stabilitas pondasi di atas lereng menjadi penting pada desain struktur tersebut karena kemungkinan terjadinya kelongsoran lebih besar. Untuk merencanakan pondasi pada tanah yang diberi perkuatan memerlukan perhitungan yang seksama terhadap perilaku daya dukung tanah dan perilaku mekanis dari lereng dengan perkuatan.

Dalam penggunaan perkuatan Geogrid untuk tanah pondasi dangkal yang terletak di daerah lereng, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan guna mendapatkan nilai daya dukung tanah maksimum. Jumlah lapisan Geogrid merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan lereng. Menurut Mohsen Oghabi dkk (2013), nilai rasio daya dukung pondasi berubah dengan jumlah lapis perkuatan daripada parameter lain. Dengan peningkatan jumlah lapis perkuatan dihasilkan peningkatan nilai daya dukung. Namun demikian, pada penelitian lain dilaporkan bahwa peningkatan jumlah lapis perkuatan lebih dari jumlah tertentu tidak akan meningkatkan daya dukung secara signifikan.

Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Raenal (2015), pada pemodelan fisik lereng dengan perkuatan Geogrid, diketahui bahwa daya dukung yang terjadi pada lereng dengan perkuatan Geogrid semakin meningkat, serta dengan variasi lebar pondasi berpengaruh terhadap peningkatan daya dukung tanah dan kestabilan lereng. Semakin besar lebar pondasi yang digunakan, maka beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar.

Bertolak dari penelitian-penelitian tersebut di atas, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan tetap berpatokan terhadap penelitian terdahulu. Dengan menggunakan parameter yang sama dengan penelitian terdahulu, akan diteliti bagaimana pengaruh variasi jumlah lapis perkuatan dan variasi lebar pondasi terhadap daya dukung tanah dengan perkuatan Geogrid. Penelitian lanjutan ini dilakukan pada pemodelan lereng dengan *Relative Compaction* (RC) 85%, nilai konstanta RC tersebut dinaikkan dari nilai RC pada penelitian sebelumnya yaitu sebesar 74%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan jumlah lapisan Geogrid dan dimensi lebar pondasi yang maksimum agar didapatkan daya dukung maksimum pada lereng dengan perkuatan Geogrid tersebut.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan pembahasan mengenai latar belakang penelitian yang akan dilaksanakan, perlu diidentifikasi beberapa masalah yang muncul dalam pengaplikasian perkuatan Geogrid pada lereng tersebut. Dengan demikian, permasalahan yang dapat diidentifikasi antar lain:

1. Pembangunan di atas subuah lereng memiliki resiko terjadinya kelongsoran yang cukup besar
2. Perlu adanya perbaikan pada lereng untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi perkuatan Geogrid pada lereng antara lain variasi lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, 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 lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid ?
2. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada lereng tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi lebar pondasi ?
3. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada lereng tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi jumlah lapisan Geogrid ?
4. Berapa lebar pondasi 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 ini tidak termasuk rembesan air dalam tanah yang diuji-cobakan.
2. Rasio jarak pondasi ke tepi lereng (d) dengan lebar pondasi (B) yaitu $d/B=1$.

3. Geogrid yang digunakan sebagai perkuatan pada pemodelan fisik lereng tanah pasir adalah tipe biaksial.
4. Pengidentifikasi daya dukung menggunakan jenis pondasi dangkal yaitu pondasi yang dianggap menerus dengan variasi lebar pondasi 4 cm, 6 cm, 8 cm dan variasi jumlah lapisan pondasi $n=1$, $n=2$, $n=3$
5. Jarak antar Geogrid yang digunakan dalam pemodelan fisik lereng tanah pasir adalah $S_v = 3$ cm.
6. Penempatan beban hanya dilakukan pada satu posisi dan merupakan beban merata arah vertikal tanpa sudut inklinasi.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menemukan mekanisme perkuatan lereng dengan membandingkan daya dukung tanah (respon) pada lereng pasir tanpa perkuatan dengan lereng pasir yang diberi perkuatan Geogrid dengan variasi lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid.
2. Untuk mengetahui pengaruh adanya variasi lebar pondasi terhadap daya dukung pada lereng tanah pasir.
3. Untuk mengetahui pengaruh adanya variasi jumlah lapisan Geogrid terhadap daya dukung pada lereng tanah pasir.
4. Untuk mengetahui lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid yang optimum untuk daya dukung tanah 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 lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid yang dapat dipergunakan pada lereng 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

Pada bab ini akan diuraikan dasar-dasar teori dan referensi terkait yang akan digunakan dalam penelitian. Di dalamnya mencakup teori-teori tentang parameter yang digunakan dan pengujian-pengujian yang akan dilakukan. Tujuannya adalah agar penelitian ini memenuhi standar dengan berlandaskan teori yang sudah ada sehingga didapatkan hasil yang maksimal. Materi yang akan banyak dibahas dalam bab ini adalah tentang tanah pasir, pondasi dangkal, serta perkuatan Geogrid.

2.1. Karakteristik Pasir

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-koheusif 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-koheusif dengan kadar air cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental. Tarikan permukaan memberikan tanah non-koheusif suatu kohesi semu (*apparent cohesion*) yang disebut demikian karena kohesi tersebut akan hilang apabila tanah itu benar-benar kering atau benar-benar jenuh. (Bowles, 1993:38)

2.2. Pengujian Gradasi dan Klasifikasi Tanah Pasir

Klasifikasi tanah adalah penyusunan jenis tanah menjadi berbagai kelompok atau sub-bagian untuk menyederhanakan dan meringkas penggunaan umum karakteristik tanah tanpa deskripsi mendetail. Saat ini, terdapat dua jenis sistem klasifikasi utama yang tersedia untuk penggunaan teknis, yaitu Unified System dan sistem klasifikasi AASHTO. Kedua sistem tersebut menggunakan index yang sederhana seperti distribusi ukuran butir, liquid limit, dan indeks plastis tanah.

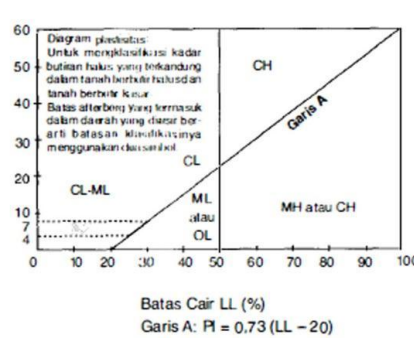
Sistem klasifikasi tanah Unified atau sistem klasifikasi satuan awalnya diusulkan oleh A. Casagrande pada tahun 1942, terutama untuk digunakan dalam penilaian tanah untuk pembangunan lapangan terbang. Kemudian direvisi tahun 1952 oleh Corps of Engineers dan U.S Bureau of Reclamation. Dalam bentuk yang ada saat ini, sistem tersebut telah digunakan sangat luas oleh berbagai institusi, insinyur Geoteknik dalam bisnis konsultasi, dan kode bangunan.

Sistem ini menggunakan lambang kelompok (CH, GW, dll) pada masing-masing jenis, tetapi dapat dipakai juga tanpa simbol kelompok. Langkah pertama adalah menempatkan tanah pada kelompok tanah berbutir kasar atau halus. Tanah yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 0,06 mm lebih dari 50% termasuk dalam kelompok tanah berbutir halus. Sedangkan tanah yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 0,006 mm kurang dari 50% termasuk dalam kelompok tanah berbutir kasar. Butiran berukuran 0,06 mm adalah ukuran butiran terkecil yang dapat diukur menggunakan ayakan (no 200). Masing-masing kelompok kemudian dibagi lagi berdasarkan kelompok berbutir kasar atau halus (Wesley, 2010). Untuk mengetahui klasifikasi tanah dapat dilihat dalam **Tabel 2.1**.

2.3. Kepadatan Tanah Pasir

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap. Setelah mencapai kadar air tertentu, adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum (Das, 1985). Percobaan di laboratorium yang umum digunakan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah Uji Pemadatan *Proctor*.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Sistem *U.S.C.S*

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi		
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200; GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel		
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.			
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	Pasir lebih dari 50% takel kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW		Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
			SP		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$
			SC		Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	GM		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$
			GC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung			
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')			
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.			
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
	Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488	

Percobaan *Proctor* dilakukan dengan memadatkan tanah di dalam mould yang berdiameter 15,5 cm. Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam tiga lapisan dan jumlah tumbukan sebanyak 25 kali setiap lapisan dengan menggunakan proktor standar dengan berat 2,5 kg. Tinggi jatuh untuk pemadatan standar adalah sebesar 30,48 cm (12 inch).

Kepadatan relatif (*relative compaction*) atau persentase kepadatan tertentu didefinisikan sebagai nilai banding dari berat volume kering di pemodelan atau dilapangan dengan berat volume kering maksimum di laboratorium menurut percobaan standar, seperti percobaan standar proctor atau modifikasi proctor. 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.

Menurut Lee dan Singh (1971) terdapat hubungan antara kepadatan relative dengan kerapatan relative sesuai **Persamaan 2.2** berikut :

$$RC = 80 + 0,2 Dr \quad (2-2)$$

Dimana kerapatan relative umumnya dipakai untuk menunjukkan kerapatan dari tanah berbutir (*granular soil*) di lapangan.

2.3.1. Parameter Kekuatan Geser

Untuk menentukan nilai kekuatan geser pada tanah yang akan digunakan pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian nilai kuat geser menggunakan pengujian *Direct Shear* (Uji Geser Langsung). Pengujian kuat 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).

Pengujian dilakukan dengan memasukkan sampel tanah dalam kotak yang terdiri atas dua bagian, yaitu bagian atas dan bagian bawah. Sistem gantungan dan pemberian beban kemudian digunakan untuk memberikan tegangan normal (vertikal) pada sampel. Alat pendorong kemudian memberikan gaya horizontal pada bagian bawah kotak, sementara bagian atas tetap diam. Gaya horizontal diberikan dengan memakai kecepatan deformasi yang tetap; deformasi dan gaya diukur sampai pengujian selesai, yaitu sampai pembacaan gaya tidak bertambah. Serangkaian pengujian dilakukan pada tegangan normal yang

berbeda-beda. Masing-masing hasil pengujian diplot dalam bentuk grafik, yang pertama adalah kurva tegangan terhadap penurunan, dan yang kedua adalah tegangan geser terhadap tegangan normal (Das, 1985).

2.4. Geosintetik

2.4.1. Pengertian Geosintetik

Ditinjau dari segi bahasa Geosintetik (*Geosynthetic*) dimana *Geo* berarti *earth* (tanah atau bumi) *Synthetic* berarti *human-made product / material* (produk atau bahan buatan manusia). Geosintetik adalah suatu produk berbentuk lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem (ASTM D 4439).

Saat ini terdapat beberapa material yang dikombinasikan antara geotekstil dengan geomembran atau bahan sintetik lainnya untuk mendapatkan karakteristik terbaik dari setiap bahan. Produk tersebut dikenal sebagai geokomposit dan produk ini dapat berupa gabungan dari geotekstil-geonet, geotekstil-Geogrid, geotekstil-geomembran, geomembran-geonet, dan bahkan struktur sel polimer tiga dimensi. Kombinasi bahan-bahan pembentuk geokomposit tersebut sangat banyak dan hampir tidak terbatas. Selain itu terdapat juga tipe-tipe geosintetik lain seperti geosynthetic clay liner, geopipa, geofom,

Pada umumnya geosintetik dapat diidentifikasi berdasarkan:

- Tipe polimer (definisi deskriptif, misalnya polimer berkepadatan tinggi, polimer berkepadatan rendah);
- Tipe elemen (misalnya filamen, tenunan, untaian, rangka, rangka yang dilapis);
- Proses pembuatan (misalnya teranyam, tak teranyam dan dilubangi dengan jarum, tak teranyam dan diikat dengan panas, diperlebar atau ditarik, dijahit, diperkeras, diperhalus);
- Tipe geosintetik primer (misalnya geotekstil, Geogrid, geomembran);
- Massa per satuan luas (untuk geotekstil, Geogrid, geosynthetic clay liner, dan geosintetik penahan erosi) dan atau ketebalan (untuk geomembran);
- Informasi tambahan atau sifat-sifat fisik lain yang dibutuhkan untuk menggambarkan material dalam aplikasi tertentu;

Geosintetik memiliki banyak kegunaan dalam rekayasa 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.

Tabel 2.2 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: Departemen PU (2009:27)

2.4.2. Geogrid

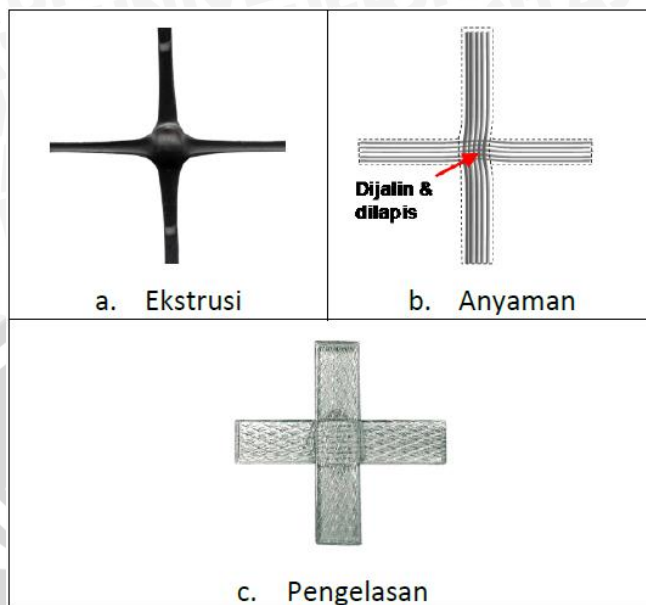
2.4.2.1. Pengertian Geogrid

Geogrid merupakan suatu contoh dari jenis geosintetik yang terbuat dari *plastic polymer* berbentuk jaring (web) terbuka. Fungsi Geogrid yang utama adalah sebagai perkuatan tanah. 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. Perkuatan Geogrid merupakan lapisan lengkap, meliputi luas total daerah perkuatan.

2.4.2.2. Jenis Geogrid

Geogrid umumnya mempunyai bentuk geometri yang terdiri dari dua set elemen ortogonal penahan tarik dalam pola segi empat. Karena kebutuhan sifat geosintetik dengan kuat tarik dan ketahanan rangkai yang tinggi, Geogrid diproduksi dari plastik dengan molekul yang diorientasikan ke arah tarik. Perbedaan utama antara setiap jenis Geogrid

adalah cara penggabungan elemen memanjang dan melintang. Teknologi cara penggabungan kedua elemen tersebut saat ini dilakukan dengan metoda ekstrusi, anyaman dan pengelasan seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Jenis-jenis Geogrid
Sumber: Departemen PU (2009:18)

Geogrid ekstrusi dibuat dari lembaran polimer dalam dua atau tiga tahap pemrosesan. Tahap pertama mencakup pemasukan 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.

Lebih detailnya, 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. Sedangkan Geogrids 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 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.

2.4.3. Karakteristik Geogrid sebagai Bahan Perkuatan

Berdasarkan Modul Pelatihan Geosintetik Volume 1 oleh Departemen Pekerjaan Umum, Geosintetik adalah suatu produk berbasis polimer sehingga bersifat viscoelastic. Sifat ini menyebabkan kinerja geosintetik terpengaruh oleh suhu, tingkat tegangan, lamanya beban yang bekerja, dan besarnya beban yang bekerja. Sifat-sifat geosintetik dapat dibagi menjadi sifat fisik, sifat mekanik, sifat hidrolis, dan durabilitas serta degradasi.

Sifat-sifat fisik geosintetik yang perlu diketahui adalah berat jenis, massa per satuan luas, ketebalan dan kekakuan. Sifat-sifat tersebut disebut sifat indeks geosintetik. Sifat-sifat fisik tersebut lebih terpengaruh oleh suhu dan kelembaban dibandingkan dengan tanah dan batuan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang konsisten dalam laboratorium, dibutuhkan pengendalian suhu dan kelembaban selama pengujian.

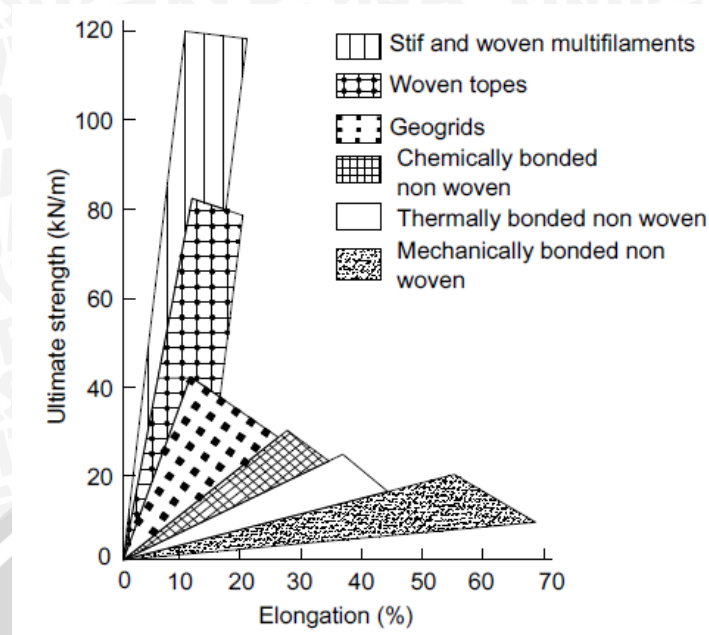
Sifat-sifat mekanik merupakan sifat penting untuk geosintetik yang digunakan untuk menahan kerusakan saat instalasi dan menahan beban. Sifat mekanik yang penting adalah kompresibilitas, kuat tarik dan modulus tarik.

1. Kompresibilitas

Kompresibilitas geosintetik diukur dari penurunan ketebalan akibat peningkatan tegangan normal yang diberikan.

2. 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. Beberapa hal yang berpengaruh terhadap kuat tarik adalah rasio lebar terhadap panjang benda uji, suhu dan kelembaban ruangan saat pengujian serta ketebalan geosintetik. Geogrid mempunyai kuat tarik dan modulus tarik yang tinggi pada tingkat regangan yang rendah bahkan pada regangan 2%. Geotekstil tak-teranyam yang diikat secara mekanis dengan hantaman jarum (needle punched) mempunyai elongasi yang lebih tinggi dibandingkan geotekstil tak-teranyam lainnya.



Gambar 2.2. Sifat Kekuatan Geosintetik Tipikal
Sumber: Departemen PU (2009:45)

Sifat-sifat Georid lain yang perlu diketahui antara lain:

1. 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. 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.

2.4.4. 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.

Jika Geogrid digunakan sebagai perkuatan tanah, harus terjadi ikatan antara tanah dengan Geogrid untuk mencegah tanah tergelincir di atas Geogrid atau Geogrid tercabut dari tanah ketika kuat tarik termobilisasi pada Geogrid. Ikatan antara tanah dan Geogrid tergantung dari interaksi pada bidang kontakannya.

2.4.5. Panjang Penyaluran Geogrid

S.V. 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 2.3.** terlihat bahwa semakin panjang perkuatan Geogrid, maka semakin besar daya dukung pondasi yang dicapai.

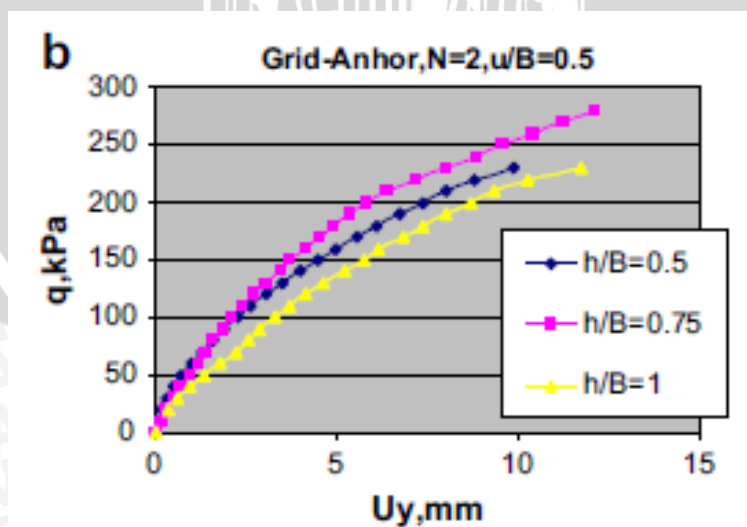
Tabel 2.3 Pengaruh panjang perkuatan Geogrid terhadap daya dukung pondasi pada lereng pasir

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

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.

2.4.6. Jarak Antar Lapisan Geogrid

Saeed Alamshahi dan Nader Hataf (2009) telah meneliti tentang daya dukung dari pondasi menerus pada lereng pasir yang diperkuat dengan Geogrid dan Grid-anchor. Salah satu parameter yang diteliti adalah jarak antar lapisan Geogrid (h). Pengujian dilakukan terhadap tanah yang diperkuat dengan Geogrid dan Grid-anchor dengan nilai rasio variasi jarak vertikal antar lapis perkuatan (h/B) yaitu 0,5, 0,75, dan 1,0.



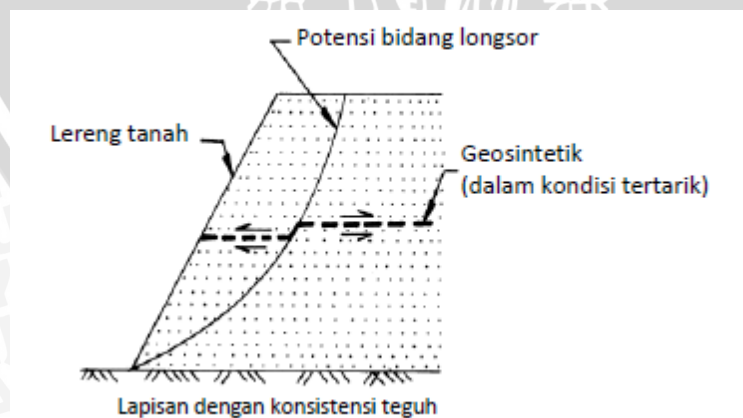
Gambar 2.3 Grafik Hubungan daya dukung q terhadap penurunan U_y dengan variasi jarak antar lapis perkuatan

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa jarak vertikal (h) optimum yang diperoleh adalah sebesar $0,75B$. Salah satu hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 2.3** yaitu dengan perkuatan Grid-anchor, jumlah lapis perkuatan $N=2$ serta rasio jarak lapis perkuatan teratas dengan permukaan tanah $u/B=0,5$. 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 $0.75B$ sebagai konstanta. Lebar pondasi yang digunakan penulis sebesar 4 cm, sehingga jarak vertikal antar lapisan Geogrid yang dipakai dalam penelitian ini adalah 3 cm pada pemodelan fisik lereng.

2.4.7. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah

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 kearah 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.

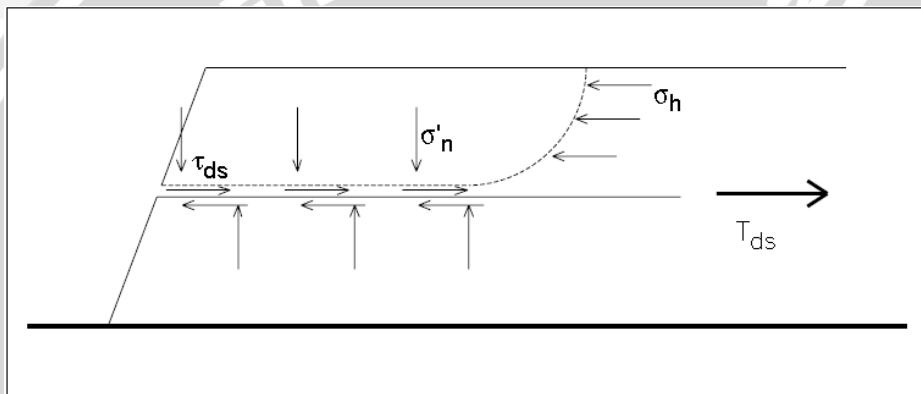


Gambar 2.4 Dasar Mekanisme Perkuatan Lereng Tanah dengan Geosintetik

2.4.8. 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 masa 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 2.5**. 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 diatas lereng.



Gambar 2.5 Mekanisme kegagalan luncur pada perkuatan Geogrid

$$\text{Gaya penahan : } T_{ds} = L \times B \times \tau_{ds} \quad (2-3)$$

$$\text{Tahanan Geser : } \tau_{ds} = \sigma'_n \times f_{ds} \times \tan \Phi' \quad (2-4)$$

Dimana :

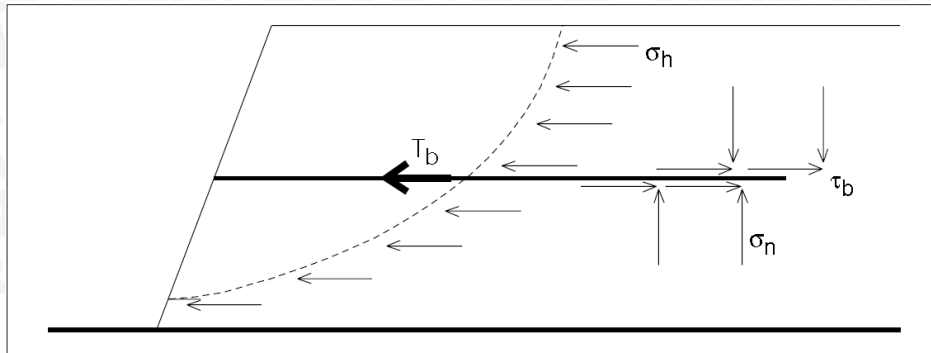
τ_{ds} = tahanan geser kegagalan luncur

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 2.6**. 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 2.6 Mekanisme kegagalan cabut pada perkuatan Geogrid

$$\text{Gaya penahan : } T_b = 2 \times L \times B \times \tau_b \quad (2-5)$$

$$\text{Tahanan geser : } \tau_b = \sigma_n' \times f_{po} \times \tan \Phi' \quad (2-6)$$

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*)

2.4.9. Kajian Penggunaan Geogrid sebagai Bahan Perkuatan Tanah

Penggunaan bahan perkuatan tanah diterapkan sebagai proses untuk mengembangkan karakteristik dalam rekayasa tanah. Perkuatan pada tanah dikhususkan sebagai sebuah metode untuk meningkatkan sifat mekanis tanah seperti gaya geser, tekanan, serta kepadatan. Selama empat dekade terakhir, berbagai inovasi metode untuk meningkatkan kekuatan tanah terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan tanah. Salah satu metode terbaik adalah digunakannya material sintetis yang disebut Geosintetik. Penggunaan Geosintetik dalam banyak kasus dapat meningkatkan kemampuan tanah secara signifikan, meningkatkan keselamatan, dan mengurangi biaya dibanding cara konvensional.

Berbagai penelitian baik secara analitik, numerik, maupun eksperimen telah dilakukan untuk mengevaluasi perilaku pondasi pada tanah yang diberi perkuatan. Pengujian eksperimental secara komprehensif terhadap tanah yang diberi perkuatan dalam skala kecil di laboratorium telah beberapa kali dilakukan diantaranya oleh Mosallanezhad dan Hataf (2010), Mosallanezhad dkk (2008), Chung dan Cascante (2006), Hataf dan Baziar (2000), Ismail dan Raymond (1995), Yetimoglu dkk (1994), Omar dkk (1993), Guido dkk (1985), serta Akinmusuru dan Akinbolade (1981). Tabel 2.4 menyajikan rangkuman beberapa penelitian terdahulu tentang parameter-parameter optimum yang berpengaruh pada

penggunaan Geogrid sebagai perkuatan tanah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat diketahui nilai parameter-parameter optimum dimana nilai daya dukung yang dihasilkan adalah maksimum.

Tabel 2.4 Hasil penelitian terdahulu untuk parameter optimum pada Geogrid

Researcher	Year	Type of reinforcement	Type of footing	$(u/B)_{Opt}$	$(b/B)_{Opt}$	$(h/B)_{Opt}$	N_{Opt}
Akinmusuru and 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 and Raymond	1995	Geogrid FEM	Strip	0.31			2
Adams and Collin	1997	Geogrid		0.48		0.25-1.5	3
Hataf and Baziar	2000	Waste tires materials	Square	0.315		0.46	
Boushehrian and Hataf	2003	Geogrid	Circular	0.47		0.2	3
Boushehrian and Hataf	2003	Geogrid FEM	Circular	0.56		0.33	3
Patra, Das and Atalar	2005	Geogrid	Strip	0.35	5	0.25	
Chang and Cascante	2006	Geogrid FEM	Square	0.3 - 0.5			
Hataf and Baziar	2007		Square			0.46	
Mosallanezhad et al.	2008	Grid- Anchor	Square				
Alamshahi and Hataf	2009	Geogrid FEM	Strip	0.75		0.75	3
Mosallanezhad and Hataf	2010	Grid- Anchor FEM	Square	0.25	1.5	0.25	
Ghazavi and Mirzaeifar	2010	Geogrid	Square	0.3	3	0.3	
El Sawwaf and Nazir	2010	Geogrid	Strip	0.3	5	0.6	3
El Sawwaf and Nazir	2011	Geogrid	Strip			0.5	3
Zidan	2012	Geogrid FEM	Circular	0.19		0.2	4

Sumber: Marto dkk (2013:1886)

- Keterangan:
- B = lebar pondasi
 - u = kedalaman lapis perkuatan pertama
 - h / x = jarak vertikal antar lapis perkuatan
 - b = panjang perkuatan
 - N = jumlah lapis perkuatan
 - BCRr = *Bearing Capacity Ratio* tanah dengan perkuatan

BCRu = *Bearing Capacity Ratio* tanah tanpa perkuatan

FEM = *Finite Element Method* (Model Numerik)

2.5. Pondasi Dangkal

2.5.1. 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.

$$\sigma = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_x \cdot X}{I_y} \pm \frac{M_y \cdot Y}{I_x} \quad (2-7)$$

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

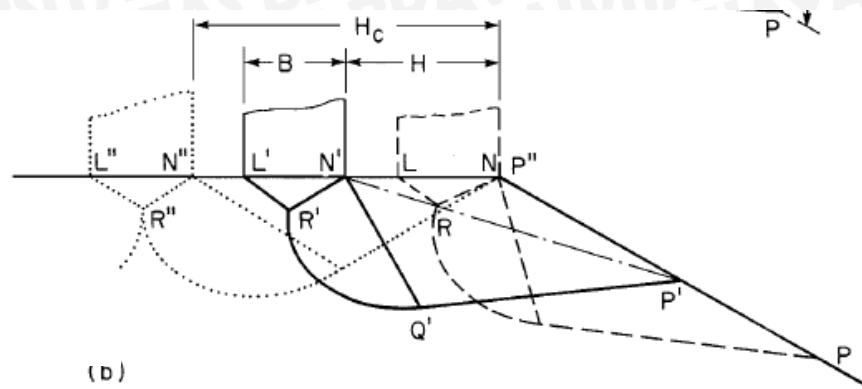
I_x, I_y = Momen inersia penampang pondasi terhadap sumbu x dan y

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.

2.5.2. 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 2.7**. 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 Hc. Besarnya nilai Hc bergantung pada besarnya sudut geser pada tanah. Variasi nilai Hc menurut Graham dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.



Gambar 2.7 Skema zona keruntuhan pada pondasi yang terletak di dekat lereng

Tabel 2.5 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 (1987:243)

2.5.3. 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.

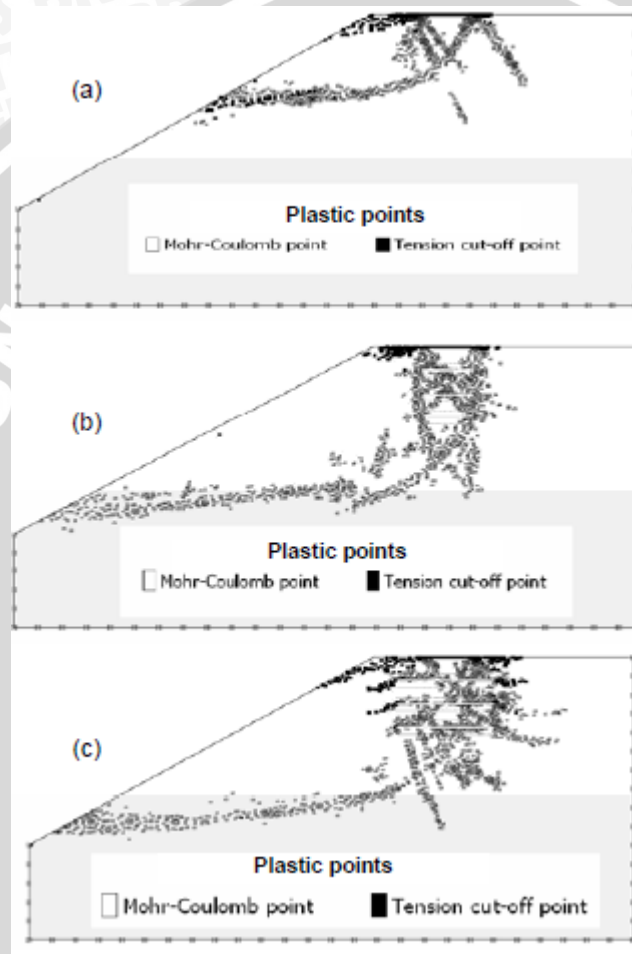
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perkuatan geotekstil memberikan pengaruh besar dalam tingkat deformasi tanah. Vektor deformasi partikel tanah dengan perkuatan berkurang secara signifikan dibandingkan tanpa perkuatan. Tahanan lateral yang diciptakan lapisan geotekstil membatasi partikel tanah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

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 2.8**. Zona segitiga plastis pada lereng dengan perkuatan yang terbentuk lebih dalam dibandingkan pada lereng tanpa perkuatan.



Gambar 2.8 Titik-titik plastis yang terbentuk dibawah pondasi pada lereng : (a) Tanpa perkuatan, (b) Panjang perkuatan $L=B$, (c) Panjang perkuatan $L=2B$

2.6. Teori Daya Dukung Pondasi

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). Kriteria yang harus diperhatikan dalam perencanaan pondasi adalah:

1. Kriteria Stabilitas

Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung harus dipenuhi. Dalam perhitungan daya dukung umumnya digunakan angka 3.

2. Kriteria Penurunan

Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tidak seragam (differential settlement) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Konsep analisis daya dukung adalah menganggap tanah sebagai bahan bersifat plastis, dan pertama kali diperkenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), De Beer dan Vesic (1958).

Persamaan-persamaan daya dukung tanah umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulumb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad (2-8)$$

dengan:

$\tau = s$ = tahanan geser tanah

c = kohesi tanah

ϕ = sudut geser dalam tanah

σ = tegangan normal

2.6.1. Solusi Meyerhof

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

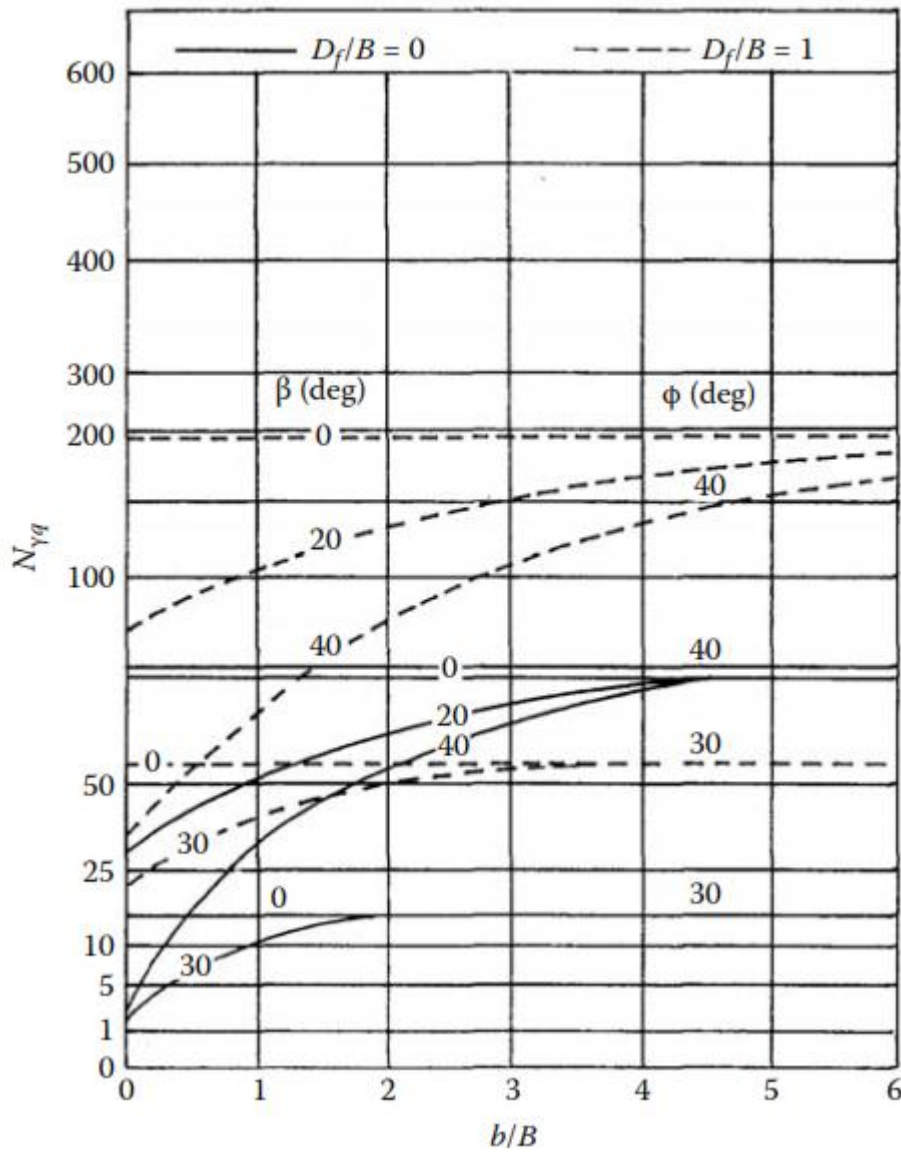
$$q_u = cN_{cq} + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma q} \quad (2-9)$$

Untuk tanah granular ($c = 0$)

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma q} \quad (2-10)$$

Besarnya parameter daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk tanah granular dapat dilihat pada

Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Faktor daya dukung Meyerhof $N_{\gamma q}$ untuk tanah granular/pasir (pondasi di dekat lereng)

Sumber: Das (2009:155)

2.6.2. Solusi Hansen dan Vesic

Untuk kondisi dimana pondasi terletak di ujung puncak lereng ($b = 0$), Hansen mengusulkan hubungan berikut ini untuk kapasitas daya dukung pada pondasi menerus:

$$q_u = cN_c \lambda_{c\beta} + qN_q \lambda_{q\beta} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \lambda_{\gamma\beta} \quad (2-11)$$

$$\text{dimana: } N_c = (N_q - 1) \cot\phi \quad (2-12)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) \quad (2-13)$$

$$N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \tan \phi \quad (2-14)$$

$\lambda_{c\beta}, \lambda_{q\beta}, \lambda_{\gamma\beta}$ = faktor kemiringan

$$q = \gamma D_f$$

Mengacu pada Hansen:

$$\lambda_{q\beta} = \lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan \beta)^2 \quad (2-15)$$

Selain faktor untuk komponen bentuk, kedalaman, dan inklinasi arah beban pada pondasi, Hansen melengkapi perumusan umum daya dukung pondasi dengan faktor koreksi untuk kemiringan dasar pondasi δ dan koreksi untuk pondasi yang diletakkan pada lereng β (Budi, 2011).

Vesic juga menambahkan faktor koreksi kemiringan dasar pondasi dan koreksi untuk pondasi pada lereng dengan faktor daya dukung yang berbeda dengan Terzaghi. Besarnya faktor daya dukung dan faktor koreksi menurut Hansen dan Vesic dapat dilihat pada Tabel 2.5. dan Tabel 2.6. Solusi persamaan daya dukung menurut Hansen dan Vesic menjadi :

$$q_u = cNc\zeta_c \quad (2-16)$$



Tabel 2.6 Faktor daya dukung dan koreksi menurut Hansen

Faktor	$\phi, ^\circ$	Kohesi, c	Wedge, γ	Surcharge, q
Daya dukung		N_c	N_γ	N_q
	$\phi = 0$	5.14	0.00	1.00
	$\phi > 0$	$(N_q - 1) \cot \phi$	$1.5(N_q - 1) \tan \phi$	$N_q e^{\tan \phi}$
Bentuk pondasi dengan eksentrisitas s (Gambar 3.5a)		ζ_{cs}	$\zeta_{\gamma s}$	ζ_{qs}
		Lajur = 1.0		
	$\phi = 0$	$0.2 \frac{B'}{L'}$	1.0	1.0
	$\phi > 0$	$1 + \frac{N_q B'}{N_c L'}$	$1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$	$1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$
Inklinali gaya l (Gambar 3.5c)		ζ_{cl}	$\zeta_{\gamma l}$	ζ_{ql}
	$\phi = 0$	$\frac{1 - \left(1 - \frac{T}{A_c c_s}\right)^{0.5}}{2}$	untuk $\delta = 0$ $\left(1 - \frac{0.7T}{Q + A_c c_s \cot \phi}\right)^5$	$\left(1 - \frac{0.5T}{Q + A_c c_s \cot \phi}\right)^5$
	$\phi > 0$	$\zeta_{cl} - \frac{1 - \zeta_{cl}}{N_q - 1}$	dan untuk $\delta > 0$ $\left[1 - \frac{\left(0.7 - \frac{\delta}{450}\right)T}{Q + A_c c_s \cot \phi}\right]^5$	
Kedalaman d		ζ_{cd}	$\zeta_{\gamma d}$	ζ_{qd}
	$\phi = 0$	0.4k	1.00	1.00
	$\phi > 0$	$1 + 0.4k$	1.00	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$
Kemiringan lereng (Slope) β (Gambar 3.5b)		$\zeta_{c\beta}$	$\zeta_{\gamma\beta}$	$\zeta_{q\beta}$
	$\phi = 0$	$1 - \frac{\beta}{147.3}$	$(1 - 0.5 \tan \beta)^5$	$(1 - 0.5 \tan \beta)^5$
$\phi > 0$	$\zeta_{c\beta} - \frac{1 - \zeta_{c\beta}}{147.3}$			
Kemiringan dasar pondasi δ (Gambar 3.5d)		$\zeta_{c\delta}$	$\zeta_{\gamma\delta}$	$\zeta_{q\delta}$
	$\phi = 0$	$1 - \frac{\delta}{147}$	$e^{-0.0473 \tan \delta}$	$e^{-0.0356 \tan \delta}$
$\phi > 0$	$\zeta_{c\delta} - \frac{1 - \zeta_{c\delta}}{147.3}$			

Dimana :

$k = D/B$ untuk pondasi dengan $D < B$

$k = \tan^{-1}(D/B)$ untuk pondasi dengan $D > B$; k dalam radian

Tabel 2.7 Faktor daya dukung dan koreksi menurut Vesic

Faktor	$\phi, ^\circ$	Kohesi, c	Wedge, γ	Surcharge, q
Daya dukung		N_c	N_γ	N_q
	$\phi = 0$	5.14	0.0 atau $-2 \sin \beta$ Untuk $\beta > 0$	1.00
	$\phi > 0$	$(N_q - 1) \cot \phi$	$2(N_q + 1) \tan \phi$	$N_q e^{2 \tan \phi}$
Bentuk pondasi dengan eksentrisitas s (Gambar 3.5a)		ζ_{es}	$\zeta_{\gamma s}$	ζ_{qs}
	$\phi = 0$	Lajur = 1.0 $0.2 \frac{B'}{L'}$	1.0	1.0
	$\phi > 0$	$1 + \frac{N_q B'}{N_c L'}$	$1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$ (1.00 untuk lajur)	$1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$ (1.0 untuk lajur)
Inklinasi gaya i (Gambar 3.5c)		ζ_{qi}	$\zeta_{\gamma i}$	ζ_{qi}
	$\phi = 0$	$1 - \frac{m \Gamma}{A_c c_s N_c} \frac{1}{2}$	$\left(1 - \frac{\Gamma}{Q + A_c c_s \cot \phi}\right)^{m+1} > 0$	$\left(1 - \frac{\Gamma}{Q + A_c c_s \cot \phi}\right)^m$
	$\phi > 0$	$\zeta_{qi} \frac{1 - \zeta_{qi}}{N_q - 1}$		
Kedalaman d		ζ_{ed}	$\zeta_{\gamma d}$	ζ_{qd}
	$\phi = 0$	$1 + 0.4k$	1.00	1.00
	$\phi > 0$	$1 + 0.4k$	1.00	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$
Kemiringan lereng (Slope) β (Gambar 3.5b)		ζ_{β}	$\zeta_{\gamma \beta}$	ζ_{β}
	$\phi = 0$	$1 - \frac{\beta}{147.3}$	$(1 - \tan \beta)^2$	$(1 - \tan \beta)^2$
$\phi > 0$	$\zeta_{\beta} \frac{1 - \zeta_{\beta}}{147.3}$			
Kemiringan dasar pondasi δ (Gambar 3.5d)		ζ_{δ}	$\zeta_{\gamma \delta}$	ζ_{δ}
	$\phi = 0$	$1 - \frac{\delta}{147}$	$(1 - 0.0178 \tan \phi)^2$	$(1 - 0.0178 \tan \phi)^2$
$\phi > 0$	$\zeta_{\delta} \frac{1 - \zeta_{\delta}}{147.3}$			

Dimana :

$$N_\phi = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2-17)$$

B = lebar Pondasi

L = panjang pondasi

B' = lebar efektif pondasi = $B - 2e_B$

L' = panjang efektif pondasi = $L - 2e_L$

e_B = eksentrisitas sejajar dengan B

e_L = eksentrisitas sejajar dengan L

θ = sudut antara arah beban dan sumbu vertikal

A_e = luas efektif pondasi = $B' \cdot L'$

$$m = \frac{2 + R_{BL}}{1 + R_{BL}}$$

$R_{BL} = B/L$, jika T paralel dengan B

$R_{BL} = L/B$, jika T paralel dengan L

T = gaya horizontal

c_a = faktor adhesi antara dasar pondasi dengan tanah

Untuk menentukan nilai daya dukung pondasi yang terletak di dekat puncak lereng lereng dapat digunakan cara interpolasi linear antara nilai daya dukung pondasi yang terletak di puncak lereng ($b = 0$) dengan nilai daya dukung pondasi yang terletak pada jarak lebih dari atau sama dengan empat kali lebar pondasi ($b \geq 4B$) dari puncak lereng. Apabila jarak ujung pondasi dari tepi lereng lebih besar atau sama dengan empat kali lebar pondasi ($b \geq 4B$), maka menggunakan analisis daya dukung untuk tanah datar.

2.6.3. 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 uluran 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.

Persamaan Gemperline untuk menghitung nilai $N_{\gamma q}$ adalah sebagai berikut :

$$N_{\gamma q} = f_{\phi} \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/Lp} \times f_{D/B, B/Lp} \times f_{\alpha, b/B} \times f_{\alpha, b/D, D/B} \times f_{\alpha, b/B, B/Lp} \quad (2-18)$$

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)

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

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

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

$$f_{B/L} = 1 - 0,27 (B/L)$$

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

$$f_{\beta, b/B} = 1 - 0,8 [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$$

$$f_{\beta, b/D, D/B} = 1 + 0,6 (B/L) [1 - (1 - \tan \beta)^2] \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$$

$$f_{\beta, b/B, B/L} = 1 + 0,33 (D/B) \tan \beta \{ 2/[2 + (b/B)^2 \tan \beta] \}$$

2.6.4. Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Pasir

Nilai sudut geser pada pasir umumnya tinggi, yaitu berkisar 37° sampai 45° . Jika nilai sebesar itu digunakan pada persamaan daya dukung teoritis biasa, maka nilai daya dukung akan sangat besar, kecuali pada pondasi jalur yang sangat tipis. Menurut Terzaghi, nilai faktor N_c , N_q , dan N_γ naik dengan cepat apabila nilai ϕ' mendekati 45° . Daya dukung yang dihitung menggunakan nilai tersebut menjadi sangat tinggi sehingga dinilai tidak praktis dalam perencanaan pondasi. Bila nilai tersebut digunakan maka deformasi yang terjadi akan sangat besar dan melebihi batas yang dapat diterima. Dengan demikian, yang harus diutamakan dalam perencanaan pondasi di atas tanah pasir adalah penurunan, bukan daya dukung. Pengukuran kompresibilitas pasir di laboratorium maupun di lapangan sangat sulit, karena pengambilan contoh pasir dengan tetap mempertahankan kondisi aslinya di lapangan umumnya tidak mungkin. Oleh karena itu, pengukuran penurunan pada tanah pasir umumnya dilakukan dengan cara empiris.

2.7. 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 :

$$BCI = \frac{q}{q_0} \quad (2-19)$$

Dimana,

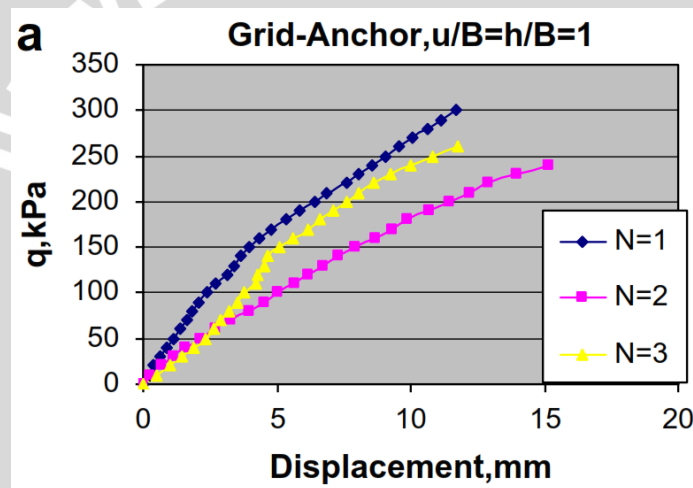
BCI = *Bearing Capacity Improvement*

q = daya dukung dengan perkuatan Geogrid menurut kemiringan sudut lereng dan jarak pondasi

q_0 = daya dukung tanpa perkuatan Geogrid

2.8. Pengaruh Jumlah Lapisan Perkuatan pada Lereng terhadap Daya Dukung Pondasi.

Serangkaian penelitian telah dilakukan oleh Saeed Alamshahi dan Nader Hataf (2008) untuk mempelajari pengaruh variasi jumlah lapis perkuatan Grid-anchor terhadap perilaku pondasi pada lereng. Pengujian dilakukan terhadap tiga variasi jumlah lapisan Grid-anchor. Panjang perkuatan dan jarak pondasi ke tepi lereng dijaga konstan.

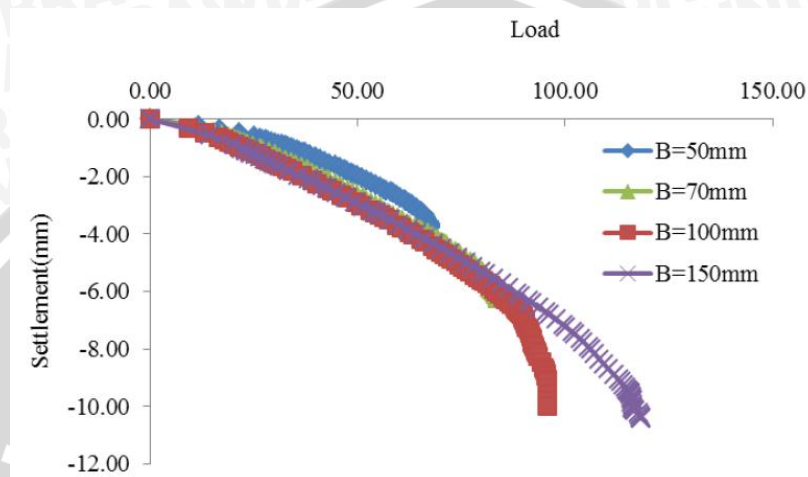


Gambar 2.10 Grafik beban-penurunan untuk tanah pasir yang diberi perkuatan

Untuk nilai penurunan yang sama, adanya lapisan perkuatan menimbulkan peningkatan daya dukung pada model pondasi. Juga, untuk pembebanan pondasi yang sama, perbandingan penurunan berkurang dengan meningkatnya jumlah lapisan perkuatan Geogrid, tapi perilaku tersebut berlanjut hanya sampai jumlah lapisan $n = 2$. Untuk jumlah lapisan Geogrid $n = 3$ tidak ada peningkatan daya dukung atau bahkan terlihat pengurangan nilai daya dukung. Untuk alasan praktis, tidak ada pengujian yang dilakukan menggunakan lebih dari 3 lapis perkuatan terbatasnya kedalaman tanah model. Akan tetapi, untuk tanah lereng dan kondisi perkuatan tertentu, nilai jumlah lapis perkuatan kritis yang mana peningkatan daya dukung tidak hanya dipertimbangkan namun juga memiliki pengaruh sebaliknya. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan variasi jumlah lapis perkuatan $n=1,2$, dan 3.

2.9. Pengaruh Lebar Pondasi terhadap Daya Dukung Pondasi di Dekat Lereng

Mohd. Raihan Taha dan Enas B. Altalhe (2013) telah melakukan serangkaian penyelidikan baik numerik maupun empiris terhadap faktor daya dukung dari pondasi menerus pada tanah lereng. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa semakin besar lebar pondasi yang digunakan, maka beban yang mampu ditahan oleh pondasi tersebut akan semakin meningkat.



Gambar 2.11 Variasi beban dengan penurunan untuk model lereng dengan variasi lebar pondasi

Gambar 2.11 menunjukkan hasil tertentu dari kurva pembebanan untuk pengujian pondasi menerus pada lereng pasir. Mode keruntuhan untuk masing-masing pondasi berbeda tergantung jenis pasir dan kepadatannya. Kurva tersebut menunjukkan bahwa pondasi dengan lebar paling besar memiliki nilai daya dukung lebih tinggi dibanding pondasi dengan lebar yang lebih kecil. Demikian pula dengan penurunan yang terjadi, semakin besar lebar pondasi yang digunakan, besar penurunan yang terjadi juga semakin meningkat. Untuk penurunan yang sama, grafik tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan lebar pondasi yang semakin besar mengakibatkan penurunan nilai daya dukung yang terjadi.

BAB III METODE PENELITIAN

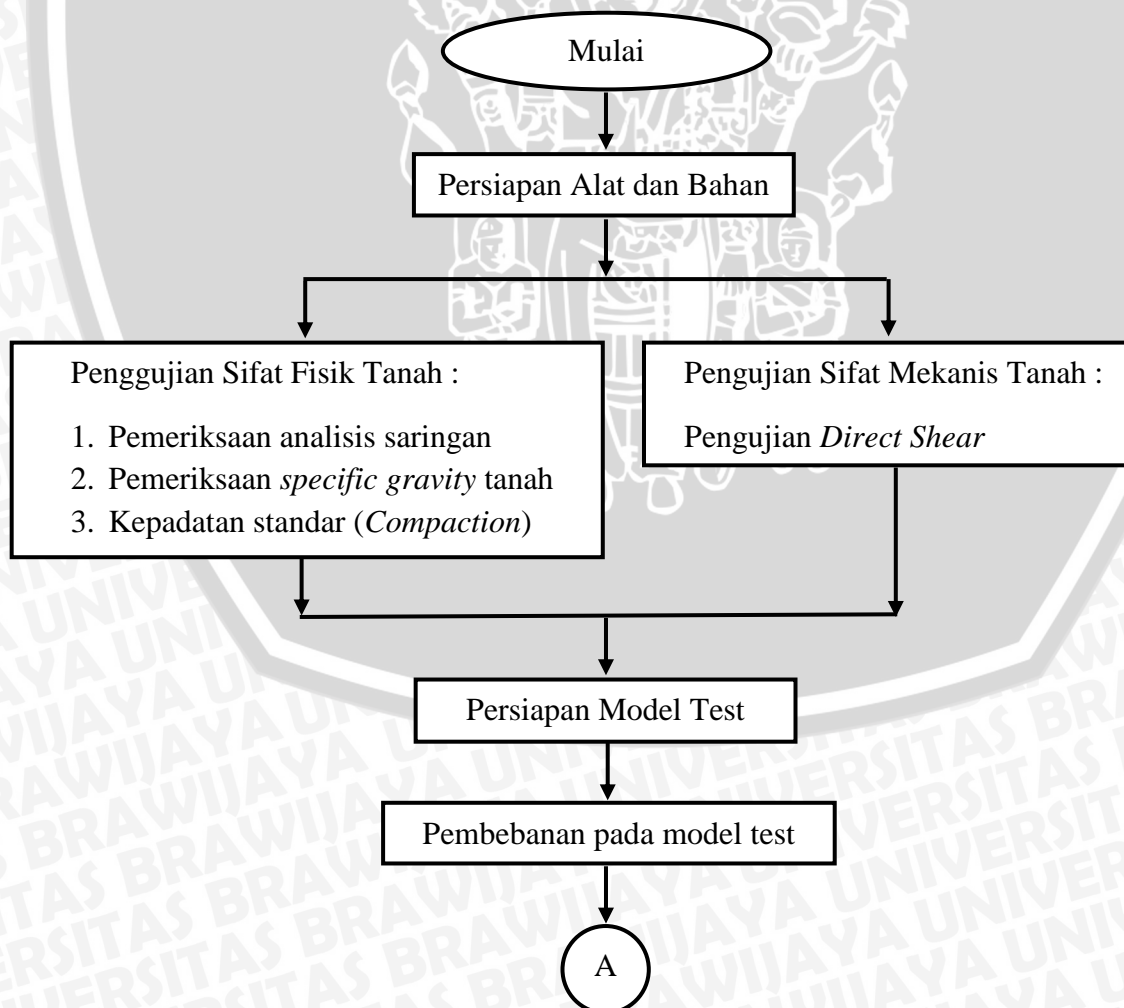
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

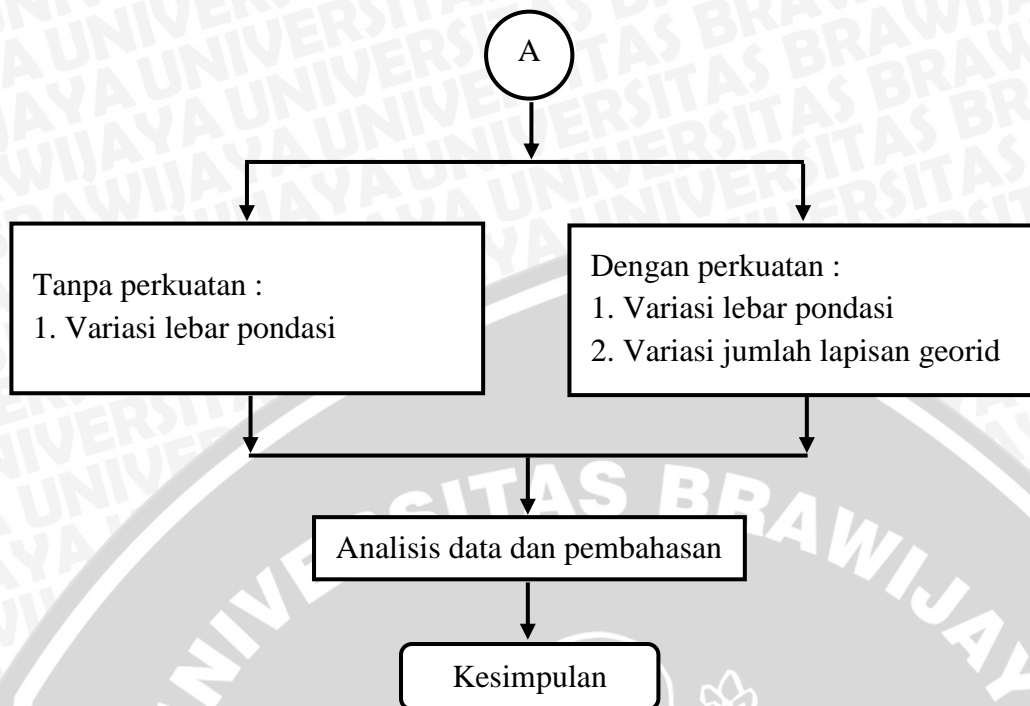
Waktu : November-Desember 2015

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

3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitian

Untuk memudahkan prosedur pelaksanaan penelitian, dibuat sebuah diagram alir pelaksanaan kegiatan sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

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 symbol SP (*Poorly Graded Sand*) berdasarkan Sistem *Unified* (U.S.C.S).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Peralatan untuk analisis saringan
 - Ayakan saringan No.4,10, 20, 40, 60, 100 dan 200
 - Timbangan digital
- b. Peralatan untuk analisis berat jenis tanah
 - Labu ukur
 - Kompor listrik
 - Timbangan digital
 - Termometer
- c. Peralatan uji geser langsung
 - Alat uji geser langsung
 - Ring untuk pengambilan sampel
 - Timbangan digital
- d. Pemeriksaan kepadatan dan pemeriksaan kadar air

- Density ring
- Timbangan digital
- Cawan
- e. Peralatan pemadatan
 - Silinder beton
- f. Peralatan uji pembebanan
 - Dongkrak hidrolik set
 - Balok pembeban
 - Load cell
 - LVDT

3.4. Pengujian Bahan

3.4.1. Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pada tahap awal penelitian ini dilakukan pengujian sifat fisik tanah yang terdiri dari uji analisa saringan (*mechanial grain size*), berat jenis tanah (*spesific gravity*), dan pemadatan (*compaction*). Fungsi dan standar dari uji sifat fisik tanah ditabelkan sebagai berikut

Tabel 3.1 Fungsi dan standar uji fisik tanah

No.	Pengujian	Fungsi	Standar Acuan
1.	Analisa saringan (<i>Mechanical Grain Size</i>)	Mengetahui gradasi dan jenis tanah	ASTM C-136-46
2.	Berat jenis tanah (<i>Spesific Gravity</i>)	Mengetahui nilai berat jenis tanah	ASTM D-854-58
3.	Pemadatan tanah (<i>compaction</i>)	Mendapatkan nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum sebagai acuan dalam pembuatan model lereng	ASTM D-698-70 Metode B

3.4.2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Selanjutnya dilakukan uji sifat mekanis tanah berupa uji *Direct Shear*. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah nilai sudut geser dan kohesi tanah yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan daya dukung secara analitik. Adapun standar acuan yang digunakan adalah ASTM D-3080-82 E.

3.5. Persiapan Model Test

3.5.1. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

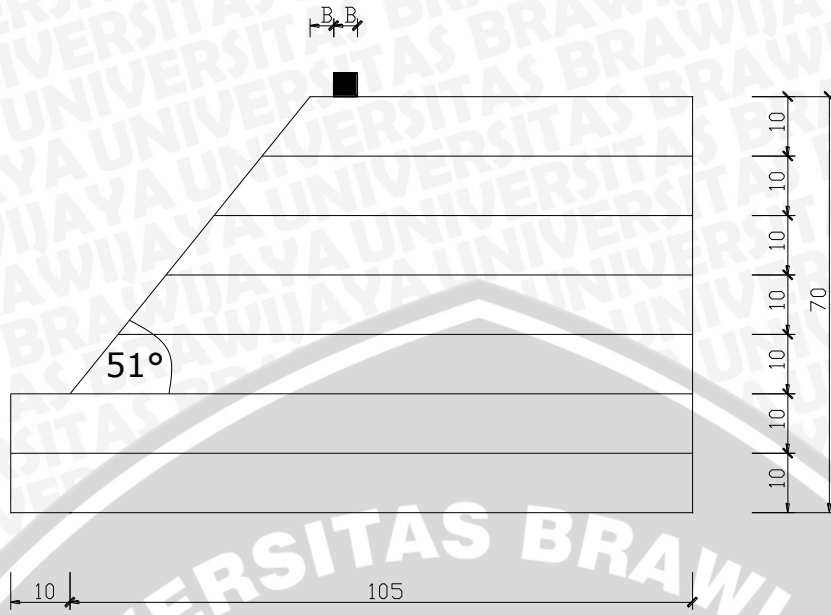
Pada percobaan model lereng yang diberi perkuatan ini akan dibuat 9 buah benda uji dengan 3 variasi jumlah lapisan Geogrid dan 3 variasi lebar pondasi untuk pondasi menerus yang diletakkan di permukaan lereng dengan RC 85%. Jarak ujung pondasi ke tepi lereng serta panjang Geogrid yang digunakan dijaga agar tetap konstan untuk setiap model lereng.

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

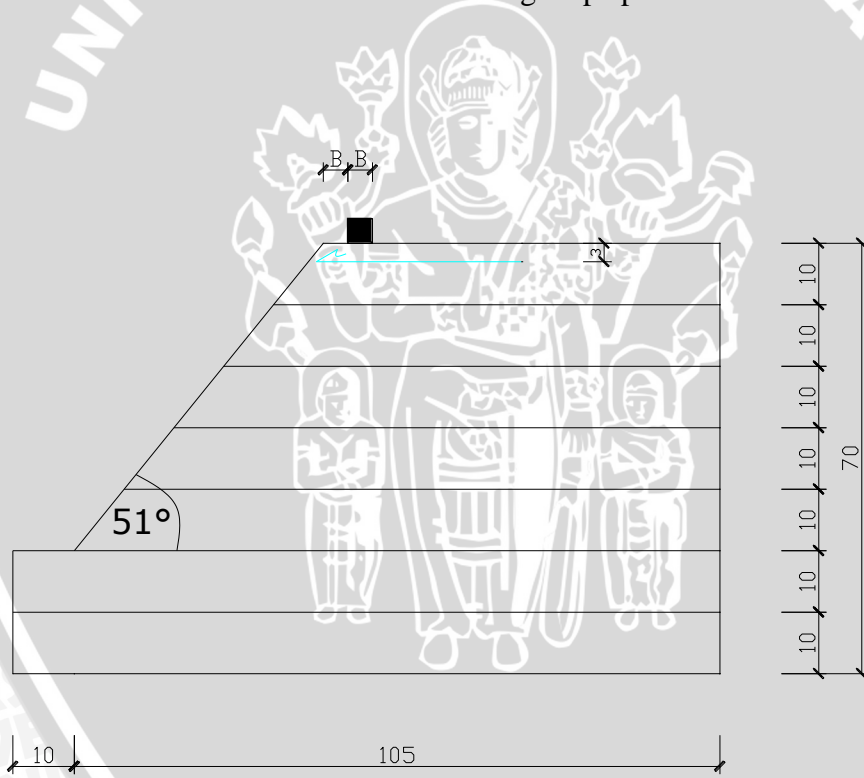
Tabel 3.2 Variasi Perlakuan Variabel

RC = 85%	n		
	1	2	3
Jarak antar Geogrid (S_v) = 3cm Panjang Geogrid (L) = 40 cm Jarak pondasi ke tepi lereng (d) = B Kemiringan Sudut (α) = 51°			
B = 4 cm	v	v	v
B = 6 cm	v	v	v
B = 8 cm	v	v	v

Lereng dibuat dengan tiga variasi jumlah lapisan Geogrid, yaitu 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis dan tiga variasi dimensi lebar pondasi B yaitu 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Penempatan pondasi ketepi lereng senilai B atau senilai dengan lebar pondasi yang dipergunakan. Untuk pemasangan Geogrid digunakan jarak antar Geogrid 3 cm dan panjang Geogrid sebesar L. Perlakuan benda uji akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Ketika terjadi kesalahan pada saat penelitian, akan dilakukan penelitian ulang dengan perlakuan yang sama.

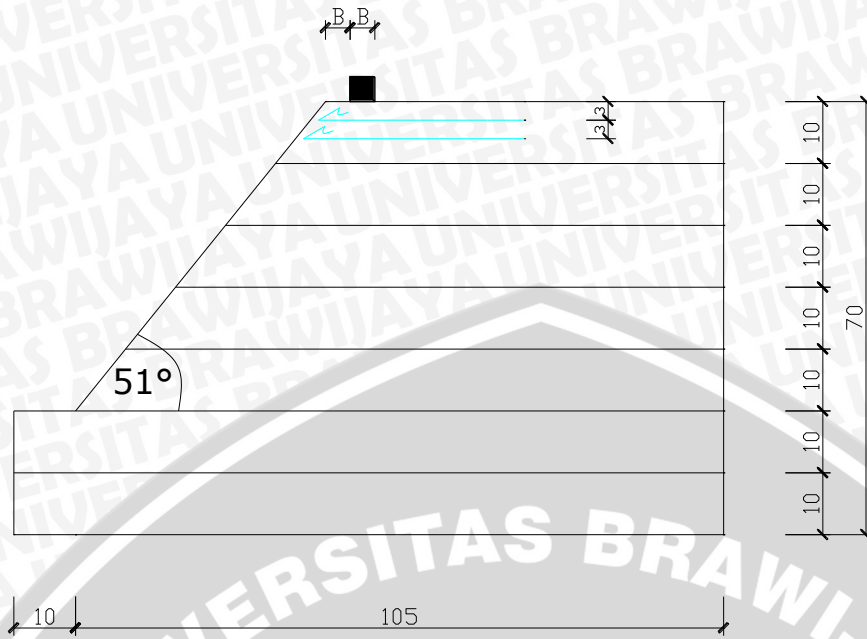


Gambar 3.2 Model Test lereng tanpa perkuatan

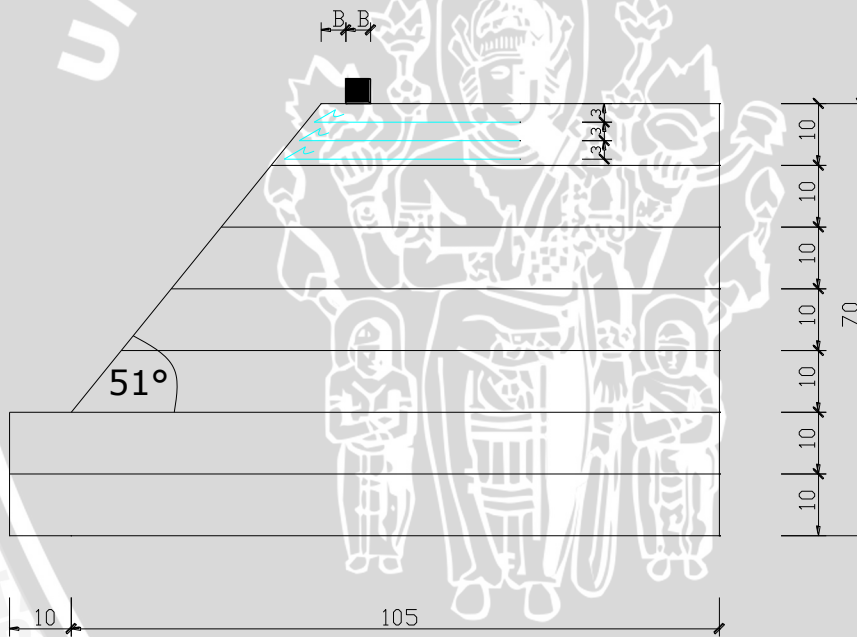


(a)





(b)



(c)

Gambar 3.3 Model *Test* lereng dengan perkuatan : (a) 1 lapisan; (b) 2 lapisan; (c) 3 lapisan

3.5.2. Persiapan Benda Uji

Tanah yang akan digunakan sebagai model lereng diayak terlebih dahulu dengan saringan No. 4 dan yang lolos saringan tersebut digunakan sebagai tanah bentukan lereng. Tanah tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *box* uji dengan volume $100 \times 100 \times 70 \text{ cm} = 700000 \text{ cm}^3 = 24,7 \text{ ft}^3$ yang dibagi dalam beberapa lapisan seperti Gambar 3.3.

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.

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. Dengan digunakannya *fiber glass* diharapkan supaya dapat diamati dan dilihat dari sisi luar saat pelaksanaan. Gambar *box* ditunjukkan pada **Gambar 3.4** berikut ini.



Gambar 3.4 Model box penelitian

3.5.3. Model Test 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 lapis demi lapis ke dalam box kemudian dipadatkan dengan cara digilas menggunakan silinder beton di setiap lapisan sesuai tinggi lapisan. Setiap lapisan dicek dan dikontrol kepadatan serta kadar airnya menggunakan *density ring* dan cawan
3. Tanah didiamkan selama ± 30 menit dengan tujuan agar partikel-partikel tanah dapat melakukan pergeseran untuk mengisi rongga-rongga yang masih dapat diisi.
4. Kemiringan lereng dibuat sesuai sudut yang akan diuji, dalam penelitian ini digunakan sudut kemiringan 51° .

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 menggunakan silinder beton.
3. Perkuatan Geogrid dipasang sesuai dengan letak yang telah dijelaskan pada gambar 3.3.
4. Setelah lapisan Geogrid di hamparkan, ditimbun dengan pasir dan kemudian dijangkarkan lalu ditimbun kembali
5. Dilakukan pemadatan dengan cara menggilas pasir pada model lereng dengan menggunakan silinder beton hingga ketinggian yang diinginkan.
6. Setiap lapisan dicek kadar air dan kepadatannya menggunakan *density ring*.
7. Tanah didiamkan selama ± 30 menit dengan tujuan agar partikel-partikel tanah dapat melakukan pergeseran untuk mengisi rongga-rongga yang masih dapat diisi.
8. Kemiringan lereng dibuat sesuai sudut yang akan diuji, dalam penelitian ini digunakan sudut kemiringan 51° .

3.6. Pengujian Pembebanan

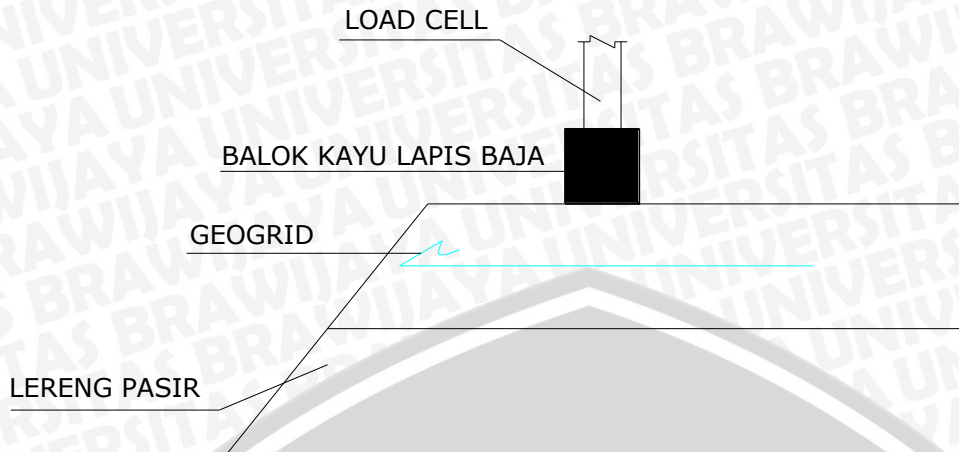
Pembebanan dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi, dalam pembebanan digunakan *load cell*. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan balok kayu yang dilapisi baja pada seluruh permukaannya yang bertindak sebagai pondasi.

Baja profil yang dipasang di bagian bawah balok kayu berfungsi untuk meratakan beban yang dihasilkan pompa hidrolik ke tanah. Pondasi yang digunakan memiliki tiga variasi lebar, yaitu $B=4$ cm, $B=6$ cm, $B=8$ cm, dengan tinggi dan panjang 4×98 cm. Beban yang diberikan diusahakan dapat berupa beban merata pada permukaan atas model lereng.

Adapun langkah-langkah pengujian pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Memasang pondasi menerus yang terbuat dari baja yang didalamnya diisi dengan balok kayu. Pondasi dipasang dengan lebar 4cm, 6cm, 8cm sesuai variasi lebar pondasi yang akan diteliti.
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**.



Gambar 3.5 Contoh Susunan Pembebanan

3.7. 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 tabelberikut ini:

Tabel 3.3 Daya Dukung dan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan

No.	Lebar Pondasi (cm)	Penurunan (mm)	Beban Maksimum (kg)	q_u (kN/cm ²)
1.	4			
2.	6			
3.	8			

Tabel 3.4 Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

No.	Jumlah Lapisan Geogrid	Lebar Pondasi (cm)	Penurunan (mm)	Beban Maksimum (kg)	qu (kN/cm ²)
1.		4			
2.	1	6			
3.		8			
4.		4			
5.	2	6			
6.		8			
7.		4			
8.	3	6			
9.		8			

Tabel 3.5 Daya Dukung dan Penurunan Lereng dengan Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi

No.	Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Lapisan Geogrid	Penurunan (mm)	Beban Maksimum (kg)	qu (kN/cm ²)
1.		1			
2.	4	2			
3.		3			
4.		1			
5.	6	2			
6.		3			
7.		1			
8.	8	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

q₀ = daya dukung tanpa perkuatan

Hasil analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI)* kemudian disajikan dalam **Tabel 3.6.** dan **Tabel 3.7.** berikut ini:

Tabel 3.6 *Bearing Capacity Improvement (BCI)* untuk Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

No.	Jumlah Lapisan Geogrid	Lebar Pondasi (cm)	qu lereng tanpa perkuatan (kN/cm ²)	qu lereng dengan perkuatan (kN/cm ²)	BCI
1.		4			
2.	1	6			
3.		8			
4.		4			
5.	2	6			
6.		8			
7.		4			
8.	3	6			
9.		8			

Tabel 3.7 *Bearing Capacity Improvement (BCI)* untuk Variasi Lebar Pondasi

No.	Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Lapisan Geogrid	qu lereng tanpa perkuatan (kN/cm ²)	qu lereng dengan perkuatan (kN/cm ²)	BCI
1.		1			
2.	4	2			
3.		3			
4.		1			
5.	6	2			
6.		3			
7.		1			
8.	8	2			
9.		3			

3.8. Variabel 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.

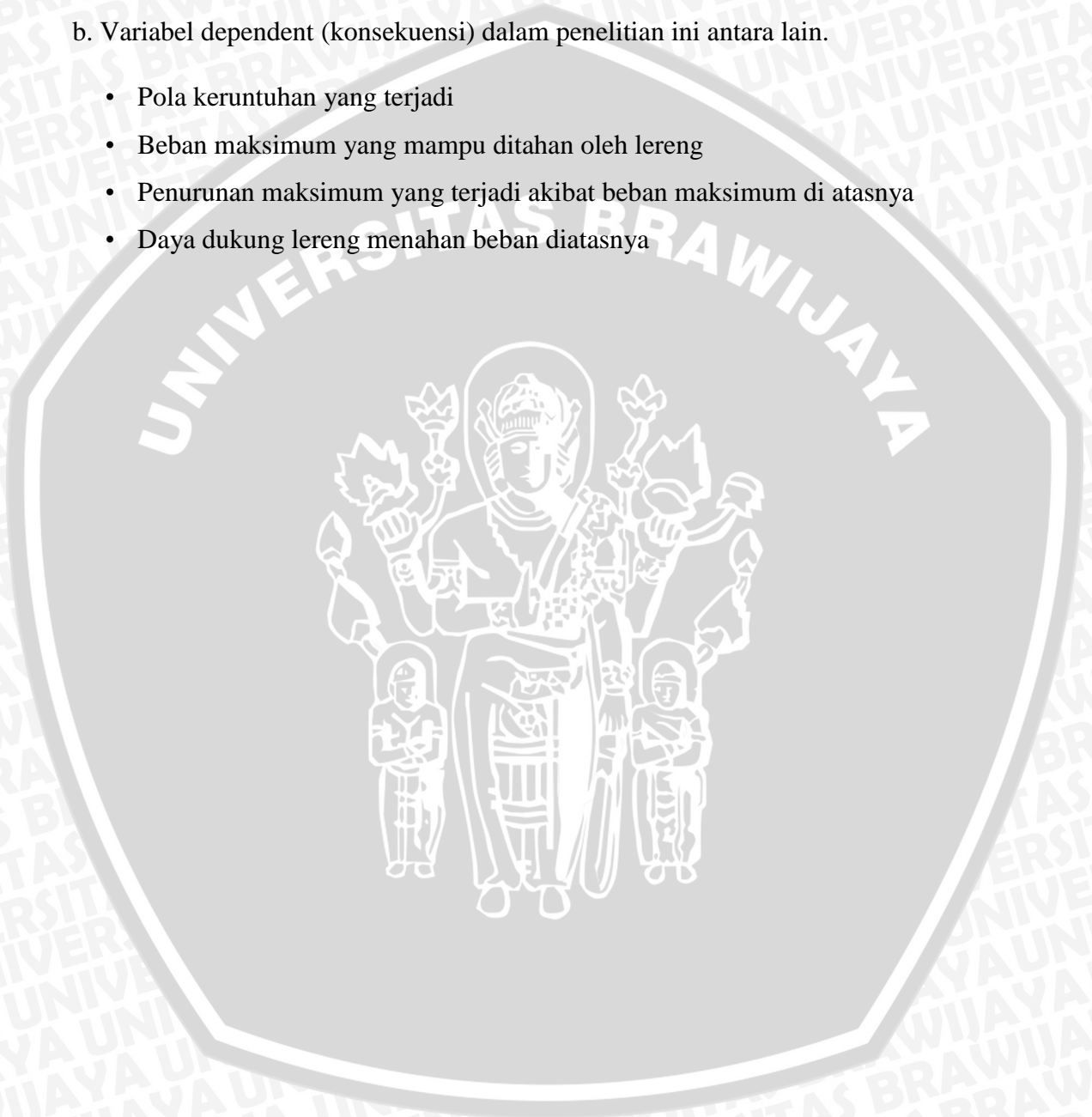
a. Variabel antecedent (bebas) dalam penelitian ini antara lain.

- Kemiringan sudut lereng (51°)
- Dimensi lebar pondasi (4 cm; 6 cm; 8 cm)
- Jarak pondasi ke tepi lereng dengan $d/B=1$. B adalah lebar pondasi
- Pondasi terletak diatas permukaan lereng

- Jumlah lapisan Geogrid ($n = 1, 2, 3$)
- Panjang Geogrid sepanjang bidang runtuh ditambah sepanjang lebar pondasi sebagai penjangkaran
- Jarak vertikal antar lapisan Geogrid $S_v = 3 \text{ cm}$
- Jenis 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 di atasnya



BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Analisis Karakteristik Bahan

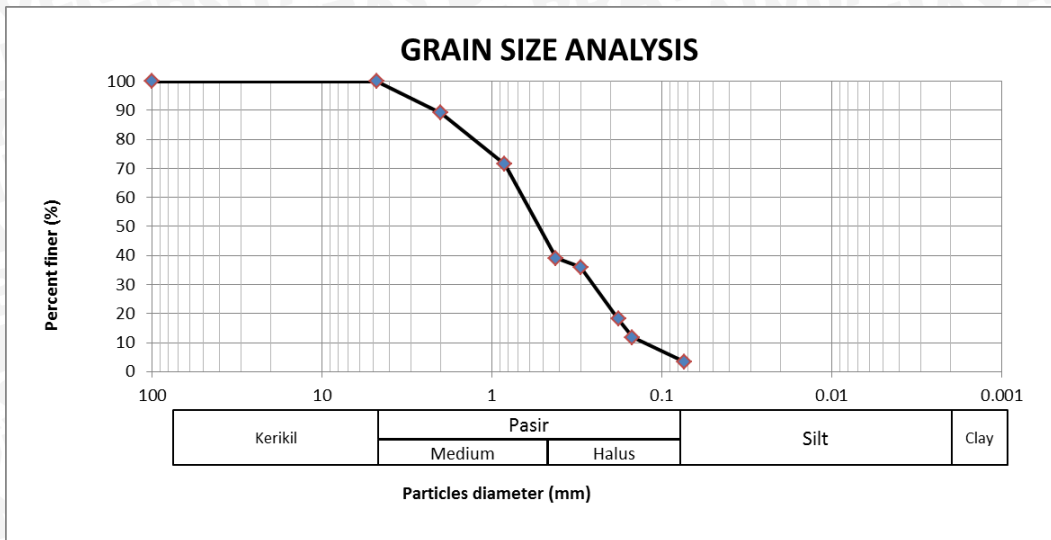
Material dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tanah pasir, pondasi dan Geogrid sebagai bahan perkuatan. Karakteristik material dan bahan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Tanah yang digunakan sebagai model lereng adalah pasir dengan simbol SP (*Poorly Graded Sand*) menurut sistem klasifikasi U.S.C.S.
- b. Pondasi yang digunakan untuk menopang dan meneruskan beban adalah pondasi menerus. Bahan yang digunakan sebagai pondasi adalah balok kayu yang dilapisi baja pada bagian luarnya agar pondasi yang digunakan pada penelitian ini bersifat *rigid* (kaku).
- c. Bahan yang dipakai sebagai perkuatan lereng adalah Geogrid jenis *biaxial*.

4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah

Penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah pengujian sifat fisik dan mekanis tanah. Pertama dilakukan pengujian gradasi butiran tanah, tujuannya adalah menentukan gradasi agregat halus dan agregat kasar tanah pasir yang akan digunakan sebagai *model test* selama penelitian. Pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah menggunakan saringan dengan berbagai ukuran yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh disajikan pada **Gambar 4.1**.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, diperoleh data yang lolos saringan no. 200 kurang dari 50% yaitu sebesar 3,47% serta tidak ada butiran tanah yang tertahan saringan no. 4. Mengacu pada sistem Klasifikasi Unified, tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah berbutir kasar dengan prosentase tanah yang lolos saringan no. 200 kurang dari 50%.



Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian gradasi butiran tanah

Untuk menentukan klasifikasi 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:

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

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

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

$$C_u = \frac{0,65}{0,15} = 4,333 < 6$$

$$C_c = \frac{(0,25)^2}{0,15 \times 0,65} = 0,641$$

Karena nilai C_u kurang dari 6 dan nilai C_c tidak diantara 1 dan 3 maka dapat disimpulkan bahwa jenis pasir tersebut termasuk dalam klasifikasi *Poorly Graded Sand* dengan simbol SP.

4.1.2. Analisis Spesific Gravity

Pengujian dasar selanjutnya adalah *Specific Gravity*, yang mana merupakan perbandingan berat butir tanah dengan berat air suling pada suhu yang sama dan volume tertentu. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan *Specific Gravity* yang mempunyai butiran lolos saringan no. 4 dengan menggunakan alat berupa labu ukur (picnometer). Percobaan dilakukan dengan cara memanaskan labu ukur yang berisi tanah dan air sampai mendidih lalu diukur suhu dan beratnya. Pengukuran suhu dan berat dilakukan terus-menerus sampai mencapai suhu ruangan.

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 Graviy

Ws = berat tanah kering

W1 = berat labu ukur + air + tanah

W2 = berat labu ukur + air

Hasil perhitungan disajikan dalam **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 *Specific Gravity* Tanah Rata-Rata

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

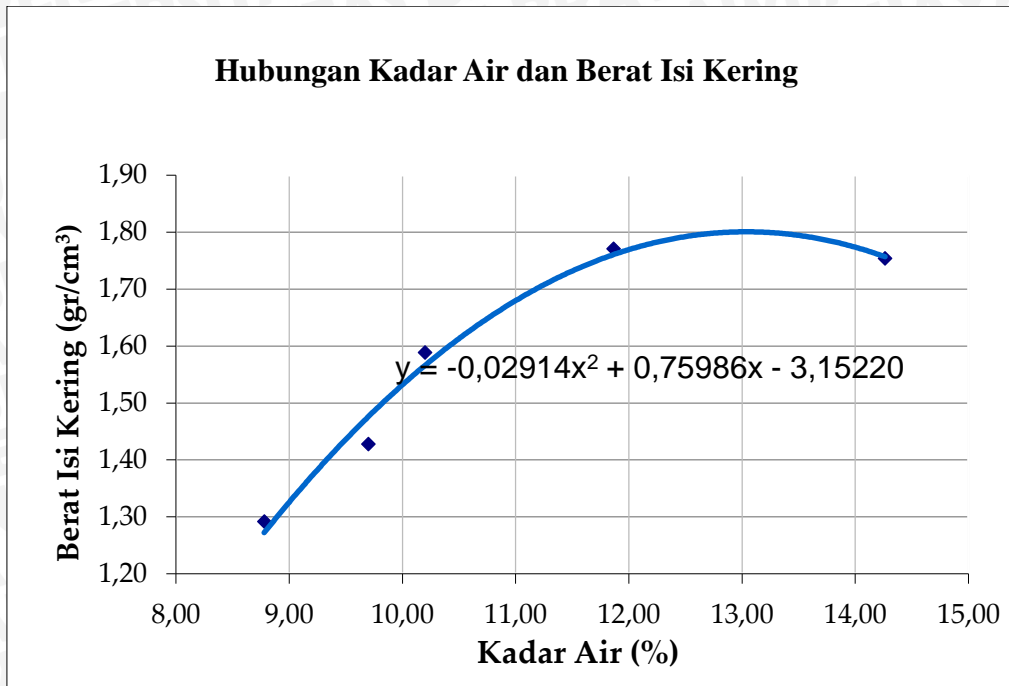
4.1.3. Analisis Kepadatan Tanah (*Compaction*)

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, sehingga dapat diketahui nilai kepadatan maksimum dan nilai kadar air optimum. Percobaan ini dilakukan dengan memadatkan tanah didalam mould yang berdiameter 15,5 cm dengan menggunakan proktor standar dengan berat 2,5 kg. Tinggi jatuh untuk pemadatan standar adalah sebesar 45,7 cm (18 inch). Jumlah tumbukan tiap lapisan sebanyak 56 kali. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai berat isi kering (γ_{lab}) sebesar 1,801 gr/cm³ dengan kadar air optimum sebesar 13,038%. Grafik hasil pengujian tersebut disajikan dalam **Gambar 4.2**.

4.1.3.2. Kepadatan Tanah Model

Dalam penelitian ini, digunakan istilah kepadatan tanah model karena pada saat percobaan dalam model sangat sulit didapatkan kepadatan maksimum seperti halnya pada percobaan di laboratorium. Untuk menentukan berat isi kering pada model (γ_{lap}), digunakan *density ring*. Perbandingan berat isi kering tanah model (γ_{lap}) dengan berat isi kering yang diperoleh dari 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%.

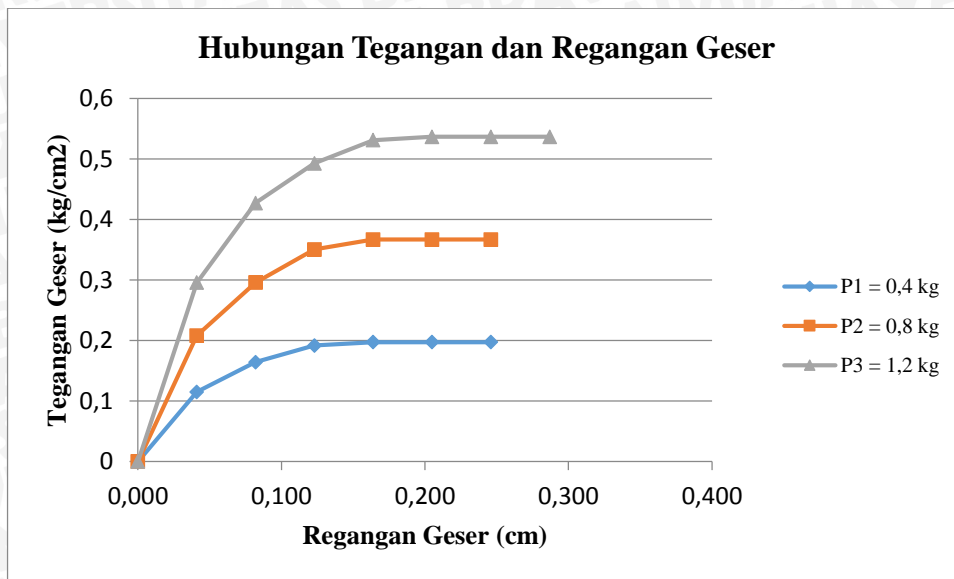


Gambar 4.2 Grafik Pemadatan Standar

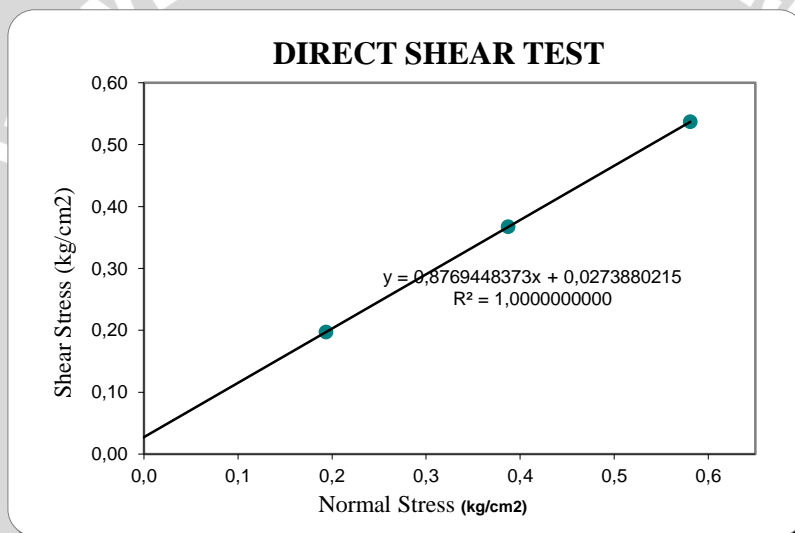
Untuk membuat model lereng, tanah akan dibagi menjadi 7 (tujuh) lapisan dengan tinggi masing-masing lapisan 10 cm. Pemadatan tanah model dilakukan pada tiap lapisan dengan cara menggilas tanah dengan menggunakan beton silinder dengan berat 11,28 kg dengan tinggi silinder beton 30 cm. Jumlah gelindingan 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 serta nilai kadar air.

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

Pengujian sifat mekanis tanah dilakukan dengan percobaan *Direct Shear*. Pengujian kuat geser langsung ini dimaksudkan untuk menentukan parameter kekuatan geser tanah yaitu nilai kohesi tanah (c) serta nilai sudut geser dalam tanah (ϕ). Hasil dari pengujian ini disajikan dalam grafik hubungan antara tahanan 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 $\phi = 41,25$ serta nilai kohesi tanah sebesar $c = 0,027$. Grafik hasil pengujian *Direct Shear* disajikan pada **Gambar 4.3**.



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Grafik Hubungan Antara Tegangan Geser dan Regangan Geser
(b) Grafik Hubungan Antara Tegangan Geser dan Tegangan Normal

4.2. Pengujian Model Test

Pengujian *model test* dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan, yakni pasir, pondasi dan Geogrid. Pasir yang telah diatur kadar airnya sesuai kadar air rencana untuk RC 85 % dalam jumlah tertentu dimasukkan dalam box pengujian berukuran 115 cm x 100 cm x 70 cm. Pasir yang dimasukkan dibagi menjadi tujuh lapisan dengan tinggi tiap lapis 10 cm. Setiap lapisan dipadatkan dengan cara menggelindingkan beton silinder dengan kontrol volume sampai mencapai tinggi rencana setiap lapisannya. Pemeriksaan kepadatan dan kadar air dilakukan di setiap lapisan menggunakan *density ring*.

Setelah tinggi tanah model tercapai, yaitu 70 cm, tanah kemudian dibiarkan selama \pm 30 menit agar tanah dapat melakukan pergeseran rongga-rongga yang masih dapat diisi. Selanjutnya tanah dipotong membentuk lereng sesuai kemiringan sudut yang akan diuji yaitu 51° . Setelah lereng terbentuk, pondasi diletakkan sesuai dengan variasi lebar pondasi yang ditentukan, yaitu $B = 4$ cm, $B = 6$ cm, dan $B = 8$ cm. Selanjutnya, pada sisi kanan dan kiri pondasi dipasang 2 *channel* LVDT untuk dibaca penurunan yang akan terjadi. Setelah semua persiapan sudah dilakukan dan lereng sudah siap diuji, beban diberikan menggunakan *Hidraulic Jack* melalui *Load Cell* setiap kelipatan 5 kg sampai lereng mengalami keruntuhan dan tidak mampu menahan beban yang diberikan. Penurunan pondasi dicatat setiap beban kelipatan 5 kg.

4.3. Hasil Pengujian *Model Test*

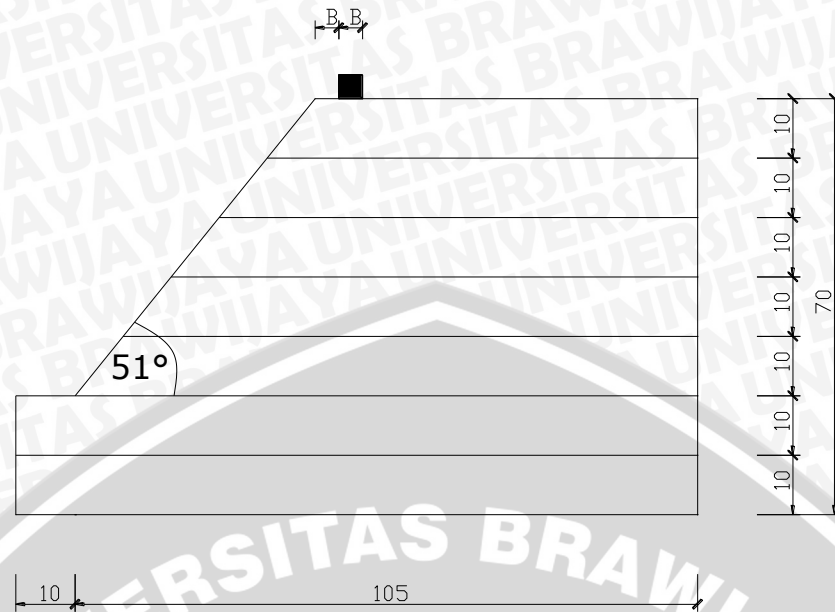
4.3.1. Model Lereng Tanpa Perkuatan

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi terhadap nilai daya dukung tanah lereng. Guna mengetahui peningkatan kekuatan tanah yang diberi perkuatan, harus ada nilai pembandingnya, yakni kekuatan lereng tanpa perkuatan. Oleh karena itu, pertama-tama dilakukan pengujian lereng tanpa perkuatan. Dalam pengujian ini, jarak pondasi dari tepi lereng dan kepadatan tanah dijaga konstan sedangkan lebar pondasi dibuat bervariasi, yaitu $B=4,6,8$ cm. *Model test* untuk pengujian lereng tanpa perkuatan ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Untuk pemodelan lereng tanpa perkuatan dilakukan pengujian terhadap tiga *model test* lereng berdasarkan dengan matriks pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Tabel Matriks untuk Lereng Tanpa Perkuatan

RC 85%	$\alpha = 51^\circ$
Jarak pondasi ke tepi lereng $d = B$	
$B = 4$ cm	√
$B = 6$ cm	√
$B = 8$ cm	√

Contoh *model test* untuk lereng tanpa perkuatan dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $B = 4$ cm dan $d/B = 1$

4.3.1.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada pemodelan lereng tanpa perkuatan, diperoleh nilai kadar air dan berat isi kering yang didapatkan dengan menggunakan *density ring*. Setiap layer *model test* diambil sampelnya menggunakan *density ring* untuk dilakukan pemeriksaan kadar airnya. Nilai kepadatan dan berat isi kering tersebut merupakan rata-rata nilai yang didapatkan dari setiap layer masing-masing *model test* lereng yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Lereng Tanpa Perkuatan

No.	Konstanta	Variabel	Berat isi kering (gr/cm ³)	Kadar air (%)
1	$\alpha = 51^\circ$ $d/B=1$	B = 4 cm	1,502	11,49
2		B = 6 cm	1,536	11,65
3		B = 8 cm	1,546	10,62

4.3.2. Model Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

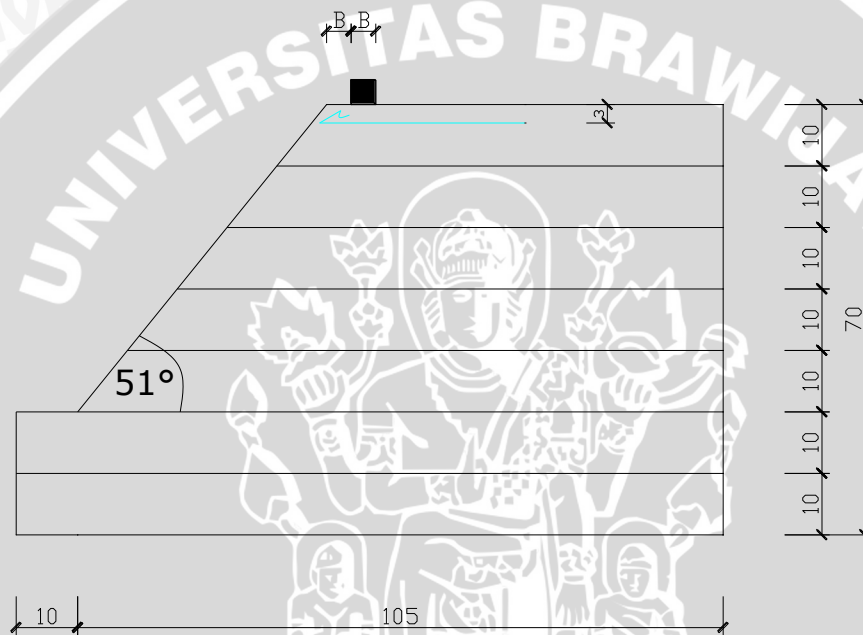
Selanjutnya untuk pengujian lereng dengan perkuatan dilakukan terhadap sembilan model lereng sesuai matriks pada **Tabel 4.4**



Tabel 4.4 Tabel Matriks untuk Lereng Menggunakan Perkuatan

RC = 85% $\alpha = 51^\circ$	Jumlah Lapis Perkuatan		
	n = 1	n = 2	n = 3
B = 4 cm	√	√	√
B = 6 cm	√	√	√
B = 8 cm	√	√	√

Contoh pemodelan untuk lereng dengan perkuatan Geogrid dapat dilihat pada

Gambar 4.5

Gambar 4.5 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; B = 4 cm; d/B = 1 dan jumlah lapisan n = 1

4.3.1.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada pemodelan lereng tanpa perkuatan, diperoleh nilai kadar air dan berat isi kering yang didapatkan dengan menggunakan *density ring*. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menjaga agar kepadatan tanah model tetap konstan sesuai perencanaan. Setiap layer *model test* diambil sampelnya menggunakan *density ring* untuk dilakukan pemeriksaan kadar airnya. Nilai kepadatan dan berat isi kering tersebut merupakan rata-rata nilai yang didapatkan dari setiap layer masing-masing *model test* lereng yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5**.

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

No.	Konstanta	Variabel	Berat isi kering (gr/cm ³)	Kadar Air (%)
1		B = 4 cm; n = 1	1,528	9,99
2		B = 4 cm; n = 2	1,529	10,48
3		B = 4 cm; n = 3	1,54	10,66
4	$\alpha = 51^\circ$ $d/B = 1$	B = 6 cm; n = 1	1,537	10,62
5		B = 6 cm; n = 2	1,554	10,88
6		B = 6 cm; n = 3	1,543	10,89
7		B = 8 cm; n = 1	1,536	10,13
8		B = 8 cm; n = 2	1,525	10,3
9		B = 8 cm; n = 3	1,542	10,34

4.4. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir RC 85%

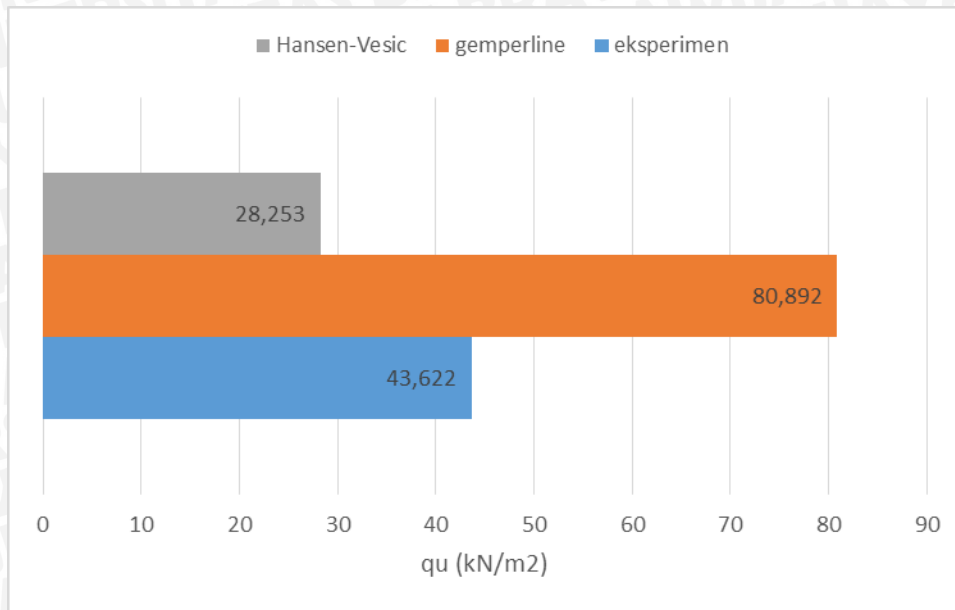
4.4.1. Lereng Tanpa Perkuatan

4.4.1.1. Metode Analitik

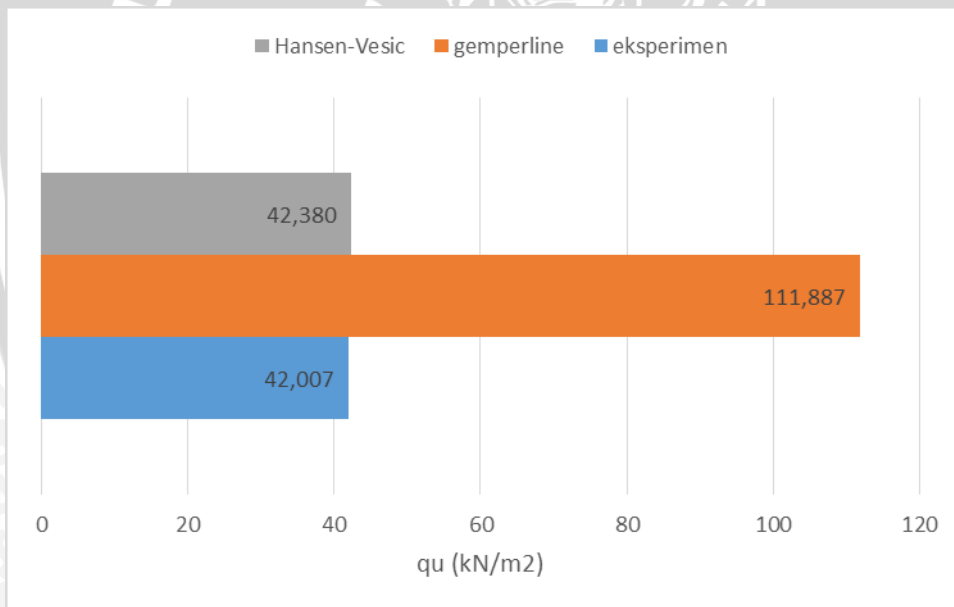
Untuk memperkirakan nilai daya dukung suatu lereng tanpa perkuatan, selain menggunakan pengujian fisik dapat pula digunakan metode analitik. Terdapat beberapa pendekatan numerik yang dapat digunakan, pada penelitian ini metode perhitungan yang digunakan adalah metode Gempertine dan Hansen-Vesic. Dengan memasukkan variabel-variabel yang sudah ada sesuai rumus yang sudah dijelaskan pada bab 2, hasil perhitungan ditampilkan dalam **Tabel 4.6** berikut. Nilai daya dukung hasil perhitungan tersebut nantinya akan dibandingkan dengan nilai daya dukung yang didapat dari pengujian eksperimental. Nilai tersebut hanya sekedar perbandingan untuk mengetahui keakuratan perhitungan. Grafik perbandingan nilai daya dukung masing-masing metode ditampilkan pada **Gambar 4.6; 4.7; dan 4.8**.

Tabel 4.6 Nilai Daya Dukung Analitik untuk Lereng Tanpa Perkuatan

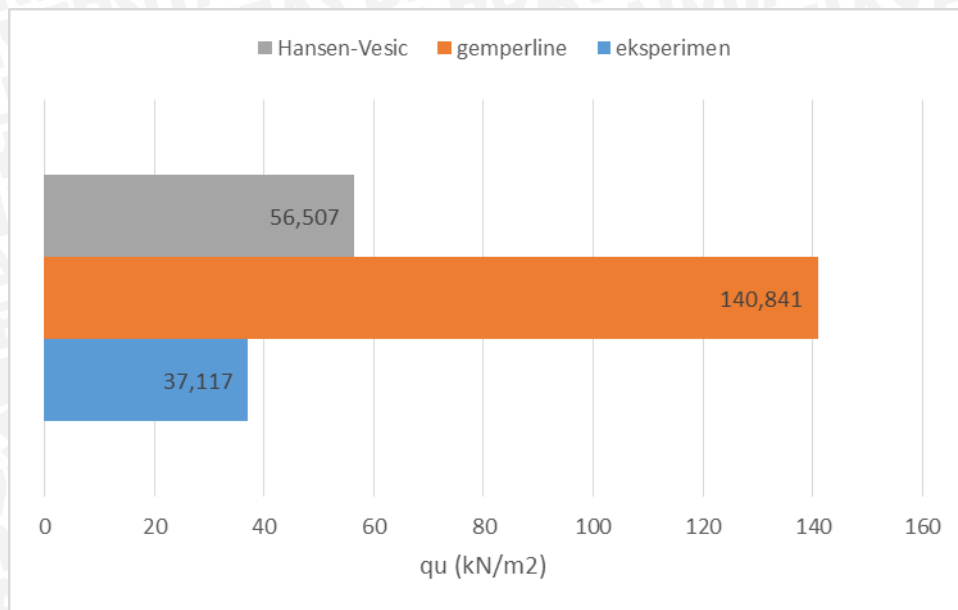
Metode	qu (kN/m ²)		
	B = 4 cm	B = 6 cm	B = 8 cm
Eksperimen	43,622	42,007	37,117
Gempertine	80,892	111,887	140,841
Hansen-Vesic	28,253	42,38	56,507



Gambar 4.6 Perbandingan Nilai Daya Dukung untuk Lereng Tanpa Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $D/B = 1$; $B = 4$ cm



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Daya Dukung untuk Lereng Tanpa Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $D/B = 1$; $B = 6$ cm



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Daya Dukung Untuk Lereng Tanpa Perkuatan dengan $\alpha = 51^\circ$; $D/B = 1$; $B = 8$ cm

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa hasil perhitungan nilai daya dukung dengan metode Gemperline menunjukkan nilai yang sangat besar dibandingkan dengan menggunakan metode Hansen-Vesic yang hasilnya mendekati nilai pengujian fisik lereng pasir. Dalam kasus ini, dapat diketahui bahwa nilai sudut geser tanah sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah dengan metode analitik. Semakin besar nilai sudut geser tanah, nilai daya dukungnya akan semakin meningkat, sedangkan nilai sudut geser tanah di lapangan kebanyakan cenderung tinggi (sekitar 40°). Oleh karena itu, pengujian secara eksperimental perlu dilakukan untuk mengetahui perilaku tanah dalam memberikan daya dukung terhadap beban di atasnya.

4.4.1.2. Metode Eksperimen

Pengukuran kompresibilitas pasir di laboratorium maupun di lapangan sangat sulit dilakukan, karena pengambilan contoh pasir dengan tetap mempertahankan kondisi aslinya di lapangan umumnya tidak mungkin. Untuk itu, pengukuran penurunan pada tanah pasir umumnya dilakukan dengan cara empiris di laboratorium. Dengan percobaan pemodelan fisik tersebut, dapat diketahui perilaku keruntuhan lereng terhadap beban yang diberikan. Dari pengujian pembebanan yang sudah dilakukan pada lereng tanpa perkuatan, hasil pengujian daya dukung yang diperoleh dengan melakukan eksperimen disajikan dalam **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4.7 Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen untuk Lereng Tanpa Perkuatan

Variabel	Beban Runtuh (kg)	qu (kg/cm ²)	qu (kN/m ²)
$\alpha = 51^\circ$; d/B = 1; B = 4 cm	171	0,436	43,622
$\alpha = 51^\circ$; d/B = 1; B = 6 cm	247	0,420	42,007
$\alpha = 51^\circ$; d/B = 1; B = 8 cm	291	0,371	37,117

4.4.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

Serangkaian pengujian telah dilakukan terhadap model lereng menggunakan perkuatan Geogrid untuk mengetahui nilai daya dukungnya. Panjang Geogrid dan jarak ujung pondasi terhadap tepi lereng dijaga konstan sedangkan jumlah lapis perkuatan Geogrid dan lebar pondasi dibuat bervariasi sesuai matrix penelitian. Pada pengujian yang dilakukan terhadap *model test* lereng dengan perkuatan Geogrid dengan variasi lebar pondasi terhadap jumlah perkuatan didapatkan nilai daya dukung yang disajikan **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9**.

Tabel 4.8 Nilai Daya Dukung Berdasarkan Eksperimen Untuk Lereng Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi (B)

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi	Beban Runtuh (kg)	qu (kg/cm ²)	qu (kN/cm ²)
n=1	B = 4 cm	230	0,587	58,673
	B = 6 cm	300	0,510	51,020
	B = 8 cm	345	0,440	44,005
n=2	B = 4 cm	388	0,990	98,980
	B = 6 cm	505	0,859	85,884
	B = 8 cm	577	0,736	73,597
n=3	B = 4 cm	585	1,492	149,235
	B = 6 cm	650	1,105	110,544
	B = 8 cm	745	0,950	95,026

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

Lebar Pondasi	Jumlah Perkuatan	Beban Runtuh (kg)	qu (kg/cm ²)	qu (kN/cm ²)
B = 4 cm	n=1	230	0,587	58,673
	n=2	388	0,990	98,980
	n=3	585	1,492	149,235
B = 6 cm	n=1	300	0,510	51,020
	n=2	505	0,859	85,884
	n=3	650	1,105	110,544
B = 8 cm	n=1	345	0,440	44,005
	n=2	577	0,736	73,597
	n=3	745	0,950	95,026

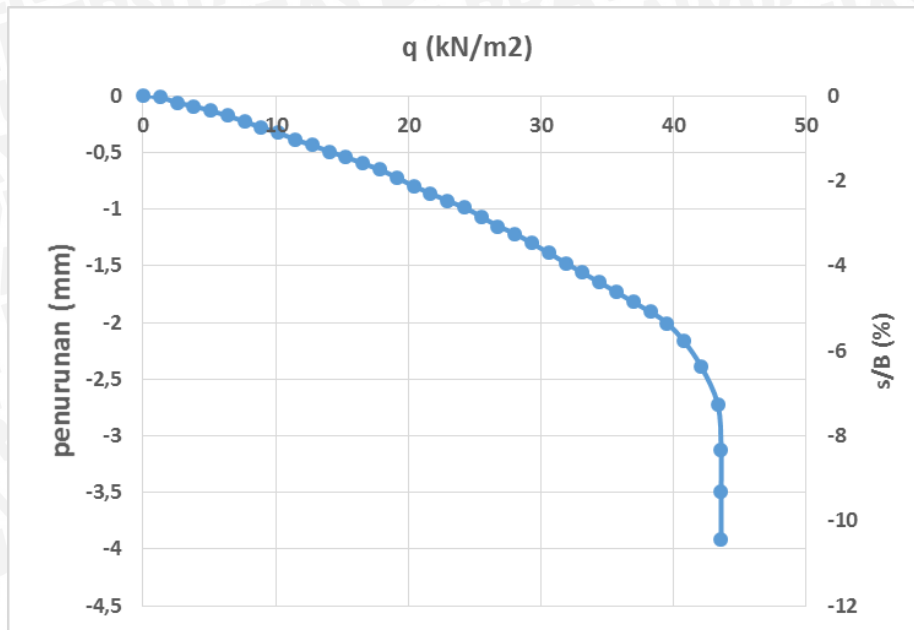
4.5. Analisis Penurunan Tanah Pasir RC 85%

4.5.1. Lereng Tanpa Perkuatan

4.5.1.1. Variasi Lebar Pondasi

4.5.1.1.1. Lebar Pondasi B = 4 cm

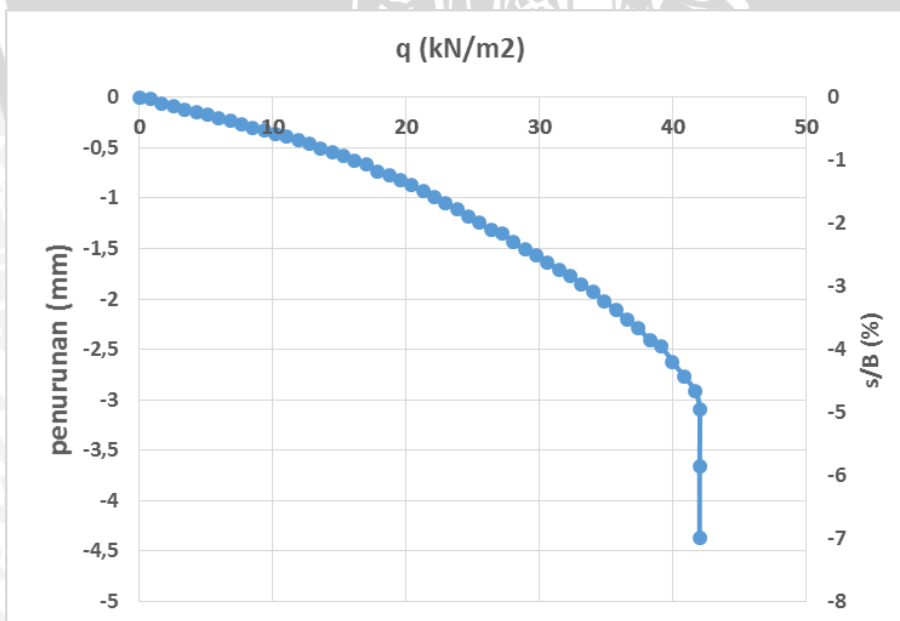
Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng tanpa perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan untuk *model test* lereng tanpa perkuatan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. Grafik tersebut menunjukkan penurunan yang terjadi pada pasir di bawah pondasi akibat beban yang diberikan. Ujung grafik menunjukkan nilai batas keruntuhan lereng, yaitu apabila pada beban yang sama penurunan terus terjadi hingga tidak dapat lagi ditambah beban.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lebar Pondasi $B = 4$ cm

4.5.1.1.2. Lebar Pondasi $B = 6$ cm

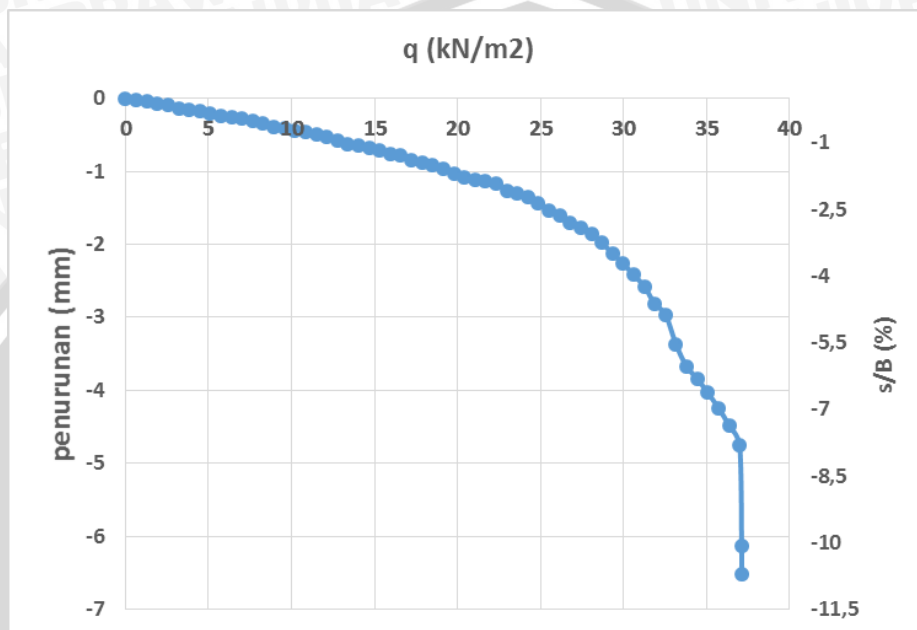
Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng tanpa perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan untuk *model test* lereng tanpa perkuatan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.10** berikut.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lebar Pondasi $B = 6$ cm

4.5.1.1.3. Lebar Pondasi B = 8 cm

Berdasarkan pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng tanpa perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan untuk *model test* lereng tanpa perkuatan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.

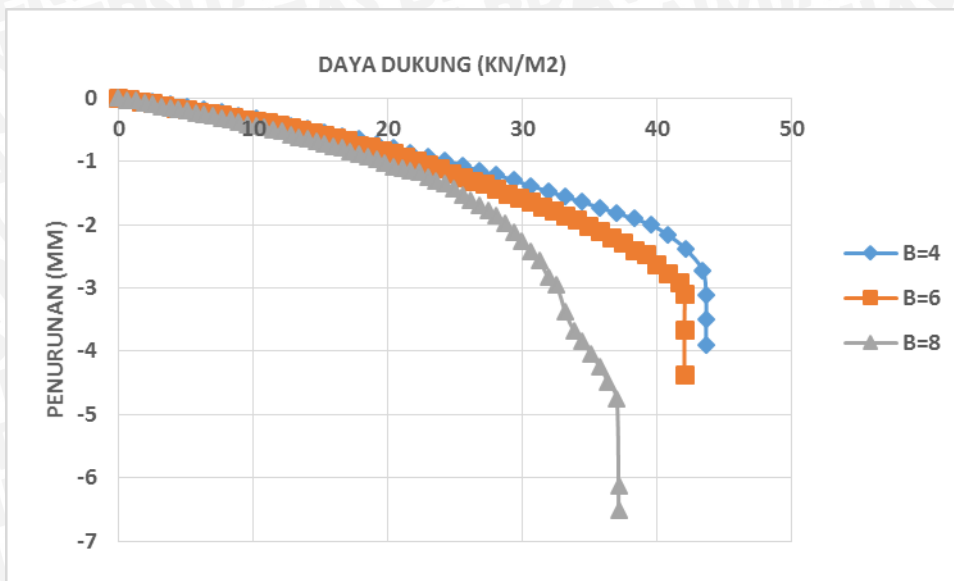


Gambar 4.11 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Lebar Pondasi B = 8 cm

4.5.1.2. Perbandingan Penurunan Lereng Tanpa Perkuatan

Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng tanpa perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Besar penurunan serta daya dukung untuk setiap variasi lebar pondasi disajikan dalam sebuah grafik. Grafik tersebut menggambarkan perbedaan antara kurva daya dukung-penurunan untuk variasi lebar pondasi. Dari perbedaan nilai daya dukung dan penurunan tersebut tersebut akan dapat diketahui bagaimana pengaruh lebar pondasi terhadap perilaku lereng tanpa perkuatan.

Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi lebar pondasi untuk *model test* lereng tanpa perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan q_u dan Penurunan Tanah Pada Lereng Tanpa Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi

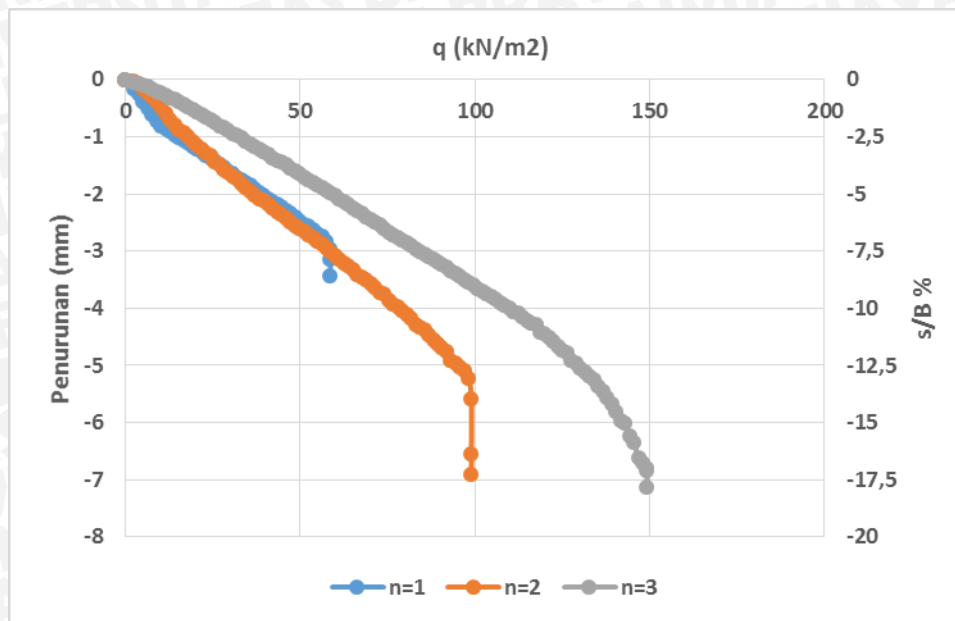
Menurut grafik perbandingan nilai penurunan tersebut, dapat dilihat bahwa besar penurunan yang terjadi untuk setiap peningkatan variabel lebar pondasi adalah cenderung meningkat. Nilai tersebut masing-masing adalah: untuk lebar pondasi $B=4$ nilai penurunan adalah 3,91 mm, $B=6$ adalah 4,37 mm, $B=8$ adalah 6,515 mm. Untuk nilai penurunan yang sama, grafik di atas mengindikasikan adanya penurunan nilai daya dukung untuk setiap peningkatan nilai lebar pondasi.

4.5.2. Lereng Dengan Perkuatan Geogrid

4.5.2.1. Variasi Jumlah Lapisan Geogrid Terhadap Lebar Pondasi

4.5.2.1.1. Lebar Pondasi $B = 4$ cm

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi jumlah lapisan Geogrid untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.

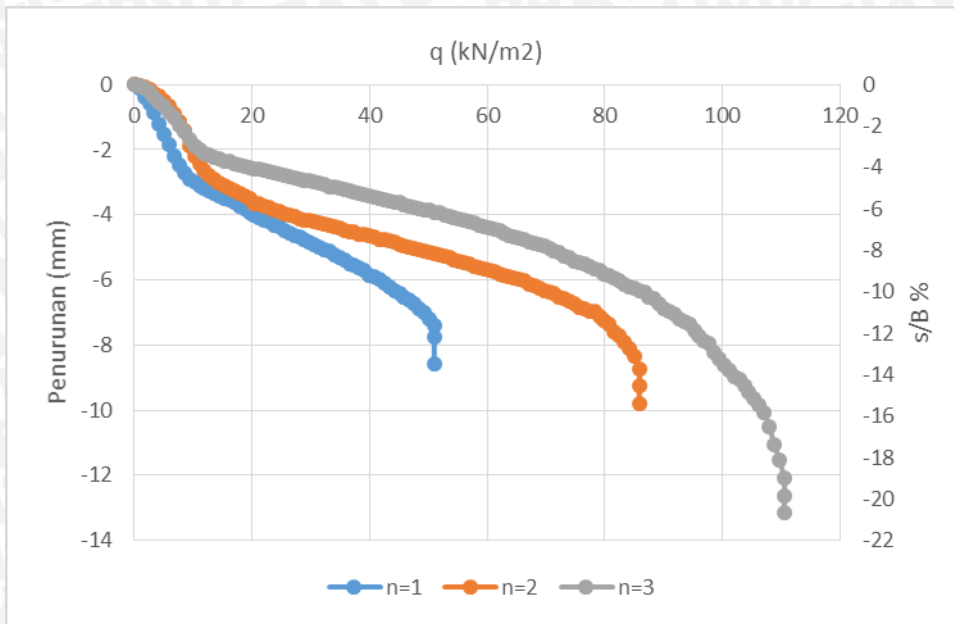


Gambar 4.13 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan terhadap Lebar Pondasi $B = 4$ cm

Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap penambahan jumlah lapis perkuatan adalah semakin besar. Masing-masing penurunan maksimum yang terjadi saat keruntuhan lereng terjadi untuk jumlah lapisan $n=1$ adalah sebesar 4,567 mm, $n=2$ adalah 6,9 mm, $n=3$ adalah 7,13 mm. Untuk nilai penurunan yang sama, grafik di atas mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan jumlah lapisan perkuatan menghasilkan peningkatan nilai daya dukung model lereng.

4.5.2.1.2. Lebar Pondasi $B = 6$ cm

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi jumlah lapisan Geogrid untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.14**.

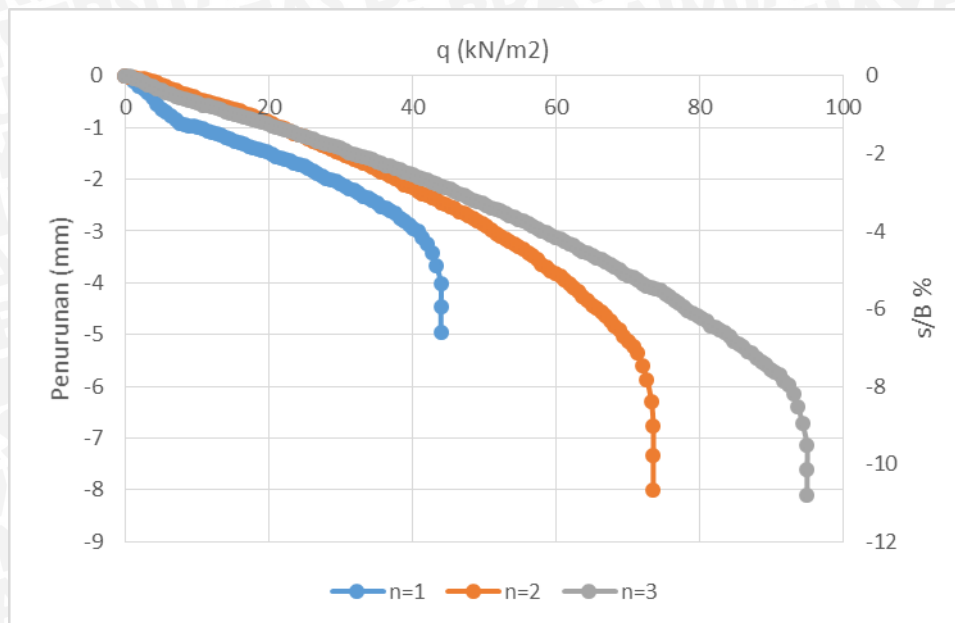


Gambar 4.14 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan terhadap Lebar Pondasi $B = 6$ cm

Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap pertambahan jumlah lapis perkuatan adalah semakin besar. Masing-masing penurunan yang terjadi untuk jumlah lapisan $n=1$ adalah sebesar 8,595 mm, $n=2$ adalah 9,81 mm, $n=3$ adalah 12,445 mm. Untuk nilai penurunan yang sama, grafik di atas mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan jumlah lapisan perkuatan menghasilkan peningkatan nilai daya dukung model lereng.

4.5.2.1.3. Lebar Pondasi $B = 8$ cm

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi jumlah lapisan Geogrid untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.15**.



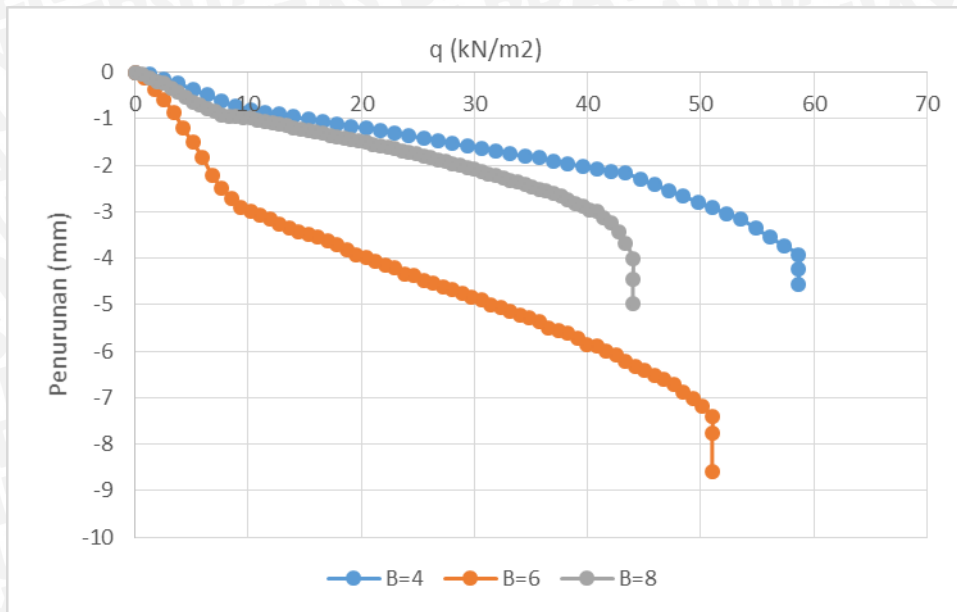
Gambar 4.15 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Jumlah Lapisan terhadap Lebar Pondasi $B = 6$ cm

Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap pertambahan jumlah lapis perkuatan adalah semakin besar. Masing-masing penurunan yang terjadi untuk jumlah lapisan $n=1$ adalah sebesar 4,965 mm, $n=2$ adalah 8,01 mm, $n=3$ adalah 8,095 mm. Untuk nilai penurunan yang sama, grafik di atas mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan jumlah lapisan perkuatan menghasilkan peningkatan nilai daya dukung model lereng.

4.5.2.2. Variasi Lebar Pondasi Terhadap Jumlah Lapisan Geogrid

4.5.2.2.1. Jumlah Lapisan $n = 1$

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi lebar pondasi untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.16**.

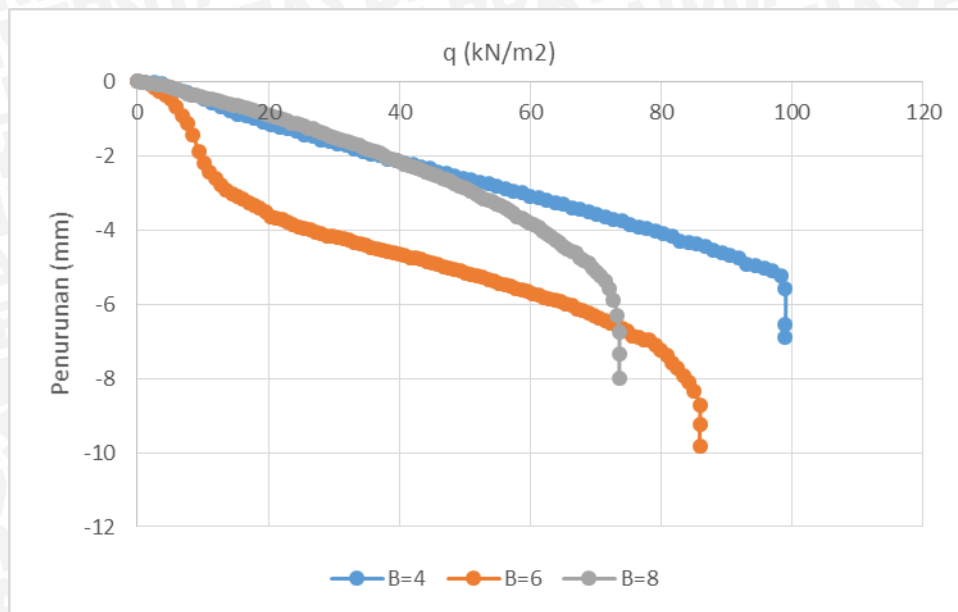


Gambar 4.16 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid $n=1$

Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap peningkatan nilai variabel lebar pondasi cenderung semakin besar. Masing-masing penurunan yang terjadi untuk lebar pondasi $B=4$ adalah sebesar 4,567 mm, $B=6$ adalah 8,595 mm, $B=8$ adalah 4,965 mm.

4.5.2.2.2. Jumlah Lapisan $n = 2$

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi lebar pondasi untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.17**.

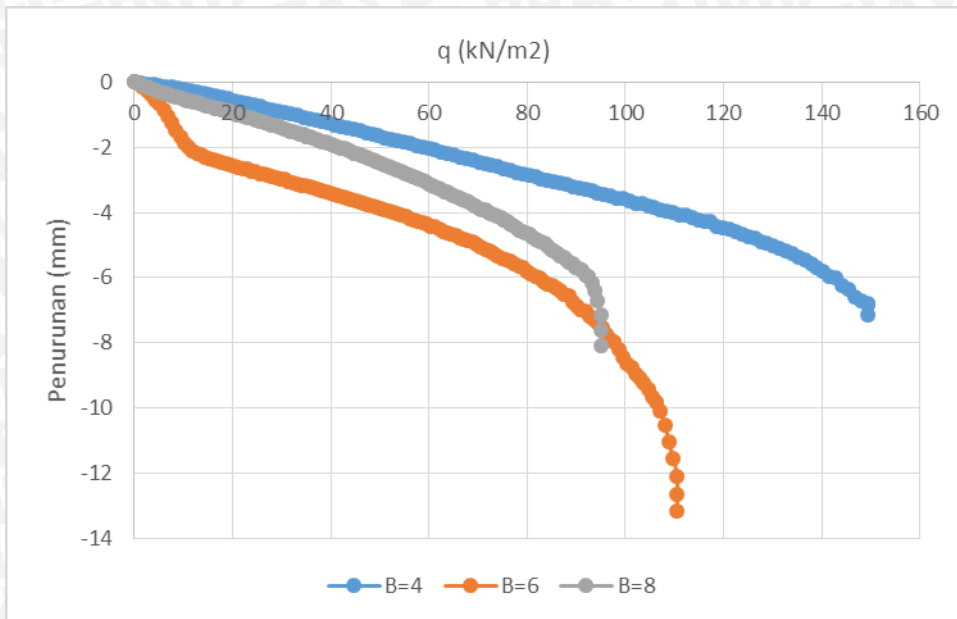


Gambar 4.17 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid $n=2$

Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap peningkatan nilai variabel lebar pondasi cenderung semakin besar. Masing-masing penurunan yang terjadi untuk lebar pondasi $B=4$ adalah sebesar 6,9 mm, $B=6$ adalah 9,81 mm, $B=8$ adalah 8,01 mm.

4.5.2.2.3. Jumlah Lapisan $n = 3$

Serangkaian pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid terhadap perilaku pondasi di dekat lereng. Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan dengan variasi lebar pondasi untuk *model test* lereng yang diberi perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan q_u dan Penurunan Tanah pada Lereng Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid $n=3$

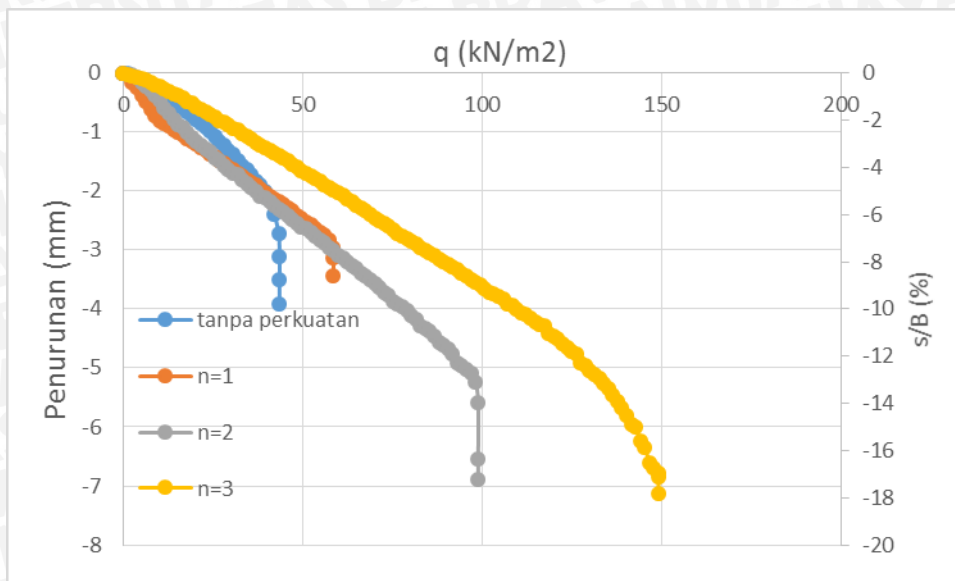
Berdasarkan pengamatan terhadap perilaku lereng yang diberi perkuatan, dapat diplotkan grafik penurunan pondasi. Dari grafik di atas terlihat bahwa penurunan pondasi untuk setiap peningkatan nilai variabel lebar pondasi cenderung semakin besar. Masing-masing penurunan yang terjadi untuk lebar pondasi $B=4$ adalah sebesar 7,13 mm, $B=6$ adalah 12,445 mm, $B=8$ adalah 8,095 mm.

4.6. Perbandingan Daya Dukung Lereng Pasir

4.6.1. Lebar Pondasi $B = 4$ cm

Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng, dengan dan tanpa menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan terhadap *model test* lereng dengan dan tanpa perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada

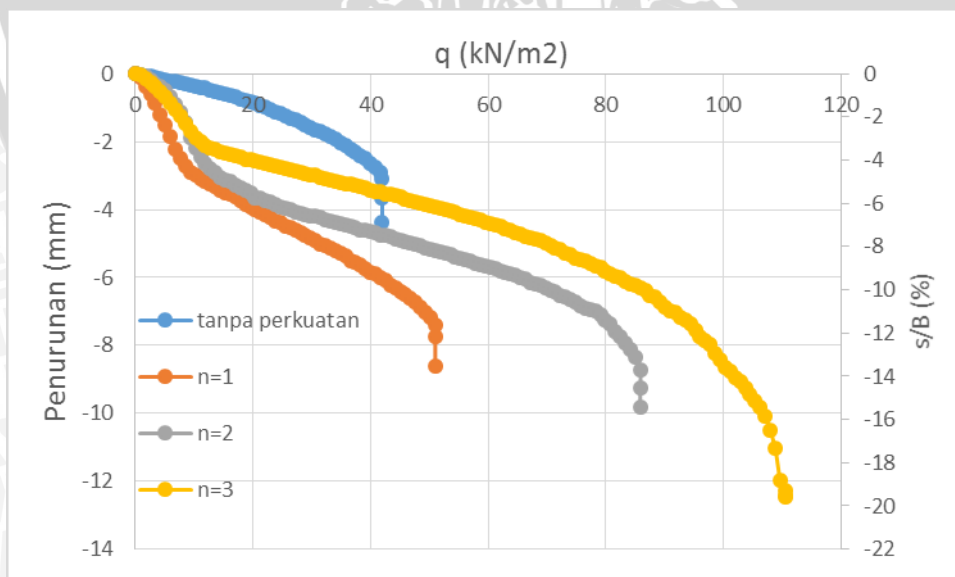
Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Grafik Hubungan q_u -Penurunan Lereng dengan dan Tanpa Perkuatan Terhadap Lebar Pondasi $B = 4$

4.6.2. Lebar Pondasi $B = 6$ cm

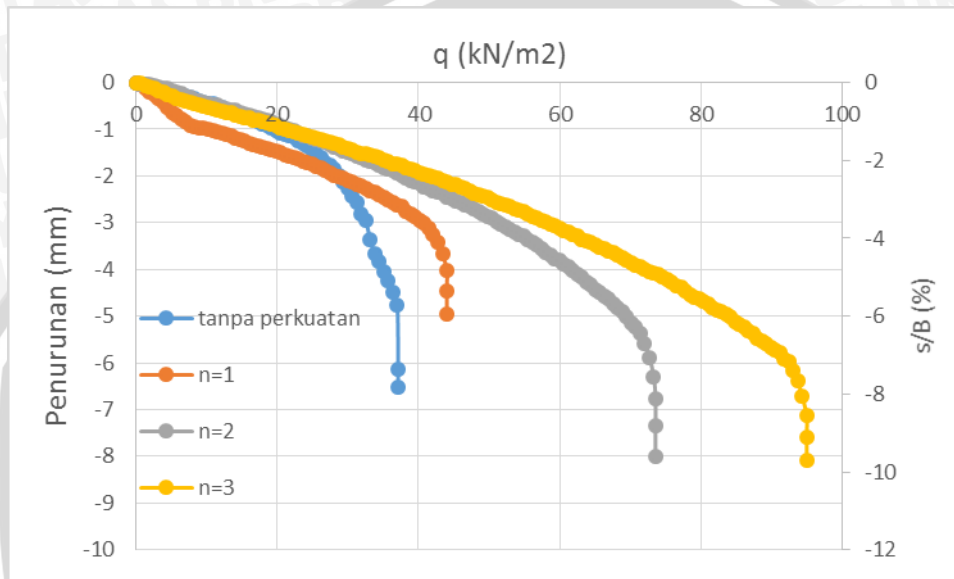
Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng, dengan dan tanpa menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan terhadap *model test* lereng dengan dan tanpa perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.20** berikut ini.



Gambar 4.20 Grafik Hubungan q_u -Penurunan Lereng dengan dan Tanpa Perkuatan Terhadap Lebar Pondasi $B = 6$

4.6.3. Lebar Pondasi B = 8 cm

Dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan terhadap *model test* lereng, dengan dan tanpa menggunakan perkuatan, didapatkan hasil pembacaan yaitu besarnya nilai daya dukung berdasarkan beban ultimit serta penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan nilai daya dukung dan penurunan terhadap *model test* lereng dengan dan tanpa perkuatan ditampilkan dalam bentuk grafik daya dukung-penurunan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.21** berikut ini.



Gambar 4.21 Grafik Hubungan q_u -Penurunan Lereng dengan dan Tanpa Perkuatan Terhadap Lebar Pondasi B = 8

4.7. Analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu})

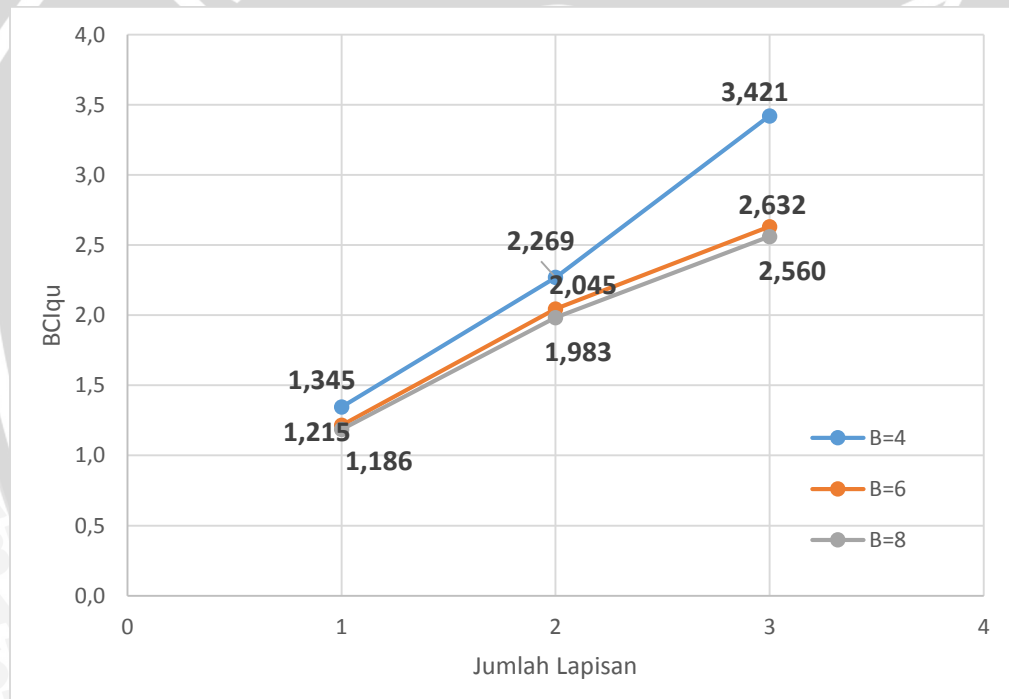
Analisis BCI_{qu} merupakan suatu analisis perbandingan antara beban runtuh maksimum tanah saat diberi perkuatan Geogrid dengan beban runtuh maksimum tanah tanpa diberi perkuatan. Tujuan dilakukannya analisis ini adalah untuk mengetahui nilai peningkatan daya dukung yang terjadi akibat adanya pemberian perkuatan Geogrid.

4.7.1. Perbandingan Nilai BCI_{qu} pada Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Dari nilai beban ultimit untuk setiap variasi jumlah lapis perkuatan yang didapat dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu}) seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.10**. Dengan menggunakan analisis BCI, dapat diketahui pengaruh variasi jumlah lapisan Geogrid yang digunakan terhadap variasi lebar pondasi. Hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.

Tabel 4.10 Nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu}) untuk Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Perkuatan	qu (kN/m ²) perkuatan	qu (kN/m ²) tanpa perkuatan	BCI _{qu}
B = 4	1	58,673	43,622	1,345
	2	98,980	43,622	2,269
	3	149,235	43,622	3,421
B = 6	1	51,020	42,007	1,215
	2	85,884	42,007	2,045
	3	110,544	42,007	2,632
B = 8	1	44,005	37,117	1,186
	2	73,597	37,117	1,983
	3	95,026	37,117	2,560



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Peningkatan nilai BCI_{qu} untuk Variasi Jumlah Lapisan Perkuatan

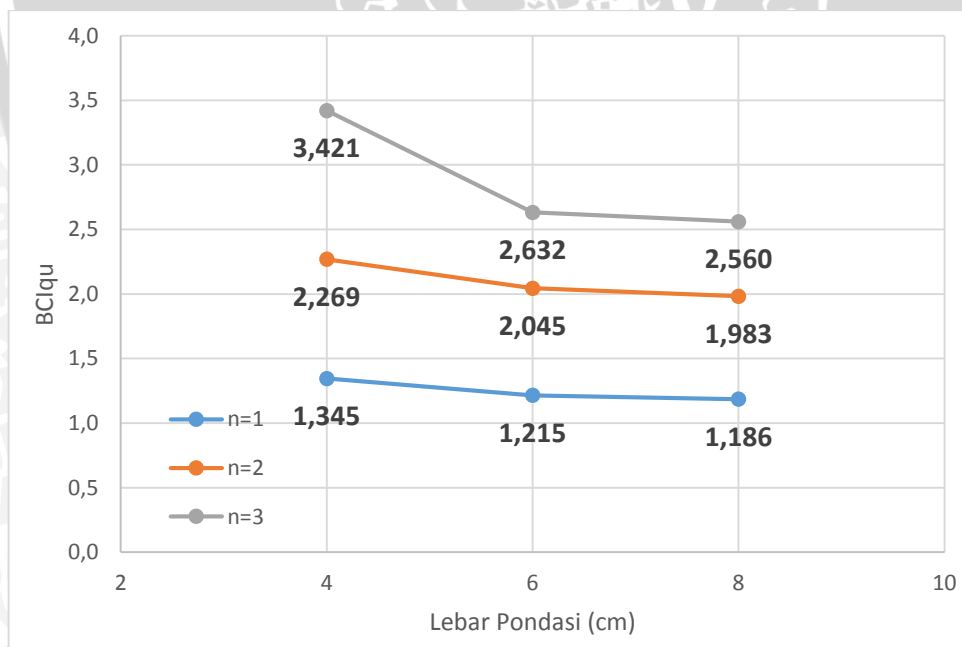
Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah lapis perkuatan nilai daya dukung lereng semakin meningkat. Adapun nilai BCI_{qu} paling maksimum dalam penelitian ini diperoleh pada lebar pondasi B=4 cm dan jumlah lapisan n=3 yaitu sebesar 3,421.

4.7.2. Perbandingan BCI_{qu} terhadap Variasi Lebar Pondasi

Dari nilai beban ultimit untuk setiap variasi lebar pondasi yang didapat dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu}) seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.11**. Dengan menggunakan analisis BCI, dapat diketahui pengaruh variasi lebar pondasi yang digunakan terhadap variasi jumlah lapis perkuatan. Hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 4.23**.

Tabel 4.11 Nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu}) untuk Variasi Lebar Pondasi

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi (cm)	qu (kN/m ²) perkuatan	qu (kN/m ²) tanpa perkuatan	BCI qu
n=1	B = 4	58,673	43,622	1,345
	B = 6	51,020	42,007	1,215
	B = 8	44,005	37,117	1,186
n=2	B = 4	98,980	43,622	2,269
	B = 6	85,884	42,007	2,045
	B = 8	73,597	37,117	1,983
n=3	B = 4	149,235	43,622	3,421
	B = 6	110,544	42,007	2,632
	B = 8	95,026	37,117	2,560



Gambar 4.23 Grafik Perubahan Nilai BCI_{qu} terhadap Variasi Lebar Pondasi

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya lebar pondasi nilai daya dukung lereng semakin berkurang. Adapun nilai BCI_{qu} paling maksimum dalam penelitian ini diperoleh pada lebar pondasi $B=4$ cm dan jumlah lapisan $n=3$ yaitu sebesar 3,421

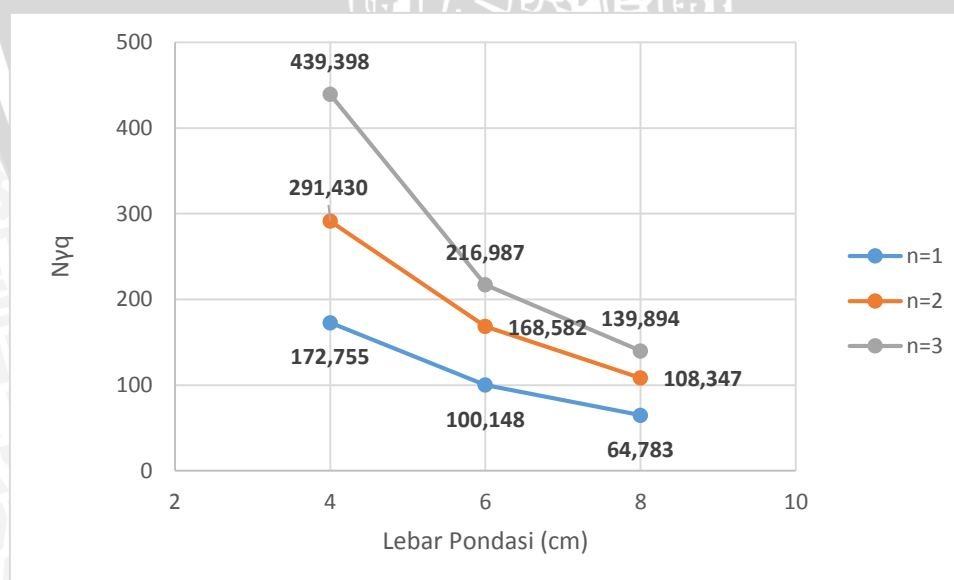
4.8. Perbandingan Nilai N_{yq} Menggunakan Perkuatan Geogrid

4.8.1. Variasi Lebar Pondasi terhadap Jumlah Lapisan Geogrid

Dengan menggunakan rumus daya dukung dari Meyerhof, dapat diperoleh besarnya faktor daya dukung N_{yq} untuk lereng dengan perkuatan. Hasil perhitungan nilai faktor daya dukung tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dan **Gambar 4.24** berikut ini.

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Faktor Daya Dukung N_{yq} untuk Variasi Lebar Pondasi

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi (cm)	q_u (kN/m ²) perkuatan	N_{yq}
n=1	4	58,673	172,755
	6	51,020	100,148
	8	44,005	64,783
n=2	4	98,980	291,430
	6	85,884	168,582
	8	73,597	108,347
n=3	4	149,235	439,398
	6	110,544	216,987
	8	95,026	139,894



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai N_{yq} untuk Variasi Lebar Pondasi

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya

nilai lebar pondasi, nilai faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ semakin kecil dan nilai $N_{\gamma q}$ maksimum dalam penelitian ini terjadi saat $n=3$ dan $B = 4$ cm yaitu sebesar 439,398.

4.8.2. Variasi Jumlah Lapisan Geogrid terhadap Lebar Pondasi

Dengan menggunakan rumus daya dukung dari Meyerhof, dapat diperoleh besarnya faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ untuk lereng dengan perkuatan. Hasil perhitungan nilai faktor daya dukung tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Gambar 4.25** berikut ini.

Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Faktor Daya Dukung $N_{\gamma q}$ Dengan Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Perkuatan	q_u (kN/m ²) perkuatan	$N_{\gamma q}$
B = 4	1	58,673	172,755
	2	98,980	291,430
	3	149,235	439,398
B = 6	1	51,020	100,148
	2	85,884	168,582
	3	110,544	216,987
B = 8	1	44,005	64,783
	2	73,597	108,347
	3	95,026	139,894



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Nilai $N_{\gamma q}$ untuk Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah lapis perkuatan, nilai faktor daya dukung $N_{\gamma q}$ semakin meningkat dan nilai $N_{\gamma q}$ maksimum dalam penelitian ini terjadi saat $n=3$ dan $B = 4$ cm yaitu sebesar 439,398.

4.9. Pengaruh Lebar Pondasi dan Jumlah Lapisan Geogrid

Serangkaian pengujian telah dilakukan pada pemodelan fisik lereng pasir dengan kepadatan relatif RC 85%, konstanta yang digunakan adalah sudut lereng yaitu 51° dan jumlah lapisan Geogrid $n=1$ untuk lereng dengan perkuatan, sedangkan variabel bebasnya adalah variasi lebar pondasi dan jumlah lapis perkuatan Geogrid. Hasil penelitian telah dianalisis dan didapat kesimpulan bahwa adanya variasi lebar pondasi dan jumlah lapisan Geogrid sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dalam penelitian ini tidak ditinjau lebih lanjut perhitungan secara numerik, sehingga tidak dapat dilihat secara pasti faktor-faktor mana yang lebih berpengaruh terhadap daya dukung yang terjadi.

Berdasarkan analisis terhadap data yang telah didapatkan, diketahui bahwa pada variasi lebar pondasi ($B = 4,6,8$ cm) jika ditinjau dari beban ultimit yang terjadi diketahui bahwa semakin lebar pondasi menerus yang digunakan maka nilai q_u (daya dukung) semakin menurun. Nilai $BCIq_u$ paling maksimum dalam penelitian ini terjadi pada pondasi menerus dengan lebar 4 cm.

Selain variabel lebar pondasi, variabel bebas lain yang diteliti adalah jumlah lapis perkuatan Geogrid. Bila ditinjau berdasarkan variasi jumlah perkuatan ($n = 1,2,3$), nilai daya dukung mengalami tren kenaikan, dimana nilai maksimum $BCIq_u$ terjadi pada pemodelan lereng dengan jumlah perkuatan Geogrid (n) sebanyak 3 lapis, hal tersebut dapat diketahui dari nilai $BCIq_u$ yang didapatkan yakni sebesar 3,421.

Dengan adanya variasi lebar pondasi dan jumlah lapis Geogrid yang digunakan dalam penelitian ini, dapat diketahui pengaruh variabel-variabel tersebut terhadap nilai daya dukung lereng pasir. Diantara dua variabel yang digunakan tersebut dapat dilihat peningkatan nilai daya dukung yang terjadi antara keduanya, yakni peningkatan antar variasi. Berikut ditunjukkan tabel variabel yang berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung lereng pasir.

Tabel 4.14 Besar Peningkatan Daya Dukung Lereng pada Variasi Lebar Pondasi

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi (cm)	qu (kN/m ²) tanpa perkuatan	qu (kN/m ²) perkuatan	Peningkatan Antar Variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan (%)
n=1	B = 4	43,622	58,673	34,503	24,839
	B = 6	42,007	51,020	21,457	
	B = 8	37,117	44,005	18,557	
n=2	B = 4	43,622	98,980	126,901	109,879
	B = 6	42,007	85,884	104,453	
	B = 8	37,117	73,597	98,282	
n=3	B = 4	43,622	149,235	242,105	187,092
	B = 6	42,007	110,544	163,158	
	B = 8	37,117	95,026	156,014	

Tabel 4.15 Besar Peningkatan Daya Dukung Lereng pada Variasi Jumlah Lapis Geogrid

Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Perkuatan	qu (kN/m ²) tanpa perkuatan	qu (kN/m ²) perkuatan	Peningkatan Antar Variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan (%)
B = 4	1	43,622	58,673	34,503	134,503
	2	43,622	98,980	126,901	
	3	43,622	149,235	242,105	
B = 6	1	42,007	51,020	21,457	96,356
	2	42,007	85,884	104,453	
	3	42,007	110,544	163,158	
B = 8	1	37,117	44,005	18,557	90,951
	2	37,117	73,597	98,282	
	3	37,117	95,026	156,014	

Tabel 4.16 Peningkatan Nilai Daya Dukung Lereng Antar Variabel terhadap Variasi Lebar Pondasi

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi (cm)	qu (kN/m ²) perkuatan	Peningkatan Antar Variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan antar variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan Total (%)
n=1	B = 4	58,673	15,000	15,471	
	B = 6	51,020	15,942		
	B = 8	44,005	-		
n=2	B = 4	98,979	15,248	15,972	19,036
	B = 6	85,884	16,696		
	B = 8	73,597	-		
n=3	B = 4	149,235	35	25,666	
	B = 6	110,544	16,331		
	B = 8	95,026	-		

Tabel 4.17 Peningkatan Nilai Daya Dukung Lereng Antar Variabel dengan Variasi Jumlah Lapisan Geogrid

Lebar Pondasi (cm)	Jumlah Perkuatan	qu (kN/m ²) perkuatan	Peningkatan Antar Variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan antar variabel (%)	Rata-Rata Peningkatan Total (%)
B = 4	1	58,673	-	59,734	
	2	98,980	68,696		
	3	149,235	50,773		
B = 6	1	51,020	-	48,523	52,146
	2	85,884	68,333		
	3	110,544	28,713		
B = 8	1	44,005	-	48,181	
	2	73,597	67,2464		
	3	95,026	29,116		

Berdasarkan data yang diperoleh dan disajikan pada tabel-tabel tersebut, keempat tabel menunjukkan bahwa pada variasi lebar pondasi dan variasi jumlah lapis Geogrid pada lereng dengan perkuatan, variasi jumlah lapis Geogrid lebih dominan dari pada variasi lebar pondasi terhadap peningkatan nilai daya dukung lereng.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan terhadap model lereng pasir yang diberi perkuatan Geogrid dengan variabel yang dapat dipengaruhi berupa variasi lebar pondasi ($B = 4,6,8$ cm) dan jumlah lapisan Geogrid ($n = 1,2,3$), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai daya dukung tanah di bawah pondasi pada lereng pasir dengan perkuatan Geogrid lebih besar dibandingkan nilai daya dukung tanah pada lereng pasir tanpa perkuatan
2. Kenaikan pada besar lebar pondasi satu lereng ($B = 4,6,8$ cm) tidak sebanding dengan kenaikan nilai daya dukung pondasi tersebut sehingga nampak semakin kecil nilai daya dukungnya
3. Semakin banyak jumlah lapisan Geogrid yang digunakan, dalam batas tertentu (pada penelitian ini adalah $n = 3$), maka nilai daya dukung pondasi akan semakin besar
4. Nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_{qu}) maksimum terjadi pada lereng dengan variasi lebar pondasi terkecil yaitu $B = 4$ cm dan jumlah lapis perkuatan terbanyak yaitu $n = 3$. Pada lereng pasir yang diberi perkuatan, variasi jumlah lapisan Geogrid lebih dominan pengaruhnya dari pada variasi lebar pondasi terhadap nilai daya dukung pondasi.

5.2. Saran

Banyak hal yang dapat mempengaruhi hasil penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini membutuhkan ketelitian, waktu yang cukup, dan metode pelaksanaan yang cermat untuk tercapainya kesempurnaan dalam hasil penelitian. Peneliti memahami sepenuhnya bahwa selama pengerjaan riset tentu tidak luput dari kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu, ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang sejenis maupun penelitian lain yang berkaitan antara lain sebagai berikut.

1. Secara keseluruhan, perlu dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik material yang akan diuji, diantaranya adalah dengan melakukan percobaan pengujian untuk memastikan metode yang tepat yang akan digunakan dalam penelitian, kemudian baru melakukan pengujian untuk diambil data yang diperlukan
2. Untuk memastikan data yang didapat dilapangan hasilnya mendekati kenyataan sesungguhnya, harus ada nilai pembanding. Hal ini dapat dilakukan dengan pengulangan percobaan untuk sampel yang sama agar dapat dianalisis secara statistik sehingga dapat diketahui kekonsistenan data, serta akan lebih baik lagi jika dilakukan analisis secara numerik untuk lereng yang diberi perkuatan menggunakan *software* yang sudah ada
3. Tata cara perlakuan setiap model diusahakan harus sama persis agar hasilnya dapat dianalisis antar variabel dengan baik. Misalnya cara pemadatan yang tidak sama akan mengakibatkan respon lereng yang ditunjukkan oleh kurva qu-penurunan yang kurang sempurna
4. Peralatan yang digunakan dalam pengujian harus standar untuk pengujian material tanah pasir, peralatan yang tidak standar akan menghasilkan data yang kurang sempurna, terutama untuk peralatan yang berbasis digital. Untuk alat pembebanan sebaiknya digunakan mesin pembebanan otomatis agar pemberian beban lebih stabil sehingga didapat data penurunan yang lebih akurat
5. Untuk penelitian selanjutnya yang sejenis, sebaiknya dilakukan analisis utamanya terhadap penurunan yang terjadi untuk mendapatkan data penurunan yang konsisten, kemudian dilakukan analisis BCIs untuk penurunan pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 1984. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 1984. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Das, Braja M. 2009. *Shallow Foundations Second Edition*. New York : Taylor and Francis Group
- Suroso, Munawir, A., Indrawahyuni, H. Buku Ajar Teknik Pondasi. Malang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Wesley, Laurence D. 2010. *Mekanika Tanah, untuk Tanah Endapan dan Residu*. Yogyakarta: Penerbit ANDI
- DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009*
- Kumar, S.V. Anil & Ilamparuthi, K. 2009. Response of Footing on Sand Slopes. *Indian Geotechnical Society Chennai Chapter*. India : Anna University Chennai.
- Alamshahi, Saeed & Hataf, Nader. 2009. Bearing Capacity of Strip Footings on Sand Slopes Reinforced with Geogrid and Grid-Anchor. *ELSEVIER*. Iran : Universitas Shiraz
- Graham, J., Andrews, M., and Shields, D. H.,. 1987. Stress Characteristics for Shallow Footings in Cohesionless Slopes. *Geotech*, 25: 238-249. Canada
- Marto, A., Oghabi, M., Eisazadeh, A. 2013. The Effect of Geogrid Reinforcement on Bearing Capacity Properties of Soil Under Static Load; A Review. *EJGE*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Taha, M. R. & Altalhe, E. B. 2013. Numerical and Experimental Evaluation of Bearing Capacity Factor N_{γ} of Strip Footing on Sand Slopes. *International Journal of Physical Sciences*. Malaysia : Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Yoo, Chungsik. 2001. Laboratory Investigation of Bearing Capacity behavior of strip footing on Geogrid-reinforced sand slope. *ELSEVIER*. South Korea: Sungkyunkwan University.

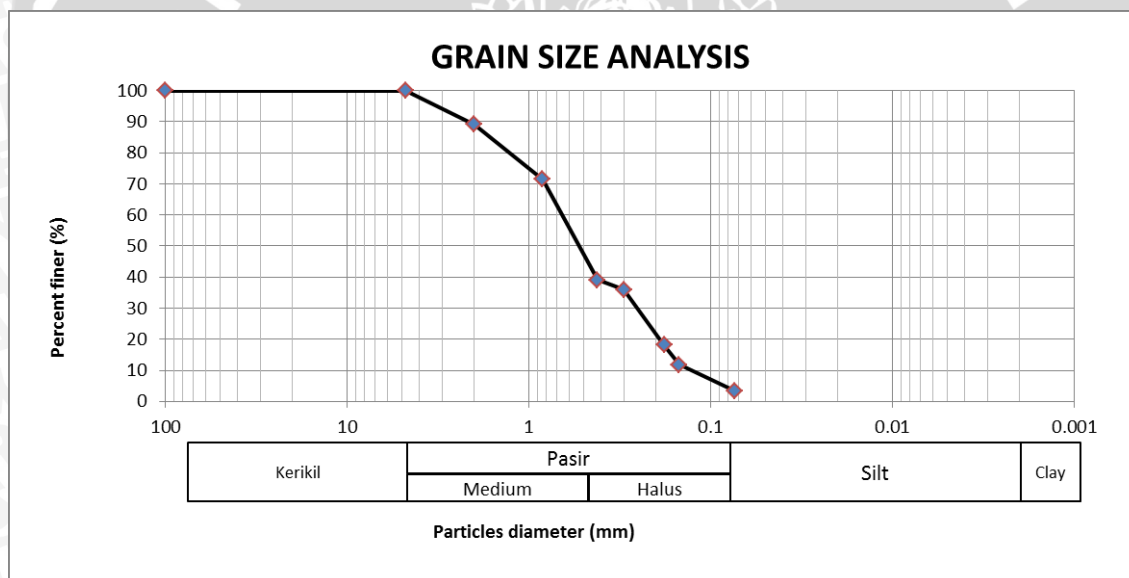
LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Hasil Analisis Gradasi Butiran Tanah

No. Ayakan	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif	Persen Tertahan	Persen Lolos
No. 4	4,75	0	0	0	100
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	0



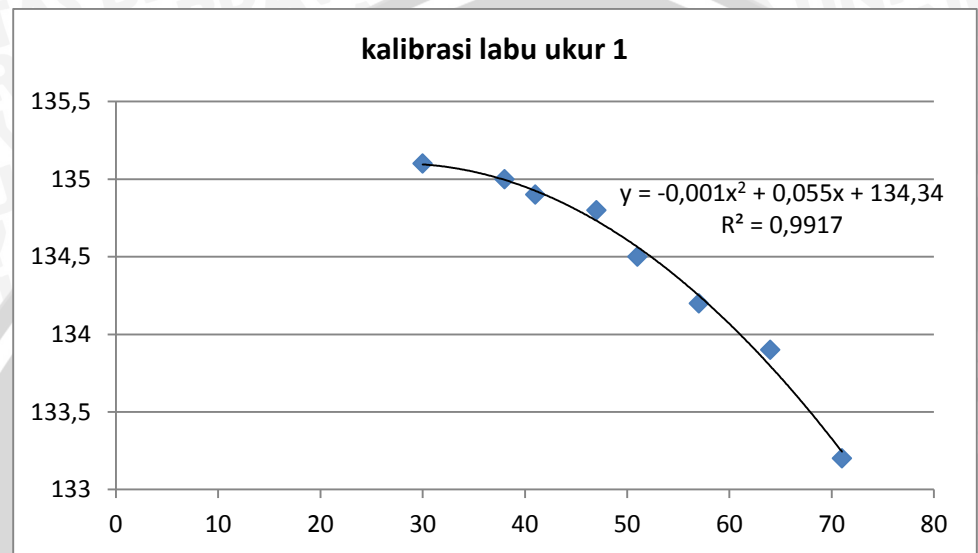
LAMPIRAN 2

Hasil Analisis Specific Gravity Tanah

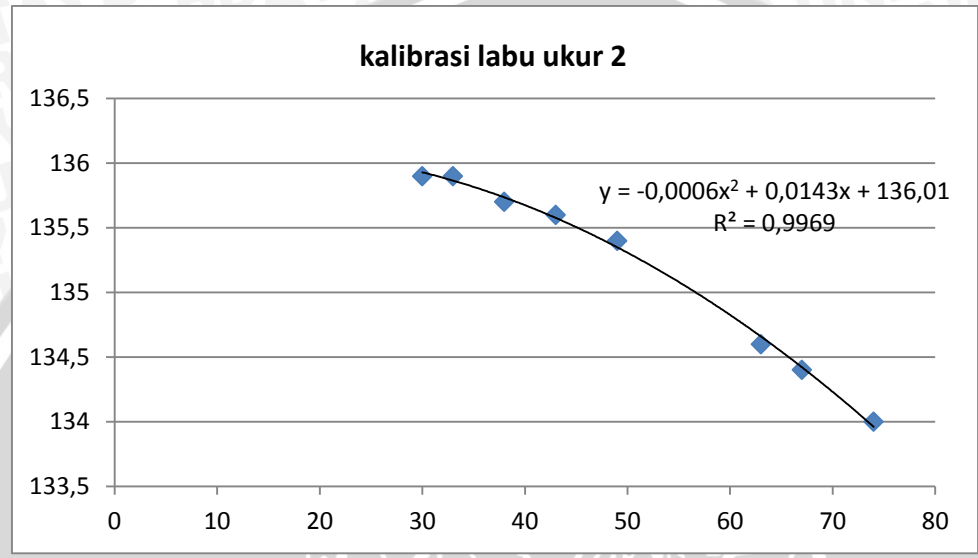
Data Percobaan Kalibrasi Labu Ukur + Tanah

No.	1		2		3	
	Berat Labu ukur +air+tanah (gram)	Temperatur (°C)	Berat Labu ukur +air+tanah (gram)	Temperatur (°C)	Berat Labu ukur +air+tanah (gram)	Temperatur (°C)
1	157.7	70	152.4	77	146.4	69
2	159.2	59	154	66	148.1	62
3	159.5	54	154.6	59	148.6	57
4	159.7	45	155.2	50	149.2	51
5	159.9	42	155.2	48	149.1	46
6	160.1	39	155.7	44	149.3	42
7	160.2	37	155.8	39	149.5	39
8	160.3	35	155.8	37	149.6	36
9	160.4	34	156.1	35	149.9	35
10	160.5	33	156.1	33	150	33
11	160.7	31	156.5	32	150.5	31

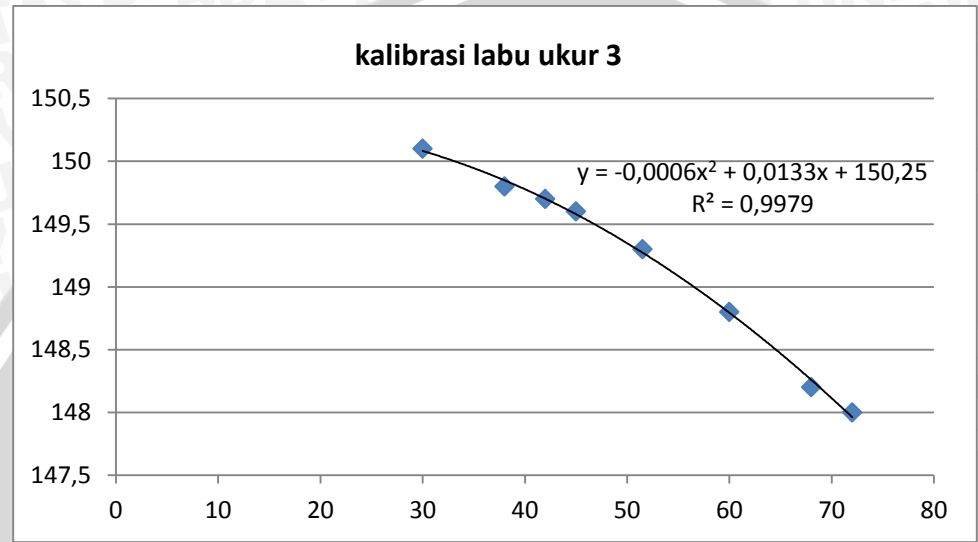
Labu Ukur	Satuan	1							
Berat Labu ukur	gr	35.4							
Berat tanah kering (Ws)	gr	20							
Berat labu ukur+air+ tanah (W1)		146	146.4	146.7	146.8	147.1	147.3	147.5	147.6
Suhu	C	67	60	52	47	45	41	37	30
Berat labu ukur+air (W2)	gr	133.536	134.04	134.496	134.716	134.79	134.914	135.006	135.09
Berat jenis tanah (Gs)	gr/cm3	2.6539	2.6178	2.5654	2.5265	2.6008	2.6267	2.6645	2.6702
Rata-rata berat jenis	gr/cm3	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)	gr/cm3	2.6313	2.6562	2.6551	2.6914	2.6887	2.6827	2.6923	2.7031
Rata-rata berat jenis	gr/cm3	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)	gr/cm3	2.6854	2.6644	2.6432	2.6451	2.6491	2.6589	2.6541	2.6285
Rata-rata berat jenis	gr/cm3	2.6536							



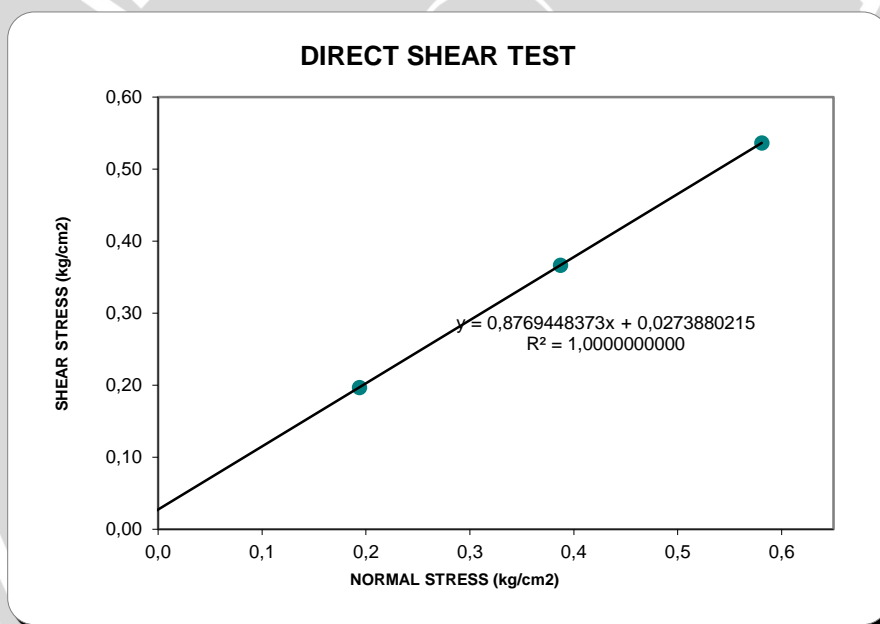
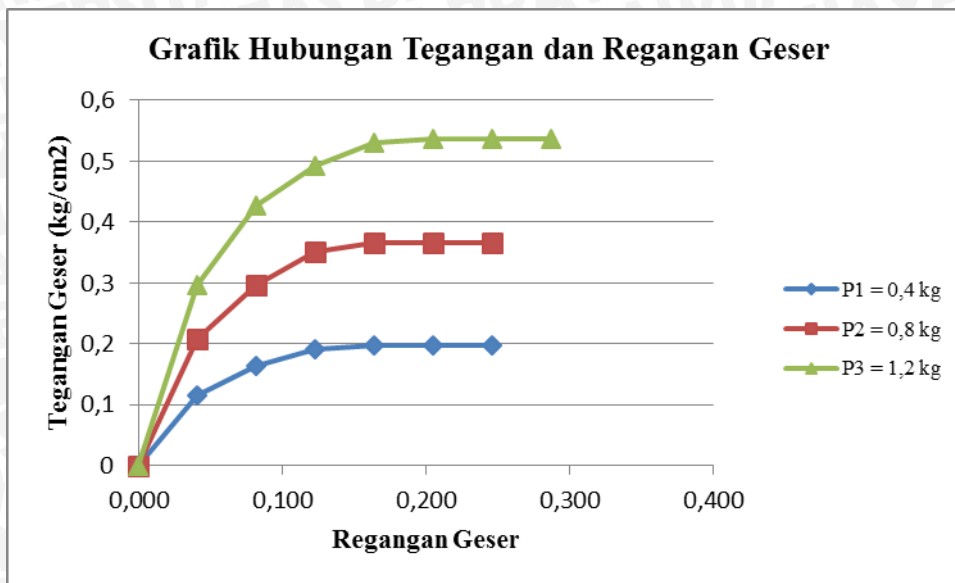
LAMPIRAN 3

Hasil Analisis Uji Geser Langsung (Direct Shear)

Data :

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 kg/cm²
Ø = 41,25 °

LAMPIRAN 4
Hasil Analisis Uji Pemadatan Standar

Kadar Air

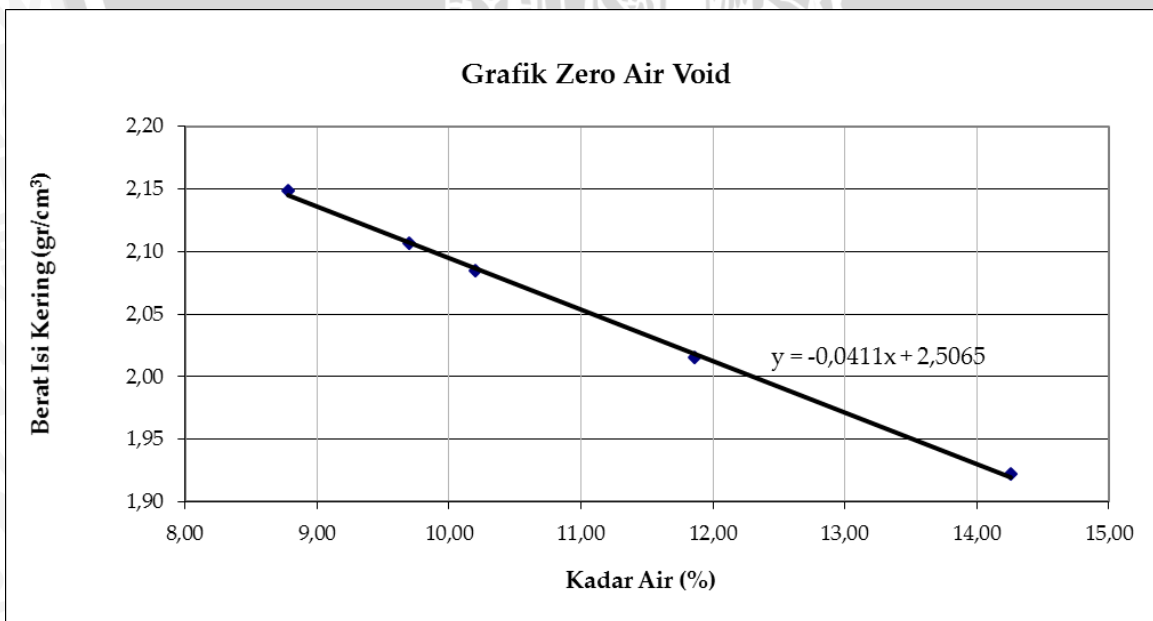
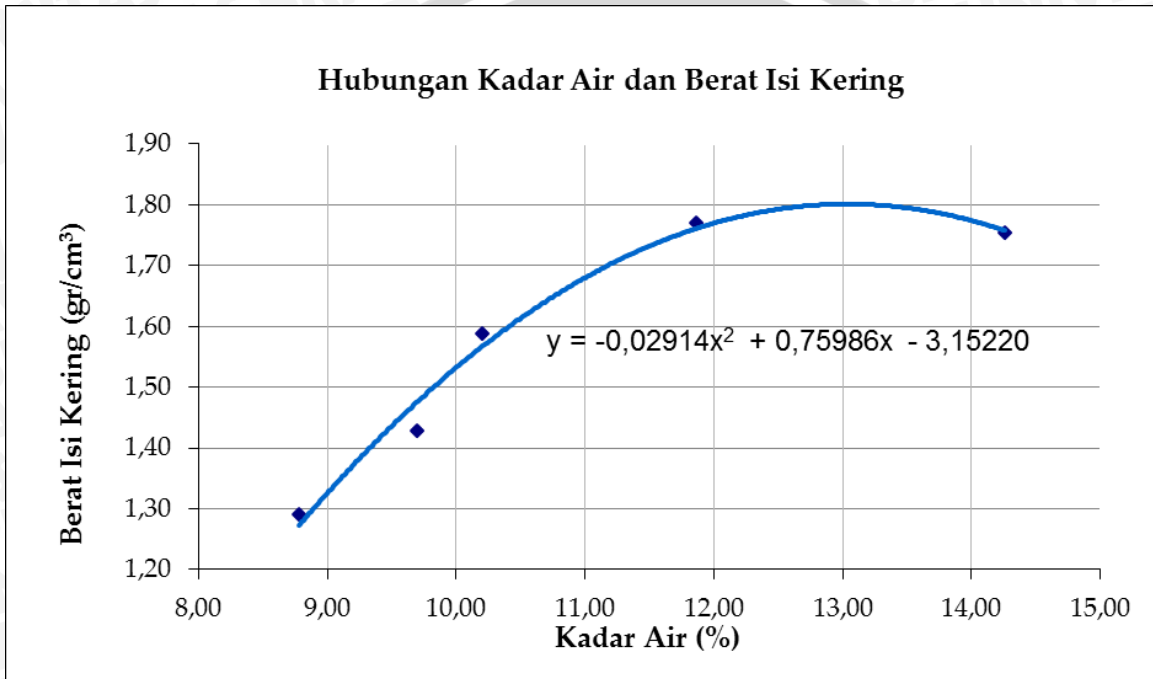
Penambahan Air	p1			p2			p3			p4			p5		
	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah	atas	tengah	bawah
Berat Cawan	6,00	4,00	4,00	5,60	4,00	4,10	6,00	5,50	5,30	7,80	6,10	4,10	5,50	5,50	5,60
Berat Tanah Basah + Cawan	29,40	31,80	35,80	29,30	17,20	28,60	29,10	27,90	20,00	32,00	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	

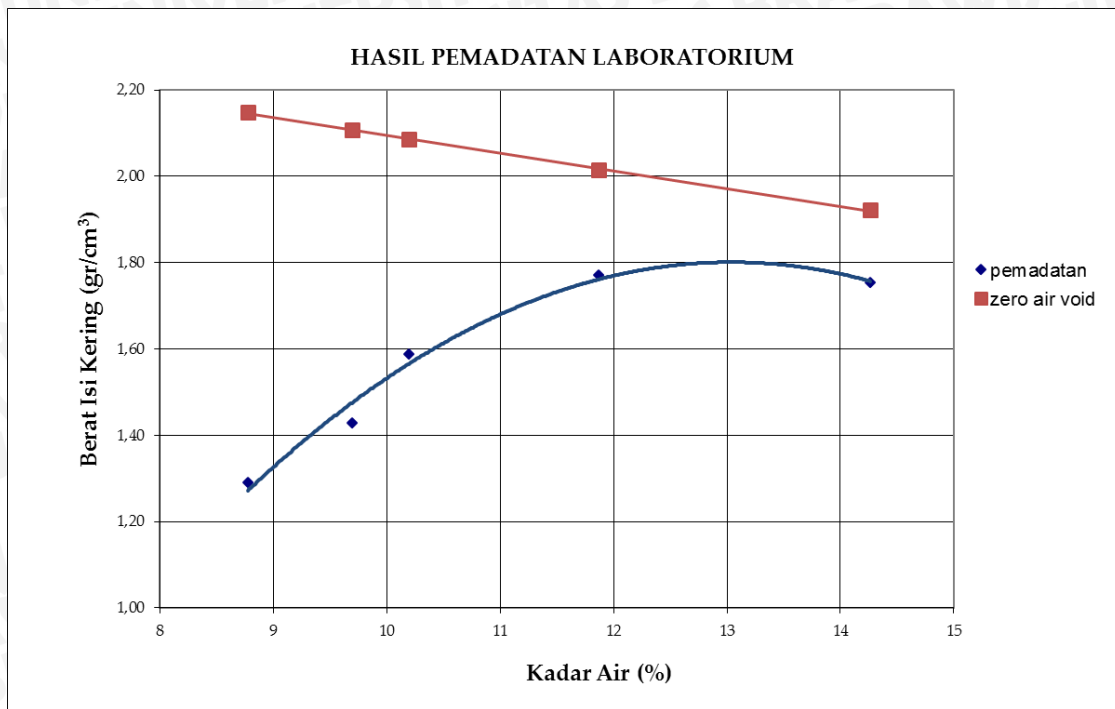
Density

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	γw	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	13,0381
gd max	1,8014
85% gd	1,531
WC 85%	9,99

LAMPIRAN 5

Hasil Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Tanah Model

Lereng Tanpa Perkuatan

$\alpha=51^\circ$; B=4 cm; d/B=1

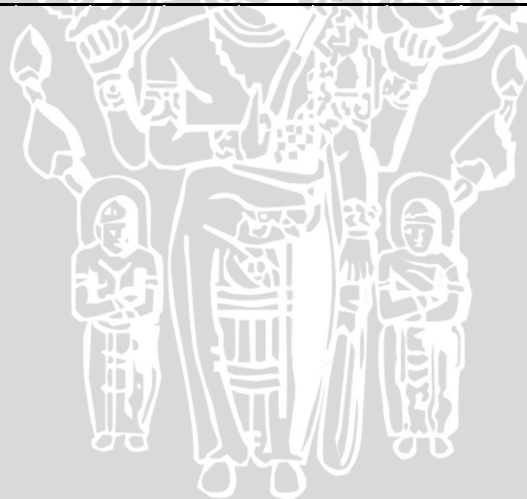
Lapisan		1			2			3			4			5			6			7		
Tinggi Ring	cm	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
Diameter Ring	cm	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
1. Berat Ring	gr	18,10	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	36,00	35,70	36,20	36,10	36,30	35,90	36,30	36,40	35,90	35,80	36,70	36,10	36,40	36,30	36,10	36,70	36,50	36,00	36,40	36,10	36,10
3. Berat Tanah Basah	gr	17,90	17,60	18,10	18,00	18,20	17,80	18,20	18,30	17,80	17,70	18,60	18,00	18,30	18,20	18,00	18,60	18,40	17,90	18,30	18,00	18,00
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	1,629	1,675	1,666	1,684	1,647	1,684	1,693	1,647	1,638	1,721	1,666	1,693	1,684	1,666	1,721	1,703	1,656	1,693	1,666	1,666
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,13	33,90	34,29	34,30	34,46	34,03	34,55	34,62	34,12	33,94	34,79	34,22	34,38	34,30	34,24	34,75	34,61	34,12	34,68	34,08	34,38
7. Berat Tanah Kering	gr	16,03	15,80	16,19	16,20	16,36	15,93	16,45	16,52	16,02	15,84	16,69	16,12	16,28	16,20	16,14	16,65	16,51	16,02	16,58	15,98	16,28
8. Berat Air	gr	1,87	1,80	1,91	1,80	1,84	1,87	1,75	1,78	1,78	1,86	1,91	1,88	2,02	2,00	1,86	1,95	1,89	1,88	1,72	2,02	1,72
9. Kadar Air	%	11,67	11,39	11,81	11,11	11,25	11,75	10,63	10,77	11,11	11,75	11,45	11,67	12,44	12,36	11,53	11,72	11,46	11,75	10,36	12,66	10,56
10. Kadar Air Rata-Rata	%	11,49																				
11. γ_d	gr/cm ³	1,483	1,462	1,498	1,499	1,514	1,474	1,522	1,529	1,482	1,466	1,544	1,492	1,506	1,499	1,493	1,541	1,528	1,482	1,534	1,479	1,507
12. γ_d rata-rata	gr	1,502																				

$\alpha=51^\circ$; B=6 cm; d/B=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	37,70	36,80	37,00	36,20	35,90	35,50	37,50	37,00	37,00	36,70	37,00	37,00	36,90	36,70	36,90	36,70	35,80	36,70	36,00	35,90	36,40
3. Berat Tanah Basah	gr	19,60	18,70	18,90	18,10	17,80	17,40	19,40	18,90	18,90	18,60	18,90	18,90	18,80	18,60	18,80	18,60	17,70	18,60	17,90	17,80	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	1,814	1,730	1,749	1,675	1,647	1,610	1,795	1,749	1,749	1,721	1,749	1,749	1,740	1,721	1,740	1,721	1,638	1,721	1,656	1,647	1,693
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	35,58	34,75	35,04	34,37	34,02	33,72	35,35	35,19	35,14	34,72	35,09	35,10	34,84	34,85	34,87	34,63	33,95	34,63	34,10	34,12	34,65
7. Berat Tanah Kering	gr	17,48	16,65	16,94	16,27	15,92	15,62	17,25	17,09	17,04	16,62	16,99	17,00	16,74	16,75	16,77	16,53	15,85	16,53	16,00	16,02	16,55
8. Berat Air	gr	2,12	2,05	1,96	1,83	1,88	1,78	2,15	1,81	1,86	1,98	1,91	1,90	2,06	1,85	2,03	2,07	1,85	2,07	1,90	1,78	1,75
9. Kadar Air	%	12,14	12,33	11,58	11,25	11,81	11,40	12,49	10,59	10,91	11,93	11,24	11,18	12,32	11,04	12,12	12,53	11,68	12,55	11,88	11,11	10,57
10. Kadar Air Rata-Rata	%	11,65																				
11. γ_d	gr/cm ³	1,617	1,541	1,567	1,506	1,473	1,445	1,596	1,582	1,577	1,538	1,572	1,573	1,549	1,550	1,552	1,529	1,467	1,529	1,481	1,482	1,531
12. γ_d rata-rata	gr	1,536																				

$\alpha=51^\circ$; B=8 cm; d/B=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	37,40	36,40	36,90	37,40	36,30	36,60	36,80	37,10	36,60	36,40	37,00	36,30	36,10	36,00	36,20	36,10	36,50	36,80	36,60	36,60	36,20
3. Berat Tanah Basah	gr	19,30	18,30	18,80	19,30	18,20	18,50	18,70	19,00	18,50	18,30	18,90	18,20	18,00	17,90	18,10	18,00	18,40	18,70	18,50	18,50	18,10
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	1,786	1,693	1,740	1,786	1,684	1,712	1,730	1,758	1,712	1,693	1,749	1,684	1,666	1,656	1,675	1,666	1,703	1,730	1,712	1,712	1,675
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	35,40	34,59	35,08	35,58	34,59	34,87	35,07	35,38	34,88	34,59	35,08	34,40	34,48	34,38	34,48	34,39	34,87	35,07	34,68	34,78	34,37
7. Berat Tanah Kering	gr	17,30	16,49	16,98	17,48	16,49	16,77	16,97	17,28	16,78	16,49	16,98	16,30	16,38	16,28	16,38	16,29	16,77	16,97	16,58	16,68	16,27
8. Berat Air	gr	2,00	1,81	1,82	1,82	1,71	1,73	1,73	1,72	1,72	1,81	1,92	1,90	1,62	1,62	1,72	1,71	1,63	1,73	1,92	1,82	1,83
9. Kadar Air	%	11,56	10,98	10,71	10,40	10,37	10,30	10,18	9,94	10,24	10,98	11,31	11,66	9,88	9,94	10,49	10,49	9,70	10,18	11,59	10,91	11,25
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10,62										
11. γ_d	gr/cm ³	1,601	1,526	1,571	1,618	1,526	1,552	1,571	1,599	1,553	1,526	1,571	1,508	1,516	1,507	1,516	1,507	1,552	1,571	1,534	1,544	1,506
12. γ_d rata-rata	gr											1,546										



Lereng Menggunakan Perkuatan Geogrid

$\alpha=51^\circ$; B=4 cm; d/B=1; 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	36,60	35,90	36,60	36,40	35,90	36,20	36,60	36,30	35,90	35,70	36,40	36,50	35,60	36,30	36,40	36,60	36,50	35,60	37,10	36,30	36,10
3. Berat Tanah Basah	gr	18,50	17,80	18,50	18,30	17,80	18,10	18,50	18,20	17,80	17,60	18,30	18,40	17,50	18,20	18,30	18,50	18,40	17,50	19,00	18,20	18,00
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	1,647	1,712	1,693	1,647	1,675	1,712	1,684	1,647	1,629	1,693	1,703	1,619	1,684	1,693	1,712	1,703	1,619	1,758	1,684	1,666
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,89	34,38	34,98	34,69	34,19	34,50	34,88	34,59	34,29	34,18	34,78	34,86	33,99	34,68	34,68	34,98	34,88	34,08	35,38	34,58	34,38
7. Berat Tanah Kering	gr	16,79	16,28	16,88	16,59	16,09	16,40	16,78	16,49	16,19	16,08	16,68	16,76	15,89	16,58	16,58	16,88	16,78	15,98	17,28	16,48	16,28
8. Berat Air	gr	1,71	1,52	1,62	1,71	1,71	1,70	1,72	1,71	1,61	1,52	1,62	1,64	1,61	1,62	1,72	1,62	1,62	1,52	1,72	1,72	1,72
9. Kadar Air	%	10,17	9,32	9,59	10,33	10,61	10,40	10,25	10,36	9,91	9,45	9,73	9,76	10,15	9,75	10,40	9,60	9,66	9,49	9,98	10,44	10,54
10. Kadar Air Rata-Rata	%												9,995									
11. γ_d	gr/cm ³	1,554	1,507	1,562	1,535	1,489	1,517	1,553	1,526	1,499	1,488	1,543	1,551	1,470	1,535	1,534	1,562	1,553	1,479	1,599	1,525	1,507
12. γ_d rata-rata	gr												1,528									

$\alpha=51^\circ$; B=4 cm; d/B=1; 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	36,20	36,30	36,70	36,80	36,50	36,70	36,60	35,90	36,40	36,20	36,40	35,50	36,20	35,80	35,90	36,70	36,50	36,50	36,60	36,40
3. Berat Tanah Basah	gr	18,50	18,10	18,20	18,60	18,70	18,40	18,60	18,50	17,80	18,30	18,10	18,30	17,40	18,10	17,70	17,80	18,60	18,40	18,40	18,50	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	1,712	1,675	1,684	1,721	1,730	1,703	1,721	1,712	1,647	1,693	1,675	1,693	1,610	1,675	1,638	1,647	1,721	1,703	1,703	1,712	1,693
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,89	34,48	34,56	34,98	34,98	34,69	34,89	34,88	34,08	34,78	34,39	34,58	33,79	34,57	34,09	34,40	35,08	34,90	34,68	34,78	34,57
7. Berat Tanah Kering	gr	16,79	16,38	16,46	16,88	16,88	16,59	16,79	16,78	15,98	16,68	16,29	16,48	15,69	16,47	15,99	16,30	16,98	16,80	16,58	16,68	16,47
8. Berat Air	gr	1,71	1,72	1,74	1,72	1,82	1,81	1,81	1,72	1,82	1,62	1,81	1,82	1,71	1,63	1,71	1,50	1,62	1,60	1,82	1,82	1,83
9. Kadar Air	%	10,17	10,50	10,60	10,21	10,77	10,94	10,79	10,23	11,36	9,71	11,08	11,05	10,93	9,87	10,73	9,22	9,54	9,52	10,95	10,92	11,09
10. Kadar Air Rata-Rata	%												10,485									
11. γ_d	gr/cm ³	1,554	1,516	1,523	1,562	1,562	1,535	1,554	1,553	1,479	1,544	1,508	1,525	1,452	1,524	1,479	1,508	1,571	1,555	1,535	1,543	1,524
12. γ_d rata-rata	gr												1,529									

$\alpha=51^\circ$; B=4 cm; d/B=1; 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	36,20	36,60	36,90	36,50	36,80	36,20	36,40	36,70	36,10	36,70	36,20	35,80	35,90	36,80	36,90	37,00	37,10	36,90	36,70	36,70
3. Berat Tanah Basah	gr	17,70	18,10	18,50	18,80	18,40	18,70	18,10	18,30	18,60	18,00	18,60	18,10	17,70	17,80	18,70	18,80	18,90	19,00	18,80	18,60	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	1,638	1,675	1,712	1,740	1,703	1,730	1,675	1,693	1,721	1,666	1,721	1,675	1,638	1,647	1,730	1,740	1,749	1,758	1,740	1,721	1,721
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,09	34,48	34,78	34,99	34,67	34,99	34,49	34,68	34,98	34,38	34,99	34,49	34,19	34,20	35,10	35,09	35,18	35,28	34,89	34,79	34,89
7. Berat Tanah Kering	gr	15,99	16,38	16,68	16,89	16,57	16,89	16,39	16,58	16,88	16,28	16,89	16,39	16,09	16,10	17,00	16,99	17,08	17,18	16,79	16,69	16,79
8. Berat Air	gr	1,71	1,72	1,82	1,91	1,83	1,81	1,71	1,72	1,72	1,72	1,71	1,71	1,61	1,70	1,70	1,81	1,82	1,82	2,01	1,91	1,81
9. Kadar Air	%	10,67	10,49	10,89	11,32	11,04	10,73	10,42	10,35	10,21	10,54	10,14	10,44	10,03	10,55	10,02	10,66	10,64	10,59	11,97	11,41	10,77
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10,661																				
11. γ_d	gr/cm ³	1,480	1,516	1,544	1,563	1,533	1,563	1,517	1,535	1,562	1,507	1,563	1,517	1,489	1,490	1,573	1,572	1,581	1,590	1,554	1,545	1,554
12. γ_d rata-rata	gr	1,540																				

$\alpha=51^\circ$; B=6 cm; d/B=1; 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	36,40	36,50	36,00	36,00	37,10	36,50	36,20	36,40	36,20	36,70	36,80	36,70	35,60	36,40	36,40	36,80	36,60	36,40	37,20	36,60	36,50
3. Berat Tanah Basah	gr	18,30	18,40	17,90	17,90	19,00	18,40	18,10	18,30	18,10	18,60	18,70	18,60	17,50	18,30	18,30	18,70	18,50	18,30	19,10	18,50	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	1,693	1,703	1,656	1,656	1,758	1,703	1,675	1,693	1,675	1,721	1,730	1,721	1,619	1,693	1,693	1,730	1,712	1,693	1,767	1,712	1,703
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,60	34,70	34,30	34,09	35,30	34,70	34,50	34,60	34,49	35,00	35,09	35,00	34,09	34,71	34,60	34,99	34,71	34,60	35,39	34,80	34,70
7. Berat Tanah Kering	gr	16,50	16,60	16,20	15,99	17,20	16,60	16,40	16,50	16,39	16,90	16,99	16,90	15,99	16,61	16,50	16,89	16,61	16,50	17,29	16,70	16,60
8. Berat Air	gr	1,80	1,80	1,70	1,91	1,80	1,80	1,70	1,80	1,71	1,70	1,71	1,70	1,51	1,69	1,80	1,81	1,89	1,80	1,81	1,80	1,80
9. Kadar Air	%	10,91	10,84	10,49	11,95	10,47	10,84	10,37	10,91	10,43	10,06	10,06	10,06	9,43	10,18	10,91	10,71	11,38	10,91	10,47	10,78	10,84
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10,619																				
11. γ_d	gr/cm ³	1,527	1,536	1,499	1,480	1,592	1,536	1,518	1,527	1,517	1,564	1,572	1,564	1,480	1,537	1,527	1,563	1,537	1,527	1,600	1,545	1,536
12. γ_d rata-rata	gr	1,537																				

$\alpha=51^\circ$; B=6 cm; d/B=1; 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	36,90	36,70	36,30	36,70	36,00	36,40	36,80	36,80	36,50	37,30	36,70	36,80	37,00	36,70	37,30	36,60	36,40	36,90	36,50	37,10	36,80
3. Berat Tanah Basah	gr	18,80	18,60	18,20	18,60	17,90	18,30	18,70	18,70	18,40	19,20	18,60	18,70	18,90	18,60	19,20	18,50	18,30	18,80	18,40	19,00	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	1,721	1,684	1,721	1,656	1,693	1,730	1,730	1,703	1,777	1,721	1,730	1,749	1,721	1,777	1,712	1,693	1,740	1,703	1,758	1,730
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	35,00	34,89	34,50	34,90	34,20	34,59	34,89	34,92	34,80	35,40	34,89	34,90	35,19	34,90	35,50	34,79	34,59	35,09	34,60	35,29	34,99
7. Berat Tanah Kering	gr	16,90	16,79	16,40	16,80	16,10	16,49	16,79	16,82	16,70	17,30	16,79	16,80	17,09	16,80	17,40	16,69	16,49	16,99	16,50	17,19	16,89
8. Berat Air	gr	1,90	1,81	1,80	1,80	1,80	1,81	1,91	1,88	1,70	1,90	1,81	1,90	1,81	1,80	1,80	1,81	1,81	1,81	1,90	1,81	1,81
9. Kadar Air	%	11,24	10,78	10,98	10,71	11,18	10,98	11,38	11,18	10,18	10,98	10,78	11,31	10,59	10,71	10,34	10,84	10,98	10,65	11,52	10,53	10,71
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10,883										
11. γ_d	gr/cm ³	1,564	1,554	1,518	1,555	1,490	1,526	1,554	1,556	1,545	1,601	1,554	1,555	1,581	1,555	1,610	1,544	1,526	1,572	1,527	1,591	1,563
12. γ_d rata-rata	gr											1,554										

$\alpha=51^\circ$; B=6 cm; d/B=1; 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	36,20	36,90	35,90	36,10	36,20	36,60	36,40	36,70	36,70	36,60	36,60	36,70	36,50	36,40	36,70	36,90	36,70	36,60	37,30	37,20	36,60
3. Berat Tanah Basah	gr	18,10	18,80	17,80	18,00	18,10	18,50	18,30	18,60	18,60	18,50	18,50	18,60	18,40	18,30	18,60	18,80	18,60	18,50	19,20	19,10	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	1,740	1,647	1,666	1,675	1,712	1,693	1,721	1,721	1,712	1,712	1,721	1,703	1,693	1,721	1,740	1,721	1,712	1,777	1,767	1,712
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,51	35,19	34,20	34,41	34,60	34,99	34,71	35,00	34,99	34,80	34,80	34,81	34,69	34,50	34,79	35,00	34,80	34,69	35,18	35,10	34,59
7. Berat Tanah Kering	gr	16,41	17,09	16,10	16,31	16,50	16,89	16,61	16,90	16,89	16,70	16,70	16,71	16,59	16,40	16,69	16,90	16,70	16,59	17,08	17,00	16,49
8. Berat Air	gr	1,69	1,71	1,70	1,69	1,60	1,61	1,69	1,70	1,71	1,80	1,80	1,89	1,81	1,90	1,91	1,90	1,90	1,91	2,12	2,10	2,01
9. Kadar Air	%	10,30	10,00	10,56	10,37	9,70	9,52	10,18	10,06	10,12	10,78	10,78	11,31	10,91	11,59	11,45	11,24	11,38	11,52	12,43	12,35	12,20
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10,892										
11. γ_d	gr/cm ³	1,518	1,582	1,490	1,509	1,527	1,563	1,537	1,564	1,563	1,545	1,545	1,546	1,535	1,518	1,544	1,564	1,545	1,535	1,580	1,573	1,526
12. γ_d rata-rata	gr											1,543										

$\alpha=51^\circ$; B=8 cm; d/B=1; 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	36,80	36,10	36,10	35,80	36,70	36,20	36,20	36,20	36,50	36,90	37,00	36,00	36,30	36,60	36,30	36,30	36,50	36,10	36,50	36,40	36,50
3. Berat Tanah Basah	gr	18,70	18,00	18,00	17,70	18,60	18,10	18,10	18,40	18,80	18,90	17,90	18,20	18,50	18,20	18,20	18,40	18,00	18,40	18,30	18,40	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	1,730	1,666	1,666	1,638	1,721	1,675	1,675	1,675	1,703	1,740	1,749	1,656	1,684	1,712	1,684	1,684	1,703	1,666	1,703	1,693	1,703
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	35,00	34,49	34,41	34,21	35,00	34,50	34,51	34,80	35,10	35,29	34,29	34,60	34,90	34,70	34,70	34,80	34,50	34,79	34,80	34,80	34,80
7. Berat Tanah Kering	gr	16,90	16,39	16,31	16,11	16,90	16,40	16,41	16,41	16,70	17,00	17,19	16,19	16,50	16,80	16,60	16,60	16,70	16,40	16,69	16,70	16,70
8. Berat Air	gr	1,80	1,61	1,69	1,59	1,70	1,70	1,69	1,69	1,70	1,80	1,71	1,71	1,70	1,70	1,60	1,60	1,70	1,60	1,71	1,60	1,70
9. Kadar Air	%	10,65	9,82	10,37	9,88	10,06	10,37	10,30	10,30	10,18	10,59	9,94	10,56	10,30	10,12	9,64	9,64	10,18	9,76	10,24	9,58	10,18
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10,126										
11. γ_d	gr/cm ³	1,564	1,517	1,509	1,491	1,564	1,518	1,518	1,518	1,545	1,573	1,591	1,498	1,527	1,555	1,536	1,536	1,545	1,518	1,544	1,545	1,545
12. γ_d rata-rata	gr											1,536										

$\alpha=51^\circ$; B=8 cm; d/B=1; 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	35,70	36,70	36,40	36,10	36,40	35,90	36,60	36,20	36,80	35,80	36,00	36,30	36,30	36,20	36,50	36,00	36,20	36,50	36,00	36,50	36,80
3. Berat Tanah Basah	gr	17,60	18,60	18,30	18,00	18,30	17,80	18,50	18,10	18,70	17,70	17,90	18,20	18,20	18,10	18,40	17,90	18,10	18,40	17,90	18,40	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	1,629	1,721	1,693	1,666	1,693	1,647	1,712	1,675	1,730	1,638	1,656	1,684	1,684	1,675	1,703	1,656	1,675	1,703	1,656	1,703	1,730
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	33,91	35,10	34,69	34,51	34,71	34,31	34,90	34,51	35,10	34,21	34,41	34,51	34,70	34,31	34,61	34,30	34,50	34,70	34,30	34,89	35,10
7. Berat Tanah Kering	gr	15,81	17,00	16,59	16,41	16,61	16,21	16,80	16,41	17,00	16,11	16,31	16,41	16,60	16,21	16,51	16,20	16,40	16,60	16,20	16,79	17,00
8. Berat Air	gr	1,79	1,60	1,71	1,59	1,69	1,59	1,70	1,69	1,70	1,59	1,59	1,79	1,60	1,89	1,89	1,70	1,70	1,80	1,70	1,61	1,70
9. Kadar Air	%	11,32	9,41	10,30	9,70	10,18	9,82	10,12	10,30	10,00	9,88	9,76	10,91	9,64	11,66	11,45	10,49	10,37	10,84	10,49	9,58	10,00
10. Kadar Air Rata-Rata	%											10,296										
11. γ_d	gr/cm ³	1,463	1,573	1,535	1,518	1,537	1,500	1,555	1,518	1,573	1,491	1,509	1,518	1,536	1,500	1,528	1,499	1,518	1,536	1,499	1,554	1,573
12. γ_d rata-rata	gr											1,525										

$\alpha=51^\circ$; B=8 cm; d/B=1; 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	35,90	37,10	36,60	36,20	36,40	36,30	36,40	36,70	36,40	36,50	36,80	36,50	37,00	36,40	36,30	36,70	35,30	36,20	36,70	36,70	37,20
3. Berat Tanah Basah	gr	17,80	19,00	18,50	18,10	18,30	18,20	18,30	18,60	18,30	18,40	18,70	18,40	18,90	18,30	18,20	18,60	17,20	18,10	18,60	18,60	19,10
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	1,758	1,712	1,675	1,693	1,684	1,693	1,721	1,693	1,703	1,730	1,703	1,749	1,693	1,684	1,721	1,592	1,675	1,721	1,721	1,767
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,21	35,40	34,90	34,51	34,71	34,52	34,61	34,99	34,71	34,80	35,01	34,81	35,11	34,70	34,61	35,00	33,70	34,41	35,02	34,90	35,51
7. Berat Tanah Kering	gr	16,11	17,30	16,80	16,41	16,61	16,42	16,51	16,89	16,61	16,70	16,91	16,71	17,01	16,60	16,51	16,90	15,60	16,31	16,92	16,80	17,41
8. Berat Air	gr	1,69	1,70	1,70	1,69	1,69	1,78	1,79	1,71	1,69	1,70	1,79	1,69	1,89	1,70	1,69	1,70	1,60	1,79	1,68	1,80	1,69
9. Kadar Air	%	10,49	9,83	10,12	10,30	10,18	10,84	10,84	10,12	10,18	10,18	10,59	10,12	11,11	10,24	10,24	10,06	10,26	10,98	9,94	10,71	9,71
10. Kadar Air Rata-Rata	%	10,336																				
11. γ_d	gr/cm ³	1,491	1,601	1,555	1,518	1,537	1,519	1,528	1,563	1,537	1,545	1,565	1,546	1,574	1,536	1,528	1,564	1,444	1,509	1,566	1,555	1,611
12. γ_d rata-rata	gr	1,542																				



LAMPIRAN 6

**Perhitungan Daya Dukung Lereng Tanpa Perkuatan
dengan Metode Analitik**

A. Metode Gempeline

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

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

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

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

1. $B = 4$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 1$

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 4 \text{ cm} = 1,575 \text{ inchi}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke tepi lereng} = 4 \text{ cm} = 1,575 \text{ inchi}$$

$$f_\phi = 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159 \cdot 41,25 - 2,386)} = 248,242$$

$$f_B = 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 1,575)} = 1,998$$

$$f_{D/B} = 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/1,575) = 1$$

$$f_{B/L} = 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (1,575/\sim) = 1$$

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

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (1,575/1,575)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 0,533 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,6 (1,575/\sim) [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (1,575/1,575)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \alpha \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,33 (0/1,545) \tan 51^\circ \{2/[2 + (1,575/1,575)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\gamma q} &= f_\phi \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \\ &= 248,242 \times 1,998 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,533 \times 1 \times 1 = 264,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\ &= 0,5 \times 1,531 \times 4 \times 264,18 \end{aligned}$$

$$= 808,919 \text{ gr/cm}^2 = 80,892 \text{ kN/m}^2$$

2. $B = 6$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 1$

$$\begin{aligned} \beta &= \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ \\ B &= \text{lebar pondasi} = 6 \text{ cm} = 2,362 \text{ inchi} \\ b &= \text{jarak pondasi ke tepi lereng} = 6 \text{ cm} = 2,362 \text{ inchi} \\ f_\phi &= 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159 \cdot 41,25 - 2,386)} = 248,242 \\ f_B &= 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 2,362)} = 1,842 \\ f_{D/B} &= 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/2,362) = 1 \\ f_{B/L} &= 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (2,362/\sim) = 1 \\ f_{D/B, B/L} &= 1 + 0,39 (D/L) = 1 + 0,39 (0/\sim) = 1 \\ f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (2,362/2,362)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 0,533 \\ f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,6 (2,362/\sim) [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (2,362/2,362)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \\ f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \alpha \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,33 (0/2,362) \tan 51^\circ \{2/[2 + (2,362/2,362)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \\ N_{\gamma q} &= f_\phi \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \\ &= 248,242 \times 1,842 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,533 \times 1 \times 1 = 243,6 \\ q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\ &= 0,5 \times 1,531 \times 6 \times 243,6 \\ &= 1118,87 \text{ gr/cm}^2 = 111,887 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

3. $B = 8$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 1$

$$\begin{aligned} \beta &= \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ \\ B &= \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm} = 3,149 \text{ inchi} \\ b &= \text{jarak pondasi ke tepi lereng} = 8 \text{ cm} = 3,149 \text{ inchi} \\ f_\phi &= 10^{(0,1159\phi - 2,386)} = 10^{(0,1159 \cdot 41,25 - 2,386)} = 248,242 \\ f_B &= 10^{(0,34 - 0,2 \log B)} = 10^{(0,34 - 0,2 \log 3,149)} = 1,739 \\ f_{D/B} &= 1 + 0,65 (D/B) = 1 + 0,65 (0/3,149) = 1 \\ f_{B/L} &= 1 - 0,27 (B/L) = 1 - 0,27 (3,149/\sim) = 1 \\ f_{D/B, B/L} &= 1 + 0,39 (D/L) = 1 + 0,39 (0/\sim) = 1 \\ f_{\beta, b/B} &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 - 0,8 [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (3,149/3,149)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 0,533 \\ f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,6 (B/L) [1 - 1(1 - \tan \alpha)^2] \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,6 (3,149/\sim) [1 - 1(1 - \tan 51^\circ)^2] \{2/[2 + (3,149/3,149)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \\ f_{\beta, b/D, D/B} &= 1 + 0,33 (D/B) \tan \alpha \{2/[2 + (b/B)^2 \tan \alpha]\} \\ &= 1 + 0,33 (0/3,149) \tan 51^\circ \{2/[2 + (3,149/3,149)^2 \tan 51^\circ]\} \\ &= 1 \\ N_{\gamma q} &= f_\phi \times f_B \times f_{D/B} \times f_{B/L} \times f_{D/B, B/L} \times f_{\beta, b/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \times f_{\beta, b/D, D/B} \\ &= 248,242 \times 1,739 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,533 \times 1 \times 1 = 229,98 \\ q_u &= 0,5 \times \gamma \times B \times N_{\gamma q} \\ &= 0,5 \times 1,531 \times 8 \times 229,98 \\ &= 1408,41 \text{ gr/cm}^2 = 140,84 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

B. Metode Hansen

$$\gamma = 1,531$$

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

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

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

1. B = 4, $\beta = 51^\circ$, d/B = 1

$$\beta = \text{sudut kemiringan lereng} = 51^\circ$$

$$B = \text{lebar pondasi} = 4 \text{ cm}$$

$$b = \text{jarak pondasi ke tepi lereng} = 4 \text{ cm}$$

untuk tanah datar (d = 4B):

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

Dengan mengasumsikan nilai c = 0 dan Df = 0, maka diperoleh nilai daya dukung sebagai berikut:

$$q_u = (c \times N_c) + (D_f \times \gamma \times N_q) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N_\gamma \right)$$

$$q_u = (0 \times 86,286) + (0 \times 1,531 \times 76,67) + \left(1,531 \times \frac{4}{2} \times 99,542 \right)$$

$$q_u = 304,799 \text{ g/cm}^2 = 30,479 \text{ kN/m}^2$$

untuk tanah lereng (d = 0):

$$q_u = (c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot b_c \cdot g_c) + (D_f \cdot \gamma \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot b_q \cdot g_q) + \left(\gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \right)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

dimana:

$$d_c = d_q = d_\gamma = 1 \text{ (faktor kedalaman)}$$

$$i_c = i_q = i_\gamma = 1 \text{ (faktor kemiringan beban)}$$

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \text{ (faktor bentuk pondasi)}$$

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1 \text{ (faktor kemiringan dasar pondasi)}$$

untuk $d = 0$ cm, maka:

$$gq = g_y = (1 - \tan\beta)^2 = (1 - \tan 51^\circ)^2 = 0,9026$$

untuk $D_f = 0$ cm, maka nilai daya dukung:

$$q_u = 1,531 \times \frac{4}{2} \times 99,542 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9026 = 275,11 \text{ g/cm}^2 = 27,51 \text{ kN/m}^2$$

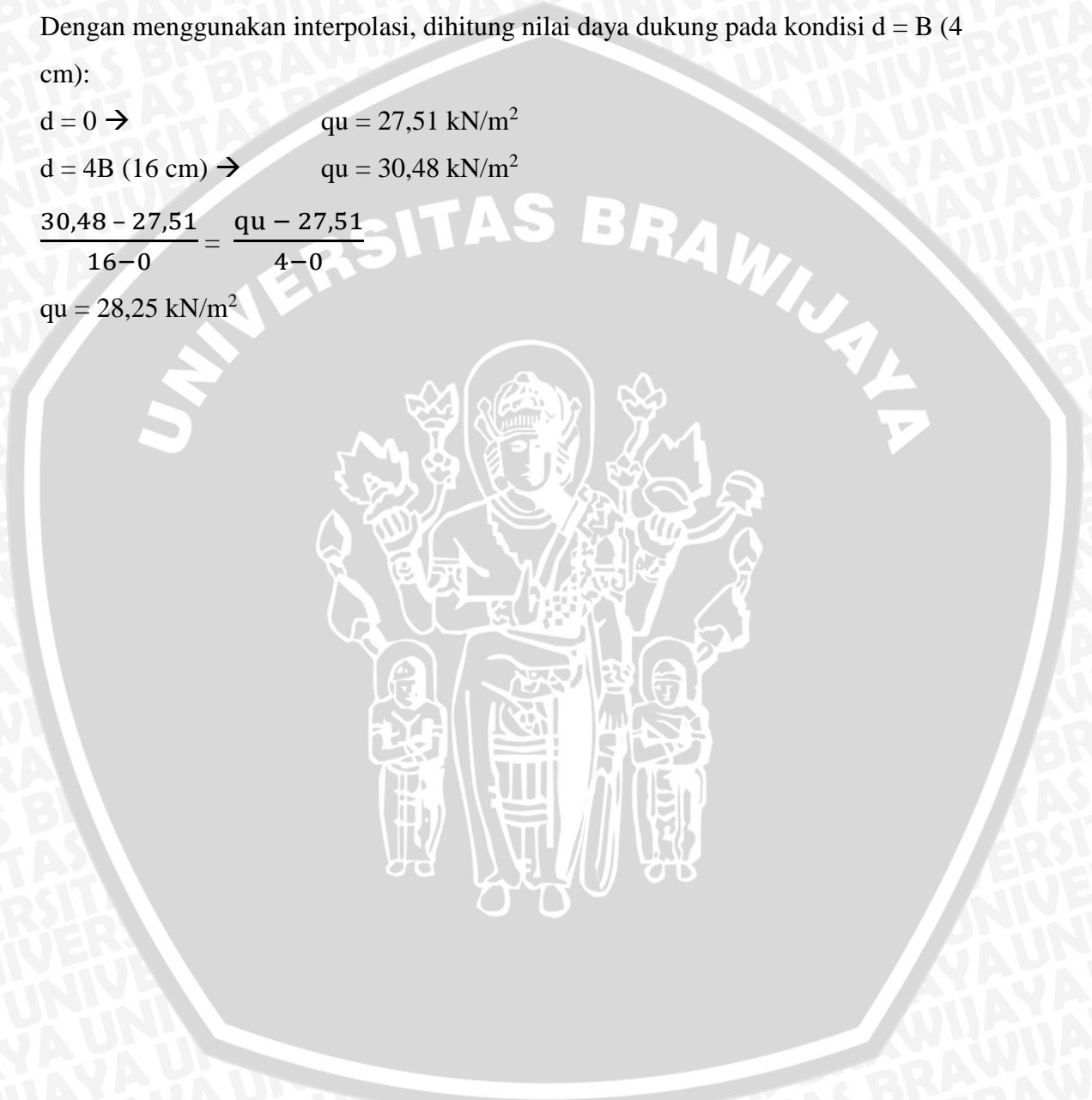
Dengan menggunakan interpolasi, dihitung nilai daya dukung pada kondisi $d = B$ (4 cm):

$$d = 0 \rightarrow q_u = 27,51 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 4B \text{ (16 cm)} \rightarrow q_u = 30,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{30,48 - 27,51}{16 - 0} = \frac{q_u - 27,51}{4 - 0}$$

$$q_u = 28,25 \text{ kN/m}^2$$



2. $B = 6$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 1$

β = sudut kemiringan lereng = 51°

B = lebar pondasi = 6 cm

b = jarak pondasi ke tepi lereng = 6 cm

untuk tanah datar ($d = 4B$):

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

Dengan mengasumsikan nilai $c = 0$ dan $D_f = 0$, maka diperoleh nilai daya dukung sebagai berikut:

$$q_u = (c \times N_c) + (D_f \times \gamma \times N_q) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N_\gamma \right)$$

$$q_u = (0 \times 86,286) + (0 \times 1,531 \times 76,67) + \left(1,531 \times \frac{6}{2} \times 99,542 \right)$$

$$q_u = 457,198 \text{ g/cm}^2 = 45,719 \text{ kN/m}^2$$

untuk tanah lereng ($d = 0$):

$$q_u = (c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot b_c \cdot g_c) + (D_f \cdot \gamma \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot b_q \cdot g_q) + \left(\gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \right)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

dimana:

$d_c = d_q = d_\gamma = 1$ (faktor kedalaman)

$i_c = i_q = i_\gamma = 1$ (faktor kemiringan beban)

$s_c = s_q = s_\gamma = 1$ (faktor bentuk pondasi)

$b_c = b_q = b_\gamma = 1$ (faktor kemiringan dasar pondasi)

untuk $d = 0$ cm, maka:

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2 = (1 - \tan 51^\circ)^2 = 0,9026$$

untuk $D_f = 0$ cm, maka nilai daya dukung:

$$q_u = 1,531 \times \frac{6}{2} \times 99,542 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9026 = 412,667 \text{ g/cm}^2 = 41,267 \text{ kN/m}^2$$

Dengan menggunakan interpolasi, dihitung nilai daya dukung pada kondisi $d = B$ (4 cm):

$$d = 0 \rightarrow \quad qu = 41,267 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 4B \text{ (16 cm)} \rightarrow \quad qu = 45,719 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{45,719 - 41,267}{24 - 0} = \frac{qu - 41,267}{6 - 0}$$

$$qu = 42,38 \text{ kN/m}^2$$



3. $B = 8$, $\beta = 51^\circ$, $d/B = 1$

- β = sudut kemiringan lereng = 51°
 B = lebar pondasi = 8 cm
 b = jarak pondasi ke tepi lereng = 8 cm

untuk tanah datar ($d = 4B$):

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

Dengan mengasumsikan nilai $c = 0$ dan $D_f = 0$, maka diperoleh nilai daya dukung sebagai berikut:

$$q_u = (c \times N_c) + (D_f \times \gamma \times N_q) + \left(\gamma \times \frac{B}{2} \times N_\gamma \right)$$

$$q_u = (0 \times 86,286) + (0 \times 1,531 \times 76,67) + \left(1,531 \times \frac{8}{2} \times 99,542 \right)$$

$$q_u = 609,598 \text{ g/cm}^2 = 60,96 \text{ kN/m}^2$$

untuk tanah lereng ($d = 0$):

$$q_u = (c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot b_c \cdot g_c) + (D_f \cdot \gamma \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot b_q \cdot g_q) + \left(\gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma \right)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 41,25} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{41,25}{2} \right) = 76,67$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (76,67 - 1) \cot 41,25 = 86,286$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (76,67 - 1) \tan 41,25 = 99,542$$

dimana:

$$d_c = d_q = d_\gamma = 1 \text{ (faktor kedalaman)}$$

$$i_c = i_q = i_\gamma = 1 \text{ (faktor kemiringan beban)}$$

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \text{ (faktor bentuk pondasi)}$$

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1 \text{ (faktor kemiringan dasar pondasi)}$$

untuk $d = 0$ cm, maka:

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2 = (1 - \tan 51^\circ)^2 = 0,9026$$

untuk $D_f = 0$ cm, maka nilai daya dukung:

$$q_u = 1,531 \times \frac{8}{2} \times 99,542 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,9026 = 550,223 \text{ g/cm}^2 = 55,022 \text{ kN/m}^2$$

Dengan menggunakan interpolasi, dihitung nilai daya dukung pada kondisi $d = B$ (4 cm):

$$d = 0 \rightarrow \quad qu = 55,022 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 4B \text{ (16 cm)} \rightarrow \quad qu = 60,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{60,96 - 55,022}{32 - 0} = \frac{qu - 55,022}{8 - 0}$$

$$qu = 56,507 \text{ kN/m}^2$$



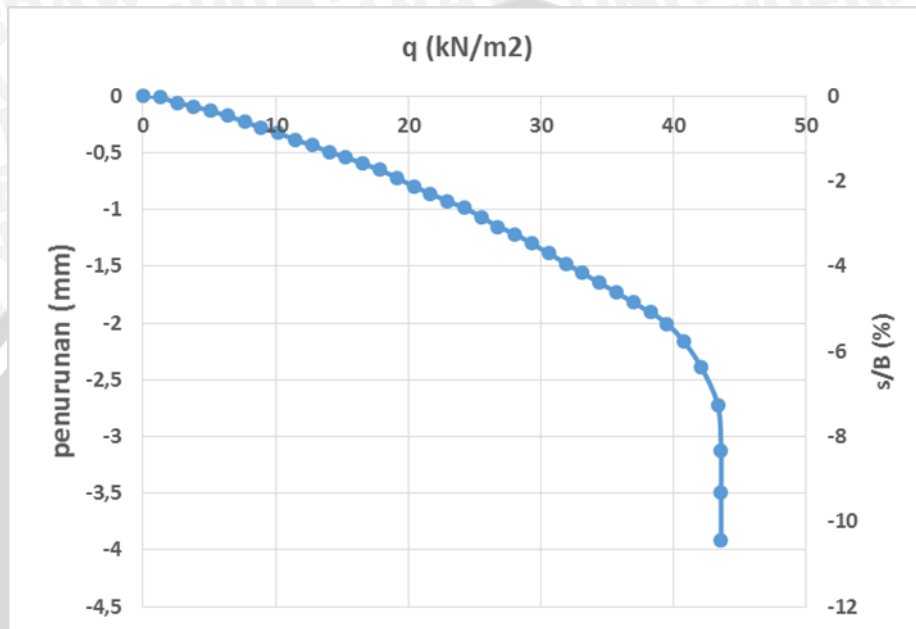
LAMPIRAN 7

**Rekapitulasi Nilai Penurunan dan Perhitungan Daya Dukung Berdasarkan
Eksperimen**

Lereng tanpa perkuatan1. $\alpha = 51^\circ$, $B = 4$ cm, $d/B = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4719	4721	4720	0	0	0	0
5	4720	4716	4718	0,01	0,0250	0,0128	1,2755
10	4705	4711	4708	0,06	0,1500	0,0255	2,5510
15	4701	4703	4702	0,09	0,2250	0,0383	3,8265
20	4696	4692	4694	0,13	0,3250	0,0510	5,1020
25	4682	4688	4685	0,175	0,4375	0,0638	6,3776
30	4674	4676	4675	0,225	0,5625	0,0765	7,6531
35	4666	4662	4664	0,28	0,7000	0,0893	8,9286
40	4652	4658	4655	0,325	0,8125	0,1020	10,2041
45	4642	4644	4643	0,385	0,9625	0,1148	11,4796
50	4635	4631	4633	0,435	1,0875	0,1276	12,7551
55	4619	4625	4622	0,49	1,2250	0,1403	14,0306
60	4611	4613	4612	0,54	1,3500	0,1531	15,3061
65	4603	4599	4601	0,595	1,4875	0,1658	16,5816
70	4587	4593	4590	0,65	1,6250	0,1786	17,8571
75	4575	4577	4576	0,72	1,8000	0,1913	19,1327
80	4563	4559	4561	0,795	1,9875	0,2041	20,4082
85	4545	4551	4548	0,86	2,1500	0,2168	21,6837
90	4534	4536	4535	0,925	2,3125	0,2296	22,9592
95	4525	4521	4523	0,985	2,4625	0,2423	24,2347
100	4504	4510	4507	1,065	2,6625	0,2551	25,5102
105	4489	4491	4490	1,15	2,8750	0,2679	26,7857
110	4479	4475	4477	1,215	3,0375	0,2806	28,0612
115	4457	4463	4460	1,3	3,2500	0,2934	29,3367
120	4442	4444	4443	1,385	3,4625	0,3061	30,6122
125	4427	4423	4425	1,475	3,6875	0,3189	31,8878
130	4405	4411	4408	1,56	3,9000	0,3316	33,1633
135	4390	4392	4391	1,645	4,1125	0,3444	34,4388
140	4376	4372	4374	1,73	4,3250	0,3571	35,7143
145	4353	4359	4356	1,82	4,5500	0,3699	36,9898
150	4338	4340	4339	1,905	4,7625	0,3827	38,2653
155	4321	4317	4319	2,005	5,0125	0,3954	39,5408
160	4284	4290	4287	2,165	5,4125	0,4082	40,8163
165	4245	4241	4243	2,385	5,9625	0,4209	42,0918

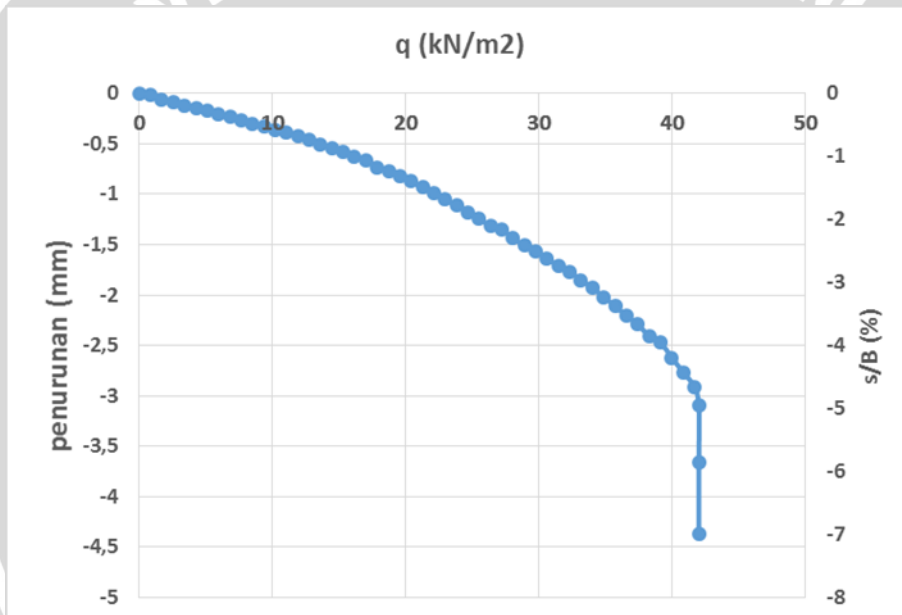
170	4173	4179	4176	2,72	6,8000	0,4337	43,3673
171	4095	4097	4096	3,12	7,8000	0,4362	43,6224
171	4023	4019	4021	3,495	8,7375	0,4362	43,6224
171	3935	3941	3938	3,91	9,7750	0,4362	43,6224



2. $\alpha = 51^\circ$, $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4883	4887	4885	0	0	0	0
5	4880	4882	4881	0,02	0,03333	0,00850	0,85034
10	4875	4871	4873	0,06	0,10000	0,01701	1,70068
15	4865	4871	4868	0,085	0,14167	0,02551	2,55102
20	4863	4859	4861	0,12	0,20000	0,03401	3,40136
25	4856	4854	4855	0,15	0,25000	0,04252	4,25170
30	4848	4852	4850	0,175	0,29167	0,05102	5,10204
35	4842	4844	4843	0,21	0,35000	0,05952	5,95238
40	4840	4836	4838	0,235	0,39167	0,06803	6,80272
45	4829	4835	4832	0,265	0,44167	0,07653	7,65306
50	4827	4823	4825	0,3	0,50000	0,08503	8,50340
55	4820	4818	4819	0,33	0,55000	0,09354	9,35374
60	4811	4815	4813	0,36	0,60000	0,10204	10,20408
65	4806	4808	4807	0,39	0,65000	0,11054	11,05442
70	4802	4798	4800	0,425	0,70833	0,11905	11,90476
75	4789	4795	4792	0,465	0,77500	0,12755	12,75510
80	4786	4782	4784	0,505	0,84167	0,13605	13,60544
85	4778	4776	4777	0,54	0,90000	0,14456	14,45578
90	4766	4770	4768	0,585	0,97500	0,15306	15,30612
95	4759	4761	4760	0,625	1,04167	0,16156	16,15646
100	4754	4750	4752	0,665	1,10833	0,17007	17,00680
105	4735	4741	4738	0,735	1,22500	0,17857	17,85714
110	4733	4729	4731	0,77	1,28333	0,18707	18,70748
115	4722	4720	4721	0,82	1,36667	0,19558	19,55782
120	4708	4712	4710	0,875	1,45833	0,20408	20,40816
125	4697	4699	4698	0,935	1,55833	0,21259	21,25850
130	4689	4685	4687	0,99	1,65000	0,22109	22,10884
135	4672	4678	4675	1,05	1,75000	0,22959	22,95918
140	4665	4661	4663	1,11	1,85000	0,23810	23,80952
145	4650	4648	4649	1,18	1,96667	0,24660	24,65986
150	4634	4638	4636	1,245	2,07500	0,25510	25,51020
155	4621	4623	4622	1,3	2,19167	0,26361	26,36054
160	4616	4612	4614	1,355	2,25833	0,27211	27,21088
165	4594	4600	4597	1,44	2,40000	0,28061	28,06122
170	4585	4581	4583	1,51	2,51667	0,28912	28,91156
175	4573	4571	4572	1,565	2,60833	0,29762	29,76190
180	4555	4559	4557	1,64	2,73333	0,30612	30,61224
185	4542	4544	4543	1,71	2,85000	0,31463	31,46259
190	4533	4529	4531	1,77	2,95000	0,32313	32,31293
195	4511	4517	4514	1,855	3,09167	0,33163	33,16327

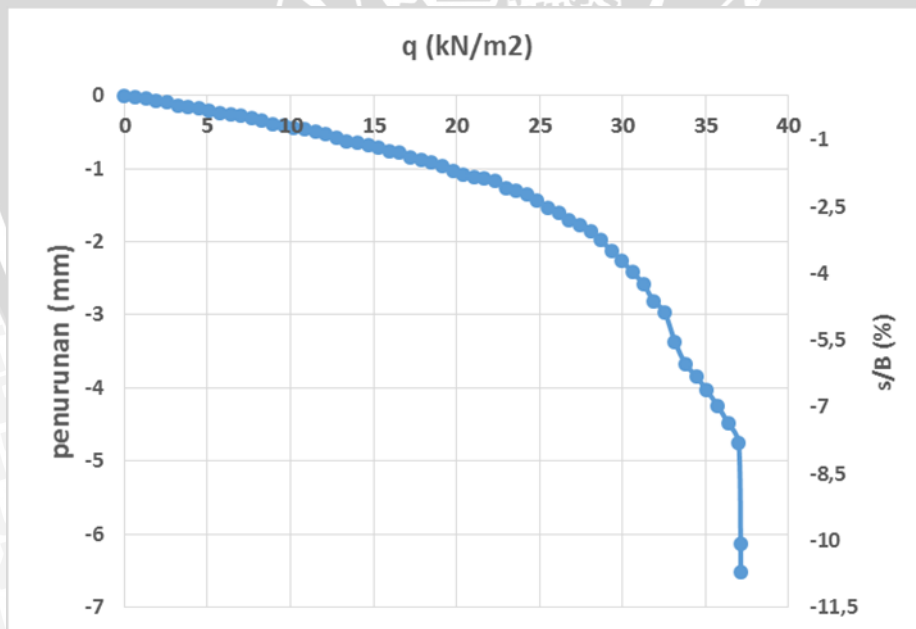
200	4502	4498	4500	1,925	3,20833	0,34014	34,01361
205	4481	4479	4480	2,025	3,37500	0,34864	34,86395
210	4462	4466	4464	2,105	3,50833	0,35714	35,71429
215	4442	4444	4443	2,21	3,68333	0,36565	36,56463
220	4429	4425	4427	2,29	3,81667	0,37415	37,41497
225	4401	4407	4404	2,405	4,00833	0,38265	38,26531
230	4393	4389	4391	2,47	4,11667	0,39116	39,11565
235	4362	4360	4361	2,62	4,36667	0,39966	39,96599
240	4330	4334	4332	2,765	4,60833	0,40816	40,81633
245	4302	4304	4303	2,91	4,85000	0,41667	41,66667
247	4268	4264	4266	3,095	5,15833	0,42007	42,00680
247	4150	4156	4153	3,66	6,10000	0,42007	42,00680
247	4013	4009	4011	4,37	7,28333	0,42007	42,00680



3. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	4680	4684	4682	0	0	0	0
5	4675	4677	4676	0,03	0,0375	0,00638	0,6378
10	4675	4671	4673	0,045	0,05625	0,01276	1,2755
15	4665	4671	4668	0,07	0,0875	0,01913	1,9133
20	4665	4661	4663	0,095	0,11875	0,02551	2,5510
25	4656	4654	4655	0,135	0,16875	0,03189	3,1888
30	4650	4654	4652	0,15	0,1875	0,03827	3,8265
35	4646	4648	4647	0,175	0,21875	0,04464	4,4643
40	4643	4639	4641	0,205	0,25625	0,05102	5,1020
45	4632	4638	4635	0,235	0,29375	0,05740	5,7398
50	4632	4628	4630	0,26	0,325	0,06378	6,3776
55	4627	4625	4626	0,28	0,35	0,07015	7,0153
60	4618	4622	4620	0,31	0,3875	0,07653	7,6531
65	4612	4614	4613	0,345	0,43125	0,08291	8,2908
70	4607	4603	4605	0,385	0,48125	0,08929	8,9286
75	4596	4602	4599	0,415	0,51875	0,09566	9,5663
80	4596	4592	4594	0,44	0,55	0,10204	10,2041
85	4591	4589	4590	0,46	0,575	0,10842	10,8418
90	4581	4585	4583	0,495	0,61875	0,11480	11,4796
95	4575	4577	4576	0,53	0,6625	0,12117	12,1173
100	4568	4564	4566	0,58	0,725	0,12755	12,7551
105	4555	4561	4558	0,62	0,775	0,13393	13,3929
110	4554	4550	4552	0,65	0,8125	0,14031	14,0306
115	4547	4545	4546	0,68	0,85	0,14668	14,6684
120	4536	4540	4538	0,72	0,9	0,15306	15,3061
125	4530	4532	4531	0,755	0,94375	0,15944	15,9439
130	4528	4524	4526	0,78	0,975	0,16582	16,5816
135	4510	4516	4513	0,845	1,05625	0,17219	17,2194
140	4508	4504	4506	0,88	1,1	0,17857	17,8571
145	4499	4497	4498	0,92	1,15	0,18495	18,4949
150	4486	4490	4488	0,97	1,2125	0,19133	19,1327
155	4475	4477	4476	1,0	1,2875	0,19770	19,7704
160	4468	4464	4466	1,08	1,35	0,20408	20,4082
165	4457	4463	4460	1,11	1,3875	0,21046	21,0459
170	4456	4452	4454	1,14	1,425	0,21684	21,6837
175	4448	4446	4447	1,175	1,46875	0,22321	22,3214
180	4428	4432	4430	1,26	1,575	0,22959	22,9592
185	4420	4422	4421	1,305	1,63125	0,23597	23,5969
190	4412	4408	4410	1,36	1,7	0,24235	24,2347
195	4391	4397	4394	1,44	1,8	0,24872	24,8724

200	4377	4373	4375	1,535	1,91875	0,25510	25,5102
205	4362	4360	4361	1,605	2,00625	0,26148	26,1480
210	4339	4343	4341	1,705	2,13125	0,26786	26,7857
215	4326	4328	4327	1,775	2,21875	0,27423	27,4235
220	4313	4309	4311	1,855	2,31875	0,28061	28,0612
225	4283	4289	4286	1,98	2,475	0,28699	28,6990
230	4259	4255	4257	2,125	2,65625	0,29337	29,3367
235	4231	4229	4230	2,26	2,825	0,29974	29,9745
240	4196	4200	4198	2,42	3,025	0,30612	30,6122
245	4166	4168	4167	2,575	3,21875	0,31250	31,2500
250	4120	4116	4118	2,82	3,525	0,31888	31,8878
255	4087	4093	4090	2,96	3,7	0,32526	32,5255
260	4009	4005	4007	3,375	4,21875	0,33163	33,1633
265	3946	3948	3947	3,675	4,59375	0,33801	33,8010
270	3916	3912	3914	3,84	4,8	0,34439	34,4388
275	3872	3878	3875	4,035	5,04375	0,35077	35,0765
280	3831	3837	3834	4,24	5,3	0,35714	35,7143
285	3783	3789	3786	4,48	5,6	0,36352	36,3520
290	3727	3733	3730	4,76	5,95	0,36990	36,9898
291	3453	3459	3456	6,13	7,6625	0,37117	37,1173
291	3376	3382	3379	6,515	8,14375	0,37117	37,1173

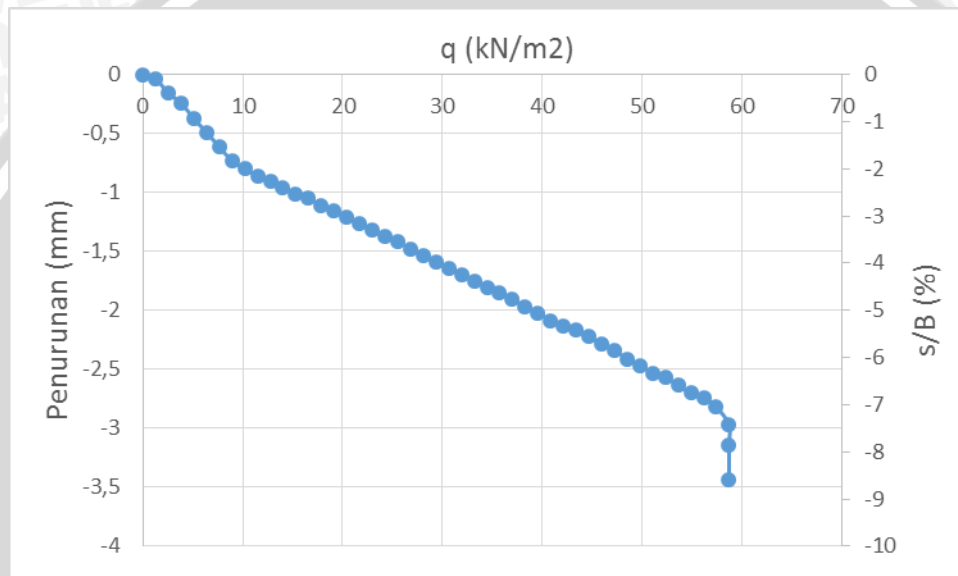


Lereng menggunakan perkuatan

1. $\alpha = 51^\circ$, $B = 4 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	4762	4766	4764	0	0	0	0
5	4760	4754	4757	0,035	0,0875	0,0128	1,2755
10	4734	4730	4732	0,16	0,4	0,0255	2,5510
15	4713	4719	4716	0,24	0,6	0,0383	3,8265
20	4687	4691	4689	0,375	0,9375	0,0510	5,1020
25	4664	4668	4666	0,49	1,225	0,0638	6,3776
30	4639	4643	4641	0,615	1,5375	0,0765	7,6531
35	4621	4615	4618	0,73	1,825	0,0893	8,9286
40	4606	4602	4604	0,8	2	0,1020	10,2041
45	4589	4595	4592	0,86	2,15	0,1148	11,4796
50	4581	4585	4583	0,905	2,2625	0,1276	12,7551
55	4570	4574	4572	0,96	2,4	0,1403	14,0306
60	4560	4564	4562	1,01	2,525	0,1531	15,3061
65	4557	4551	4554	1,05	2,625	0,1658	16,5816
70	4544	4540	4542	1,11	2,775	0,1786	17,8571
75	4529	4535	4532	1,16	2,9	0,1913	19,1327
80	4521	4525	4523	1,205	3,0125	0,2041	20,4082
85	4509	4513	4511	1,265	3,1625	0,2168	21,6837
90	4499	4503	4501	1,315	3,2875	0,2296	22,9592
95	4493	4487	4490	1,37	3,425	0,2423	24,2347
100	4483	4479	4481	1,415	3,5375	0,2551	25,5102
105	4465	4471	4468	1,48	3,7	0,2679	26,7857
110	4455	4459	4457	1,535	3,8375	0,2806	28,0612
115	4444	4448	4446	1,59	3,975	0,2934	29,3367
120	4434	4438	4436	1,64	4,1	0,3061	30,6122
125	4428	4422	4425	1,695	4,2375	0,3189	31,8878
130	4416	4412	4414	1,75	4,375	0,3316	33,1633
135	4400	4406	4403	1,805	4,5125	0,3444	34,4388
140	4393	4397	4395	1,845	4,6125	0,3571	35,7143
145	4381	4385	4383	1,905	4,7625	0,3699	36,9898
150	4368	4372	4370	1,97	4,925	0,3827	38,2653
155	4363	4357	4360	2,02	5,05	0,3954	39,5408
160	4349	4345	4347	2,085	5,2125	0,4082	40,8163
165	4339	4335	4337	2,135	5,3375	0,4209	42,0918
170	4327	4333	4330	2,17	5,425	0,4337	43,3673
175	4317	4321	4319	2,225	5,5625	0,4464	44,6429
180	4305	4309	4307	2,285	5,7125	0,4592	45,9184
185	4294	4298	4296	2,34	5,85	0,4719	47,1939
190	4285	4279	4282	2,41	6,025	0,4847	48,4694

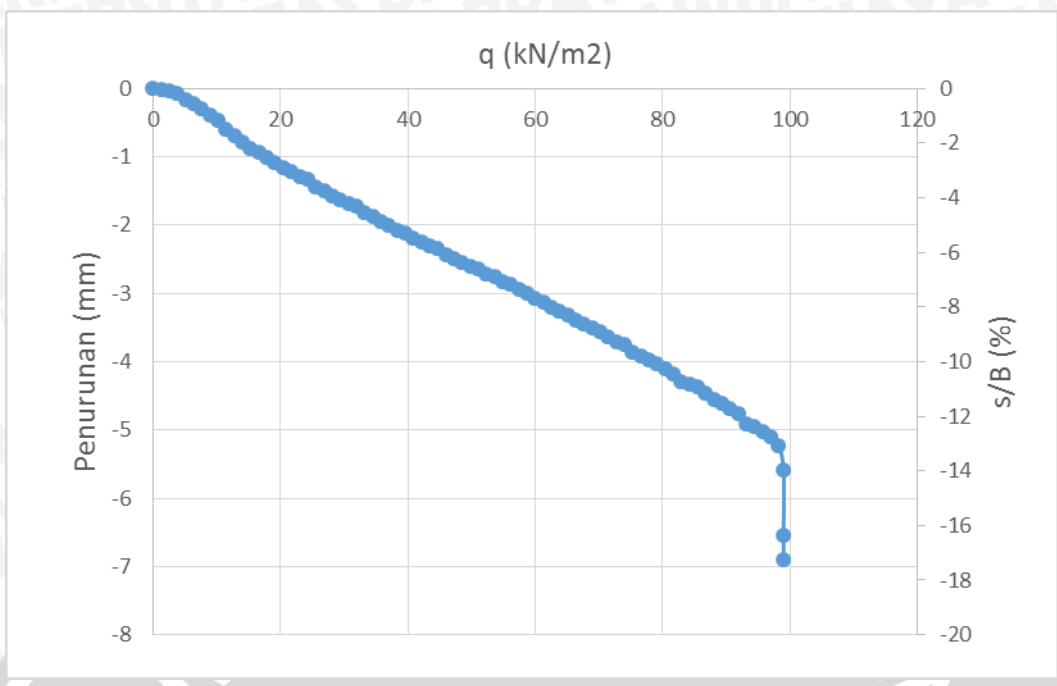
195	4273	4269	4271	2,465	6,1625	0,4974	49,7449
200	4260	4256	4258	2,53	6,325	0,5102	51,0204
205	4248	4254	4251	2,565	6,4125	0,5230	52,2959
210	4235	4239	4237	2,635	6,5875	0,5357	53,5714
215	4222	4226	4224	2,7	6,75	0,5485	54,8469
220	4213	4217	4215	2,745	6,8625	0,5612	56,1224
225	4203	4197	4200	2,82	7,05	0,5740	57,3980
230	4168	4168	4170	2,97	7,425	0,5867	58,6735
230	4134	4138	4136	3,14	7,85	0,5867	58,6735
230	4079	4078	4076	3,44	8,6	0,5867	58,6735



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

Beban (Kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	4988	4990	4989	0	0	0	0
5	4987	4983	4985	0,02	0,05	0,0128	1,2755
10	4986	4980	4983	0,03	0,075	0,0255	2,5510
15	4976	4972	4974	0,075	0,1875	0,0383	3,8265
20	4955	4961	4958	0,155	0,3875	0,0510	5,1020
25	4943	4945	4944	0,225	0,5625	0,0638	6,3776
30	4929	4931	4930	0,295	0,7375	0,0765	7,6531
35	4915	4911	4913	0,38	0,95	0,0893	8,9286
40	4898	4892	4895	0,47	1,175	0,1020	10,2041
45	4873	4869	4871	0,59	1,475	0,1148	11,4796
50	4848	4854	4851	0,69	1,725	0,1276	12,7551
55	4832	4834	4833	0,78	1,95	0,1403	14,0306
60	4813	4815	4814	0,875	2,1875	0,1531	15,3061
65	4806	4802	4804	0,925	2,3125	0,1658	16,5816
70	4792	4786	4789	1	2,5	0,1786	17,8571
75	4774	4770	4772	1,085	2,7125	0,1913	19,1327
80	4756	4762	4759	1,15	2,875	0,2041	20,4082
85	4744	4746	4745	1,22	3,05	0,2168	21,6837
90	4731	4733	4732	1,285	3,2125	0,2296	22,9592
95	4725	4721	4723	1,33	3,325	0,2423	24,2347
100	4705	4699	4702	1,435	3,5875	0,2551	25,5102
105	4693	4689	4691	1,49	3,725	0,2679	26,7857
110	4670	4676	4673	1,58	3,95	0,2806	28,0612
115	4663	4665	4664	1,625	4,0625	0,2934	29,3367
120	4650	4652	4651	1,69	4,225	0,3061	30,6122
125	4645	4641	4643	1,73	4,325	0,3189	31,8878
130	4630	4624	4627	1,81	4,525	0,3316	33,1633
135	4615	4611	4613	1,88	4,7	0,3444	34,4388
140	4597	4603	4600	1,945	4,8625	0,3571	35,7143
145	4586	4588	4587	2,01	5,025	0,3699	36,9898
150	4571	4573	4572	2,085	5,2125	0,3827	38,2653
155	4568	4564	4566	2,115	5,2875	0,3954	39,5408
160	4555	4549	4552	2,185	5,4625	0,4082	40,8163
165	4542	4538	4540	2,245	5,6125	0,4209	42,0918
170	4525	4531	4528	2,305	5,7625	0,4337	43,3673
175	4519	4521	4520	2,345	5,8625	0,4464	44,6429
180	4503	4505	4504	2,425	6,0625	0,4592	45,9184
185	4493	4489	4491	2,49	6,225	0,4719	47,1939
190	4481	4475	4478	2,555	6,3875	0,4847	48,4694
195	4470	4466	4468	2,605	6,5125	0,4974	49,7449

200	4457	4463	4460	2,645	6,6125	0,5102	51,0204
205	4446	4448	4447	2,71	6,775	0,5230	52,2959
210	4436	4438	4437	2,76	6,9	0,5357	53,5714
215	4427	4423	4425	2,82	7,05	0,5485	54,8469
220	4417	4411	4414	2,875	7,1875	0,5612	56,1224
225	4401	4397	4399	2,95	7,375	0,5740	57,3980
230	4385	4391	4388	3,005	7,5125	0,5867	58,6735
235	4372	4374	4373	3,08	7,7	0,5995	59,9490
240	4361	4363	4362	3,135	7,8375	0,6122	61,2245
245	4351	4347	4349	3,2	8	0,6250	62,5000
250	4341	4335	4338	3,255	8,1375	0,6378	63,7755
255	4328	4324	4326	3,315	8,2875	0,6505	65,0510
260	4306	4312	4309	3,4	8,5	0,6633	66,3265
265	4299	4301	4300	3,445	8,6125	0,6760	67,6020
270	4287	4289	4288	3,505	8,7625	0,6888	68,8776
275	4278	4274	4276	3,565	8,9125	0,7015	70,1531
280	4265	4259	4262	3,635	9,0875	0,7143	71,4286
285	4248	4244	4246	3,715	9,2875	0,7270	72,7041
290	4235	4241	4238	3,755	9,3875	0,7398	73,9796
295	4215	4217	4216	3,865	9,6625	0,7526	75,2551
300	4204	4206	4205	3,92	9,8	0,7653	76,5306
305	4198	4194	4196	3,965	9,9125	0,7781	77,8061
310	4185	4179	4182	4,035	10,0875	0,7908	79,0816
315	4170	4166	4168	4,105	10,2625	0,8036	80,3571
320	4151	4157	4154	4,175	10,4375	0,8163	81,6327
325	4130	4132	4131	4,29	10,725	0,8291	82,9082
330	4123	4125	4124	4,325	10,8125	0,8418	84,1837
335	4117	4113	4115	4,37	10,925	0,8546	85,4592
340	4101	4095	4098	4,455	11,1375	0,8673	86,7347
345	4079	4075	4077	4,56	11,4	0,8801	88,0102
350	4063	4069	4066	4,615	11,5375	0,8929	89,2857
355	4051	4053	4052	4,685	11,7125	0,9056	90,5612
360	4036	4038	4037	4,76	11,9	0,9184	91,8367
365	4007	4003	4005	4,92	12,3	0,9311	93,1122
370	4001	3995	3998	4,955	12,3875	0,9439	94,3878
375	3985	3981	3983	5,03	12,575	0,9566	95,6633
380	3968	3974	3971	5,09	12,725	0,9694	96,9388
385	3942	3944	3943	5,23	13,075	0,9821	98,2143
388	3871	3873	3872	5,585	13,9625	0,9898	98,9796
388	3682	3678	3680	6,545	16,3625	0,9898	98,9796
388	3612	3606	3609	6,9	17,25	0,9898	98,9796

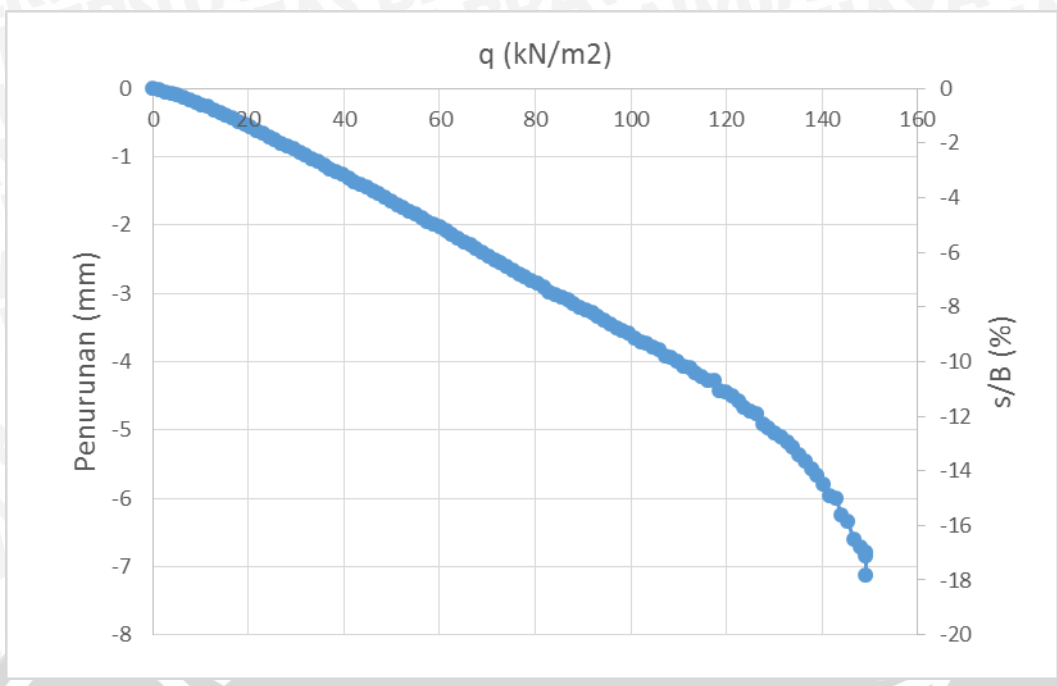


3. $\alpha = 51^\circ$, $B = 4 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	4844	4846	4845	0	0	0	0
5	4843	4839	4841	0,02	0,05	0,0128	1,2755
10	4838	4832	4835	0,05	0,125	0,0255	2,5510
15	4833	4829	4831	0,07	0,175	0,0383	3,8265
20	4823	4829	4826	0,095	0,2375	0,0510	5,1020
25	4819	4821	4820	0,125	0,3125	0,0638	6,3776
30	4812	4814	4813	0,16	0,4	0,0765	7,6531
35	4808	4804	4806	0,195	0,4875	0,0893	8,9286
40	4802	4796	4799	0,23	0,575	0,1020	10,2041
45	4794	4790	4792	0,265	0,6625	0,1148	11,4796
50	4780	4786	4783	0,31	0,775	0,1276	12,7551
55	4774	4776	4775	0,35	0,875	0,1403	14,0306
60	4767	4769	4768	0,385	0,9625	0,1531	15,3061
65	4762	4758	4760	0,425	1,0625	0,1658	16,5816
70	4753	4747	4750	0,475	1,1875	0,1786	17,8571
75	4744	4740	4742	0,515	1,2875	0,1913	19,1327
80	4729	4735	4732	0,565	1,4125	0,2041	20,4082
85	4721	4723	4722	0,615	1,5375	0,2168	21,6837
90	4713	4715	4714	0,655	1,6375	0,2296	22,9592
95	4707	4703	4705	0,7	1,75	0,2423	24,2347
100	4699	4693	4696	0,745	1,8625	0,2551	25,5102
105	4687	4683	4685	0,8	2	0,2679	26,7857
110	4675	4681	4678	0,835	2,0875	0,2806	28,0612
115	4667	4669	4668	0,885	2,2125	0,2934	29,3367
120	4657	4659	4658	0,935	2,3375	0,3061	30,6122
125	4653	4649	4651	0,97	2,425	0,3189	31,8878
130	4644	4638	4641	1,02	2,55	0,3316	33,1633
135	4633	4629	4631	1,07	2,675	0,3444	34,4388
140	4619	4625	4622	1,115	2,7875	0,3571	35,7143
145	4609	4611	4610	1,175	2,9375	0,3699	36,9898
150	4601	4603	4602	1,215	3,0375	0,3827	38,2653
155	4595	4591	4593	1,26	3,15	0,3954	39,5408
160	4586	4580	4583	1,31	3,275	0,4082	40,8163
165	4575	4571	4573	1,36	3,4	0,4209	42,0918
170	4561	4567	4564	1,405	3,5125	0,4337	43,3673
175	4555	4557	4556	1,445	3,6125	0,4464	44,6429
180	4546	4548	4547	1,49	3,725	0,4592	45,9184
185	4539	4535	4537	1,54	3,85	0,4719	47,1939
190	4529	4523	4526	1,595	3,9875	0,4847	48,4694
195	4517	4513	4515	1,65	4,125	0,4974	49,7449

200	4501	4507	4504	1,705	4,2625	0,5102	51,0204
205	4496	4498	4497	1,74	4,35	0,5230	52,2959
210	4486	4488	4487	1,79	4,475	0,5357	53,5714
215	4480	4476	4478	1,835	4,5875	0,5485	54,8469
220	4470	4464	4467	1,89	4,725	0,5612	56,1224
225	4459	4455	4457	1,94	4,85	0,5740	57,3980
230	4445	4451	4448	1,985	4,9625	0,5867	58,6735
235	4438	4440	4439	2,03	5,075	0,5995	59,9490
240	4428	4430	4429	2,08	5,2	0,6122	61,2245
245	4421	4417	4419	2,13	5,325	0,6250	62,5000
250	4411	4405	4408	2,185	5,4625	0,6378	63,7755
255	4399	4395	4397	2,24	5,6	0,6505	65,0510
260	4384	4390	4387	2,29	5,725	0,6633	66,3265
265	4376	4378	4377	2,34	5,85	0,6760	67,6020
270	4365	4367	4366	2,395	5,9875	0,6888	68,8776
275	4356	4352	4354	2,455	6,1375	0,7015	70,1531
280	4348	4342	4345	2,5	6,25	0,7143	71,4286
285	4338	4334	4336	2,545	6,3625	0,7270	72,7041
290	4322	4328	4325	2,6	6,5	0,7398	73,9796
295	4311	4313	4312	2,665	6,6625	0,7526	75,2551
300	4301	4303	4302	2,715	6,7875	0,7653	76,5306
305	4295	4291	4293	2,76	6,9	0,7781	77,8061
310	4287	4281	4284	2,805	7,0125	0,7908	79,0816
315	4277	4273	4275	2,85	7,125	0,8036	80,3571
320	4261	4267	4264	2,905	7,2625	0,8163	81,6327
325	4250	4252	4251	2,97	7,425	0,8291	82,9082
330	4242	4244	4243	3,01	7,525	0,8418	84,1837
335	4237	4233	4235	3,05	7,625	0,8546	85,4592
340	4230	4224	4227	3,09	7,725	0,8673	86,7347
345	4217	4213	4215	3,15	7,875	0,8801	88,0102
350	4203	4209	4206	3,195	7,9875	0,8929	89,2857
355	4197	4199	4198	3,235	8,0875	0,9056	90,5612
360	4187	4189	4188	3,285	8,2125	0,9184	91,8367
365	4180	4176	4178	3,335	8,3375	0,9311	93,1122
370	4170	4164	4167	3,39	8,475	0,9439	94,3878
375	4159	4155	4157	3,44	8,6	0,9566	95,6633
380	4143	4149	4146	3,495	8,7375	0,9694	96,9388
385	4134	4136	4135	3,55	8,875	0,9821	98,2143
390	4128	4130	4129	3,58	8,95	0,9949	99,4898
395	4116	4112	4114	3,655	9,1375	1,0077	100,7653
400	4106	4100	4103	3,71	9,275	1,0204	102,0408
405	4100	4096	4098	3,735	9,3375	1,0332	103,3163
410	4085	4091	4088	3,785	9,4625	1,0459	104,5918
415	4078	4080	4079	3,83	9,575	1,0587	105,8673
420	4062	4064	4063	3,91	9,775	1,0714	107,1429

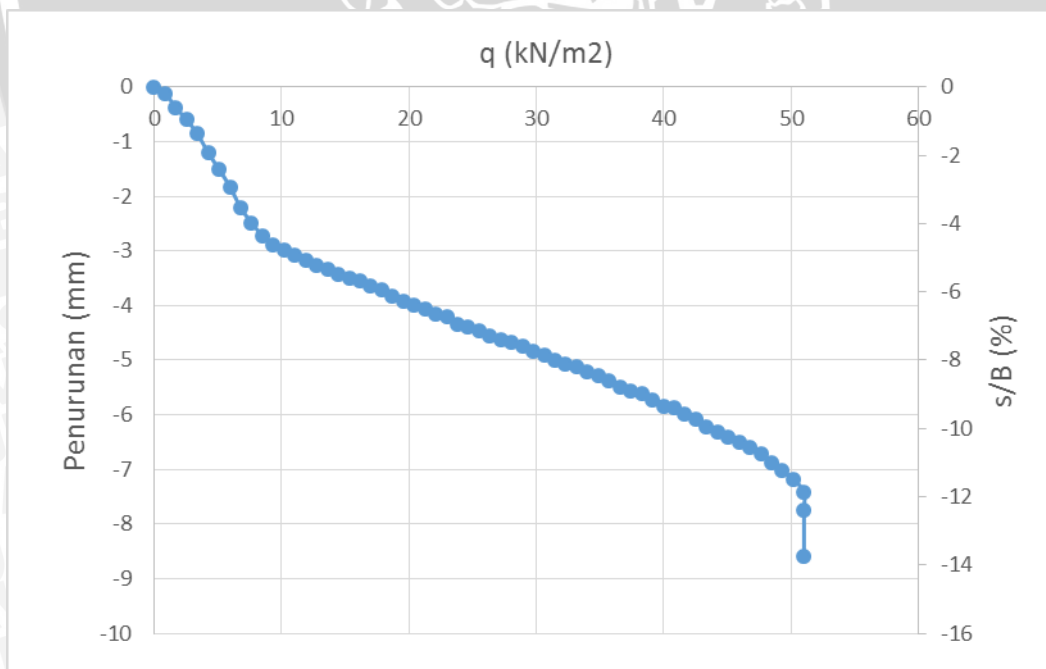
425	4059	4055	4057	3,94	9,85	1,0842	108,4184
430	4048	4042	4045	4	10	1,0969	109,6939
435	4035	4031	4033	4,06	10,15	1,1097	110,9694
440	4024	4030	4027	4,09	10,225	1,1224	112,2449
445	4012	4014	4013	4,16	10,4	1,1352	113,5204
450	3999	4001	4000	4,225	10,5625	1,1480	114,7959
455	3994	3990	3992	4,265	10,6625	1,1607	116,0714
460	3992	3986	3989	4,28	10,7	1,1735	117,3469
465	3964	3960	3962	4,415	11,0375	1,1862	118,6224
470	3952	3958	3955	4,45	11,125	1,1990	119,8980
475	3943	3945	3944	4,505	11,2625	1,2117	121,1735
480	3928	3930	3929	4,58	11,45	1,2245	122,4490
485	3914	3910	3912	4,665	11,6625	1,2372	123,7245
490	3903	3897	3900	4,725	11,8125	1,2500	125,0000
495	3893	3889	3891	4,77	11,925	1,2628	126,2755
500	3860	3866	3863	4,91	12,275	1,2755	127,5510
505	3852	3854	3853	4,96	12,4	1,2883	128,8265
510	3837	3839	3838	5,035	12,5875	1,3010	130,1020
515	3826	3822	3824	5,105	12,7625	1,3138	131,3776
520	3812	3806	3809	5,18	12,95	1,3265	132,6531
525	3796	3792	3794	5,255	13,1375	1,3393	133,9286
530	3770	3776	3773	5,36	13,4	1,3520	135,2041
535	3752	3754	3753	5,46	13,65	1,3648	136,4796
540	3731	3733	3732	5,565	13,9125	1,3776	137,7551
545	3713	3709	3711	5,67	14,175	1,3903	139,0306
550	3687	3683	3685	5,8	14,5	1,4031	140,3061
555	3651	3657	3654	5,955	14,8875	1,4158	141,5816
560	3644	3646	3645	6	15	1,4286	142,8571
565	3595	3597	3596	6,245	15,6125	1,4413	144,1327
570	3578	3574	3576	6,345	15,8625	1,4541	145,4082
575	3526	3522	3524	6,605	16,5125	1,4668	146,6837
580	3501	3507	3504	6,705	16,7625	1,4796	147,9592
585	3487	3489	3488	6,785	16,9625	1,4923	149,2347
585	3476	3478	3477	6,84	17,1	1,4923	149,2347
585	3421	3417	3419	7,13	17,825	1,4923	149,2347



4. $\alpha = 51^\circ$, $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	85	87	86	0	0	0	0
5	111	107	109	0,115	0,1917	0,0085	0,8503
10	164	158	161	0,375	0,6250	0,0170	1,7007
15	208	204	206	0,6	1,0000	0,0255	2,5510
20	255	261	258	0,86	1,4333	0,0340	3,4014
25	326	328	327	1,205	2,0083	0,0425	4,2517
30	387	389	388	1,51	2,5167	0,0510	5,1020
35	453	449	451	1,825	3,0417	0,0595	5,9524
40	532	526	529	2,215	3,6917	0,0680	6,8027
45	585	581	583	2,485	4,1417	0,0765	7,6531
50	628	634	631	2,725	4,5417	0,0850	8,5034
55	665	667	666	2,9	4,8333	0,0935	9,3537
60	684	686	685	2,995	4,9917	0,1020	10,2041
65	705	701	703	3,085	5,1417	0,1105	11,0544
70	722	716	719	3,165	5,2750	0,1190	11,9048
75	739	735	737	3,255	5,4250	0,1276	12,7551
80	750	756	753	3,335	5,5583	0,1361	13,6054
85	771	773	772	3,43	5,7167	0,1446	14,4558
90	784	786	785	3,495	5,8250	0,1531	15,3061
95	798	794	796	3,55	5,9167	0,1616	16,1565
100	815	809	812	3,63	6,0500	0,1701	17,0068
105	831	827	829	3,715	6,1917	0,1786	17,8571
110	849	855	852	3,83	6,3833	0,1871	18,7075
115	870	872	871	3,925	6,5417	0,1956	19,5578
120	883	885	884	3,99	6,6500	0,2041	20,4082
125	903	899	901	4,075	6,7917	0,2126	21,2585
130	919	913	916	4,15	6,9167	0,2211	22,1088
135	931	927	929	4,215	7,0250	0,2296	22,9592
140	950	956	953	4,335	7,2250	0,2381	23,8095
145	961	963	962	4,38	7,3000	0,2466	24,6599
150	979	981	980	4,47	7,4500	0,2551	25,5102
155	997	993	995	4,545	7,5750	0,2636	26,3605
160	1013	1007	1010	4,62	7,7000	0,2721	27,2109
165	1023	1019	1021	4,675	7,7917	0,2806	28,0612
170	1033	1039	1036	4,75	7,9167	0,2891	28,9116
175	1051	1053	1052	4,83	8,0500	0,2976	29,7619
180	1066	1068	1067	4,905	8,1750	0,3061	30,6122
185	1090	1086	1088	5,01	8,3500	0,3146	31,4626
190	1103	1097	1100	5,07	8,4500	0,3231	32,3129
195	1114	1110	1112	5,13	8,5500	0,3316	33,1633

200	1126	1132	1129	5,215	8,6917	0,3401	34,0136
205	1143	1145	1144	5,29	8,8167	0,3486	34,8639
210	1160	1162	1161	5,375	8,9583	0,3571	35,7143
215	1189	1185	1187	5,505	9,1750	0,3656	36,5646
220	1200	1194	1197	5,555	9,2583	0,3741	37,4150
225	1211	1207	1209	5,615	9,3583	0,3827	38,2653
230	1227	1233	1230	5,72	9,5333	0,3912	39,1156
235	1256	1258	1257	5,855	9,7583	0,3997	39,9660
240	1261	1263	1262	5,88	9,8000	0,4082	40,8163
245	1286	1282	1284	5,99	9,9833	0,4167	41,6667
250	1305	1299	1302	6,08	10,1333	0,4252	42,5170
255	1331	1327	1329	6,215	10,3583	0,4337	43,3673
260	1346	1352	1349	6,315	10,5250	0,4422	44,2177
265	1368	1370	1369	6,415	10,6917	0,4507	45,0680
270	1387	1389	1388	6,51	10,8500	0,4592	45,9184
275	1409	1405	1407	6,605	11,0083	0,4677	46,7687
280	1434	1428	1431	6,725	11,2083	0,4762	47,6190
285	1463	1459	1461	6,875	11,4583	0,4847	48,4694
290	1487	1493	1490	7,02	11,7000	0,4932	49,3197
295	1521	1523	1522	7,18	11,9667	0,5017	50,1701
300	1568	1570	1569	7,415	12,3583	0,5102	51,0204
300	1638	1634	1636	7,75	12,9167	0,5102	51,0204
300	1808	1802	1805	8,595	14,3250	0,5102	51,0204

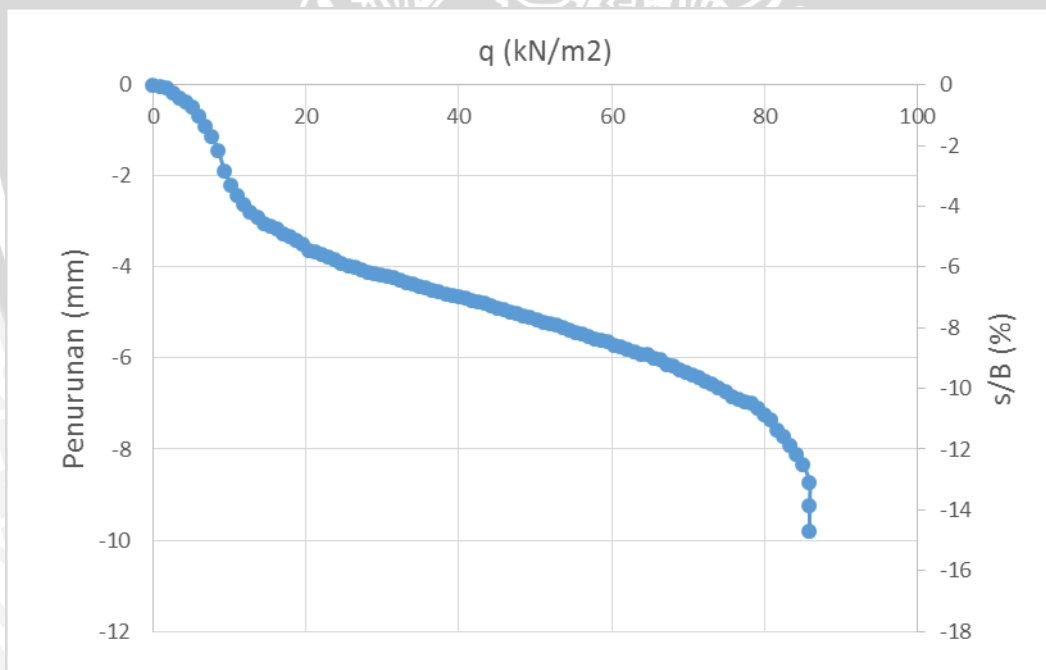


5. $\alpha = 51^\circ$, $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 2$

Beban (Kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata-rata				
0	4947	4949	4948	0	0	0	0
5	4945	4941	4943	0,025	0,0417	0,0085	0,8503
10	4936	4930	4933	0,075	0,1250	0,0170	1,7007
15	4916	4912	4914	0,17	0,2833	0,0255	2,5510
20	4889	4895	4892	0,28	0,4667	0,0340	3,4014
25	4875	4877	4876	0,36	0,6000	0,0425	4,2517
30	4849	4851	4850	0,49	0,8167	0,0510	5,1020
35	4816	4812	4814	0,67	1,1167	0,0595	5,9524
40	4769	4763	4766	0,91	1,5167	0,0680	6,8027
45	4724	4720	4722	1,13	1,8833	0,0765	7,6531
50	4659	4665	4662	1,43	2,3833	0,0850	8,5034
55	4569	4571	4570	1,89	3,1500	0,0935	9,3537
60	4509	4511	4510	2,19	3,6500	0,1020	10,2041
65	4464	4460	4462	2,43	4,0500	0,1105	11,0544
70	4426	4420	4423	2,625	4,3750	0,1190	11,9048
75	4394	4390	4392	2,78	4,6333	0,1276	12,7551
80	4363	4369	4366	2,91	4,8500	0,1361	13,6054
85	4340	4342	4341	3,035	5,0583	0,1446	14,4558
90	4325	4327	4326	3,11	5,1833	0,1531	15,3061
95	4316	4312	4314	3,17	5,2833	0,1616	16,1565
100	4298	4292	4295	3,265	5,4417	0,1701	17,0068
105	4282	4278	4280	3,34	5,5667	0,1786	17,8571
110	4262	4268	4265	3,415	5,6917	0,1871	18,7075
115	4248	4250	4249	3,495	5,8250	0,1956	19,5578
120	4218	4220	4219	3,645	6,0750	0,2041	20,4082
125	4216	4212	4214	3,67	6,1167	0,2126	21,2585
130	4206	4200	4203	3,725	6,2083	0,2211	22,1088
135	4194	4190	4192	3,78	6,3000	0,2296	22,9592
140	4176	4182	4179	3,845	6,4083	0,2381	23,8095
145	4165	4167	4166	3,91	6,5167	0,2466	24,6599
150	4154	4156	4155	3,965	6,6083	0,2551	25,5102
155	4148	4144	4146	4,01	6,6833	0,2636	26,3605
160	4140	4134	4137	4,055	6,7583	0,2721	27,2109
165	4127	4123	4125	4,115	6,8583	0,2806	28,0612
170	4114	4120	4117	4,155	6,9250	0,2891	28,9116
175	4112	4114	4113	4,175	6,9583	0,2976	29,7619
180	4107	4109	4108	4,2	7,0000	0,3061	30,6122
185	4102	4098	4100	4,24	7,0667	0,3146	31,4626
190	4094	4088	4091	4,285	7,1417	0,3231	32,3129
195	4084	4080	4082	4,33	7,2167	0,3316	33,1633

200	4070	4076	4073	4,375	7,2917	0,3401	34,0136
205	4063	4065	4064	4,42	7,3667	0,3486	34,8639
210	4054	4056	4055	4,465	7,4417	0,3571	35,7143
215	4049	4045	4047	4,505	7,5083	0,3656	36,5646
220	4044	4038	4041	4,535	7,5583	0,3741	37,4150
225	4033	4029	4031	4,585	7,6417	0,3827	38,2653
230	4022	4028	4025	4,615	7,6917	0,3912	39,1156
235	4016	4018	4017	4,655	7,7583	0,3997	39,9660
240	4009	4011	4010	4,69	7,8167	0,4082	40,8163
245	4001	3997	3999	4,745	7,9083	0,4167	41,6667
250	3997	3991	3994	4,77	7,9500	0,4252	42,5170
255	3989	3985	3987	4,805	8,0083	0,4337	43,3673
260	3975	3981	3978	4,85	8,0833	0,4422	44,2177
265	3967	3969	3968	4,9	8,1667	0,4507	45,0680
270	3960	3962	3961	4,935	8,2250	0,4592	45,9184
275	3954	3950	3952	4,98	8,3000	0,4677	46,7687
280	3948	3942	3945	5,015	8,3583	0,4762	47,6190
285	3936	3932	3934	5,07	8,4500	0,4847	48,4694
290	3922	3928	3925	5,115	8,5250	0,4932	49,3197
295	3913	3915	3914	5,17	8,6167	0,5017	50,1701
300	3907	3909	3908	5,2	8,6667	0,5102	51,0204
305	3901	3897	3899	5,245	8,7417	0,5187	51,8707
310	3895	3889	3892	5,28	8,8000	0,5272	52,7211
315	3885	3881	3883	5,325	8,8750	0,5357	53,5714
320	3867	3873	3870	5,39	8,9833	0,5442	54,4218
325	3860	3862	3861	5,435	9,0583	0,5527	55,2721
330	3853	3855	3854	5,47	9,1167	0,5612	56,1224
335	3848	3844	3846	5,51	9,1833	0,5697	56,9728
340	3837	3831	3834	5,57	9,2833	0,5782	57,8231
345	3829	3825	3827	5,605	9,3417	0,5867	58,6735
350	3816	3822	3819	5,645	9,4083	0,5952	59,5238
355	3805	3807	3806	5,71	9,5167	0,6037	60,3741
360	3797	3799	3798	5,75	9,5833	0,6122	61,2245
365	3788	3784	3786	5,81	9,6833	0,6207	62,0748
370	3780	3774	3777	5,855	9,7583	0,6293	62,9252
375	3769	3765	3767	5,905	9,8417	0,6378	63,7755
380	3761	3767	3764	5,92	9,8667	0,6463	64,6259
385	3748	3750	3749	5,995	9,9917	0,6548	65,4762
390	3740	3742	3741	6,035	10,0583	0,6633	66,3265
395	3723	3719	3721	6,135	10,2250	0,6718	67,1769
400	3716	3710	3713	6,175	10,2917	0,6803	68,0272
405	3701	3697	3699	6,245	10,4083	0,6888	68,8776
410	3681	3687	3684	6,32	10,5333	0,6973	69,7279
415	3672	3674	3673	6,375	10,6250	0,7058	70,5782
420	3661	3663	3662	6,43	10,7167	0,7143	71,4286

425	3646	3642	3644	6,52	10,8667	0,7228	72,2789
430	3640	3634	3637	6,555	10,9250	0,7313	73,1293
435	3621	3617	3619	6,645	11,0750	0,7398	73,9796
440	3599	3605	3602	6,73	11,2167	0,7483	74,8299
445	3577	3579	3578	6,85	11,4167	0,7568	75,6803
450	3567	3569	3568	6,9	11,5000	0,7653	76,5306
455	3561	3557	3559	6,945	11,5750	0,7738	77,3810
460	3556	3550	3553	6,975	11,6250	0,7823	78,2313
465	3529	3525	3527	7,105	11,8417	0,7908	79,0816
470	3498	3504	3501	7,235	12,0583	0,7993	79,9320
475	3474	3476	3475	7,365	12,2750	0,8078	80,7823
480	3429	3431	3430	7,59	12,6500	0,8163	81,6327
485	3404	3400	3402	7,73	12,8833	0,8248	82,4830
490	3367	3363	3365	7,915	13,1917	0,8333	83,3333
495	3327	3323	3325	8,115	13,5250	0,8418	84,1837
500	3284	3280	3282	8,33	13,8833	0,8503	85,0340
505	3204	3200	3202	8,73	14,5500	0,8588	85,8844
505	3103	3099	3101	9,235	15,3917	0,8588	85,8844
505	2988	2984	2986	9,81	16,3500	0,8588	85,8844



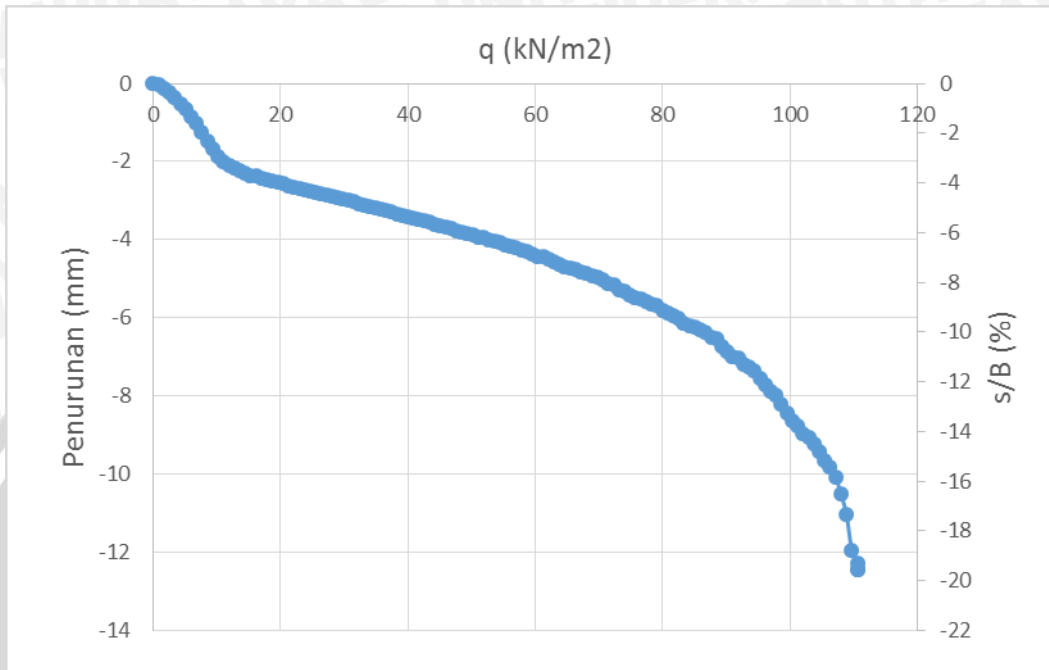
6. $\alpha = 51^\circ$, $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4768	4770	4769	0	0	0	0
5	4766	4762	4764	0,025	0,0417	0,0085	0,8503
10	4747	4741	4744	0,125	0,2083	0,0170	1,7007
15	4722	4718	4720	0,245	0,4083	0,0255	2,5510
20	4691	4697	4694	0,375	0,6250	0,0340	3,4014
25	4661	4663	4662	0,535	0,8917	0,0425	4,2517
30	4634	4636	4635	0,67	1,1167	0,0510	5,1020
35	4598	4594	4596	0,865	1,4417	0,0595	5,9524
40	4566	4560	4563	1,03	1,7167	0,0680	6,8027
45	4524	4520	4522	1,235	2,0583	0,0765	7,6531
50	4473	4479	4476	1,465	2,4417	0,0850	8,5034
55	4430	4432	4431	1,69	2,8167	0,0935	9,3537
60	4393	4395	4394	1,875	3,1250	0,1020	10,2041
65	4372	4368	4370	1,995	3,3250	0,1105	11,0544
70	4351	4345	4348	2,105	3,5083	0,1190	11,9048
75	4336	4332	4334	2,175	3,6250	0,1276	12,7551
80	4319	4325	4322	2,235	3,7250	0,1361	13,6054
85	4310	4312	4311	2,29	3,8167	0,1446	14,4558
90	4298	4300	4299	2,35	3,9167	0,1531	15,3061
95	4296	4292	4294	2,375	3,9583	0,1616	16,1565
100	4288	4282	4285	2,42	4,0333	0,1701	17,0068
105	4278	4274	4276	2,465	4,1083	0,1786	17,8571
110	4265	4271	4268	2,505	4,1750	0,1871	18,7075
115	4260	4262	4261	2,54	4,2333	0,1956	19,5578
120	4253	4255	4254	2,575	4,2917	0,2041	20,4082
125	4249	4245	4247	2,61	4,3500	0,2126	21,2585
130	4242	4236	4239	2,65	4,4167	0,2211	22,1088
135	4235	4231	4233	2,68	4,4667	0,2296	22,9592
140	4221	4227	4224	2,725	4,5417	0,2381	23,8095
145	4217	4219	4218	2,755	4,5917	0,2466	24,6599
150	4208	4210	4209	2,8	4,6667	0,2551	25,5102
155	4204	4200	4202	2,835	4,7250	0,2636	26,3605
160	4199	4193	4196	2,865	4,7750	0,2721	27,2109
165	4190	4186	4188	2,905	4,8417	0,2806	28,0612
170	4179	4185	4182	2,935	4,8917	0,2891	28,9116
175	4175	4177	4176	2,965	4,9417	0,2976	29,7619
180	4170	4172	4171	2,99	4,9833	0,3061	30,6122
185	4164	4160	4162	3,035	5,0583	0,3146	31,4626
190	4156	4150	4153	3,08	5,1333	0,3231	32,3129
195	4146	4142	4144	3,125	5,2083	0,3316	33,1633

200	4135	4141	4138	3,155	5,2583	0,3401	34,0136
205	4131	4133	4132	3,185	5,3083	0,3486	34,8639
210	4123	4125	4124	3,225	5,3750	0,3571	35,7143
215	4122	4118	4120	3,245	5,4083	0,3656	36,5646
220	4113	4107	4110	3,295	5,4917	0,3741	37,4150
225	4104	4100	4102	3,335	5,5583	0,3827	38,2653
230	4092	4098	4095	3,37	5,6167	0,3912	39,1156
235	4084	4086	4085	3,42	5,7000	0,3997	39,9660
240	4078	4080	4079	3,45	5,7500	0,4082	40,8163
245	4074	4070	4072	3,485	5,8083	0,4167	41,6667
250	4067	4061	4064	3,525	5,8750	0,4252	42,5170
255	4059	4055	4057	3,56	5,9333	0,4337	43,3673
260	4046	4052	4049	3,6	6,0000	0,4422	44,2177
265	4041	4043	4042	3,635	6,0583	0,4507	45,0680
270	4030	4032	4031	3,69	6,1500	0,4592	45,9184
275	4026	4022	4024	3,725	6,2083	0,4677	46,7687
280	4019	4013	4016	3,765	6,2750	0,4762	47,6190
285	4011	4007	4009	3,8	6,3333	0,4847	48,4694
290	3998	4004	4001	3,84	6,4000	0,4932	49,3197
295	3994	3996	3995	3,87	6,4500	0,5017	50,1701
300	3983	3985	3984	3,925	6,5417	0,5102	51,0204
305	3981	3977	3979	3,95	6,5833	0,5187	51,8707
310	3973	3967	3970	3,995	6,6583	0,5272	52,7211
315	3962	3958	3960	4,045	6,7417	0,5357	53,5714
320	3950	3956	3953	4,08	6,8000	0,5442	54,4218
325	3942	3944	3943	4,13	6,8833	0,5527	55,2721
330	3932	3934	3933	4,18	6,9667	0,5612	56,1224
335	3928	3924	3926	4,215	7,0250	0,5697	56,9728
340	3919	3913	3916	4,265	7,1083	0,5782	57,8231
345	3910	3906	3908	4,305	7,1750	0,5867	58,6735
350	3894	3900	3897	4,36	7,2667	0,5952	59,5238
355	3884	3886	3885	4,42	7,3667	0,6037	60,3741
360	3880	3882	3881	4,44	7,4000	0,6122	61,2245
365	3871	3867	3869	4,5	7,5000	0,6207	62,0748
370	3858	3852	3855	4,57	7,6167	0,6293	62,9252
375	3847	3843	3845	4,62	7,7000	0,6378	63,7755
380	3830	3836	3833	4,68	7,8000	0,6463	64,6259
385	3824	3826	3825	4,72	7,8667	0,6548	65,4762
390	3813	3815	3814	4,775	7,9583	0,6633	66,3265
395	3805	3801	3803	4,83	8,0500	0,6718	67,1769
400	3798	3792	3795	4,87	8,1167	0,6803	68,0272
405	3787	3783	3785	4,92	8,2000	0,6888	68,8776
410	3772	3778	3775	4,97	8,2833	0,6973	69,7279
415	3760	3762	3761	5,04	8,4000	0,7058	70,5782
420	3744	3746	3745	5,12	8,5333	0,7143	71,4286

425	3739	3735	3737	5,16	8,6000	0,7228	72,2789
430	3718	3712	3715	5,27	8,7833	0,7313	73,1293
435	3708	3704	3706	5,315	8,8583	0,7398	73,9796
440	3681	3687	3684	5,425	9,0417	0,7483	74,8299
445	3674	3676	3675	5,47	9,1167	0,7568	75,6803
450	3666	3668	3667	5,51	9,1833	0,7653	76,5306
455	3656	3652	3654	5,575	9,2917	0,7738	77,3810
460	3640	3634	3637	5,66	9,4333	0,7823	78,2313
465	3634	3630	3632	5,685	9,4750	0,7908	79,0816
470	3602	3608	3605	5,82	9,7000	0,7993	79,9320
475	3593	3595	3594	5,875	9,7917	0,8078	80,7823
480	3579	3581	3580	5,945	9,9083	0,8163	81,6327
485	3571	3567	3569	6	10,0000	0,8248	82,4830
490	3546	3540	3543	6,13	10,2167	0,8333	83,3333
495	3530	3526	3528	6,205	10,3417	0,8418	84,1837
500	3519	3525	3522	6,235	10,3917	0,8503	85,0340
505	3504	3506	3505	6,32	10,5333	0,8588	85,8844
510	3492	3494	3493	6,38	10,6333	0,8673	86,7347
515	3468	3464	3466	6,515	10,8583	0,8759	87,5850
520	3462	3456	3459	6,55	10,9167	0,8844	88,4354
525	3425	3421	3423	6,73	11,2167	0,8929	89,2857
530	3391	3397	3394	6,875	11,4583	0,9014	90,1361
535	3372	3374	3373	6,98	11,6333	0,9099	90,9864
540	3362	3364	3363	7,03	11,7167	0,9184	91,8367
545	3334	3330	3332	7,185	11,9750	0,9269	92,6871
550	3319	3315	3317	7,26	12,1000	0,9354	93,5374
555	3293	3299	3296	7,365	12,2750	0,9439	94,3878
560	3258	3260	3259	7,55	12,5833	0,9524	95,2381
565	3224	3226	3225	7,72	12,8667	0,9609	96,0884
570	3197	3193	3195	7,87	13,1167	0,9694	96,9388
575	3178	3174	3176	7,965	13,2750	0,9779	97,7891
580	3123	3129	3126	8,215	13,6917	0,9864	98,6395
585	3082	3084	3083	8,43	14,0500	0,9949	99,4898
590	3042	3044	3043	8,63	14,3833	1,0034	100,3401
595	3018	3014	3016	8,765	14,6083	1,0119	101,1905
600	2979	2975	2977	8,96	14,9333	1,0204	102,0408
605	2954	2960	2957	9,06	15,1000	1,0289	102,8912
610	2920	2922	2921	9,24	15,4000	1,0374	103,7415
615	2880	2882	2881	9,44	15,7333	1,0459	104,5918
620	2843	2839	2841	9,64	16,0667	1,0544	105,4422
625	2805	2801	2803	9,83	16,3833	1,0629	106,2925
630	2748	2754	2751	10,09	16,8167	1,0714	107,1429
635	2667	2669	2668	10,505	17,5083	1,0799	107,9932
640	2560	2562	2561	11,04	18,4000	1,0884	108,8435
645	2379	2375	2377	11,96	19,9333	1,0969	109,6939

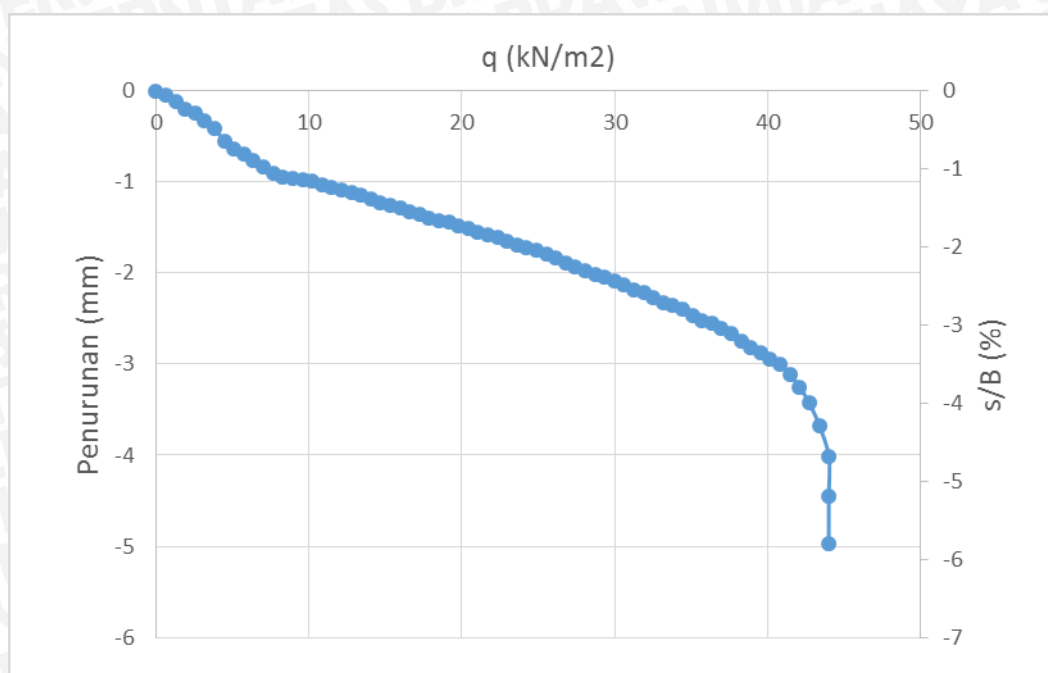
650	2317	2313	2315	12,27	20,4500	1,1054	110,5442
650	2279	2285	2282	12,435	20,7250	1,1054	110,5442
650	2279	2281	2280	12,445	20,7417	1,1054	110,5442



7. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 1$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4917	4919	4918	0	0	0	0
5	4912	4908	4910	0,04	0,05	0,0064	0,6378
10	4898	4892	4895	0,115	0,1438	0,0128	1,2755
15	4881	4877	4879	0,195	0,2438	0,0191	1,9133
20	4866	4872	4869	0,245	0,3063	0,0255	2,5510
25	4851	4853	4852	0,33	0,4125	0,0319	3,1888
30	4834	4836	4835	0,415	0,5188	0,0383	3,8265
35	4811	4807	4809	0,545	0,6813	0,0446	4,4643
40	4793	4787	4790	0,64	0,8000	0,0510	5,1020
45	4781	4777	4779	0,695	0,8688	0,0574	5,7398
50	4761	4767	4764	0,77	0,9625	0,0638	6,3776
55	4749	4751	4750	0,84	1,0500	0,0702	7,0153
60	4735	4737	4736	0,91	1,1375	0,0765	7,6531
65	4732	4728	4730	0,94	1,1750	0,0829	8,2908
70	4729	4723	4726	0,96	1,2000	0,0893	8,9286
75	4726	4722	4724	0,97	1,2125	0,0957	9,5663
80	4717	4723	4720	0,99	1,2375	0,1020	10,2041
85	4712	4714	4713	1,025	1,2813	0,1084	10,8418
90	4705	4707	4706	1,06	1,3250	0,1148	11,4796
95	4702	4698	4700	1,09	1,3625	0,1212	12,1173
100	4698	4692	4695	1,115	1,3938	0,1276	12,7551
105	4690	4686	4688	1,15	1,4375	0,1339	13,3929
110	4678	4684	4681	1,185	1,4813	0,1403	14,0306
115	4672	4674	4673	1,225	1,5313	0,1467	14,6684
120	4666	4668	4667	1,255	1,5688	0,1531	15,3061
125	4662	4658	4660	1,29	1,6125	0,1594	15,9439
130	4657	4651	4654	1,32	1,6500	0,1658	16,5816
135	4648	4644	4646	1,36	1,7000	0,1722	17,2194
140	4636	4642	4639	1,395	1,7438	0,1786	17,8571
145	4633	4635	4634	1,42	1,7750	0,1849	18,4949
150	4628	4630	4629	1,445	1,8063	0,1913	19,1327
155	4625	4621	4623	1,475	1,8438	0,1977	19,7704
160	4620	4614	4617	1,505	1,8813	0,2041	20,4082
165	4609	4605	4607	1,555	1,9438	0,2105	21,0459
170	4599	4605	4602	1,58	1,9750	0,2168	21,6837
175	4595	4597	4596	1,61	2,0125	0,2232	22,3214
180	4588	4590	4589	1,645	2,0563	0,2296	22,9592
185	4583	4579	4581	1,685	2,1063	0,2360	23,5969
190	4577	4571	4574	1,72	2,1500	0,2423	24,2347
195	4570	4566	4568	1,75	2,1875	0,2487	24,8724

200	4556	4562	4559	1,795	2,2438	0,2551	25,5102
205	4550	4552	4551	1,835	2,2938	0,2615	26,1480
210	4540	4542	4541	1,885	2,3563	0,2679	26,7857
215	4535	4531	4533	1,925	2,4063	0,2742	27,4235
220	4526	4520	4523	1,975	2,4688	0,2806	28,0612
225	4518	4514	4516	2,01	2,5125	0,2870	28,6990
230	4507	4513	4510	2,04	2,5500	0,2934	29,3367
235	4500	4502	4501	2,085	2,6063	0,2997	29,9745
240	4491	4493	4492	2,13	2,6625	0,3061	30,6122
245	4483	4479	4481	2,185	2,7313	0,3125	31,2500
250	4479	4473	4476	2,21	2,7625	0,3189	31,8878
255	4467	4463	4465	2,265	2,8313	0,3253	32,5255
260	4449	4455	4452	2,33	2,9125	0,3316	33,1633
265	4446	4448	4447	2,355	2,9438	0,3380	33,8010
270	4437	4439	4438	2,4	3,0000	0,3444	34,4388
275	4428	4424	4426	2,46	3,0750	0,3508	35,0765
280	4417	4411	4414	2,52	3,1500	0,3571	35,7143
285	4409	4405	4407	2,555	3,1938	0,3635	36,3520
290	4393	4399	4396	2,61	3,2625	0,3699	36,9898
295	4385	4387	4386	2,66	3,3250	0,3763	37,6276
300	4368	4370	4369	2,745	3,4313	0,3827	38,2653
305	4357	4353	4355	2,815	3,5188	0,3890	38,9031
310	4346	4340	4343	2,875	3,5938	0,3954	39,5408
315	4330	4326	4328	2,95	3,6875	0,4018	40,1786
320	4316	4322	4319	2,995	3,7438	0,4082	40,8163
325	4294	4296	4295	3,115	3,8938	0,4145	41,4541
330	4267	4269	4268	3,25	4,0625	0,4209	42,0918
335	4231	4233	4232	3,43	4,2875	0,4273	42,7296
340	4183	4185	4184	3,67	4,5875	0,4337	43,3673
345	4114	4116	4115	4,015	5,0188	0,4401	44,0051
345	4027	4029	4028	4,45	5,5625	0,4401	44,0051
345	3924	3926	3925	4,965	6,2063	0,4401	44,0051

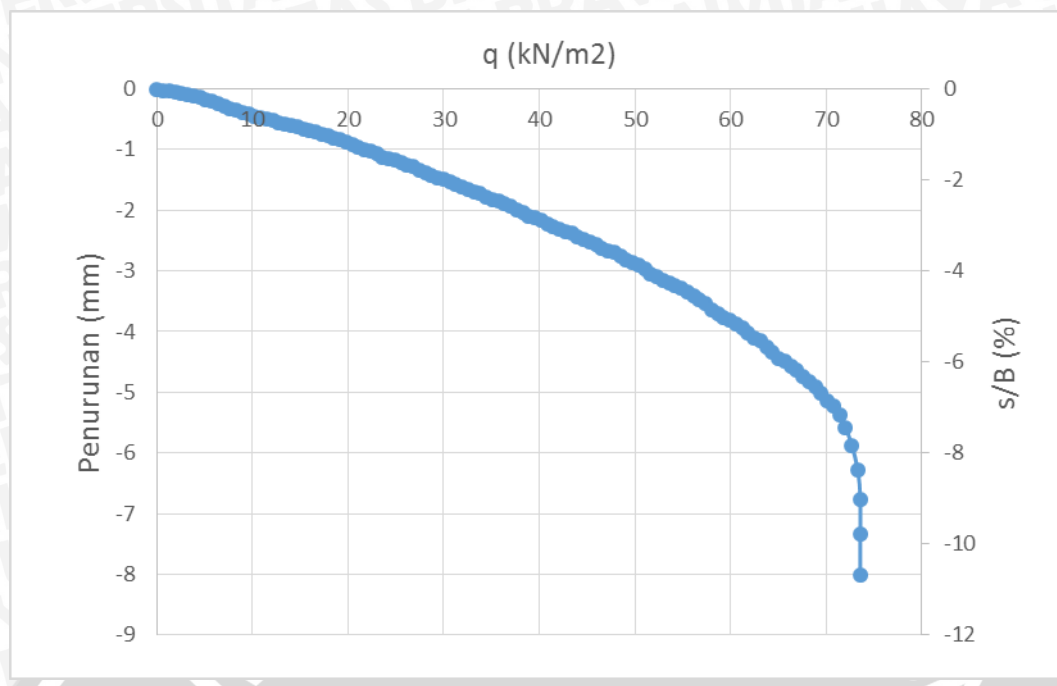


8. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 2$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4921	4923	4922	0	0	0	0
5	4918	4914	4916	0,03	0,0375	0,0064	0,6378
10	4917	4911	4914	0,04	0,0500	0,0128	1,2755
15	4915	4911	4913	0,045	0,0563	0,0191	1,9133
20	4906	4912	4909	0,065	0,0813	0,0255	2,5510
25	4904	4906	4905	0,085	0,1063	0,0319	3,1888
30	4899	4901	4900	0,11	0,1375	0,0383	3,8265
35	4897	4893	4895	0,135	0,1688	0,0446	4,4643
40	4891	4885	4888	0,17	0,2125	0,0510	5,1020
45	4883	4879	4881	0,205	0,2563	0,0574	5,7398
50	4871	4877	4874	0,24	0,3000	0,0638	6,3776
55	4866	4868	4867	0,275	0,3438	0,0702	7,0153
60	4856	4858	4857	0,325	0,4063	0,0765	7,6531
65	4853	4849	4851	0,355	0,4438	0,0829	8,2908
70	4848	4842	4845	0,385	0,4813	0,0893	8,9286
75	4842	4838	4840	0,41	0,5125	0,0957	9,5663
80	4830	4836	4833	0,445	0,5563	0,1020	10,2041
85	4827	4829	4828	0,47	0,5875	0,1084	10,8418
90	4823	4825	4824	0,49	0,6125	0,1148	11,4796
95	4820	4816	4818	0,52	0,6500	0,1212	12,1173
100	4815	4809	4812	0,55	0,6875	0,1276	12,7551
105	4809	4805	4807	0,575	0,7188	0,1339	13,3929
110	4799	4805	4802	0,6	0,7500	0,1403	14,0306
115	4795	4797	4796	0,63	0,7875	0,1467	14,6684
120	4789	4791	4790	0,66	0,8250	0,1531	15,3061
125	4787	4783	4785	0,685	0,8563	0,1594	15,9439
130	4782	4776	4779	0,715	0,8938	0,1658	16,5816
135	4775	4771	4773	0,745	0,9313	0,1722	17,2194
140	4763	4769	4766	0,78	0,9750	0,1786	17,8571
145	4758	4760	4759	0,815	1,0188	0,1849	18,4949
150	4753	4755	4754	0,84	1,0500	0,1913	19,1327
155	4748	4744	4746	0,88	1,1000	0,1977	19,7704
160	4741	4735	4738	0,92	1,1500	0,2041	20,4082
165	4732	4728	4730	0,96	1,2000	0,2105	21,0459
170	4720	4726	4723	0,995	1,2438	0,2168	21,6837
175	4715	4717	4716	1,03	1,2875	0,2232	22,3214
180	4706	4708	4707	1,075	1,3438	0,2296	22,9592
185	4699	4695	4697	1,125	1,4063	0,2360	23,5969
190	4696	4690	4693	1,145	1,4313	0,2423	24,2347
195	4688	4684	4686	1,18	1,4750	0,2487	24,8724

200	4676	4682	4679	1,215	1,5188	0,2551	25,5102
205	4670	4672	4671	1,255	1,5688	0,2615	26,1480
210	4664	4666	4665	1,285	1,6063	0,2679	26,7857
215	4658	4654	4656	1,33	1,6625	0,2742	27,4235
220	4650	4644	4647	1,375	1,7188	0,2806	28,0612
225	4641	4637	4639	1,415	1,7688	0,2870	28,6990
230	4627	4633	4630	1,46	1,8250	0,2934	29,3367
235	4622	4624	4623	1,495	1,8688	0,2997	29,9745
240	4614	4616	4615	1,535	1,9188	0,3061	30,6122
245	4609	4605	4607	1,575	1,9688	0,3125	31,2500
250	4603	4597	4600	1,61	2,0125	0,3189	31,8878
255	4594	4590	4592	1,65	2,0625	0,3253	32,5255
260	4581	4587	4584	1,69	2,1125	0,3316	33,1633
265	4577	4579	4578	1,72	2,1500	0,3380	33,8010
270	4566	4568	4567	1,775	2,2188	0,3444	34,4388
275	4561	4557	4559	1,815	2,2688	0,3508	35,0765
280	4554	4548	4551	1,855	2,3188	0,3571	35,7143
285	4546	4542	4544	1,89	2,3625	0,3635	36,3520
290	4533	4539	4536	1,93	2,4125	0,3699	36,9898
295	4523	4525	4524	1,99	2,4875	0,3763	37,6276
300	4512	4514	4513	2,045	2,5563	0,3827	38,2653
305	4504	4500	4502	2,1	2,6250	0,3890	38,9031
310	4500	4494	4497	2,125	2,6563	0,3954	39,5408
315	4491	4487	4489	2,165	2,7063	0,4018	40,1786
320	4473	4479	4476	2,23	2,7875	0,4082	40,8163
325	4466	4468	4467	2,275	2,8438	0,4145	41,4541
330	4459	4461	4460	2,31	2,8875	0,4209	42,0918
335	4455	4451	4453	2,345	2,9313	0,4273	42,7296
340	4450	4444	4447	2,375	2,9688	0,4337	43,3673
345	4435	4431	4433	2,445	3,0563	0,4401	44,0051
350	4421	4427	4424	2,49	3,1125	0,4464	44,6429
355	4416	4418	4417	2,525	3,1563	0,4528	45,2806
360	4409	4411	4410	2,56	3,2000	0,4592	45,9184
365	4400	4396	4398	2,62	3,2750	0,4656	46,5561
370	4393	4387	4390	2,66	3,3250	0,4719	47,1939
375	4385	4379	4382	2,7	3,3750	0,4783	47,8316
380	4375	4369	4372	2,75	3,4375	0,4847	48,4694
385	4362	4356	4359	2,815	3,5188	0,4911	49,1071
390	4353	4347	4350	2,86	3,5750	0,4974	49,7449
395	4344	4338	4341	2,905	3,6313	0,5038	50,3827
400	4331	4325	4328	2,97	3,7125	0,5102	51,0204
405	4317	4311	4314	3,04	3,8000	0,5166	51,6582
410	4307	4301	4304	3,09	3,8625	0,5230	52,2959
415	4294	4288	4291	3,155	3,9438	0,5293	52,9337
420	4286	4280	4283	3,195	3,9938	0,5357	53,5714

425	4277	4271	4274	3,24	4,0500	0,5421	54,2092
430	4267	4261	4264	3,29	4,1125	0,5485	54,8469
435	4254	4248	4251	3,355	4,1938	0,5548	55,4847
440	4242	4236	4239	3,415	4,2688	0,5612	56,1224
445	4229	4223	4226	3,48	4,3500	0,5676	56,7602
450	4216	4210	4213	3,545	4,4313	0,5740	57,3980
455	4196	4190	4193	3,645	4,5563	0,5804	58,0357
460	4186	4180	4183	3,695	4,6188	0,5867	58,6735
465	4172	4166	4169	3,765	4,7063	0,5931	59,3112
470	4163	4157	4160	3,81	4,7625	0,5995	59,9490
475	4151	4145	4148	3,87	4,8375	0,6059	60,5867
480	4137	4131	4134	3,94	4,9250	0,6122	61,2245
485	4122	4116	4119	4,015	5,0188	0,6186	61,8622
490	4105	4099	4102	4,1	5,1250	0,6250	62,5000
495	4094	4088	4091	4,155	5,1938	0,6314	63,1378
500	4074	4068	4071	4,255	5,3188	0,6378	63,7755
505	4059	4053	4056	4,33	5,4125	0,6441	64,4133
510	4037	4031	4034	4,44	5,5500	0,6505	65,0510
515	4026	4020	4023	4,495	5,6188	0,6569	65,6888
520	4012	4006	4009	4,565	5,7063	0,6633	66,3265
525	4000	3994	3997	4,625	5,7813	0,6696	66,9643
530	3977	3971	3974	4,74	5,9250	0,6760	67,6020
535	3960	3954	3957	4,825	6,0313	0,6824	68,2398
540	3944	3938	3941	4,905	6,1313	0,6888	68,8776
545	3921	3915	3918	5,02	6,2750	0,6952	69,5153
550	3898	3892	3895	5,135	6,4188	0,7015	70,1531
555	3880	3874	3877	5,225	6,5313	0,7079	70,7908
560	3852	3846	3849	5,365	6,7063	0,7143	71,4286
565	3807	3801	3804	5,59	6,9875	0,7207	72,0663
570	3750	3744	3747	5,875	7,3438	0,7270	72,7041
575	3667	3661	3664	6,29	7,8625	0,7334	73,3418
577	3572	3566	3569	6,765	8,4563	0,7360	73,5969
577	3459	3453	3456	7,33	9,1625	0,7360	73,5969
577	3323	3317	3320	8,01	10,0125	0,7360	73,5969



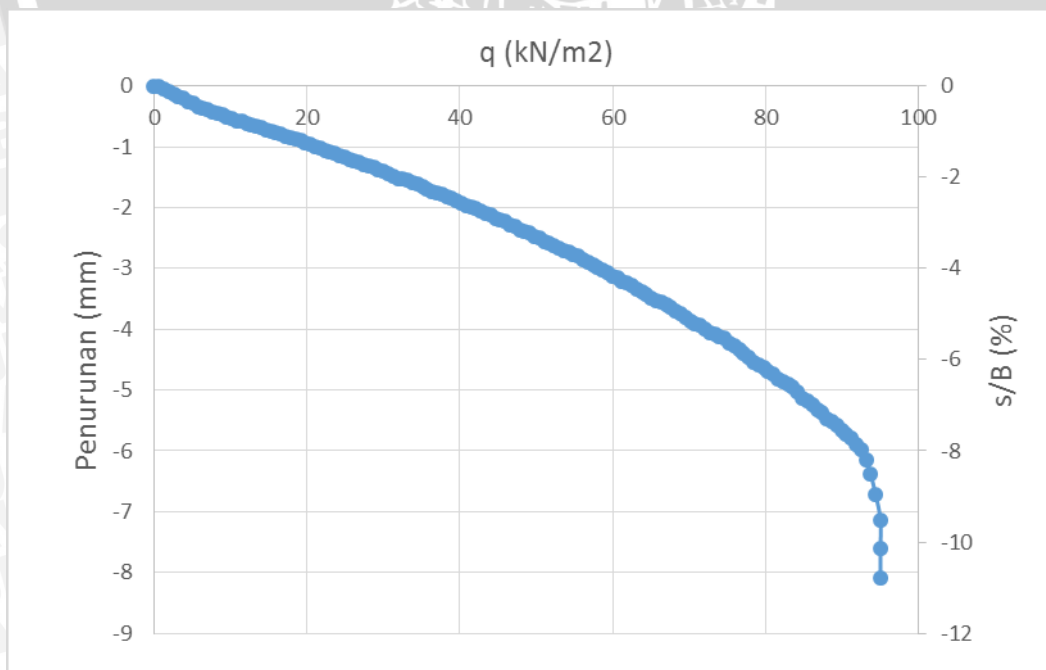
9. $\alpha = 51^\circ$, $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$

Beban (kg)	LVDT			Penurunan (mm)	s/B (%)	q (kg/cm ²)	q (kN/m ²)
	pembacaan 1	pembacaan 2	rata- rata				
0	4721	4723	4722	0	0	0	0
5	4721	4717	4719	0,015	0,0188	0,0064	0,6378
10	4714	4708	4711	0,055	0,0688	0,0128	1,2755
15	4706	4702	4704	0,09	0,1125	0,0191	1,9133
20	4692	4698	4695	0,135	0,1688	0,0255	2,5510
25	4686	4688	4687	0,175	0,2188	0,0319	3,1888
30	4680	4682	4681	0,205	0,2563	0,0383	3,8265
35	4672	4668	4670	0,26	0,3250	0,0446	4,4643
40	4668	4662	4665	0,285	0,3563	0,0510	5,1020
45	4657	4653	4655	0,335	0,4188	0,0574	5,7398
50	4648	4654	4651	0,355	0,4438	0,0638	6,3776
55	4643	4645	4644	0,39	0,4875	0,0702	7,0153
60	4636	4638	4637	0,425	0,5313	0,0765	7,6531
65	4635	4631	4633	0,445	0,5563	0,0829	8,2908
70	4630	4624	4627	0,475	0,5938	0,0893	8,9286
75	4623	4619	4621	0,505	0,6313	0,0957	9,5663
80	4613	4619	4616	0,53	0,6625	0,1020	10,2041
85	4608	4610	4609	0,565	0,7063	0,1084	10,8418
90	4604	4606	4605	0,585	0,7313	0,1148	11,4796
95	4602	4598	4600	0,61	0,7625	0,1212	12,1173
100	4599	4593	4596	0,63	0,7875	0,1276	12,7551
105	4593	4589	4591	0,655	0,8188	0,1339	13,3929
110	4581	4587	4584	0,69	0,8625	0,1403	14,0306
115	4578	4580	4579	0,715	0,8938	0,1467	14,6684
120	4573	4575	4574	0,74	0,9250	0,1531	15,3061
125	4571	4567	4569	0,765	0,9563	0,1594	15,9439
130	4566	4560	4563	0,795	0,9938	0,1658	16,5816
135	4560	4556	4558	0,82	1,0250	0,1722	17,2194
140	4550	4556	4553	0,845	1,0563	0,1786	17,8571
145	4547	4549	4548	0,87	1,0875	0,1849	18,4949
150	4541	4543	4542	0,9	1,1250	0,1913	19,1327
155	4538	4534	4536	0,93	1,1625	0,1977	19,7704
160	4532	4526	4529	0,965	1,2063	0,2041	20,4082
165	4525	4521	4523	0,995	1,2438	0,2105	21,0459
170	4515	4521	4518	1,02	1,2750	0,2168	21,6837
175	4511	4513	4512	1,05	1,3125	0,2232	22,3214
180	4505	4507	4506	1,08	1,3500	0,2296	22,9592
185	4504	4500	4502	1,1	1,3750	0,2360	23,5969
190	4497	4491	4494	1,14	1,4250	0,2423	24,2347
195	4490	4486	4488	1,17	1,4625	0,2487	24,8724

200	4479	4485	4482	1,2	1,5000	0,2551	25,5102
205	4476	4478	4477	1,225	1,5313	0,2615	26,1480
210	4469	4471	4470	1,26	1,5750	0,2679	26,7857
215	4467	4463	4465	1,285	1,6063	0,2742	27,4235
220	4462	4456	4459	1,315	1,6438	0,2806	28,0612
225	4456	4452	4454	1,34	1,6750	0,2870	28,6990
230	4444	4450	4447	1,375	1,7188	0,2934	29,3367
235	4441	4443	4442	1,4	1,7500	0,2997	29,9745
240	4433	4435	4434	1,44	1,8000	0,3061	30,6122
245	4426	4422	4424	1,49	1,8625	0,3125	31,2500
250	4422	4416	4419	1,515	1,8938	0,3189	31,8878
255	4418	4414	4416	1,53	1,9125	0,3253	32,5255
260	4408	4414	4411	1,555	1,9438	0,3316	33,1633
265	4404	4406	4405	1,585	1,9813	0,3380	33,8010
270	4398	4400	4399	1,615	2,0188	0,3444	34,4388
275	4392	4388	4390	1,66	2,0750	0,3508	35,0765
280	4386	4380	4383	1,695	2,1188	0,3571	35,7143
285	4378	4374	4376	1,73	2,1625	0,3635	36,3520
290	4369	4375	4372	1,75	2,1875	0,3699	36,9898
295	4365	4367	4366	1,78	2,2250	0,3763	37,6276
300	4357	4359	4358	1,82	2,2750	0,3827	38,2653
305	4354	4350	4352	1,85	2,3125	0,3890	38,9031
310	4347	4341	4344	1,89	2,3625	0,3954	39,5408
315	4340	4336	4338	1,92	2,4000	0,4018	40,1786
320	4326	4332	4329	1,965	2,4563	0,4082	40,8163
325	4323	4325	4324	1,99	2,4875	0,4145	41,4541
330	4318	4320	4319	2,015	2,5188	0,4209	42,0918
335	4314	4310	4312	2,05	2,5625	0,4273	42,7296
340	4308	4302	4305	2,085	2,6063	0,4337	43,3673
345	4299	4295	4297	2,125	2,6563	0,4401	44,0051
350	4285	4291	4288	2,17	2,7125	0,4464	44,6429
355	4283	4285	4284	2,19	2,7375	0,4528	45,2806
360	4276	4278	4277	2,225	2,7813	0,4592	45,9184
365	4269	4265	4267	2,275	2,8438	0,4656	46,5561
370	4262	4256	4259	2,315	2,8938	0,4719	47,1939
375	4253	4247	4250	2,36	2,9500	0,4783	47,8316
380	4245	4239	4242	2,4	3,0000	0,4847	48,4694
385	4241	4235	4238	2,42	3,0250	0,4911	49,1071
390	4232	4226	4229	2,465	3,0813	0,4974	49,7449
395	4224	4218	4221	2,505	3,1313	0,5038	50,3827
400	4214	4208	4211	2,555	3,1938	0,5102	51,0204
405	4207	4201	4204	2,59	3,2375	0,5166	51,6582
410	4202	4196	4199	2,615	3,2688	0,5230	52,2959
415	4194	4188	4191	2,655	3,3188	0,5293	52,9337
420	4184	4178	4181	2,705	3,3813	0,5357	53,5714

425	4178	4172	4175	2,735	3,4188	0,5421	54,2092
430	4171	4165	4168	2,77	3,4625	0,5485	54,8469
435	4165	4159	4162	2,8	3,5000	0,5548	55,4847
440	4154	4148	4151	2,855	3,5688	0,5612	56,1224
445	4147	4141	4144	2,89	3,6125	0,5676	56,7602
450	4137	4131	4134	2,94	3,6750	0,5740	57,3980
455	4127	4121	4124	2,99	3,7375	0,5804	58,0357
460	4120	4114	4117	3,025	3,7813	0,5867	58,6735
465	4112	4106	4109	3,065	3,8313	0,5931	59,3112
470	4101	4095	4098	3,12	3,9000	0,5995	59,9490
475	4093	4087	4090	3,16	3,9500	0,6059	60,5867
480	4084	4078	4081	3,205	4,0063	0,6122	61,2245
485	4076	4070	4073	3,245	4,0563	0,6186	61,8622
490	4068	4062	4065	3,285	4,1063	0,6250	62,5000
495	4055	4049	4052	3,35	4,1875	0,6314	63,1378
500	4048	4042	4045	3,385	4,2313	0,6378	63,7755
505	4039	4033	4036	3,43	4,2875	0,6441	64,4133
510	4029	4023	4026	3,48	4,3500	0,6505	65,0510
515	4021	4015	4018	3,52	4,4000	0,6569	65,6888
520	4015	4009	4012	3,55	4,4375	0,6633	66,3265
525	4005	3999	4002	3,6	4,5000	0,6696	66,9643
530	3998	3992	3995	3,635	4,5438	0,6760	67,6020
535	3987	3981	3984	3,69	4,6125	0,6824	68,2398
540	3976	3970	3973	3,745	4,6813	0,6888	68,8776
545	3963	3957	3960	3,81	4,7625	0,6952	69,5153
550	3952	3946	3949	3,865	4,8313	0,7015	70,1531
555	3945	3939	3942	3,9	4,8750	0,7079	70,7908
560	3938	3932	3935	3,935	4,9188	0,7143	71,4286
565	3924	3918	3921	4,005	5,0063	0,7207	72,0663
570	3914	3908	3911	4,055	5,0688	0,7270	72,7041
575	3909	3903	3906	4,08	5,1000	0,7334	73,3418
580	3902	3896	3899	4,115	5,1438	0,7398	73,9796
585	3895	3889	3892	4,15	5,1875	0,7462	74,6173
590	3881	3875	3878	4,22	5,2750	0,7526	75,2551
595	3873	3867	3870	4,26	5,3250	0,7589	75,8929
600	3857	3851	3854	4,34	5,4250	0,7653	76,5306
605	3847	3841	3844	4,39	5,4875	0,7717	77,1684
610	3835	3829	3832	4,45	5,5625	0,7781	77,8061
615	3816	3810	3813	4,545	5,6813	0,7844	78,4439
620	3807	3801	3804	4,59	5,7375	0,7908	79,0816
625	3800	3794	3797	4,625	5,7813	0,7972	79,7194
630	3788	3782	3785	4,685	5,8563	0,8036	80,3571
635	3777	3771	3774	4,74	5,9250	0,8099	80,9949
640	3760	3754	3757	4,825	6,0313	0,8163	81,6327

645	3752	3746	3749	4,865	6,0813	0,8227	82,2704
650	3745	3739	3742	4,9	6,1250	0,8291	82,9082
655	3734	3728	3731	4,955	6,1938	0,8355	83,5459
660	3721	3715	3718	5,02	6,2750	0,8418	84,1837
665	3699	3693	3696	5,13	6,4125	0,8482	84,8214
670	3689	3683	3686	5,18	6,4750	0,8546	85,4592
675	3677	3671	3674	5,24	6,5500	0,8610	86,0969
680	3661	3655	3658	5,32	6,6500	0,8673	86,7347
685	3652	3646	3649	5,365	6,7063	0,8737	87,3724
690	3632	3626	3629	5,465	6,8313	0,8801	88,0102
695	3621	3615	3618	5,52	6,9000	0,8865	88,6480
700	3610	3604	3607	5,575	6,9688	0,8929	89,2857
705	3591	3585	3588	5,67	7,0875	0,8992	89,9235
710	3578	3572	3575	5,735	7,1688	0,9056	90,5612
715	3568	3562	3565	5,785	7,2313	0,9120	91,1990
720	3544	3538	3541	5,905	7,3813	0,9184	91,8367
725	3529	3523	3526	5,98	7,4750	0,9247	92,4745
730	3494	3488	3491	6,155	7,6938	0,9311	93,1122
735	3447	3441	3444	6,39	7,9875	0,9375	93,7500
740	3381	3375	3378	6,72	8,4000	0,9439	94,3878
745	3298	3292	3295	7,135	8,9188	0,9503	95,0255
745	3205	3199	3202	7,6	9,5000	0,9503	95,0255
745	3106	3100	3103	8,095	10,1188	0,9503	95,0255





LAMPIRAN 8

Perhitungan γ_b Lereng Perkuatan
dan Faktor Daya Dukung $N_{\gamma q}$ Pondasi

Data :

$$\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$$

$$GS = 2.648$$

Tabel Perhitungan γ_b pasir

Lebar Pondasi (cm)	Variabel	n	γ_d (gr/cm ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)
B = 4 cm	$\alpha = 51^\circ;$ $d/B = 1$	1	1,528	15,28	9,995	0,700	19,320	16,807
		2	1,529	15,29	10,485	0,699	19,326	16,893
		3	1,54	15,4	10,661	0,687	19,394	17,042
B = 6 cm		1	1,537	15,37	10,619	0,690	19,376	17,002
		2	1,554	15,54	10,883	0,672	19,481	17,231
		3	1,543	15,43	10,892	0,684	19,413	17,111
B = 8 cm		1	1,536	15,36	10,126	0,691	19,369	16,915
		2	1,525	15,25	10,296	0,703	19,301	16,820
		3	1,542	15,42	10,336	0,685	19,407	17,014

$$\gamma_b \text{ rata-rata} = 16,982 \text{ kN/m}^3$$



Besarnya $N_{\gamma q}$ dihitung menggunakan rumus berikut :

$$N_{\gamma q} = \frac{2q_u}{B \gamma_b}$$

Jumlah Perkuatan	Lebar Pondasi	qu (kN/m ²) perkuatan	$N_{\gamma q}$
n=1	4	58,673	172,755
	6	51,020	100,148
	8	44,005	64,783
n=2	4	98,980	291,430
	6	85,884	168,582
	8	73,597	108,347
n=3	4	149,235	439,398
	6	110,544	216,987
	8	95,026	139,894

Lebar Pondasi	Jumlah Perkuatan	qu (kN/m ²) perkuatan	$N_{\gamma q}$
B = 4	1	58,673	172,755
	2	98,980	291,430
	3	149,235	439,398
B = 6	1	51,020	100,148
	2	85,884	168,582
	3	110,544	216,987
B = 8	1	44,005	64,783
	2	73,597	108,347
	3	95,026	139,894