

**PENGARUH LEBAR PONDASI DAN JARAK Lapis GEOGRID
TERATAS DENGAN RASIO $d/B = 1$ DAN $n = 3$ TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH PASIR PADA PONDASI MENERUS**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RAHMA NUR AMALINA

NIM. 125060100111023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LEBAR PONDASI DAN JARAK LAPIS GEOGRID
TERATAS DENGAN RASIO $d/B = 1$ DAN $n = 3$ TERHADAP DAYA
DUKUNG TANAH PASIR PADA PONDASI MENERUS**

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RAHMA NUR AMALINA
NIM. 125060100111023**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 10 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Yulvi Zaika, ST., MT.
NIP. 19680707 199403 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng.
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Pengaruh Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas dengan Rasio d/B = 1 dan n = 3 terhadap Daya Dukung Tanah Pasir pada Pondasi Menerus

Nama Mahasiswa : Rahma Nur Amalina

NIM : 125060100111023

Program Studi : Teknik Sipil

Tim Dosen Penguji:

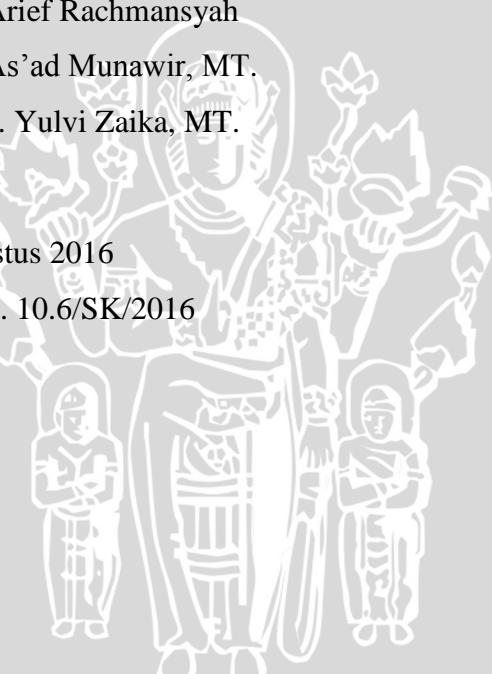
Dosen Penguji I : Dr. Ir. Arief Rachmansyah

Dosen Penguji II : Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.

Dosen Penguji III : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.

Tanggal Ujian : 02 Agustus 2016

SK Penguji : 911/UN. 10.6/SK/2016



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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, 10 Agustus 2016

Mahasiswa,

Rahma Nur Amalina

NIM. 125060100111023



RIWAYAT HIDUP

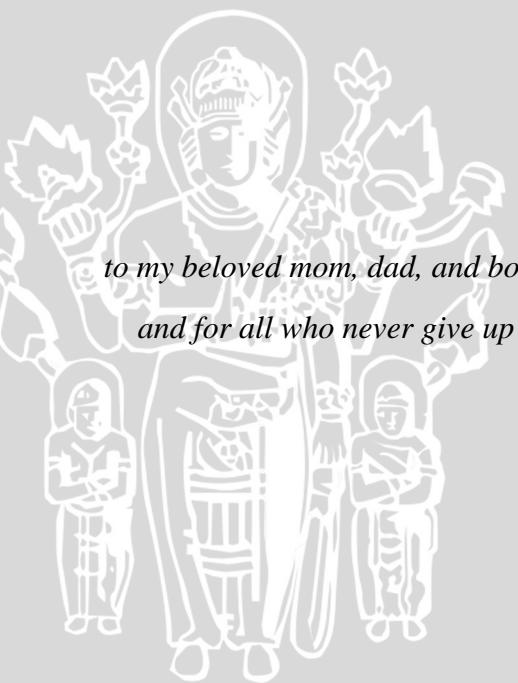
Rahma Nur Amalina merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Sumarmo dan Ibu Wahyuning Prihantini yang lahir di Purbalingga, 03 Desember 1993. Memulai pendidikannya di SDN 1 Purbalingga, lalu pada tahun 2002 bermutasi ke SDN 030 Balikpapan hingga menginjak kelas 4. Pendidikan sekolah dasar dilanjutkan hingga lulus pada tahun 2006 di SDN Utama 1 Tarakan, yang dilanjutkan ke SMPN 1 Tarakan hingga menyelesaikan kelas 1. Kelas 2 dan kelas 3 smp ditempuh di SMPN 8 Malang dan dinyatakan lulus pada tahun 2009. Pendidikan sma ditempuh di SMAN 7 Malang hingga lulus dari Program Studi IPA pada tahun 2012.

Menginjak masa kuliah, pada tahun 2012 mulai melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Selama masa kuliah, aktif dalam beberapa kegiatan, diantaranya bergabung dalam StruktuR selama tiga periode kepengurusan berturut-turut, bergabung dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2014 – 2015. Selain itu, berpartisipasi sebagai Asisten Mekanika Bahan pada tahun ajaran 2014/2015 dan Asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi pada periode 2015 – 2016. Kegiatan lain yang pernah diikuti diantaranya menjadi bagian dari kepanitiaan gelaran akbar KJI IX dan KBGI V pada tahun 2013, Civil Fiesta 2014, dan rutin dalam kegiatan-kegiatan pembinaan mahasiswa.

Malang, Agustus 2016

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*it's dedicated
to my beloved mom, dad, and both of my brothers
and for all who never give up to supporting me*



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 Jarak Lapis Geogrid Teratas dengan Rasio $d/B = 1$ dan $n = 3$ terhadap Daya Dukung Tanah Pasir pada Pondasi Menerus”.

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

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

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



10. Mba Indah dan Mba Asmi selaku pihak dari Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi yang telah membantu penulis.
11. Kedua orang tua penulis serta kakak-kakak yang telah memberikan dukungan secara penuh, baik moril maupun materiil.
12. Ifit, Sarah, Aziz, Danu, Bayu, Filyan, Dhana, dan Ocir, sebagai teman-teman satu tim yang saling membantu satu sama lain dan bekerja keras hingga kita dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Chibi Hijabers (Bunga, Sarah, Filki, Paun, Desi, Avis, Eka, Lina) yang telah memberikan dukungan, semangat dan menjadi teman berbagi selama perkuliahan.
14. Teman-teman assisten Laboratorium Mekanika Tanah untuk kerjasama dan dukungan yang diberikan.
15. Paulus, Yuri, Alif, Dio, Cipeng, Hadi, Ferry Singgih, Rani, Arrizal, yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.
16. Defri dan Ismail yang telah banyak membantu penulis selama proses perkuliahan.
17. 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 masukkan, baik berupa saran maupun kritik yang bersifat membangun guna penyusunan laporan-laporan yang akan datang.

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

Malang, 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| DAFTAR SIMBOL | xiv |
| RINGKASAN..... | xv |
| SUMMARY | xvi |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Identifikasi Masalah | 3 |
| 1.3. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah | 4 |
| 1.5. Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.6. Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB II | 7 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1. Pasir..... | 7 |
| 2.1.1 Karakteristik Tanah Pasir | 7 |
| 2.1.2 Klasifikasi Pasir Berdasarkan <i>Unified</i> (U.S.C.S) | 9 |
| 2.1.3 Kepadatan Relatif Pasir | 10 |
| 2.2 Geosintetik | 11 |
| 2.2.1 Pengertian Geosintetik..... | 11 |
| 2.2.2 Geogrid | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.2.1 Pengertian Geogrid..... | 12 |
| 2.2.2.2 Jenis Geogrid..... | 13 |
| 2.2.3 Karakteristik Geogrid Sebagai Bahan Perkuatan | 15 |
| 2.2.3.1 Kekuatan Tarik | 15 |
| 2.2.3.2 Tahanan Rangkak | 15 |
| 2.2.3.3 Daya Bertahan | 16 |
| 2.2.3.4. Geogrid Sebagai Material Perkuatan Tanah..... | 16 |
| 2.2.3.5. Jarak Antar Lapisan Geogrid..... | 17 |
| 2.2.4. Panjang Geogrid yang Dibutuhkan | 17 |
| 2.2.5. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah..... | 18 |
| 2.2.6. Mekanisme Transfer Beban antara Geogrid dengan Tanah | 18 |
| 2.3. Pondasi Dangkal | 19 |
| 2.3.1. Tegangan Kontak | 20 |
| 2.3.2. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi | 21 |
| 2.3.3. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi Perkuatan | 23 |
| 2.4. Teori Daya Dukung Tanah terhadap Pondasi | 25 |
| 2.4.1. Pengertian Daya Dukung Tanah terhadap Pondasi | 25 |
| 2.4.2. Solusi Meyerhof | 25 |
| 2.4.3. Solusi Hansen dan Vesic | 27 |
| 2.5. Penurunan | 28 |
| 2.6. Bearing Capacity Improvement (BCI)..... | 30 |
| 2.7. Kriteria Penentuan Beban Ultimit | 31 |
| BAB III | 33 |
| METODE PENELITIAN | 33 |
| 3.1. Waktu dan Tempat..... | 33 |
| 3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitian..... | 33 |
| 3.3. Alat dan Bahan Penelitian | 35 |

| | |
|---|----|
| 3.4. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji | 36 |
| 3.5. Metode Penelitian | 37 |
| 3.5.1. Pengujian Dasar | 37 |
| 3.5.2. Persiapan Benda Uji | 37 |
| 3.5.3. Model Pengujian Pondasi | 38 |
| 3.5.4. Pengujian Pembebanan | 39 |
| 3.6. Metode Analisis Data | 40 |
| 3.7. Variasi Penelitian | 43 |
| BAB IV | 45 |
| PEMBAHASAN | 45 |
| 4.1. Analisis Bahan | 45 |
| 4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah | 46 |
| 4.1.2. Analisis Specific Gravity | 48 |
| 4.1.3. Analisis Pemeriksaan 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 | 49 |
| 4.1.4. Analisis Kuat Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>) | 49 |
| 4.2. Model <i>Test</i> | 51 |
| 4.3. Analisis Hasil | 51 |
| 4.3.1. Tanpa Perkuatan | 51 |
| 4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air | 52 |
| 4.3.2.2. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir Berdasarkan Perhitungan Analitik dan Eksperimen | 53 |
| 4.3.2.3. Analisis Penurunan Tanah Pasir pada Variasi Lebar Pondasi | 54 |
| 4.3.2. Dengan Perkuatan Geogrid | 55 |
| 4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air | 56 |
| 4.3.2.2. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir dengan $R_c = 85\%$ | 57 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2.3. Analisis Penurunan Tanah Pasir dengan R_c 85% | 58 |
| 4.3.2.3.1. Penurunan Tanah Pasir pada Variasi Lebar Pondasi Terhadap Jarak Lapis Geogrid Teratas | 58 |
| a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B | 58 |
| b. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,5B | 59 |
| c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B | 60 |
| 4.3.2.3.2. Penurunan Tanah pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Lebar Pondasi | 61 |
| a. Lebar Pondasi (B) = 6 cm | 61 |
| b. Lebar Pondasi (B) = 8 cm | 62 |
| c. Lebar Pondasi (B) = 10 cm..... | 63 |
| 4.4. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan antara Pemodelan Tanpa Perkuatan dengan Pemodelan yang Menggunakan Perkuatan Geogrid | 64 |
| 4.4.1. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan Pemodelan Tanpa Pekuan dengan Pemodelan yang Menggunakan Perkuatan Geogrid pada Variasi Lebar Pondasi | 64 |
| 4.4.1.1. Lebar Pondasi (B) = 6 cm | 64 |
| a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B | 64 |
| b. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,5B | 65 |
| c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B | 66 |
| 4.4.1.2. Lebar Pondasi (B) = 8 cm | 67 |
| a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B | 67 |
| b. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,5B | 68 |
| c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B | 69 |
| 4.4.1.3. Lebar Pondasi (B) = 10 cm | 70 |
| a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B | 70 |
| b. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,5B | 71 |
| c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B | 72 |
| 4.5. Analisis <i>Bearing Capacity Improvement</i> Berdasarkan Daya Dukung Ultimit (BCI _u) | 73 |
| 4.5.1. Perbandingan BCI _u pada Variasi Lebar Pondasi Terhadap Jarak Lapis Geogrid Teratas | 73 |

| | |
|--|----|
| 4.5.2. Perbandingan BC _{Iu} pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Lebar Pondasi | 74 |
| 4.6. Analisis Peningkatan Nilai Daya Dukung pada Pemodelan Tanah Pasir Tanpa Perkuatan dengan Pemodelan Tanah Pasir yang Menggunakan Perkuatan Geogrid.. | 76 |
| 4.7. Pengaruh Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Nilai Daya Dukung | 78 |
| BAB V | 79 |
| PENUTUP | 79 |
| 5.1. Kesimpulan | 79 |
| 5.2. Saran..... | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | 81 |
| LAMPIRAN | 83 |



DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|------------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Rentang Ukuran Partikel | 8 |
| Tabel 2.2 | Sistem Klasifikasi Tanah USCS | 9 |
| Tabel 2.3 | Sistem Klasifikasi USCS | 10 |
| Tabel 2.4 | Faktor-faktor Bentuk Pondasi..... | 26 |
| Tabel 2.5 | Faktor Kedalaman Pondasi | 26 |
| Tabel 2.6 | Faktor-faktor Kemiringan Beban..... | 26 |
| Tabel 3.1 | Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Tanpa Perkuatan | 42 |
| Tabel 3.2 | Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Menggunakan Perkuatan dengan Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas | 42 |
| Tabel 3.3 | Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Menggunakan Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi | 43 |
| Tabel 3.4 | <i>Bearing Capacity Improvement (BCI)</i> untuk Variasi Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas | 44 |
| Tabel 4.1 | Tipe Geogrid..... | 46 |
| Tabel 4.2 | Rata-rata <i>Specific Gravity</i> Pasir | 48 |
| Tabel 4.3 | Matriks Pengujian..... | 52 |
| Tabel 4.4 | Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Tanpa Perkuatan..... | 52 |
| Tabel 4.5 | Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan Hasil Perhitungan Analitik | 53 |
| Tabel 4.6 | Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan Hasil Eksperimen | 53 |
| Tabel 4.7 | Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah dengan Perkuatan | 56 |
| Tabel 4.8 | Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Hasil Eksperimen dengan Perkuatan Variasi Lebar Pondasi..... | 57 |
| Tabel 4.9 | Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Hasil Eksperimen dengan Perkuatan Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas | 57 |
| Tabel 4.10 | Nilai BCI _u untuk Variasi Lebar Pondasi | 73 |
| Tabel 4.11 | Nilai BCI _u untuk Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas..... | 75 |
| Tabel 4.12 | Peningkatan Daya Dukung Pemodelan Tanah Pasir | 76 |
| Tabel 4.13 | Peningkatan Daya Dukung antar Variabel pada Variasi Lebar Pondasi | 77 |

Tabel 4.14 Peningkatan Daya Dukung antar Variabel pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas..... 77



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Gambar 2.1 | Bentuk-bentuk butiran tanah pasir..... | 8 |
| Gambar 2.2 | Klasifikasi geosintetik | 12 |
| Gambar 2.3 | Geogrid uniaksial..... | 13 |
| Gambar 2.4 | Geogrid biaksial..... | 14 |
| Gambar 2.5 | Geogrid triaksial | 14 |
| Gambar 2.6 | Geogrid berdasarkan cara penyambungan elemennya | 14 |
| Gambar 2.7 | Diagram kuat tarik geogrid..... | 15 |
| Gambar 2.8 | Hubungan z/B vs BCR | 17 |
| Gambar 2.9 | Hubungan variasi b/B dengan BCR..... | 18 |
| Gambar 2.10 | Macam-macam pondasi dangkal: (a) Pondasi memanjang; (b) Pondasi telapak; (c) Pondasi rakit | 20 |
| Gambar 2.11 | Tegangan kontak akibat beban aksial eksentris..... | 21 |
| Gambar 2.12 | Penyebaran tekanan dalam tanah..... | 21 |
| Gambar 2.13 | Macam keruntuhan pondasi: (a) Keruntuhan geser umum; (b) Keruntuhan geser lokal; (c) Keruntuhan penetrasi | 23 |
| Gambar 2.14 | Tipe keruntuhan tanah dengan perkuatan geotekstil pada pondasi dangkal: (a) Keruntuhan daya dukung di atas lapisan geotekstil; (b) Keruntuhan tekan atau patah pada lapisan geogrid; (c) Keruntuhan tarik pada lapisan geotekstil; (d) Keruntuhan rangkak atau <i>creep</i> pada lapisan geotekstil | 24 |
| Gambar 2.15 | Tipe keruntuhan <i>wide slab</i> pada tanah dengan perkuatan geogrid di pondasi dangkal | 24 |
| Gambar 2.16 | Contoh kerusakan bangunan akibat penurunan tanah | 28 |
| Gambar 2.17 | Hasil model penelitian Guido et al. pada tanah pasir dengan perkuatan geotekstil..... | 29 |
| Gambar 2.18 | Grafik hubungan beban dengan penurunan pada tanah tanpa perkuatan dan tanah dengan perkuatan geogrid | 30 |
| Gambar 3.1 | Bagan alir percobaan | 35 |
| Gambar 3.2 | (1) Silinder beton; (2) Dongkrak hidrolik; (3) <i>Load cell</i> ; (4) Dial LVDT; (5) <i>Box uji</i> | 36 |



| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.3 | Model tes percobaan: (a) Tanpa perkuatan geogrid; (b) Dengan perkuatan geogrid | 37 |
| Gambar 3.4 | Model <i>box</i> penelitian..... | 39 |
| Gambar 3.5 | Contoh susunan pembebahan..... | 41 |
| Gambar 4.1 | Hasil pembagian ukuran butiran tanah | 47 |
| Gambar 4.2 | Grafik pemedatan standar | 49 |
| Gambar 4.3 | (a) Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser; (b) Hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal | 51 |
| Gambar 4.4 | Pemodelan tanpa perkuatan dengan variasi $B = 6; 8; 10$ cm, dan rasio $d/B = 1$ | 52 |
| Gambar 4.5 | Perbandingan nilai daya dukung tanah pasir tanpa perkuatan hasil perhitungan analitik dan eksperimen | 54 |
| Gambar 4.6 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dengan $B = 6; 8; 10$ cm dan $d/B = 1$ | 55 |
| Gambar 4.7 | Pemodelan dengan variasi B sebesar $6; 8; 10$ cm, dan variasi rasio u/B sebesar $0,25; 0,5; 0,75$ | 56 |
| Gambar 4.8 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1, n = 3$ | 58 |
| Gambar 4.9 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1, n = 3$ | 59 |
| Gambar 4.10 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,75B$, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1, n = 3$ | 60 |
| Gambar 4.11 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 6$ cm, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1, n = 3$ | 61 |
| Gambar 4.12 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 8$ cm, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1, n = 3$ | 62 |
| Gambar 4.13 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 10$ cm, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1, n = 3$ | 63 |
| Gambar 4.14 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 6$ cm, $d/B = 1$ | 64 |
| Gambar 4.15 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 6$ cm, $d/B = 1$ | 65 |



| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.16 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 66 |
| Gambar 4.17 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 67 |
| Gambar 4.18 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 68 |
| Gambar 4.19 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 69 |
| Gambar 4.20 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 70 |
| Gambar 4.21 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 71 |
| Gambar 4.22 | Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$ | 72 |
| Gambar 4.23 | Perbandingan nilai BC_Iu untuk variasi lebar pondasi | 74 |
| Gambar 4.24 | Perbandingan nilai BC_Iu untuk variasi jarak lapis geogrid teratas..... | 75 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Lampiran 1. | Analisis Gradasi Butir Tanah | 83 |
| Lampiran 2. | Analisis <i>Specific Gravity</i> Tanah..... | 84 |
| Lampiran 3. | Analisis Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear</i>) | 87 |
| Lampiran 4. | Analisis Uji Pemadatan Standar (ASTM D-698-70 METODE B)..... | 89 |
| Lampiran 5. | Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Pasir..... | 92 |
| Lampiran 6. | Rekapitulasi Data Daya Dukung dan Penurunan Hasil Eksperimen | 100 |
| Lampiran 7. | Perhitungan Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan dengan Metode Analitik | 124 |
| Lampiran 8. | Dokumentasi Penelitian | 133 |



DAFTAR SIMBOL

| Besaran dasar | Satuan dan Singkatannya | Simbol |
|--|--|---------------------------|
| Lebar pondasi | Centimeter atau cm | B |
| <i>Bearing Capacity Improvement Ultimate</i> | Tanpa satuan | BCIu |
| Kohesi tanah | Kilogram per centimeter persegi atau kg/cm^2 | c |
| Kedalaman pondasi | Centimeter atau cm | d |
| Jumlah lapis perkuatan geogrid | Tanpa satuan | n |
| Faktor daya dukung | Tanpa satuan | $N_q, N_c,$ N_γ |
| Daya dukung ultimit | Kilonewton per meter persegi atau kN/m^2 | qu |
| <i>Relative Compaction</i> (Kepadatan Relatif) | Persen atau % | Rc |
| Penurunan | Milimeter atau mm | s |
| Jarak antar lapis perkuatan geogrid | Centimeter atau cm | Sv |
| Jarak lapis geogrid teratas | Centimeter atau cm | u |
| Sudut geser tanah | Derajat atau $^\circ$ | ϕ |
| Berat isi kering tanah | Gram per centimeter kubik atau gr/cm^3 | γ_d |
| Berat isi air | Gram per centimeter kubik atau gr/cm^3 | γ_w |



RINGKASAN

Rahma Nur Amalina, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2016, *Pengaruh Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas dengan Rasio d/B = 1 dan n = 3 terhadap Daya Dukung Tanah Pasir pada Pondasi Menerus*, Dosen Pembimbing: As'ad Munawir dan Yulvi Zaika.

Tanah pasir dengan kepadatan yang kurang baik apabila dipengaruhi getaran menimbulkan pergeseran partikel-partikel yang menyebabkan tanah pasir mengalami penurunan yang besar dan cepat. Penurunan yang tinggi umumnya dibarengi dengan daya dukung yang rendah, sehingga kurang memenuhi syarat sebagai tanah dasar suatu konstruksi bangunan yang aman dan nyaman. Oleh karenanya, pada tanah pasir perlu dilakukan perbaikan tanah, salah satu bentuknya yaitu dengan metode perkuatan tanah menggunakan geogrid. Pengaplikasiannya sudah banyak digunakan di berbagai macam konstruksi seperti jalan, dinding penahan, dam, lereng, maupun untuk perkuatan tanah dalam pembuatan pondasi bangunan.

Pada penelitian ini dilakukan uji model fisik tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geogrid. Variasi yang diterapkan pada pengujian sampel berupa lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari penggunaan variasi perkuatan terhadap daya dukung tanah pasir menggunakan pondasi menerus. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan tanah pasir bergradasi buruk dengan R_c 85%. Tahap awal pembuatan model adalah dengan membuat tujuh lapisan tanah pasir sesuai dengan kepadatan yang direncanakan dengan tinggi tiap lapisnya 10 cm dan berat tanah yang dimasukkan sesuai dengan kontrol volume tanah. Setelah semua lapisan dipadatkan, diletakkan pondasi dengan ukuran yang bervariasi (6; 8; 10 cm) dengan kedalaman tetap yaitu $d/B = 1$. Pembebanan diberikan menggunakan dongkrak hidrolik. Pembacaan beban dan penurunan pondasi dilihat melalui load cell dan LVDT tiap kenaikan beban 50 kg sampai model mengalami keruntuhan. Metode yang sama diterapkan juga untuk model dengan variasi jarak lapis geogrid teratas yang diatur sesuai jarak yang akan diteliti (0,25B; 0,5B; 0,75B), dengan jumlah geogrid (n) 3 dan jarak vertikal antara geogrid sebesar 0,25B cm.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa untuk variasi lebar pondasi semakin besar lebar pondasi yang digunakan, maka akan semakin besar nilai daya dukungnya dan untuk variasi jarak lapis geogrid teratas menghasilkan nilai yang optimum. Dari hasil analisis BCIu menunjukkan bahwa peningkatan daya dukung terbesar terletak pada lebar pondasi 10 cm dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,5B.

Kata kunci: daya dukung, tanah pasir, pondasi menerus, perkuatan geogrid, variasi lebar pondasi, variasi jarak lapis geogrid teratas.



SUMMARY

Rahma Nur Amalina, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Juli 2016, *The Effect of Foundation Width and the Upper Distance of Geogrid Layer with Ratio $d/B = 1$ and $n = 3$ to the Bearing Capacity with Strip Foundation*, Academic Supervisor: As'ad Munawir and Yulvi Zaika.

Sand soil with bad density when influenced by vibrations causing shift in the particles that cause sand soil has high and fast settlement. High settlement usually accompanied by low bearing capacity, making it less qualified as a subgrade building construction that is safe and comfortable. Therefore, the soil need to be reinforce, one of its forms is by soil reinforcement methods using geogrid. The application is already used in various kinds of construction such as roads, retaining walls, dams, slopes, as well as for soil reinforcement in the manufacture of building foundations.

In this research, model test do for sand without reinforcement and with geogrid reinforcement. Variations were applied to test samples are width foundation and the upper distance of geogrid layer. The purpose of this study was to know the effect of the use of variation on the bearing capacity using strip foundation. This research was conducted by modeling poorly graded sand soil with R_c 85%. The first step of the modeling is making seven layers of sand soil in accordance with the planned density with each high of layer 10 cm and heavy soil that is inserted in accordance with the volume control soil. After all the layers were compacted, set up the foundation with various sizes (6; 8; 10 cm) and fixed depth is $d/B = 1$. The loading test was given using a hydraulic jack. The reading of the load and the settlement of foundation can be seen to the load cell and LVDT in every load increase of 50 kg until model has collapse. The same method is applied also to model with the upper distance of geogrid layer variation which set according to the distance to be studied (0,25B; 0,5B; 0,75B), with the number of geogrid (n) 3 and the vertical distance between the geogrid of 0,25B cm.

From the results of this study found that for width foundation variations, the bigger width foundation is used, the higher value of bearing capacity is, and the upper distance of geogrid layer variation produces the optimum value. BCIu analysis of the results showed that the biggest increasing of the bearing capacity is in the width foundation 10 cm with the upper distance of geogrid layer 0,5B.

Keywords: bearing capacity, sand soil, strip foundation, geogrid reinforcement, foundation width variation, the upper distance of geogrid layer variation.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam menjaga kestabilan/keamanan suatu bangunan, selain memperhatikan struktur bangunan bagian atasnya, juga harus memperhatikan struktur bagian bawah, yaitu pondasi. Pondasi difungsikan untuk mentransfer/menyalurkan beban dari bangunan diatasnya menuju ke tanah. Pondasi tersebut harus *di-design* sedemikian rupa untuk mampu menyalurkan beban-beban yang ada dengan tentunya menyesuaikan pula dengan kondisi tanah di lapangan. Tuntutan pembangunan yang dibarengi dengan keterbatasan lahan, membuat masyarakat harus mampu membangun walau di atas tanah yang mempunyai daya dukung yang kurang memadai sekalipun, contohnya adalah tanah pasir.

Tanah pasir yang mempunyai permeabilitas tinggi, membuat air pori dapat mengalir dengan mudah ketika tanah dibebani. Berkurangnya volume tanah ini dibarengi dengan pergerakan-pergerakan partikel tanah yang menyebabkan tanah pasir mengalami penurunan yang besar dan cepat. Kondisi ini semakin diperparah apabila kondisi tanah pasir kurang padat sehingga jika dipengaruhi getaran menimbulkan pergeseran partikel-partikel. Penurunan yang tinggi umumnya dibarengi dengan daya dukung yang rendah, sehingga tanah tersebut kurang memenuhi syarat sebagai tanah dasar suatu konstruksi bangunan yang aman dan nyaman. Oleh karenanya, pada tanah pasir perlu dilakukan perbaikan tanah agar mampu menahan beban-beban yang ada di atasnya. Salah satu bentuknya yaitu dengan metode perkuatan tanah.

Teknik perkuatan tanah sendiri pertama kali dilakukan pada tahun 1968 oleh Henri Vidal. Material yang digunakan berupa lembaran metal untuk perkuatan tanah. Perkembangan teknologi yang terus meningkat, memunculkan material geosintetik, seperti geotextile dan geogrid sebagai pengganti penggunaan lembaran metal untuk perkuatan tanah. Dengan biaya yang cukup ekonomis, penggunaan geosintetik saat ini semakin diminati. Pengaplikasiannya sudah banyak digunakan di berbagai macam konstruksi seperti jalan, dinding penahan, dam, lereng, maupun untuk perkuatan tanah dalam pembuatan pondasi bangunan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pontjo Utomo (2004) menunjukkan bahwa tanah pasir yang diberi lapisan geogrid dengan memvariasikan jarak lapis geogrid teratas mempengaruhi besarnya daya dukung pada tanah tersebut. Semakin besar jarak lapisan geogrid teratas dengan pondasi menunjukkan tingkat daya dukung tanah pasir meningkat hingga u/B menghasilkan nilai kritis, dimana daya dukung tanah tidak dapat bertambah kembali dan akan memberikan pengaruh sebaliknya jika terus ditingkatkan nilai u/B -nya. Sehingga dapat ditentukan berapa besarnya nilai u/B optimum agar menghasilkan daya dukung tanah pasir yang bernilai besar. Dari penelitian yang dilakukan Ponjto Utomo (2004) dihasilkan rekomendasi $u/B = 0,25 - 0,5$ karena mampu meningkatkan daya dukung tanah sebesar 2,5 – 3,5 kali lipat.

Penelitian lain yang juga memvariasikan jarak lapis geogrid teratas dari dasar pondasi adalah penelitian yang dilakukan Shin dan Das (2000), dari nilai variasi 0,2B; 0,4B; 0,6B; dan 0,8B yang digunakan menghasilkan nilai yang optimum pada kisaran 0,4B – 0,6B. Variasi lain yang dilakukan Shin dan Das (2000) yaitu mengenai rasio lebar perkuatan dibanding lebar pondasi (b/B) dengan memberikan variasi nilai 2; 4; 6; 8; dan 10, didapatkan nilai kritis untuk lebar perkuatan (b) pada nilai 5B – 6B.

Selain meneliti variasi jarak lapis geogrid teratas, Pontjo Utomo (2004) juga meneliti mengenai jarak antar geogrid yang divariasikan sebesar 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2, dan dapat disimpulkan bahwa jarak antar geogrid yang optimum diperoleh pada kisaran nilai 0,25B dimana mampu meningkatkan daya dukung tanah 2,5 kali lipat. Sementara untuk variasi rasio kedalaman salah satunya diteliti oleh Patra et al. (2005) dimana nilai daya dukung akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai rasio kedalaman.

Penelitian mengenai pengaruh jumlah lapisan geogrid terhadap daya dukung tanah pasir oleh Gresi Dadik Wijaya (2014) didapatkan kesimpulan bahwa dari penggunaan geogrid satu hingga tiga buah terus mengalami peningkatan dan mencapai nilai maksimum daya dukung pada jumlah lapisan terbanyak, yaitu tiga.

Mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan pemodelan pondasi menerus dengan tanah pasir R_c 85%. Variasi yang digunakan adalah lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas dengan jumlah lapis geogrid (n) sebanyak tiga lapis dan rasio kedalaman (d/B) sama dengan satu. Dari hasil penelitian diharapkan dapat diperoleh lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas yang optimum sehingga akan menghasilkan nilai daya dukung yang maksimum untuk dapat dijadikan



alternatif dan rekomendasi pembangunan di atas tanah pasir dengan menggunakan pondasi menerus.

1.2. Identifikasi Masalah

Dengan semakin seringnya pembangunan di atas tanah pasir karena terbatasnya lahan, dengan kondisi tanah pasir yang kurang memenuhi persyaratan kestabilitan dan keamanan untuk daerah pembangunan, maka dibutuhkan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu solusi yang memungkinkan yaitu perkuatan pada tanah pasir. Sehingga masalah yang ditemukan yaitu sebagai berikut:

1. Rendahnya nilai daya dukung tanah pasir yang kepadatannya kurang sehingga ketika diberi beban bangunan di atasnya membuat daerah ini kurang memenuhi syarat lahan pembangunan yang stabil dan aman.
2. Untuk menambah besarnya daya dukung tanah pasir, maka diperlukan suatu metode perkuatan pada tanah pasir sehingga dapat menahan beban yang berada di atasnya.
3. Perkuatan yang digunakan adalah perkuatan menggunakan geogrid dengan memberikan variasi lebar pondasi sebesar 6 cm, 8 cm, dan 10 cm serta variasi jarak lapis geogrid teratas yang digunakan yaitu 0,25B ; 0,5B ; dan 0,75B.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, maka rumusan masalah yang akan dibahas yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada tanah pasir tanpa perkuatan dibandingkan dengan tanah pasir yang diberikannya perkuatan geogrid dengan variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas?
2. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi lebar pondasi?
3. Bagaimana daya dukung yang terjadi pada tanah pasir akibat pengaruh adanya variasi jarak lapis geogrid teratas?
4. Berapa variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas yang menghasilkan nilai daya dukung maksimum?

1.4. Batasan Masalah

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

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi serta Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang.
2. Penelitian dilakukan pada suhu kamar yaitu 25°C .
3. Tanah yang digunakan adalah tanah pasir Lumajang yang berupa tanah urugan dengan jenis tanah pasir bersimbol SP (*Poorly Graded Sand*) menurut sistem *Unified (U.S.C.S)*.
4. Kadar air yang digunakan adalah kadar air optimum (*OMC*).
5. *Relative Compaction* tanah model pasir adalah 85%.
6. Penelitian tidak termasuk rembesan air dalam tanah yang diuji-cobakan.
7. Geogrid yang digunakan sebagai perkuatan pada pemodelan fisik pondasi menerus pada tanah pasir adalah tipe biaksial.
8. Geogrid yang digunakan diambil dari PT. Tetrasa Geosinindo.
9. Air yang digunakan adalah air PDAM Kodya Malang.
10. Peraturan yang digunakan berdasarkan *A.S.T.M*. dan *U.S.C.S*.
11. Lebar pondasi dibuat bervariasi yaitu $B = 6; 8; 10\text{ cm}$.
12. Jarak geogrid pada lapis pertama dibuat bervariasi yaitu $u/B = 0,25; 0,5; 0,75$.
13. Jumlah lapisan geogrid yang digunakan dalam pemodelan fisik pondasi menerus pada tanah pasir ini dibuat sama yaitu 3 lapis perkuatan.
14. Rasio kedalaman pondasi dibuat sama yaitu $d/B = 1$.
15. Jarak antar geogrid yang digunakan dalam pemodelan fisik pondasi menerus pada tanah pasir adalah $S_v = 0,25B\text{ cm}$.
16. Pondasi dianggap kaku sempurna (*rigid*).
17. Penelitian ini tidak membahas analisis kimia dan ekonomi.
18. Pada pengujian model digunakan metode *Control Strain*.



1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui pengaruh perkuatan tanah pasir dengan membandingkan daya dukung tanah pasir tanpa perkuatan terhadap daya dukung tanah pasir yang diberi perkuatan geogrid menggunakan variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas.
2. Untuk mengetahui pengaruh dari variasi lebar pondasi terhadap daya dukung pada tanah pasir.
3. Untuk mengetahui pengaruh dari variasi jarak lapis geogrid teratas untuk perkuatan pada tanah pasir terhadap daya dukung yang dihasilkan.
4. Untuk mengetahui lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas yang menghasilkan nilai daya dukung maksimum.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

- 1). Bagi praktisi di lapangan antara lain:
 - Menjadi sumber informasi dan dapat dijadikan sebagai rekomendasi serta pertimbangan dalam suatu perencanaan pondasi menerus yang diperkuat dengan geogrid pada tanah pasir, khususnya dalam merencanakan lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas untuk dapat menghasilkan daya dukung tanah yang maksimum.
 - Menjadi bahan pertimbangan dalam alternatif perkuatan tanah yang memiliki sifat seperti tanah pasir.
- 2). Bagi kalangan akademis antara lain:
 - Sebagai referensi dan rekomendasi yang dapat diterapkan dalam penelitian khususnya di bidang Mekanika Tanah dan Geoteknik yang membahas permasalahan daya dukung (*bearing capacity*) pada tanah pasir.



(halaman kosong)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasir

2.1.1 Karakteristik Tanah Pasir

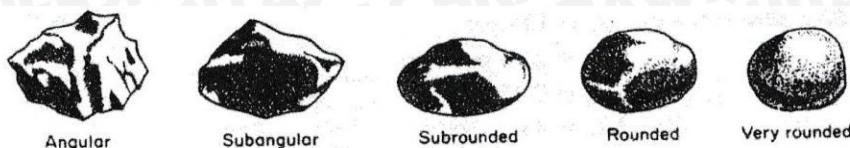
Pasir didefinisikan sebagai material granular alami yang belum terkonsolidasi dengan ukuran butiran berkisar 1/16 – 2 mm. Material granular yang lebih besar dari pasir disebut sebagai kerikil, dan yang lebih halus disebut sebagai lanau.

Karakteristik dari tanah granular adalah sebagai berikut:

1. Merupakan material yang baik digunakan sebagai tanah dasar dari suatu struktur maupun jalan, kecuali pasir lepas dikarenakan daya dukung dari tanah granular besar dan penurunan yang terjadi kecil. Penurunan yang terjadi berlangsung dalam waktu singkat sesaat setelah beban diberikan.
2. Karena memiliki kuat geser yang tinggi, pasir merupakan material tanggul yang baik, sehingga mudah dipadatkan dan tidak rentan membeku.
3. Pasir merupakan material timbunan (*backfill*) terbaik untuk diterapkan sebagai dinding penahan, dinding basement, dan lainnya dikarenakan gaya tekan lateral pasir yang kecil, mudah mengalirkan air, dan mudah dipadatkan.
4. Pasir tidak dapat digunakan sebagai tanggul untuk *reservoir*, bendungan, dan lain-lain karena permeabilitasnya yang tinggi. Diperlukan proses *dewatering* pada pasir yang berada di bawah muka air tanah.
5. Bila terkena beban yang bergetar, pasir rentan mengalami penurunan.

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





Gambar 2.1. Bentuk-bentuk butiran tanah pasir

Tanah yang termasuk dalam tipe pasir atau kerikil (atau disebut juga tanah berbutir kasar) lebih dari 65% material berukuran pasir dan kerikil. Pasir dan kerikil tersebut dapat dibagi menjadi beberapa fraksi, diantaranya fraksi kasar, medium, dan halus, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Partikel pasir pada umumnya mengandung butiran-butiran mineral. Rentang ukuran partikel jenis-jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Rentang Ukuran Partikel

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

Ukuran partikel (mm)

Tanah pasir merupakan tanah yang melekat hanya apabila berada dalam keadaan basah akibat adanya gaya tarik permukaan di dalam air dan yang memiliki butiran tanah yang terpisah ketika keadaan kering. Tanah pasir merupakan jenis tanah non-kohesif, dimana tidak memiliki garis batas antara keadaan plastis maupun tidak plastis, karena pasir merupakan jenis tanah yang tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Namun dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non-kohesif yang memiliki kadar air cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental. Tarikan permukaan yang terjadi akan memberikan tanah non-kohesif suatu kohesi semu (*apparent cohesion*). Disebut demikian karena kohesi tersebut akan hilang apabila tanah itu benar-benar jenuh atau benar-benar kering.

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

1. Pasir kasar: butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertinggal dalam saringan no. 10 (2 mm).
2. Pasir medium : butirannya lolos saringan no. 10 (2 mm) dan tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm).
3. Pasir halus : butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan dalam saringan no. 200 (0,075 mm).

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

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem ini dibentuk oleh American Society for Testing and Materials (ASTM) dengan menggunakan USCS sebagai metode standar dalam mengklasifikasikan tanah. Namun sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan yang menyangkut bidang geoteknik.

Awalnya, sistem ini terbagi menjadi dua divisi utama. Pertama yaitu tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika 50% atau lebih lolos saringan no. 200 dan diklasifikasikan sebagai tanah kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% tertahan saringan no. 200. Pengelompokan tanah pada sistem klasifikasi USCS diperlihatkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS

| Jenis Tanah | Prefiks | Sub Kelompok | Sufiks |
|-------------|---------|---------------|--------|
| Kerikil | G | Gradasi baik | W |
| | | Gradasi buruk | P |
| Pasir | S | Berlanau | M |
| | | Berlempung | C |
| Lanau | M | | |
| Lempung | C | WL < 50% | L |
| Organik | O | WL > 50% | H |
| Gambut | Pt | | |

Klasifikasi sistem tanah *Unified* secara visual di lapangan lebih baik dilakukan setiap kali pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna untuk pelengkap klasifikasi yang dilakukan di laboratorium sehingga tidak terjadi kesalahan tabel dan menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu untuk ditambah,

dimana :

W = *Well Graded* (tanah dengan gradasi baik),

P = *Poorly Graded* (tanah dengan gradasi buruk),

L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah, LL<50),

H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi, LL> 50).

Tabel 2.3. Sistem Klasifikasi USCS

| Divisi Utama | Simbol | Nama Umum | Kriteria Klasifikasi | |
|--|--|---|--|---|
| Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran terbatas saringan No. 200 | GW | Kerikil bergradiasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | $Cu = \frac{D_{40}}{D_{10}} > 4$ $Ce = \frac{(D_{40})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW | |
| | GP | Kerikil bergradiasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI < 4 | |
| | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau | Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI > 7 | |
| | GC | Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung | $Cu = \frac{D_{40}}{D_{10}} > 6$ $Ce = \frac{(D_{40})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 | |
| | SW | Pasir bergradiasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW | |
| | SP | Pasir bergradiasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI < 4 | |
| | SM | Pasir berlanau, campuran pasir-lanau | Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI > 7 | |
| | SC | Pasir berlempung, campuran pasir-lempung | Bila batas <i>Atterberg</i> berada diatas arisir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol | |
| | Klasifikasi berdasarkan proporsi butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan No. 200 : Batasan klasifikasi menggunakan simbol dobel | | | |
| | GP, SW, SP, Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : Batasan klasifikasi menggunakan simbol dobel | | | |
| Tanah berbutir halus ≤ 50% atau lebih lolos saringan No. 200 | Lanau dan lempung batas cair ≤ 50% | ML | Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbus batuan, pasir halus berlanau atau berlempung | Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. |
| | | CL | Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kerus" (<i>lean clays</i>) | |
| | | OL | Lanau-anorganik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah | |
| | | MH | Lanau anorganik atau pasir halus diatomac, atau lanau diatomac, lanau yang elastis | |
| | | CH | Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fatty clays</i>) | |
| | | OH | Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi | |
| | | PT | Pearl (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik sangat tinggi | |
| Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi | | Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488 | | |

2.1.3 Kepadatan Relatif Pasir

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

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

Perlu perhatikan bahwa memadatkan tanah pada saat kondisi basah optimum akan menghasilkan kuat geser tanah yang lebih rendah dibandingkan pemasukan tanah dengan kadar air pada saat kondisi kering optimum. Oleh karena itu, selain memperhatikan nilai

persentase kepadatan, besarnya kadar air tanah yang akan dipadatkan juga perlu diperhatikan.

2.2 Geosintetik

2.2.1 Pengertian Geosintetik

Geosintetik (Geosynthetic) yang terdiri dari dua bagian kata, yaitu Geo yang artinya berhubungan dengan tanah dan Synthetic yang berarti bahan buatan manusia. Para ahli dibidang geosintetik sendiri mendefinisikan geosintetik sebagai material yang pada umumnya berbentuk lembaran dan sebagainya yang difungsikan sebagai solusi permasalahan yang dihadapi oleh konstruksi dibidang tanah.

Pada dasarnya, geosintetik terbagi menjadi dua jenis yaitu tekstil dan jaring (*web*). Berdasarkan bahannya, geosintetik dibagi menjadi dua yaitu alami dan sintetik. Bahan sintetik merupakan yang paling sering digunakan karena material polimernya tahan terhadap degradasi kimiawi dan biologis. Material polimer tersebut antara lain polyester (PET), polipropilena (PP), dan polietilena (PE). Bahan alami seperti rami dan serat kapas juga dapat digunakan tetapi bersifat hanya sementara.

Berdasarkan sifat permeabilitasnya, geosintetik terbagi menjadi kedap air dan lolos air. Jenis geosintetik yang lolos air adalah geotekstil, dimana geotekstil dibagi lagi berdasarkan pada proses pembuatannya menjadi tak-teranyam (non woven) dan teranyam (woven). Untuk jenis geosintetik yang tidak dapat meloloskan air adalah *geosynthetic clay liner* dan geomembran.

Geosintetik berbentuk jaring (*web*) terbagi menjadi dua, yaitu jala (*mesh*) terbuka dan jala (*mesh*) rapat. Jenis geosintetik yang berbentuk jala (*mesh*) terbuka adalah geogrid dan untuk jenis geosintetik yang berbentuk jala (*mesh*) rapat adalah matras dan net.



Berikut merupakan bagan klasifikasi pengelompokan geosintetik:



Gambar 2.2. Klasifikasi geosintetik

2.2.2 Geogrid

2.2.2.1 Pengertian Geogrid

Geogrid merupakan jenis geosintetik yang berbentuk jaring (web) dengan jala (mesh) terbuka. Fungsi utama dari geogrid adalah sebagai perkuatan, dimana perkuatan tersebut mengacu pada sifat mekanis tanah komposit/agregat yang dapat ditingkatkan. Geogrid dibentuk oleh jaring-jaring yang teratur dan saling terhubung satu sama lainnya yang mempunyai bukaan dengan ukuran tertentu, sehingga saling mengunci (*interlock*) dengan bahan-bahan pengisi di sekelilingnya seperti tanah, batuan ataupun struktur lain disekitarnya. Berdasarkan ASTM D4439, bukaan (*aperture*) pada geogrid umumnya memiliki ukuran yang lebih besar dari 6,35 mm (1/4 in.).

Kelebihan dari penggunaan geogrid antara lain :

1. Kekuatan tarik yang tinggi,
2. Memungkinkan penggunaan material setempat,
3. Pelaksanaan yang cepat,
4. Pemasangan yang mudah dan dapat membangun lebih tinggi dan tegak,
5. Pemasangan dan harga geogrid yang lebih murah dibandingkan beton.
6. Tambahan PVC sebagai pelindung terhadap ultraviolet,
7. Merupakan struktur yang fleksibel sehingga tahan terhadap gaya gempa,

8. Tidak memberikan resiko yang besar jika terjadi deformasi struktur, dan
9. Jenis elemen penutup lapisan luar jika dipergunakan untuk dinding penahan dapat dibuat dalam bermacam-macam bentuk, sehingga memungkinkan terciptanya permukaan dinding penahan yang mempunyai nilai estetika.

Kekurangan dari geogrid adalah pemasangannya yang memerlukan PVC. Geogrid tanpa dilengkapi dengan PVC akan mengalami penurunan tingkat kemampuan penahan gaya tarik. Bahan geogrid yang sangat peka terhadap naik turunnya temperatur udara mengakibatkan pemuaian akan sangat mudah terjadi terhadap bahan geogrid, terutama pada saat menerima temperatur tinggi. Pemuaian tersebut nantinya akan membuat geogrid getas dan pada akhirnya akan mengurangi kemampuan kuat tariknya.

2.2.2.2 Jenis Geogrid

Pada umumnya, geogrid mempunyai bentuk geometri yang terdiri dari dua set elemen ortogonal penahan tarik dengan pola berbentuk segi empat. Karena keperluan sifat geosintetik yang diharapkan memiliki ketahanan rangkak serta kuat tarik yang tinggi, maka geogrid diproduksi dari bahan plastik yang molekul-molekulnya diorientasikan kearah tarik.

Material dasar geogrid bisa berupa: Polyethilene, Polyphropylene, dan Polyesther atau material polymer yang lainnya.

Berdasarkan bentuk bukaannya (Aperature), Geogrid dibagi menjadi :

(1) Geogrid Uniaksial

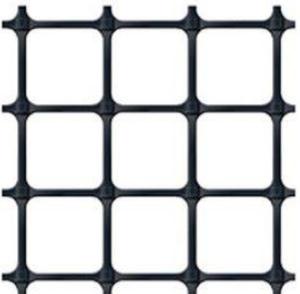
Jenis geogrid ini adalah geogrid yang mempunyai bentuk bukaan tunggal dalam satu segmen (ruas).



Gambar 2.3. Geogrid uniaksial

(2) Geogrid Biaksial

Yaitu geogrid yang mempunyai bukaan berbentuk persegi.



Gambar 2.4. Geogrid biaksial

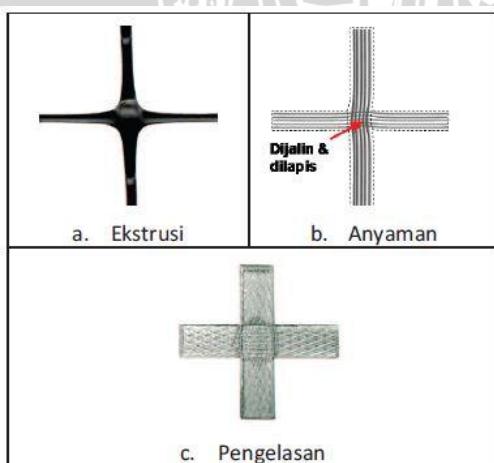
(3) Geogrid Triaksial

Jenis ini mempunyai bukaan berbentuk segitiga.



Gambar 2.5. Geogrid triaksial

Selain berdasarkan bentuk bukaannya, geogrid juga dibedakan berdasarkan cara penyambungan elemen memanjang dan melintangnya. Penyambungan kedua elemen tersebut antara lain terdiri atas metode anyaman, ekstrusi, dan pengelasan.



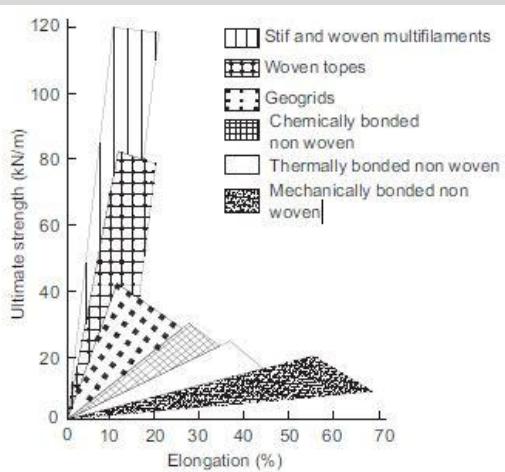
Gambar 2.6. Geogrid berdasarkan cara penyambungan elemennya

2.2.3 Karakteristik Geogrid Sebagai Bahan Perkuatan

2.2.3.1 Kekuatan Tarik

Kuat tarik didefinisikan sebagai tegangan tarik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji pada titik keruntuhan. Aplikasi geosintetik sendiri bergantung pada sifat mekanik dari benda uji, baik sebagai fungsi primer maupun fungsi sekunder.

Hal-hal yang mempengaruhi kuat tarik suatu elemen geosintetik ialah rasio lebar geosintetik terhadap panjang benda uji, ketebalan geosintetik, suhu, dan kelembaban ruangan saat pengujian dilakukan. Dalam modul pelatihan geosintetik oleh direktorat jendral bina marga, dijelaskan bahwa geogrid memiliki kuat tarik dan modulus tarik yang tinggi dengan tingkat regangan yang rendah, bahkan dengan regangan 2%. Hal ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7. Diagram kuat tarik geogrid

2.2.3.2 Tahanan Rangkak

Dalam perencanaan, diusahakan agar tegangan yang bekerja lebih rendah dibandingkan dengan batasan rangkaknya. Nilai tegangan batas yang umumnya digunakan berkisar antara 40-60% dari tegangan yang bekerja. Selain itu juga harus dipertimbangkan kombinasi beban hidup terhadap beban mati. Aplikasi beban hidup jangka pendek nantinya hanya akan memberikan sedikit pengaruh terhadap rangkak bila dibandingkan dengan aplikasi beban mati jangka panjang.

Rangkak (*creep*) adalah elongasi geosintetik yang diakibatkan beban konstan. Perilaku rangkak yang diakibatkan geosintetik perlu dipertimbangkan mengingat sifat polimer yang terdapat pada geosintetik merupakan bahan yang sensitif terhadap rangkak.

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

2.2.3.3 Daya Bertahan

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

- Kuat robek, yaitu kemampuan geosintetik menahan tegangan yang mengakibatkan terjadinya penambahan panjang robekan dari robekan yang sudah ada sebelumnya. Biasanya hal ini terjadi pada saat instalasi.
- Kuat tusuk, yaitu kemampuan geosintetik menahan tegangan lokal yang diakibatkan tusukan benda seperti batu dan akar tanaman.
- Kuat tusuk dinamis adalah kemampuan geosintetik menahan tegangan yang diakibatkan benturan dan penetrasi dari benda jatuh seperti batu, alat-alat bantu konstruksi, selama proses pemasangan geosintetik.
- Kuat jebol yaitu kemampuan geosintetik menahan tekanan normal ketika terkekang pada segala arah. Kuat jebol disimulasikan pada kondisi di lapangan.
- Kuat fatig merupakan kemampuan geosintetik menahan beban berulang sebelum terjadinya keruntuhan.

2.2.3.4. Geogrid Sebagai Material Perkuatan Tanah

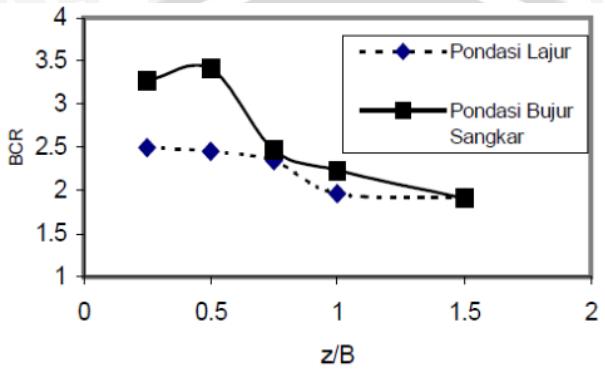
Dasar penggunaan geogrid adalah pembentukan ikatan antara elemen perkuatan geosintetis dan bahan pengisi (tanah). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa besarnya gesekan yang terjadi pada dasarnya merupakan fungsi dari besarnya butiran tanah dan sifat bahan itu sendiri.

Geogrid digunakan karena karakteristiknya yang memiliki tegangan puncak dan modulus tegangan tarik yang baik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa gesekan yang terjadi antara geogrid dan partikel tanah mengakibatkan interlocking. Pengaruh interlocking dari geogrid dan tanah mempunyai efek signifikan terhadap tegangan tarik yang terjadi.



2.2.3.5. Jarak Antar Lapisan Geogrid

Peneliti oleh Pontjo Utomo (2004) yang meneliti geogrid dengan variasi jarak 0,25B; 0,5B; 0,75B; 1B; 1,5B; dan 2B, menunjukkan bahwa jarak optimum dari percobaan didapatkan pada rasio $z/B = 0,25 - 0,5$. Nilai daya dukung yang dihasilkan menunjukkan optimasi dari percobaan yang telah dilakukan, dimana nilai daya dukung meningkat sebesar 2,5 kali lipat.



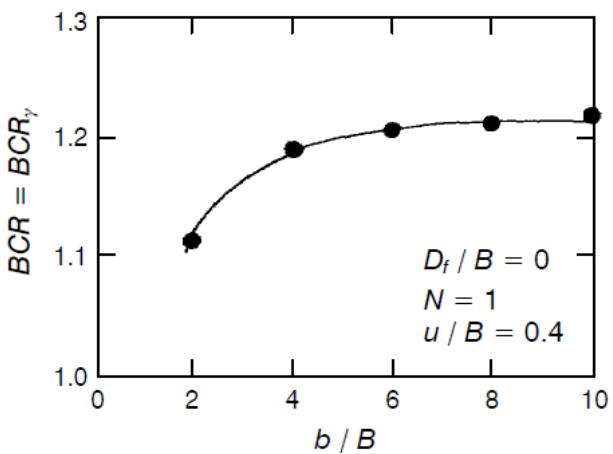
Gambar 2.8. Hubungan z/B vs BCR

Sumber: Pontjo Utomo (2004).

Berdasarkan penelitian di atas, maka untuk penelitian kami gunakan parameter jarak vertikal antar geogrid yang dilakukan Pontjo Utomo (2004), yaitu sebesar 0,25B. Pondasi yang akan digunakan yaitu 6 cm, 8 cm dan 10 cm dengan jarak vertikal geogrid sebesar 1,5 cm, 2 cm dan 2,5 cm.

2.2.4. Panjang Geogrid yang Dibutuhkan

Dalam penelitian yang dilakukan Shin dan Das (2000), pengujian panjang efektif geogrid yang dibutuhkan pada pondasi lajur dengan variasi rasio b/B sebesar 2; 4; 6; 8; dan 10, didapatkan nilai kritis dari panjang geogrid (b) sebesar 5B – 6B. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.9. Dapat dilihat kenaikan yang signifikan terdapat pada besarnya $b = 5B - 6B$, dan terus konstan.



Gambar 2.9. Hubungan variasi b/B dengan BCR

Sumber: Shin dan Das (2000).

2.2.5. Mekanisme Kerja Geogrid pada Tanah

Geogrid sebagai salah satu jenis geosintetik memiliki banyak kegunaan, salah satunya yaitu berfungsi untuk stabilitas tanah dengan meningkatkan sifat mekanis tanah, meningkatkan faktor keamanan, serta meningkatkan daya dukung tanah khususnya tanah pasir.

Tanah pasir yang diberi perkuatan geogrid umumnya terdiri dari timbunan padat dengan digabungkan perkuatan geosintetik yang disusun ke arah horisontal. Ketika geosintetik dan tanah digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut akan menghasilkan kekuatan tekan dan tarik yang tinggi sehingga mampu menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geosintetik berperan sebagai bagian tahanan tarik (gesekan, *adhesi*, yang saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*)) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan dapat menjaga stabilitas massa tanah.

2.2.6. Mekanisme Transfer Beban antara Geogrid dengan Tanah

Transfer beban yang terjadi antara geogrid dengan tanah dapat dijabarkan berdasarkan mekanisme kegagalan geogrid. Terdapat dua jenis mekanisme kegagalan geogrid, yaitu tercabutnya perkuatan geogrid dan meluncurnya massa tanah di atas perkuatan. Kedua jenis mekanisme kegagalan tersebut sangat bergantung pada besarnya nilai hambatan lekat pada geogrid.

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 tanah.

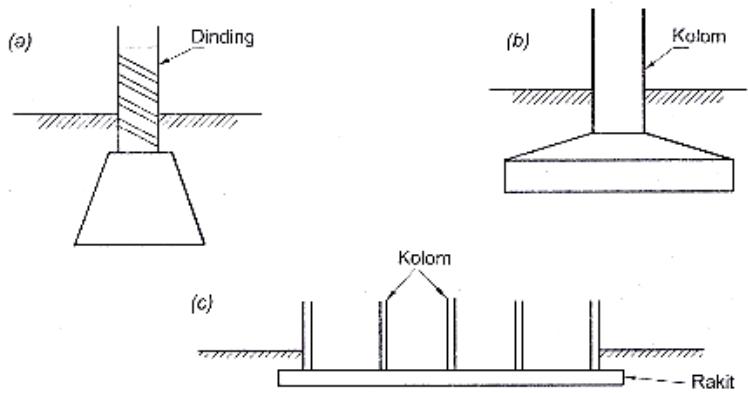
Sementara itu, gaya penahan untuk kegagalan cabut berupa tahanan geser yang juga berasal dari hambatan lekat geogrid dengan tanah, khususnya di atas dan di bawah permukaan geogrid. Tahanan geser tersebut juga dipengaruhi oleh besarnya tegangan normal diatas perkuatan geogrid.

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

2.3. Pondasi Dangkal

Pondasi didefinisikan sebagai bagian terendah dari konstruksi suatu bangunan yang berfungsi meneruskan beban bangunan yang berada di atasnya ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Pondasi terdiri dari dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal yaitu pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, dimana yang termasuk dalam pondasi dangkal adalah pondasi telapak, pondasi rakit, dan pondasi memanjang.

Pondasi telapak (*spread footing*) merupakan pondasi yang berdiri sendiri dalam menopang beban yang berasal dari kolom. Pondasi memanjang (*continuous footing*) adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung beberapa kolom yang berjarak dekat, sehingga tidak memungkinkan digunakan pondasi telapak karena sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain. Sementara pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*) yaitu pondasi yang digunakan pada jenis tanah lunak, atau digunakan hanya bila susunan jarak antar kolom sangat dekat pada semua arah, sehingga akan saling berhimpitan apabila digunakan pondasi telapak. Macam-macam pondasi dangkal ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Macam-macam pondasi dangkal

- Pondasi memanjang
- Pondasi telapak
- Pondasi rakit

2.3.1. Tegangan Kontak

Tegangan kontak (*contact pressure*) yaitu tegangan yang bekerja di bawah pondasi akibat adanya beban struktur di atas pondasi. Tegangan kontak dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

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

dimana:

σ = tegangan kontak

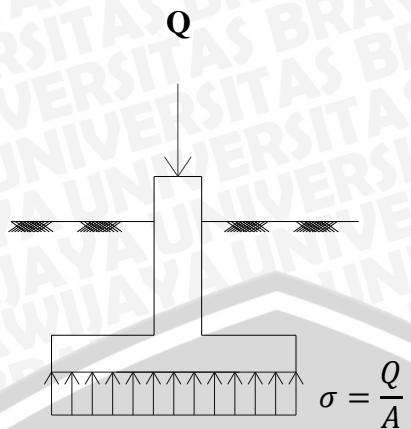
Q = beban aksial total

M_x, M_y = momen terhadap sumbu x dan y pada penampang pondasi

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

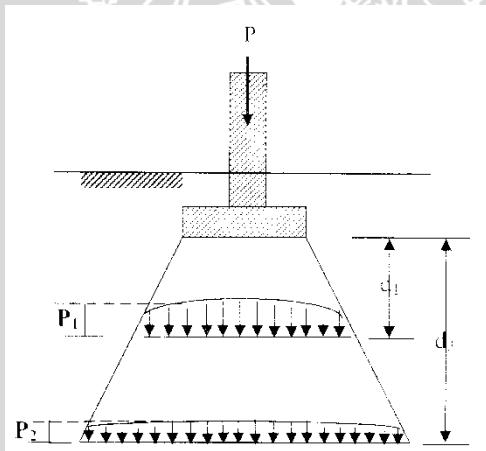
I_x, I_y = momen inersia penampang pondasi terhadap sumbu x dan y

Bila pondasi hanya dibebani beban sentris, tegangan kontak yang dihasilkan akan merata pada keseluruhan penampang pondasi. Beban aksial yang sentris, tegak lurus dengan titik pusat penampang pondasi dan tidak menghasilkan momen yang bekerja pada pondasi, akan menghasilkan tegangan kontak yang sama besarnya di seluruh penampang pondasi. Tegangan kontak dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Tegangan kontak akibat beban aksial eksentris

Tekanan yang dihasilkan pada bidang kontak akan disebarluaskan ke dalam tanah. Tekanan akan berkurang dengan semakin bertambahnya kedalaman penyebaran. Penyebaran tekanan dalam tanah dapat dilihat pada Gambar 2.12. Gambar tersebut menunjukkan bahwa $P_1 > P_2$. P_1 adalah tekanan pada kedalaman d_1 , sedangkan P_2 merupakan tekanan pada kedalaman d_2 .



Gambar 2.12. Penyebaran tekanan dalam tanah

2.3.2. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi

Menurut Vesic (1963), mekanisme keruntuhan pondasi dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

1. Keruntuhan geser umum (*general shear failure*).
2. Keruntungan geser local (*local shear failure*).
3. Keruntuhan penetrasi (*penetration failure* atau *punching shear failure*).

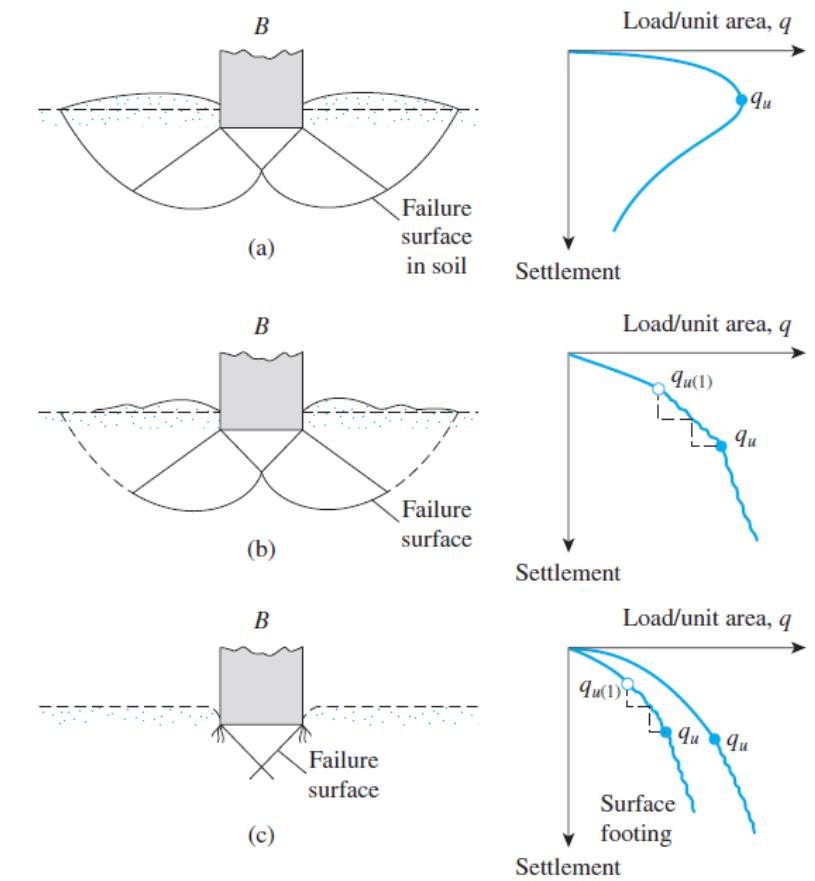
Saat beban pondasi per satuan luas (q) diberikan secara bertahap pada tanah pasir padat atau tanah kohesif kaku, penurunan yang terjadi terus meningkat. Hingga mencapai titik tertentu, dimana beban per satuan luas mencapai nilai q_u , keruntuhan tanah akan terjadi secara tiba-tiba dan gerakan tanah yang terjadi menyebabkan pengembangan tanah di sekitar pondasi hingga ke permukaan tanah. Keruntuhan tanah yang terjadi secara tiba-tiba tersebut disebut sebagai keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Keruntuhan geser umum terjadi dalam waktu yang singkat dengan diikuti penggulingan pondasi.

Lain halnya bila pondasi berada di atas tanah lempung atau tanah dengan kepadatan rendah, bertambahnya beban pada pondasi akan mengakibatkan bertambahnya penurunan yang terjadi. Keruntuhan yang terjadi akan menyebabkan berkembangnya tanah secara bertahap. Saat beban mencapai nilai $q_{u(1)}$, pondasi akan bergerak secara tiba-tiba. $q_{u(1)}$ didefinisikan sebagai beban runtuh pertama (Vesic, 1963).

Perpindahan pondasi menyebabkan terjadinya pola keruntuhan yang ditunjukkan dengan garis putus-putus pada Gambar 2.13 dan memungkinkan tanah menggembung ke permukaan. Keruntuhan tersebut terjadi ketika beban per satuan luas mencapai nilai q_u . Nilai q puncak pada keruntuhan ini tidak dapat ditentukan. Keruntuhan yang terjadi ini dinamakan sebagai keruntuhan geser lokal (*local shear failure*). Pada keruntuhan geser lokal, penggembungan tanah yang terjadi tidak begitu besar dan tanpa disertai penggulingan pondasi.

Saat pondasi digunakan pada tanah lunak (*fairly loose soil*), dapat dikatakan keruntuhan geser tidak terjadi. Saat diberi beban, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke arah samping yang hanya menyebabkan pemampatan tanah di sekitar pondasi. Penurunan yang terjadi hampir linier dengan penambahan beban. Saat keruntuhan, bidang runtuh tidak terlihat sama sekali. Keruntuhan seperti ini disebut sebagai keruntuhan penetrasi (*punching shear failure*).





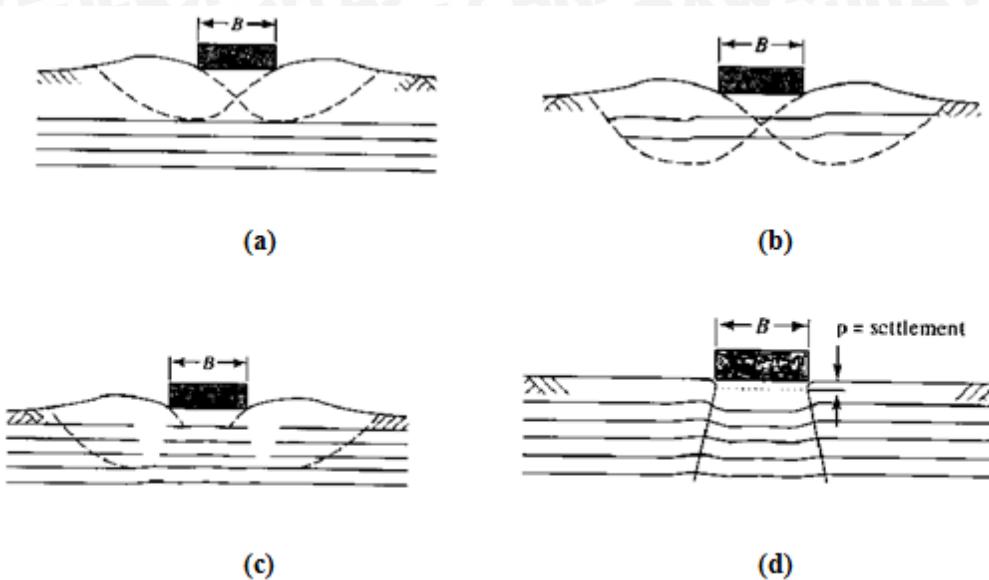
Gambar 2.13. Macam keruntuhan pondasi (Vesic, 1963)

- Keruntuhan geser umum
- Keruntuhan geser lokal
- Keruntuhan penetrasi

2.3.3. Pola Keruntuhan di Bawah Pondasi Perkuatan

Kerusakan yang terjadi pada geosintetik (geotekstil) umumnya terjadi saat dilakukan pemasangan dan konstruksi. Penempatan agregat dan pemedatan dengan alat berat menyebabkan terjadinya tegangan yang tinggi pada geotekstil. Beberapa tipe keruntuhan pada pondasi dangkal dapat dilihat pada Gambar 2.14.

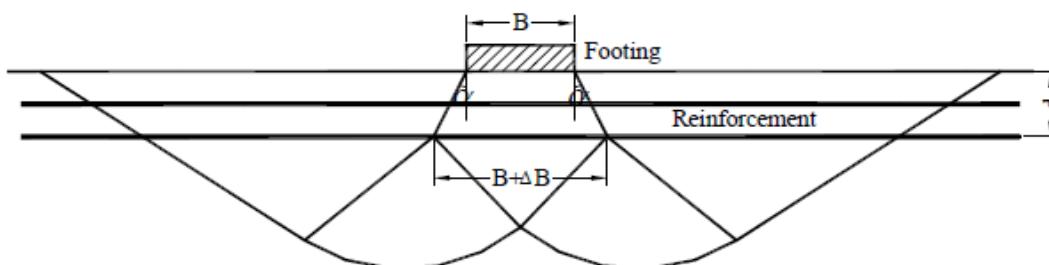




Gambar 2.14. Tipe keruntuhan tanah dengan perkuatan geotekstil pada pondasi dangkal

- (a) Keruntuhan daya dukung di atas lapisan geotekstil
- (b) Keruntuhan tekan atau patah pada lapisan geogrid
- (c) Keruntuhan tarik pada lapisan geotekstil
- (d) Keruntuhan rangkak atau *creep* pada lapisan geotekstil

Konsep dasar dari keruntuhan dibawah pondasi dengan perkuatan dikemukakan Huang and Menq (1997) sebagai mekanisme kegagalan *wide-slab*. Seperti yang terlihat dalam Gambar 2.15, nilai daya dukung tanah dipengaruhi dengan kedalaman pondasi dan letak perkuatan, dimana keruntuhan baru akan terjadi dibawah perkuatan. Ketika mencapai beban ultimit, kegagalan tanah yang terjadi di asumsikan sebesar $B + \Delta B$ pada kedalaman d , dimana ΔB adalah penambahan dari lebar pondasi akibat dari perkuatan yang berasal dari $2d \tan \alpha$ (α adalah sudut akibat distribusi tegangan yang disebabkan oleh keruntuhan wide slab).



Gambar 2.15. Tipe keruntuhan wide slab pada tanah dengan perkuatan geogrid di pondasi dangkal

2.4. Teori Daya Dukung Tanah terhadap Pondasi

2.4.1. Pengertian Daya Dukung Tanah terhadap Pondasi

Analisis kapasitas daya dukung tanah dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam mendukung beban dari struktur yang terletak diatasnya. Kapasitas dukung menyatakan besarnya tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebahan, dimana tahanan geser tersebut ditimbulkan tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

Perencanaan pondasi harus didasarkan pada pertimbangan keruntuhan geser dan penurunan yang berlebih. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan pondasi diantaranya:

1. Faktor keamanan terhadap terlampauiinya kapasitas daya dukung tanah yang harus dipenuhi. Dalam perhitungan kapasitas daya dukung tanah, umumnya digunakan faktor keamanan sebesar 3.
 2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang bisa ditoleransi. Khususnya penurunan yang tidak seragam, harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan.

2.4.2. Solusi Meyerhof

Analisis daya dukung berdasarkan Meyerhof (1955) menyatakan faktor-faktor daya dukung yang lebih kecil dibandingkan yang disarankan Terzaghi, namun karena Meyerhof mempertimbangkan faktor kedalaman pondasi, kapasitas daya dukungnya menjadi lebih besar. Meyerhof (1963) menyarankan persamaan kapasitas daya dukung dengan mempertimbangkan bentuk pondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah diatas pondasi, sebagai berikut:

dengan:

qu = kapasitas dukung ultimit

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung untuk pondasi memanjang

s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk pondasi

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman pondasi

i_c, i_q, i_r = faktor kemiringan beban

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi$$

$$N_q = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) e^{(\pi g \varphi)}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg}(1,4\varphi)$$

Faktor-faktor bentuk pondasi, kedalaman, dan kemiringan dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 2.4. Faktor-faktor Bentuk Pondasi

| Faktor bentuk | Nilai | Keterangan |
|------------------|---|-------------------------------|
| S_c | $1 + 0,2(B/L)\operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2)$ | Untuk sembarang φ |
| $S_q = S_\gamma$ | $1 + 0,1(B/L)\operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2)$ | Untuk $\varphi \geq 10^\circ$ |
| | 1 | Untuk $\varphi = 0$ |

Tabel 2.5. Faktor Kedalaman Pondasi

| Faktor kedalaman | Nilai | Keterangan |
|------------------|---|-------------------------------|
| d_c | $1 + 0,2(D/B)\operatorname{tg}(45 + \varphi/2)$ | Untuk sembarang φ |
| $d_q = d_\gamma$ | $1 + 0,1(D/B)\operatorname{tg}(45 + \varphi/2)$ | Untuk $\varphi \geq 10^\circ$ |
| | 1 | Untuk $\varphi = 0$ |

Tabel 2.6. Faktor-faktor Kemiringan Beban

| Faktor kemiringan beban | Nilai | Keterangan |
|-------------------------|---|-------------------------------|
| $i_c = i_q$ | $\left(1 - \frac{\delta^\circ}{90^\circ}\right)^2$ | Untuk sembarang φ |
| i_γ | $\left(1 - \frac{\delta^\circ}{\varphi^\circ}\right)^2$ | Untuk $\varphi \geq 10^\circ$ |
| | 1 | Untuk $\varphi = 0$ |

Catatan: δ = sudut kemiringan beban terhadap garis vertical.

2.4.3. Solusi Hansen dan Vesic

Brinch Hansen (1970) menyarankan persamaan kapasitas daya dukung tanah yang pada dasarnya sama dengan Terzaghi, hanya didalamnya di masukan nilai dari faktor kedalaman, inklinasi dasar, inklinasi beban, dan inklinasi permukaan tanah. Untuk $\varphi = 1$ Hansen menyarankan persamaan kapasitas daya dukung ultimit sebagai berikut:

$$q_u = \frac{Q_u}{B' L'} = s_c d_c i_c b_c g_c c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \dots \dots \dots \quad (2-4)$$

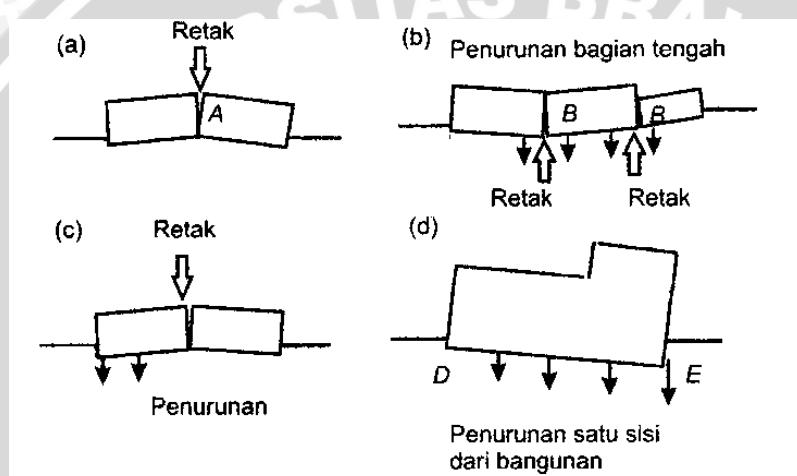
Persamaan kapasitas dukung Vesic (1975) seperti juga persamaan Brinch Hansen, memberikan pengaruh-pengaruh seperti bentuk pondasi, kedalaman, kemiringan dan eksentrisitas beban, kemiringan dasar dan kemiringan permukaan, yang dirumuskan sebagai berikut:

dengan:

- | | |
|----------------------|--|
| Q_u | = Beban vertical ultimit (kn) |
| L', B' | = panjang dan lebar efektif pondasi (m) |
| γ | = berat volume tanah (kN/m^2) |
| C | = kohesi tanah (kN/m^2) |
| p_o | = $D_f \gamma$ = tekanan overburden di dasar pondasi (kN/m^2) |
| s_c, s_q, s_γ | = faktor-faktor bentuk pondasi |
| d_c, d_q, d_γ | = faktor-faktor kedalaman pondasi |
| i_c, i_q, i_γ | = faktor-faktor kemiringan beban |
| b_c, b_q, b_γ | = faktor-faktor kemiringan dasar |
| g_c, g_q, g_γ | = faktor-faktor kedalaman pondasi |
| N_c, N_q, N_γ | = faktor-faktor kapasitas dukung Hansen |

2.5. Penurunan

Penurunan (*settlement*) artinya menunjukkan ada pergerakan tertentu pada bangunan terhadap titik referensi tetap. Penurunan tanah dapat terjadi diakibatkan berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori tanah akibat beban yang dipikul oleh tanah tersebut. Bila penurunan tanah di bawah dan di sekitar bangunan terjadi secara seragam, maka penurunan yang terjadi tidak akan begitu terlihat dan tidak menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan. Namun bila penurunan tanah terjadi dengan berlebihan dan bahkan bila penurunannya tidak seragam, akan berakibat pada kestabilan bangunan. Contoh kerusakan bangunan akibat penurunan tanah ditunjukkan pada Gambar 2.16.



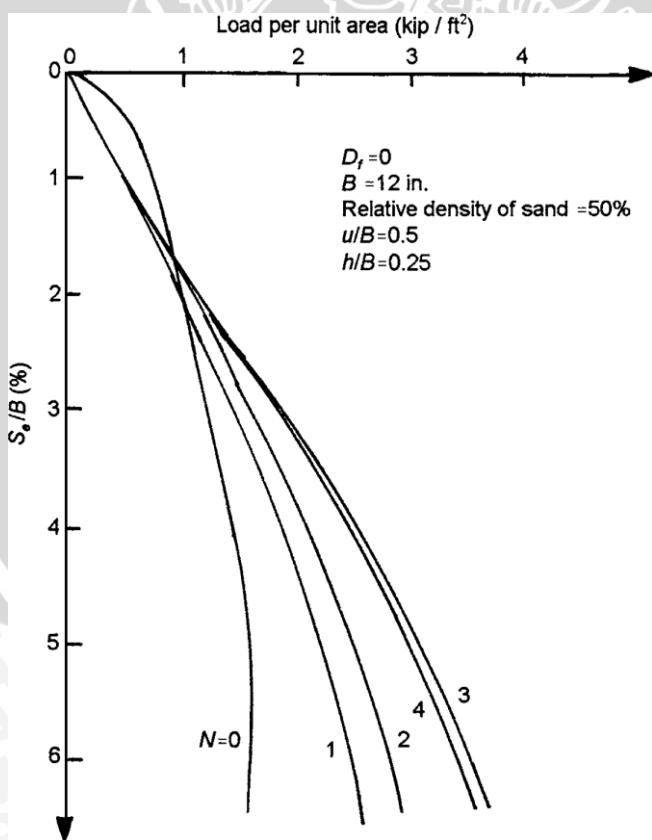
Gambar 2.16. Contoh kerusakan bangunan akibat penurunan tanah

Penurunan tanah akibat beban-beban di atasnya merupakan total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera (*Immediate Settlement*) umumnya terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau tidak jenuh. Penurunan ini terjadi dengan segera sesudah beban diberikan. Sementara penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*) umumnya terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah (tanah dalam keadaan jenuh). Waktu yang diperlukan pada penurunan konsolidasi cukup lama tergantung pada kondisi lapisan tanah.

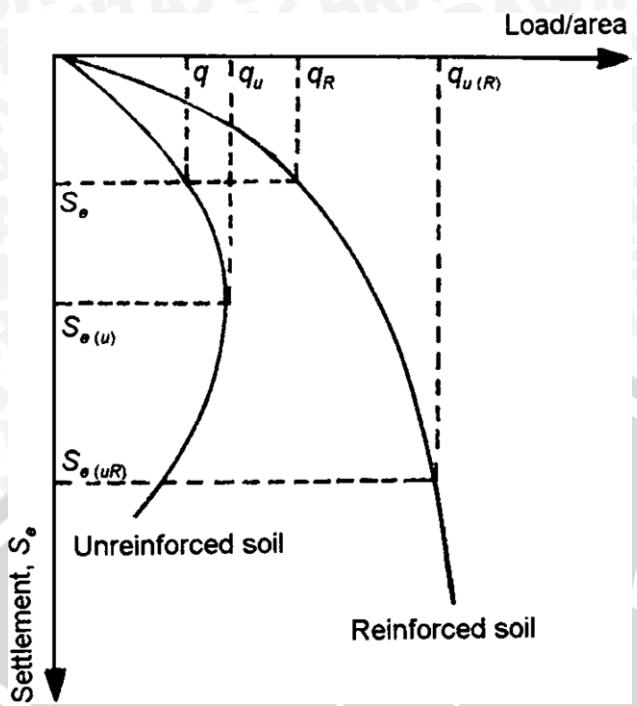
Penurunan tanah umumnya diakibatkan oleh pengurangan angka pori. Saat beban vertikal diberikan mengakibatkan berkurangnya angka pori (e), dan bertambahnya tegangan dalam tanah yang akan selalu diikuti oleh regangan yang menghasilkan penurunan pada bangunan. Beberapa sebab terjadinya penurunan akibat pembebahan adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampaui daya dukung tanah yang mengakibatkan penurunan tidak merata (*differential settlement*) dan penurunan di seluruh bangunan.
2. Kerusakan akibat defleksi yang besar pada pondasinya. Kerusakan ini umumnya terjadi pada pondasi dalam.
3. Distorsi geser (*shear distortion*) pada tanah pendukungnya.
4. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Agar tanah mampu menahan beban-beban yang bekerja, salah satu caranya adalah dengan memberikan perkuatan. Hasil dari pembebanan yaitu hubungan antara q_u dan rasio penurunan terhadap lebar pondasi (s/B) ditunjukkan pada Gambar 2.17. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut mengacu pada penelitian yang dilakukan Guido et al pada tanah pasir dengan variasi jumlah lapis perkuatan geotekstil non woven. Sementara itu, sifat umum yang ditunjukkan pada tanah dengan perkuatan geogrid ditunjukkan pada Gambar 2.18. Grafik tersebut menampilkan hubungan beban per satuan luas dengan penurunan pada tanah tanpa perkuatan dan tanah dengan perkuatan geogrid.



Gambar 2.17. Hasil model penelitian Guido et al. pada tanah pasir dengan perkuatan geotekstil



Gambar 2.18. Grafik hubungan beban dengan penurunan pada tanah tanpa perkuatan dan tanah dengan perkuatan geogrid

2.6. Bearing Capacity Improvement (BCI)

Pengaruh mengenai perkuatan tanah menggunakan geogrid ataupun dengan perkuatan lainnya, digambarkan dalam bentuk besaran non-dimensional atau yang biasanya disebut sebagai BCI. *Bearing Capacity Improvement* (BCI) yaitu perbandingan rasio yang membandingkan 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 BC_{Iu} dan daya dukung pada penurunan yang sama atau BC_I.

BCI yaitu perbandingan antara rasio yang membandingkan antara daya dukung tanah pasir menggunakan perkuatan geogrid dengan tanah pasir tanpa perkuatan.

$$\text{BCI} = \frac{q}{q_o} \quad \dots \dots \dots \quad (2-6)$$

dimana:

BCI = *Bearing Capacity Improvement*

q = daya dukung dengan perkuatan

qo = daya dukung tanpa perkuatan

Pada penelitian ini, BCI ditentukan berdasarkan daya dukung pada saat ultimit (BCI_{qu}) dan daya dukung saat penurunan yang sama (BCI_s).

2.7. Kriteria Penentuan Beban Ultimit

Kapasitas daya dukung ultimit atau dikenal dengan istilah *ultimate bearing capacity* (q_{ult}) merupakan beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih mampu mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Dalam pelaksanaannya, besarnya beban yang diberikan akan terbagi rata dan apabila terus bertambah maka penurunan pondasi tersebut akan terus bertambah pula, hingga terjadi keruntuhan daya dukung dengan penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban q lebih lanjut. Untuk kondisi tanah dengan kepadatan yang baik, penurunan yang terjadi akan kecil hingga tercapai kondisi beban ultimit. Namun untuk kondisi tanah dengan kepadatan yang kurang baik atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan akan sangat besar.

Dalam perencanaan daya dukung tanah, dalam perhitungannya memungkinkan melibatkan faktor keamanan atau dikenal dengan istilah *allowable bearing capacity* (q_a). Daya dukung ini merupakan daya dukung ijin dengan melibatkan faktor keamanan dengan kisaran nilai 2 s.d. 5.

Perencanaan pondasi suatu bangunan haruslah mampu menahan beban-beban yang berada di atasnya. Perencanaan yang salah akan menyebabkan beban-beban yang bekerja mampu melampaui daya dukung tanah sehingga menyebabkan keruntuhan. Beberapa pola keruntuhan yang sudah dijelaskan sebelumnya adalah:

1. General Shear Failure (keruntuhan geser menyeluruh dari tanah di bawah pondasi),
2. Local Shear Failure (keruntuhan geser setempat dari tanah bawah pondasi),
3. Punching Shear Failure (keruntuhan geser setempat ke arah bawah pondasi)

Dengan mengetahui jenis keruntuhan yang terjadi, maka kriteria penentuan beban ultimit dapat diketahui seperti pada Gambar 2.13. Beberapa indikasi tercapainya keruntuhan, selain mengacu pada bentuk grafik pola keruntuhannya, dapat pula terjadi sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tanah yang berupa pengembungan kolom tanah tepat di bawah dasar pondasi ke arah lateral dan penurunan permukaan di sekitar pondasi,
2. Terdapat retakan lokal atau geseran tanah di sekeliling pondasi,

3. Suatu baji tanah terbentuk tepat di bawah pondasi yang mendesak tanah bergerak ke bawah maupun ke atas.



BAB III

METODE PENELITIAN

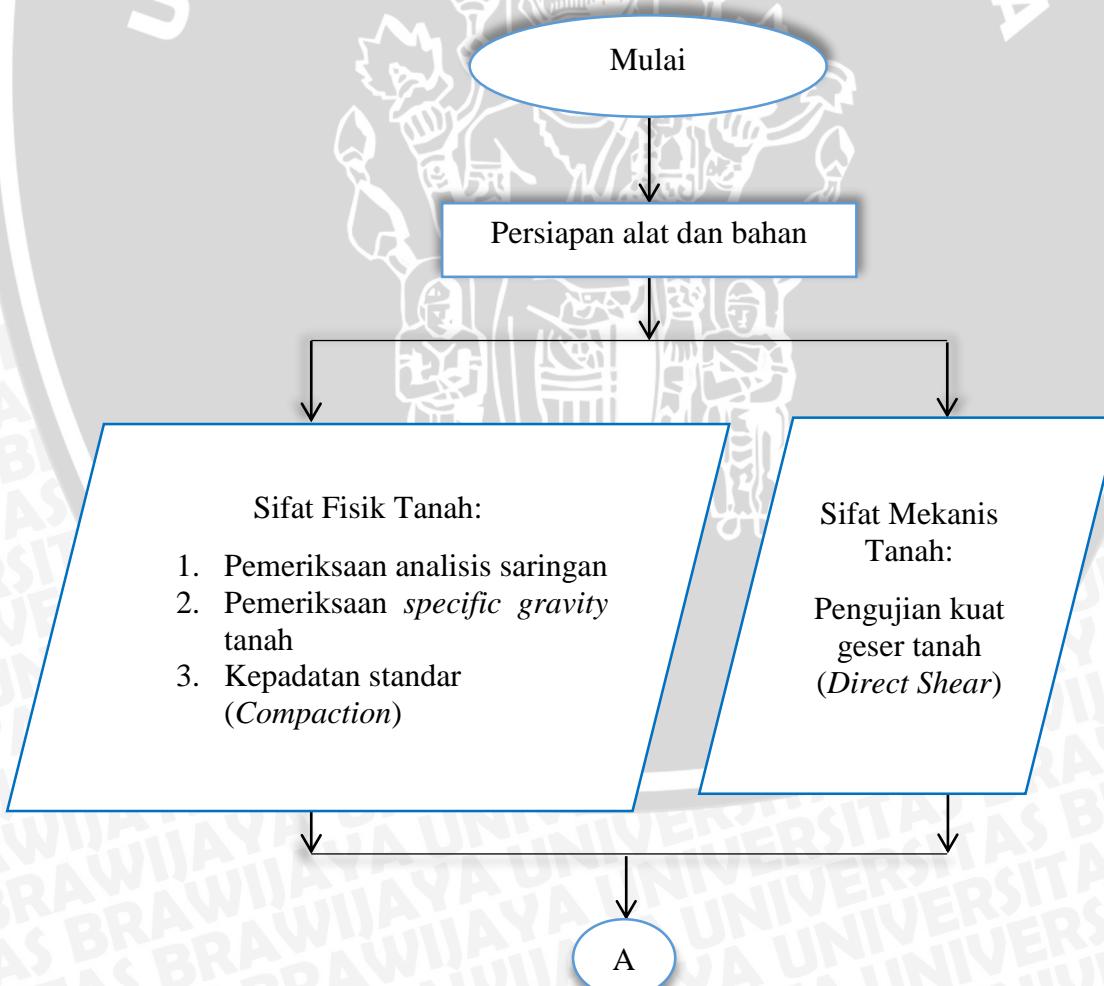
3.1. Waktu dan Tempat

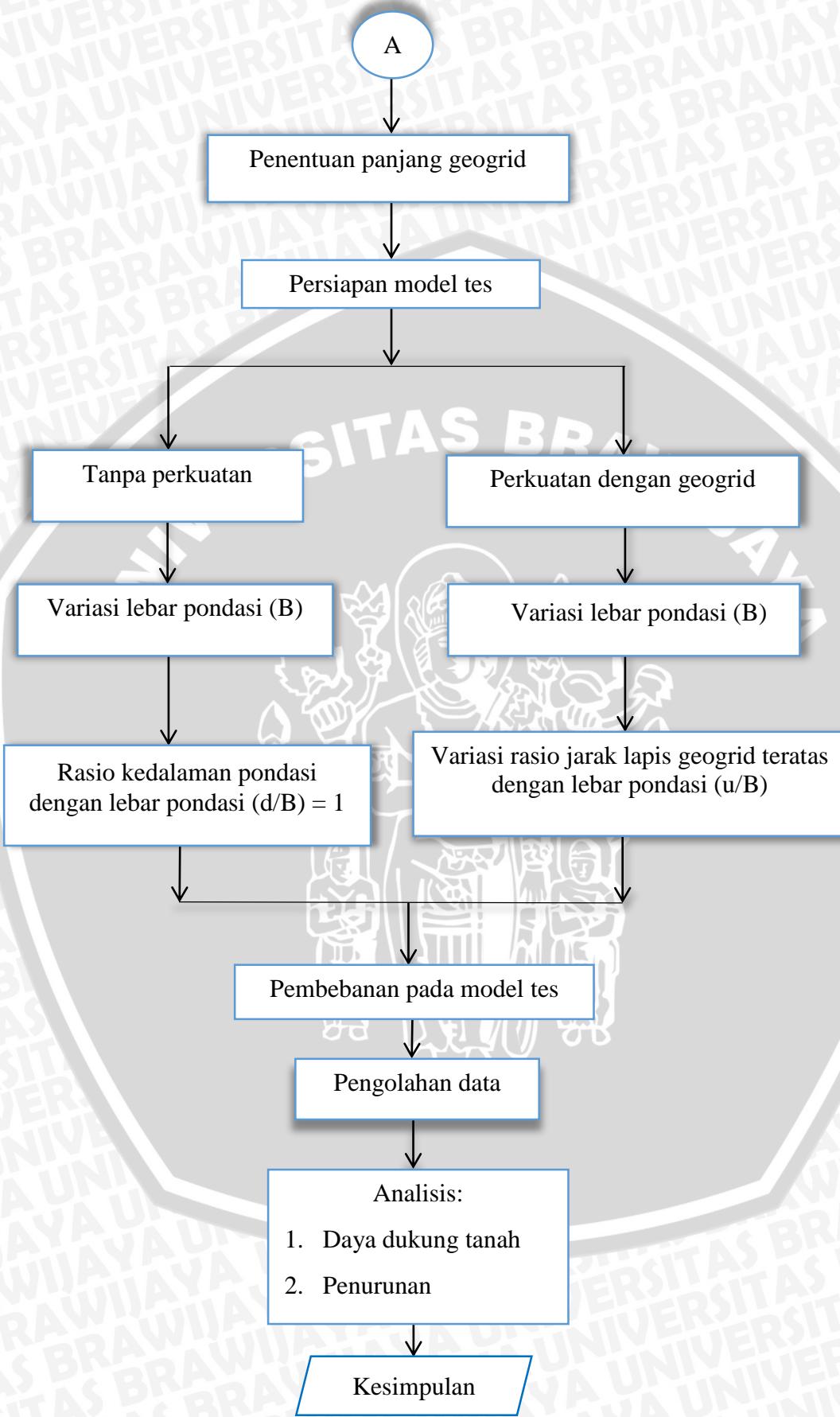
Waktu : April – Mei 2016.

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

3.2. Bagan Alir Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1. Bagan alir percobaan

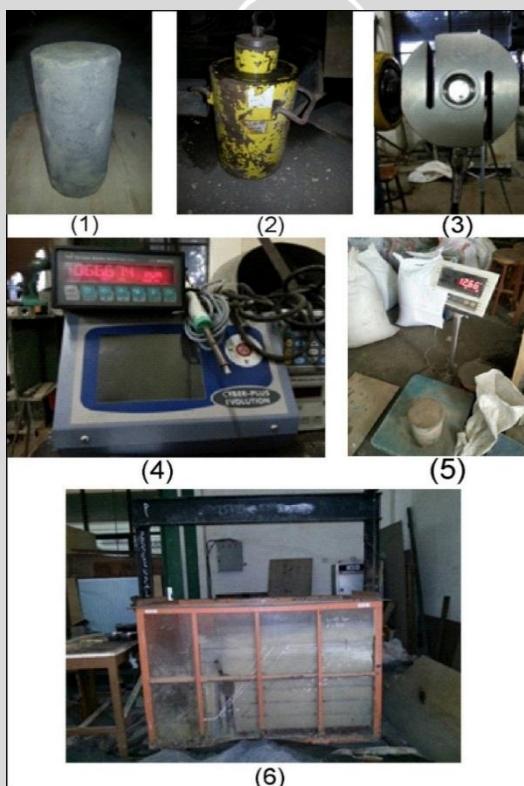
3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah dasar yang dibentuk dari timbunan tanah pasir Lumajang dengan jenis tanah pasir bersimbol SP (*Poorly Graded Sand*) berdasarkan Sistem *Unified* (U.S.C.S). Geogrid yang digunakan adalah geogrid dengan tipe biaksial dari PT. Tetrasa Geosinindo

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Silinder beton
- b. Baja profil
- c. Dongkrak hidrolik
- d. *Load cell*
- e. LVDT

Gambar peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. (1) Silinder beton

(2) Dongkrak hidrolik

(3) *Load cell*

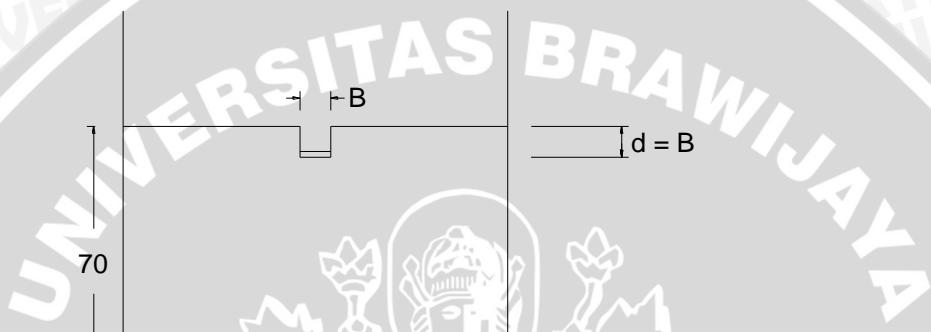
(4) Dial LVDT

(5) *Box uji*

3.4. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

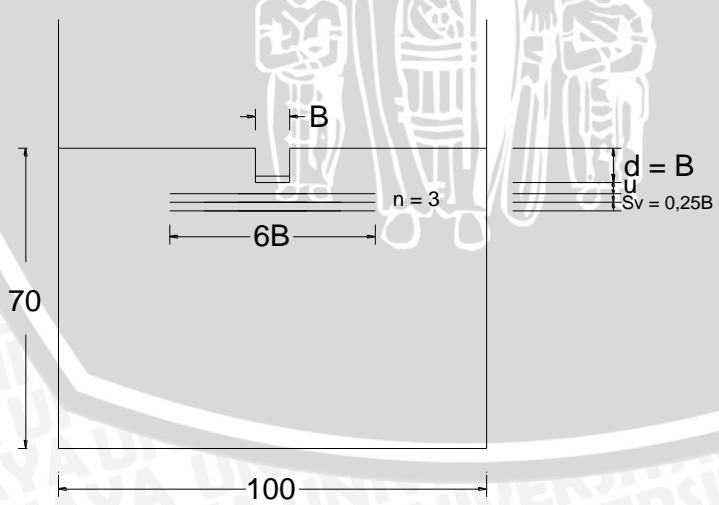
Percobaan ini dibuat 9 buah benda uji dengan 3 variasi lebar pondasi dan 3 variasi jarak lapis geogrid teratas untuk pondasi menerus yang diletakkan di tanah pasir dengan $R_c = 85\%$. Pengujian dilakukan ditengah *box* penelitian. Perlakuan pengujian menggunakan jumlah lapis geogrid berjumlah 3 dan rasio d/B sama dengan 1. Pengulangan dilakukan apabila terjadi penyimpangan dan dilakukan dengan perlakuan benda uji yang sama. Perlakuan pengujian menghasilkan Gambar 3.3 berikut.

$$B = 6; 8; 10 \text{ cm}$$



(a)

$$B = 6; 8; 10 \text{ cm}$$



(b)

Gambar 3.3. Model tes percobaan (a) Tanpa perkuatan geogrid

(b) Dengan perkuatan geogrid

Dalam penelitian ini faktor yang perlu diperhatikan adalah metode pemasatan benda uji. Tanah yang dipakai merupakan tanah dengan jenis pasir, maka metode pemasatan yang dipakai adalah dengan menggilas menggunakan beton silinder. Jenis pemasatan seperti ini lebih memungkinkan karena pemasatan yang lebih merata pada setiap lapisan.

Pemasatan dilakukan per lapis. Adapun ketinggian tanah yang diinginkan di tiap lapisan yaitu 10 cm, sehingga penggilasan dilakukan beberapa kali sampai ketinggian yang diinginkan di tiap lapisannya. Pemasatan dengan cara ini didasarkan pada kontrol volume, sehingga berat tanah yang dimasukkan ke dalam box pengujian tiap lapisannya diukur dan ditimbang. Volume tanah yang dimasukkan di tiap lapisannya didasarkan pada penelitian pendahuluan untuk mengukur kepadatan tanah dengan menggunakan *density ring*.

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. Pengujian Dasar

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

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

3.5.2. Persiapan Benda Uji

Pada pengujian ini, tanah yang akan digunakan diajak terlebih dahulu dengan saringan No. 4 .Tanah yang lolos saringan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *box* uji dengan volume tanah $100 \times 100 \times 70 \text{ cm} = 700000 \text{ cm}^3$ yang dibagi dalam 7 lapisan. Kepadatan didapatkan menggunakan metode penggilasan urugan tanah dengan menggunakan silinder yang terbuat dari beton seberat 12 kg dengan tinggi 30 cm. Tanah yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam *box* uji dan digilas hingga mencapai ketinggian yang telah ditentukan. Tinggi yang ditentukan yaitu 10 cm, kemudian di uji kepadatannya dengan menggunakan uji *density*.

Pengujian menggunakan *box* persegi panjang yang terbuat dari besi dan *fiberglass* dengan dimensi panjang 1,5 m, lebar 1,0 m, dan tinggi 1,0 m. Dasar dari *box* terbuat dari plat besi dengan ketebalan 1,2 cm. *Box* dibuat sekaku mungkin dan *fiberglass* digunakan

sebagai bidang pengamatan pada saat pengujian dilakukan. Disekitar *box* diberikan perkuatan dengan plat baja siku 40.40.4 untuk mempertahankan *box* supaya tidak meregang.



Gambar 3.4. Model box penelitian

3.5.3. Model Pengujian Pondasi

Pemodelan tanah pasir yang dilakukan di *box* uji dirancang menyerupai kondisi yang ada di lapangan sehingga mempermudah pengamatan dan menghemat waktu. Beberapa langkah yang dilakukan dalam melaksanakan pemodelan uji fisik tanpa perkuatan geogrid adalah sebagai berikut:

1. Tanah pasir diayak sampai didapatkan gradasi butiran halus sampai dengan sedang.
2. Tanah pasir dimasukkan ke dalam *box* uji perlapis lalu digilas menggunakan silinder beton pada setiap lapisannya sesuai tinggi lapisan yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a). Setiap lapisan dikontrol kadar air dan kepadatannya menggunakan uji *density*.
3. Tanah didiamkan selama \pm 30 menit agar rongga-rongga yang ada pada tanah terisi oleh partikel-partikel yang juga menyesuaikan terhadap pergeseran tanah sehingga rongga-rongga tersebut dapat terisi.
4. Pengujian dilakukan dengan menyesuaikan variabel penelitian yang berupa lebar pondasi.

Langkah-langkah dalam percobaan pada pembuatan pemodelan pondasi menerus pada tanah pasir dengan menggunakan perkuatan geogrid, yaitu:

1. Tanah pasir diayak sampai didapatkan gradasi butiran halus sampai dengan sedang.
2. Tanah pasir dimasukkan ke dalam *box* uji perlapis lalu digilas menggunakan silinder beton pada setiap lapisannya sesuai tinggi lapisan yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (b). Setiap lapisan dikontrol kadar air dan kepadatannya menggunakan uji *density*.
3. Menghamparkan geogrid dengan perjarakan seperti pada Gambar 3.3 (b).
4. Dilakukan pengisian pasir sesuai dengan perlapisan geogrid yang direncanakan lalu dipadatkan menggunakan silinder beton.
5. Setiap lapisan yang telah digilas dicek kadar airnya dan kepadatannya menggunakan uji *density*.
6. Tanah didiamkan selama \pm 30 menit agar rongga-rongga yang ada pada tanah terisi oleh partikel-partikel yang juga menyesuaikan terhadap pergeseran tanah sehingga rongga-rongga tersebut dapat terisi
7. Pengujian dilakukan dengan menyesuaikan variabel penelitian yang berupa lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas.

3.5.4. Pengujian Pembebaan

Uji pembebaan dilakukan menggunakan dongkrak hidrolik. Dalam pembebaan digunakan *load cell* untuk mengukur besarnya beban yang terjadi. Pembebaan dilakukan dengan menggunakan pemodelan pondasi. Pondasi terbuat dari baja profil. Sebagai faktor kedalaman, pondasi diberikan multiplex di sisi kiri dan kanan dengan penyesuaian representasi pondasi yang masuk kedalam tanah. Baja profil berfungsi untuk meratakan beban yang dihasilkan pompa hidrolik.

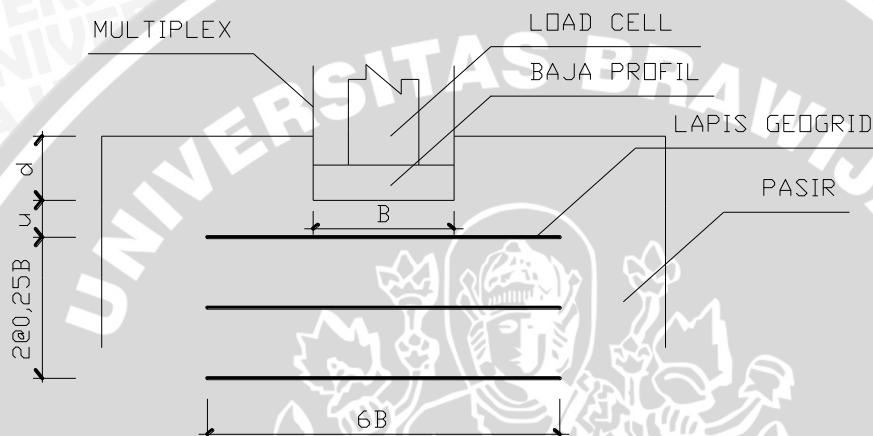
Adapun langkah-langkah pengujian pembebaan adalah sebagai berikut:

1. Memasang pondasi menerus baja profil pada permukaan tanah maupun pada kedalaman yang telah menjadi variabel. Lebar pondasi yang digunakan adalah 6 cm, 8 cm dan 10 cm.
2. Memasang *load cell* guna mengukur besarnya beban yang diterima tanah. Untuk memastikan beban sudah terletak di tengah pondasi dan tidak mengalami momen, dilakukan pengecekan dengan *waterpass*.



3. Memasang *dial LVDT* dan *LVDT digital* pada pondasi seperti ilustrasi pada Gambar 3.5 guna mengetahui besarnya penurunan tanah selama pembebangan.
 4. Uji pembebangan dengan dongkrak hidrolik. Pembebangan dilakukan bertahap tiap 50 kg hingga beban tidak dapat ditambahkan lagi atau hingga pondasi mengalami keruntuhan.
 5. Mencatat berapa beban yang diberikan dan berapa penurunan yang terjadi pada benda uji.

Tampak samping susunan pembebanan ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5. Contoh susunan pembebangan

3.6. Metode Analisis Data

Berdasarkan hasil uji pembebanan, didapat data beban serta penurunan yang terjadi pada pondasi. Data yang diambil merupakan data dari pondasi tanpa perkuatan dan pondasi dengan perkuatan geogrid variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas.

Daya dukung dihitung dengan Persamaan 3-1 berikut:

dimana:

Pu = beban maksimum yang dicatat saat uji pembebanan

A = luasan pondasi

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

Tabel 3.1. Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Tanpa Perkuatan

| No. | Lebar Pondasi (cm) | Penurunan (mm) | Beban Maksimum (kg) | qu (kN/cm ²) |
|-----|-----------------------|----------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | 6 | | | |
| 2 | 8 | | | |
| 3 | 10 | | | |

Tabel 3.2. Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Menggunakan Perkuatan dengan Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas

| No. | Lebar Pondasi (cm) | Jarak Lapis | | Beban maksimum (kg) | qu (kN/cm ²) |
|-----|-----------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|
| | | Geogrid Teratas (cm) | Penurunan (mm) | | |
| 1 | | 0,25B | | | |
| 2 | 6 | 0,5B | | | |
| 3 | | 0,75B | | | |
| 4 | | 0,25B | | | |
| 5 | 8 | 0,5B | | | |
| 6 | | 0,75B | | | |
| 7 | | 0,25B | | | |
| 8 | 10 | 0,5B | | | |
| 9 | | 0,75B | | | |

Tabel 3.3. Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Menggunakan Perkuatan dengan Variasi Lebar Pondasi

| No. | Jarak Lapis Geogrid Teratas (cm) | Lebar Pondasi (cm) | Penurunan (mm) | Beban maksimum (kg) | qu (kN/cm ²) |
|-----|----------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|--------------------------|
| 1 | | 6 | | | |
| 2 | 0,25B | 8 | | | |
| 3 | | 10 | | | |
| 4 | | 6 | | | |
| 5 | 0,5B | 8 | | | |
| 6 | | 10 | | | |
| 7 | | 6 | | | |
| 8 | 0,75B | 8 | | | |
| 9 | | 10 | | | |

Data diatas digunakan sebagai dasar grafik hubungan antara penurunan dan daya dukung. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan geogrid sebagai perkuatan pondasi dalam meningkatkan daya dukung, dilakukan analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI)*. Perhitungan BCI diperoleh dari rumus Persamaan 3-2, yaitu:

dimana:

BCI = Bearing Capacity Improvement

q = daya dukung dengan perkuatan geogrid

qo = daya dukung tanpa perkuatan

Data hasil perhitungan BCI nantinya ditampilkan seperti dalam Tabel 3.4, yaitu:

Tabel 3.4. Bearing Capacity Improvement (BCI) untuk Variasi Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas

| No. | Lebar Pondasi (cm) | qu pondasi tanpa perkuatan geogrid (kN/cm ²) | qu pondasi dengan perkuatan geogrid (kN/cm ²) | | | | BCI |
|-----|--------------------|--|---|------|-------|-------|-----|
| | | | 0,25B | 0,5B | 0,75B | 0,25B | |
| 1 | 6 | | | | | | |
| 2 | 8 | | | | | | |
| 3 | 10 | | | | | | |

3.7. Variasi Penelitian

Dalam Penelitian ini mengacu pada variabel bebas dan terikat sebagai acuan penelitian. Variabel tersebut saling mempengaruhi satu sama lain. Variabel yang digunakan yaitu:

a. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu:

- Daya dukung tanah

b. Variabel Bebas dalam penelitian ini yaitu:

- Lebar pondasi yang digunakan yaitu 6 cm, 8 cm dan 10 cm
- Rasio luas geogrid yang digunakan adalah 6B dan luas yang digunakan sebesar 1296 cm², 2304 cm² dan 3600 cm²
- Pondasi berbentuk persegi
- Rasio kedalaman yang digunakan sebesar d/B = 1, dimana kedalaman yang dipakai 6 cm, 8 cm dan 10 cm
- Rasio jarak pondasi ke lapisan pertama geogrid sebesar 0,25B; 0,5B; 0,75B
- Kepadatan tanah pasir dengan Rc 85%
- Rasio jarak vertikal geogrid sebesar 0,25 B. Jaraknya 1,5 cm, 2 cm dan 2,5 cm.



(halaman kosong)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



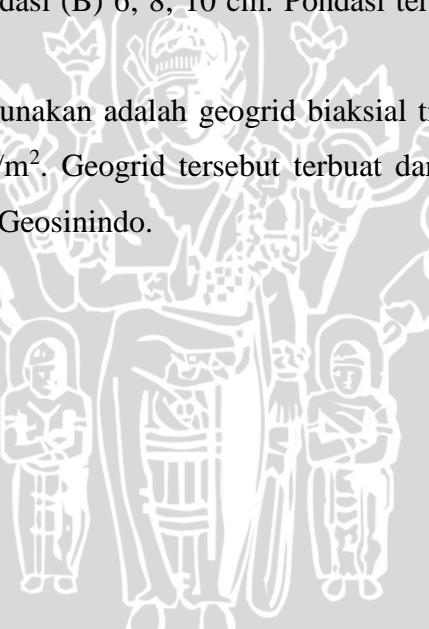
BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Analisis Bahan

Pada penelitian ini digunakan 3 bahan utama yaitu tanah pasir, pondasi, dan geogrid sebagai perkuatannya. Karakteristik bahan-bahan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Tanah pasir bergradasi buruk dengan simbol SP (*Poorly Graded Sand*) berdasarkan sistem klasifikasi USCS.
- b. Pondasi yang digunakan untuk menopang dan meneruskan beban yaitu pondasi menerus dengan lebar pondasi (B) 6; 8; 10 cm. Pondasi terbuat dari baja sehingga bersifat kaku (*rigid*).
- c. Bahan perkuatan yang digunakan adalah geogrid biaksial tipe Miragrid GX 40/40 dengan kuat Tarik 40 kN/m². Geogrid tersebut terbuat dari bahan poliester yang diperoleh dari PT. Tetrasa Geosinindo.



Tabel 4.1. Tipe Geogrid

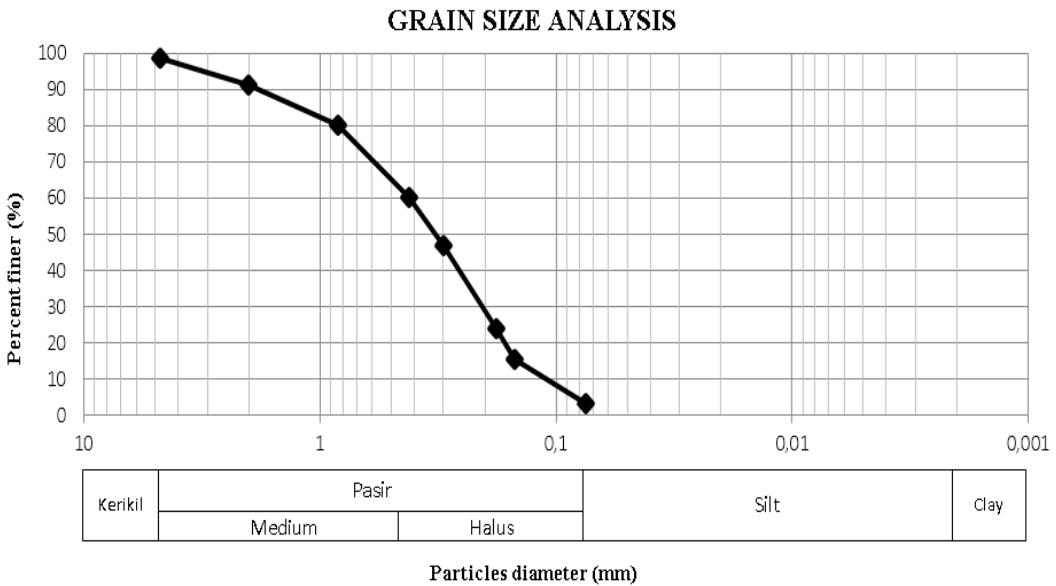
| Properties of Miragrid GX Geogrids | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Property | Unit | GX 40/40 | GX 60/30 | GX 60/60 | GX 80/30 | GX 80/80 | GX 100/30 | GX 130/30 | GX 160/50 | GX 200/50 |
| Characteristic short term tensile strength <i>ISO 10319, ASTM D4595, AS 3706.2</i> | MD CD kN/m | 40 40 | 60 30 | 60 60 | 80 30 | 80 80 | 100 30 | 130 30 | 160 50 | 200 50 |
| Strain at short term strength | MD % | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 |
| Partial factor - creep rupture at 60 years design life at 120 years design life | | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 | 1.40 1.45 |
| Creep limited strength at 60 years design life at 120 years design life | kN/m kN/m | 28.6 27.6 | 42.9 41.4 | 42.9 41.4 | 57.1 55.2 | 57.1 55.2 | 71.4 69.0 | 92.9 89.7 | 114.3 110.3 | 142.9 137.9 |
| Partial factor - construction damage in clay, silt or sand in sandy gravel in gravel | | 1.15 1.21 1.25 | 1.08 1.19 1.23 | 1.08 1.19 1.23 | 1.08 1.17 1.20 | 1.08 1.17 1.20 | 1.08 1.14 1.17 | 1.05 1.11 1.14 | 1.05 1.10 1.12 | 1.05 1.08 1.10 |
| Partial factor - environmental effects soil environment, pH < 11 at 60 years design life at 120 years design life | | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 | 1.05 1.10 |
| Long term design strengths at 60 years design life in clay, silt or sand in sandy gravel in gravel | kN/m kN/m kN/m | 23.7 22.5 21.8 | 37.8 34.3 33.2 | 37.8 34.3 33.2 | 50.4 46.5 45.4 | 50.4 46.5 45.4 | 63.0 59.7 58.1 | 81.9 79.7 77.6 | 103.7 98.9 97.2 | 129.6 126.0 123.7 |
| at 120 years design life in clay, silt or sand in sandy gravel in gravel | kN/m kN/m kN/m | 21.8 20.7 20.1 | 34.8 31.6 30.6 | 34.8 31.6 30.6 | 46.4 42.9 41.8 | 46.4 42.9 41.8 | 58.1 55.0 53.6 | 75.5 73.4 71.5 | 95.5 91.2 89.6 | 119.4 116.1 114.0 |
| Nominal roll width Nominal roll length Estimated roll weight (+/- 10%) | m m kg | 2,6/5,2 100 68/140 | 2,6/5,2 100 65/136 | 2,6/5,2 100 87/180 | 2,6/5,2 100 79/165 | 2,6/5,2 100 128/263 | 2,6/5,2 100 92/175 | 2,5/5,0 100 110/227 | 2,5/5,0 100 156/313 | 2,5/5,0 50 94/188 |

Sumber: PT. Tetrasa Geosinindo.

4.1.1. Analisis Gradasi Butiran Tanah

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





Gambar 4.1. Hasil pembagian ukuran butiran tanah

Berdasarkan data hasil pengujian dapat diketahui pasir yang lolos saringan no. 200 sebesar 3,275%. Pada sistem Klasifikasi *Unified*, tanah tersebut digolongkan sebagai tanah berbutir kasar dengan prosentase tanah yang tertahan saringan no. 200 lebih dari 50%.

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

$$Cu = \frac{(D_{60})}{D_{10}} < 6 , \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \neq 1 < Cc < 3 \quad \dots \dots \dots \quad (4-1)$$

Diketahui:

$$D_{60} = 0,4$$

$$D_{30} = 0,2$$

$$D_{10} = 0,12$$

$$Cu = \frac{(0,4)}{0,12} = 3,333 < 6 , \quad Cc = \frac{(0,2)^2}{0,12 \times 0,4} = 0,833 < 1$$

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

4.1.2. Analisis Specific Gravity

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

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

dengan:

Gs = Specific Gravity

Ws = berat tanah kering

$W_1 = \text{berat labu ukur} + \text{air} + \text{tanah}$

W2 = berat laju ukur + air

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis yang dilakukan di laboratorium diperoleh nilai *Specific Gravity* sebesar 2,648 seperti yang disajikan dalam Tabel 4.2 berikut.

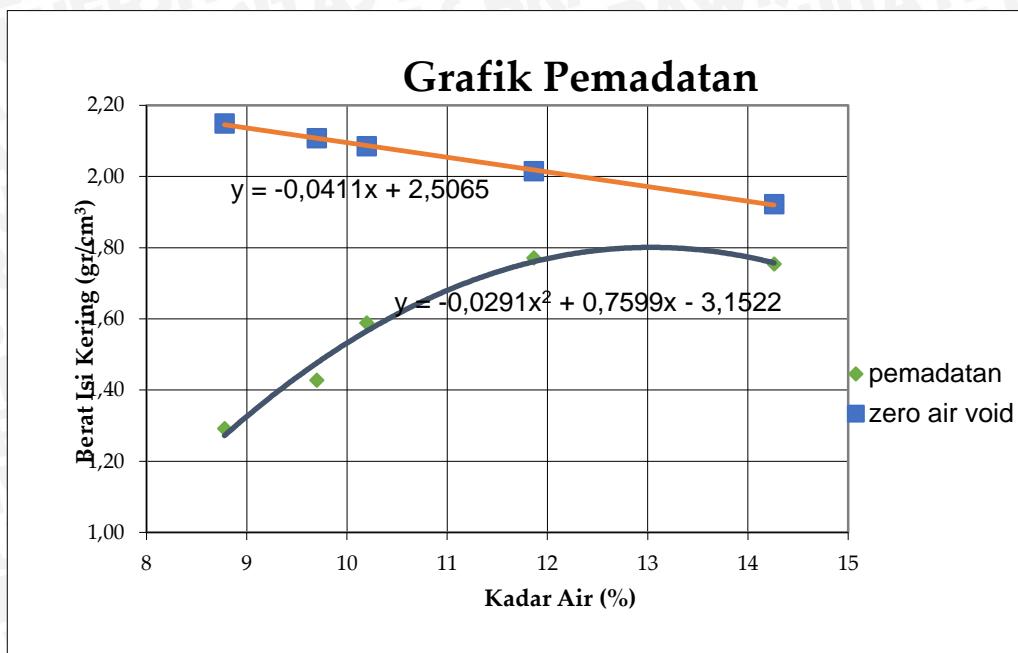
Tabel 4.2. Rata-rata *Specific Gravity* Pasir

| Labu ukur | A | B | C |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| Berat jenis | 2,616 | 2,675 | 2,654 |
| Berat jenis rata-rata | | 2,648 | |

4.1.3. Analisis Pemeriksaan Kepadatan Tanah (*Compaction*)

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

Pengujian kepadatan standar (*compaction*) dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah yang dinyatakan dalam berat isi kering dengan memadatkan tanah di dalam cetakan silinder (*mold*) yang berdiameter 15,5 cm menggunakan proktor standar dengan berat 2,5 kg. Tinggi jatuh untuk pemadatan standar adalah sebesar 30,48 cm (12 inch) dengan jumlah tumbukan sebanyak 56 kali setiap lapisan. Pengujian ini mengacu pada ASTM D-698-70 metode B. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai berat isi kering (γ_d) maksimum sebesar $1,801 \text{ gr/cm}^3$ dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 13,038%. Grafik hasil pengujian tersebut disajikan dalam Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2. Grafik pemandatan standar

4.1.3.2. Kepadatan Tanah Model

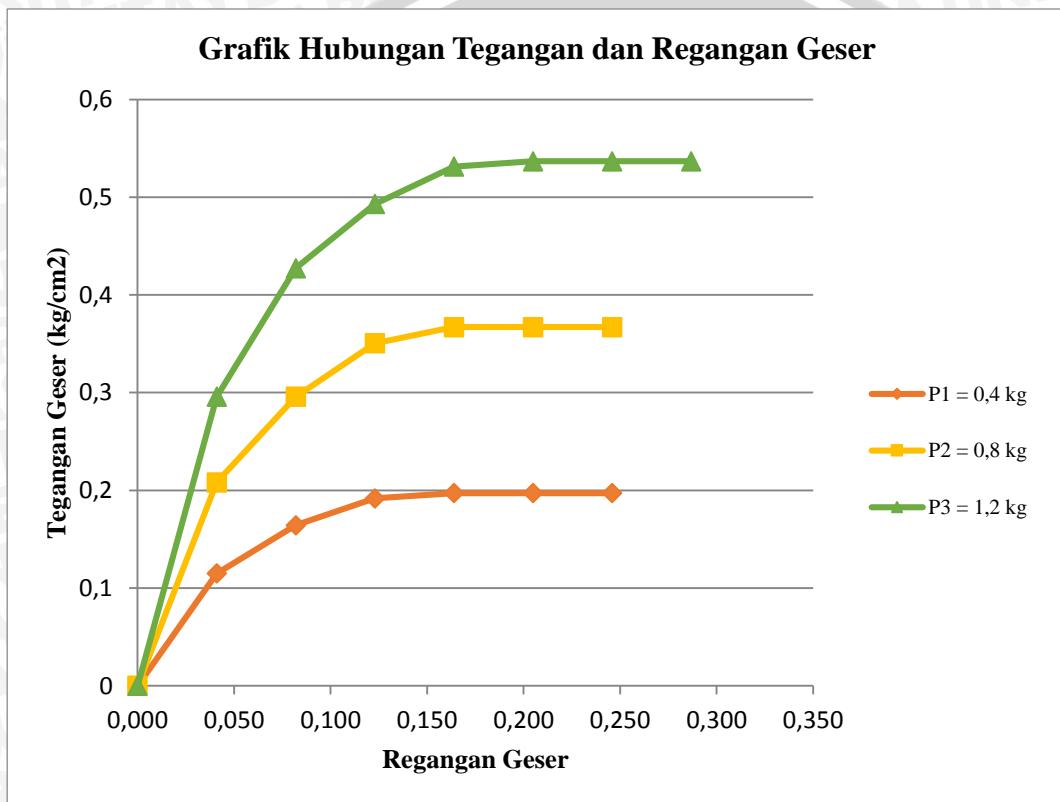
Kepadatan tanah model (γ_{lap}) digunakan karena pada saat percobaan dalam bentuk pemodelan sangat sulit didapatkan kepadatan maksimum seperti halnya percobaan di laboratorium. Untuk menentukan berat isi kering pada model, digunakan *density ring* yang menghasilkan nilai berat isi kering model (γ_{lap}). Perbandingan berat isi kering model (γ_{lap}) dengan berat isi kering yang diperoleh dari pemandatan standar di laboratorium (γ_{lab}) menghasilkan nilai kepadatan relatif (R_c). Berat isi kering (γ_{lap}) yang dipakai dalam penelitian ini adalah $1,531 \text{ gr/cm}^3$ untuk kepadatan relatif sebesar 85%.

Pemandatan pada model dibagi menjadi 7 lapisan dengan tinggi masing-masing lapis sebesar 10 cm. Pemandatan tanah pada tiap lapisan dilakukan dengan cara menggilas tanah dengan menggunakan beton silinder dengan berat 12 kg dan tinggi 30 cm. Hingga ketinggian tanah tiap lapis tercapai yaitu sebesar 10 cm, selanjutnya dilakukan pengujian *density ring* untuk mengontrol nilai kepadatan agar sesuai dengan kepadatan rencana.

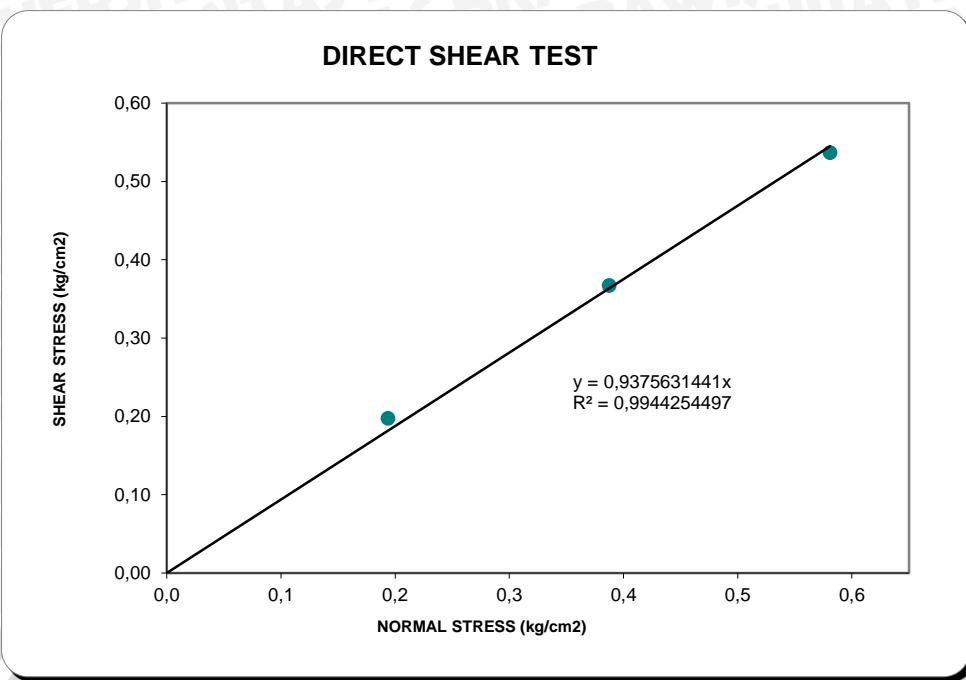
4.1.4. Analisis Kuat Geser Langsung (*Direct Shear*)

Analisis pengujian geser langsung dimaksudkan untuk menetukan parameter kuat geser tanah berupa nilai kohesi tanah (c) dan nilai sudut geser dalam tanah (ϕ). Hasil dari pengujian ini disajikan dalam grafik hubungan antara tengangan normal (σ) dan tegangan geser maksimum (τ). Dari grafik tersebut dapat diperoleh nilai kohesi tanah serta nilai sudut geser

tanah dengan menghubungkan ketiga titik yang diperoleh dengan garis linear sehingga membentuk garis lurus yang memotong sumbu vertikal pada nilai kohesi (c) dan memotong sumbu horizontal dengan membentuk sebuah sudut yang merupakan sudut geser dalam tanah (ϕ). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai sudut geser dalam tanah (ϕ) sebesar $43,15^\circ$ dan nilai kohesi (c) sebesar 0 kg/cm^2 . Grafik hasil pengujian *direct shear* disajikan pada Gambar 4.3.



(a)



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

4.2. Model Test

Pada penelitian ini digunakan *box* dengan ukuran 100 cm x 150 cm x 100 cm yang diisi dengan pasir yang kemudian diberi pondasi menerus. Pengisian pasir dilakukan dengan cara membagi menjadi 7 lapisan dengan ukuran tiap lapisannya adalah 100 cm x 100 cm x 10 cm. Pada tiap lapisan dilakukan kontrol volume dengan cara memasukkan pasir (WC = 9,99%) seberat 168,5 kg di setiap lapisnya. Pemeriksaan kepadatan dan kadar air dilakukan di setiap lapisan menggunakan *density ring*.

Setelah tanah mencapai tinggi 70 cm, kemudian didiamkan selama \pm 30 menit agar tanah dapat mengisi rongga-rongga yang masih kosong. Selanjutnya pondasi dengan lebar (B) 6; 8; 10 cm diletakkan. Setelah semua persiapan sudah dilakukan dan sudah siap diuji, beban diberikan setiap kelipatan 50 kg sampai tanah mengalami keruntuhan dan tidak mampu menahan beban yang diberikan.

4.3. Analisis Hasil

4.3.1. Tanpa Perkuatan

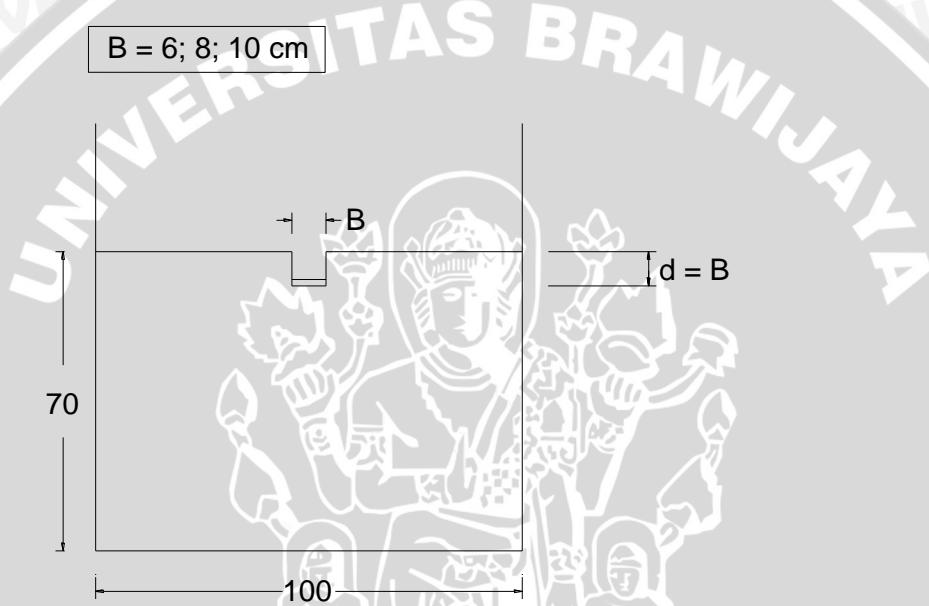
Sebelum melakukan pengujian model dengan perkuatan, terlebih dahulu dilakukan pengujian tanpa perkuatan. Hasilnya akan digunakan sebagai pembanding untuk perkuatan

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

Tabel 4.3. Matriks Pengujian

| | B | | |
|---------|---|---|----|
| Rc 85% | 6 | 8 | 10 |
| d/B = 1 | √ | √ | √ |

Pemodelan tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pemodelan tanpa perkuatan dengan variasi $B = 6; 8; 10 \text{ cm}$, dan rasio $d/B = 1$

4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

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

Tabel 4.4. Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah Tanpa Perkuatan

| No. | Variabel Terikat | Variabel Bebas | Berat isi kering (gr/cm ³) | Kadar air (%) |
|-----|------------------|----------------|---|---------------|
| 1. | | $B = 6$ | 1,532 | 9,77 |
| 2. | $d/B = 1$ | $B = 8$ | 1,516 | 10,33 |
| 3. | | $B = 10$ | 1,502 | 11,46 |

4.3.2.2. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir Berdasarkan Perhitungan Analitik dan Eksperimen

Selain dengan melakukan pengujian secara langsung di laboratorium, ada beberapa metode pendekatan perhitungan secara analitik pada tanah pasir tanpa perkuatan. Untuk mendapatkan perkiraan dasar nilai daya dukung pada penelitian ini, digunakan metode Meyerhof, Hansen, dan Vesic. Nilai daya dukung yang didapatkan menggunakan 3 metode tersebut ditampilkan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan Hasil Perhitungan Analitik

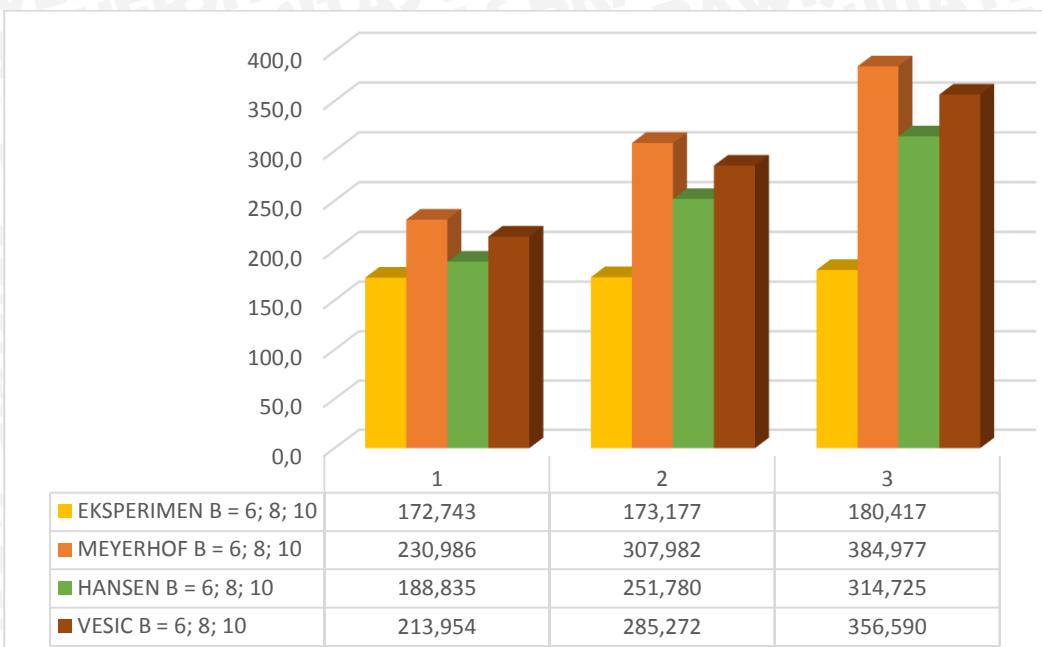
| Variabel Terikat | Variabel Bebas | Metode Analitik | qu (kN/m ²) |
|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| $d/B = 1$ | $B = 6$ | Meyerhof | 230,986 |
| | | Hansen | 188,835 |
| | | Vesic | 213,954 |
| | $B = 8$ | Meyerhof | 307,982 |
| | | Hansen | 251,780 |
| | | Vesic | 285,272 |
| | $B = 10$ | Meyerhof | 384,977 |
| | | Hansen | 314,725 |
| | | Vesic | 356,590 |

Salah satu tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung maksimum yang terjadi pada tanah pasir. Dari percobaan pembebahan yang sudah dilakukan pada tanah tanpa perkuatan, hasil pengujian daya dukung yang diperoleh berdasarkan eksperimen disajikan dalam Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6. Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan Hasil Eksperimen

| Variabel Terikat | Variabel Bebas | Penurunan (mm) | s/B (%) | qu (kN/m ²) |
|------------------|----------------|----------------|---------|-------------------------|
| $d/B = 1$ | $B = 6$ | 4,393 | 7,329 | 172,743 |
| | $B = 8$ | 7,935 | 9,919 | 173,177 |
| | $B = 10$ | 4,933 | 4,933 | 180,417 |

Sedangkan untuk perbandingan nilai daya dukung yang didapat antara metode analitik dengan metode eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut.

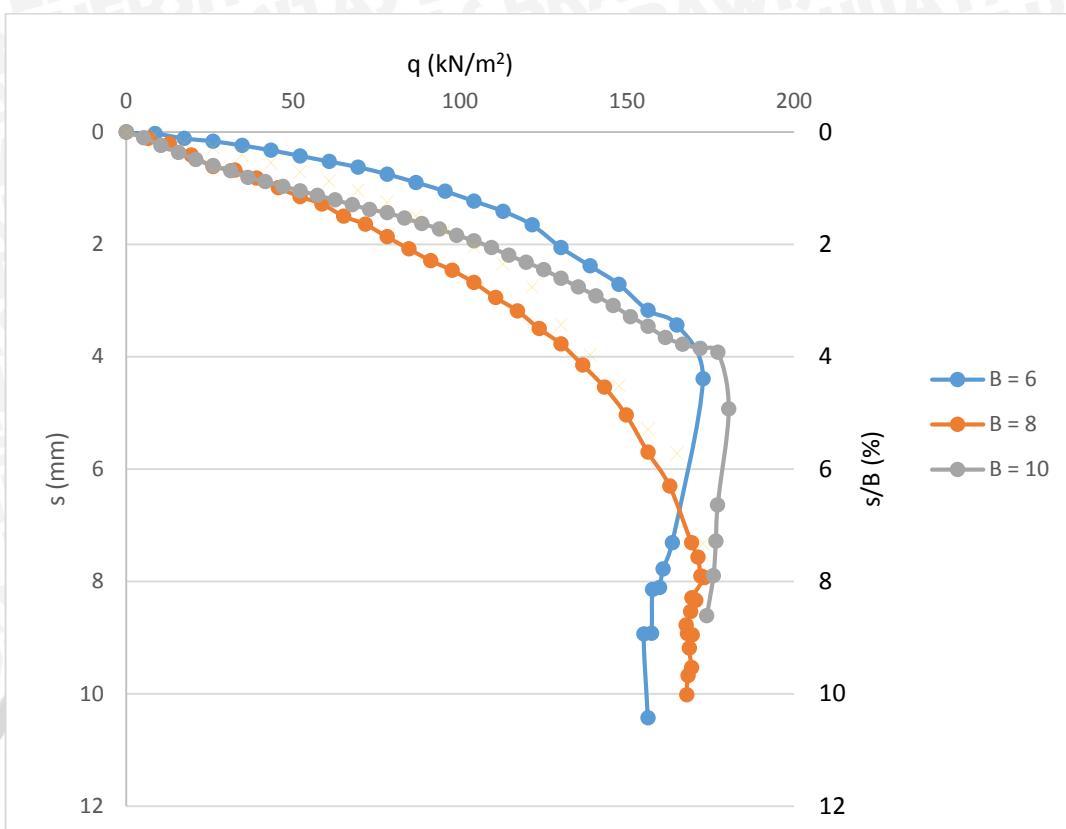


Gambar 4.5. Perbandingan nilai daya dukung tanah pasir tanpa perkuatan hasil perhitungan analitik dan eksperimen

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa daya dukung hasil eksperimen lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan analitik dengan ketiga metode perhitungan. Dari ketiga metode; Meyerhof, Hansen, dan Vesic, yang mendekati nilai hasil eksperimen adalah metode Hansen.

4.3.2.3. Analisis Penurunan Tanah Pasir pada Variasi Lebar Pondasi

Berdasarkan percobaan pembebanan yang telah dilakukan di lapangan untuk pemodelan tanah pasir dengan menggunakan perkuatan maupun tanpa menggunakan perkuatan didapatkan nilai pembacaan untuk daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir tanpa perkuatan disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



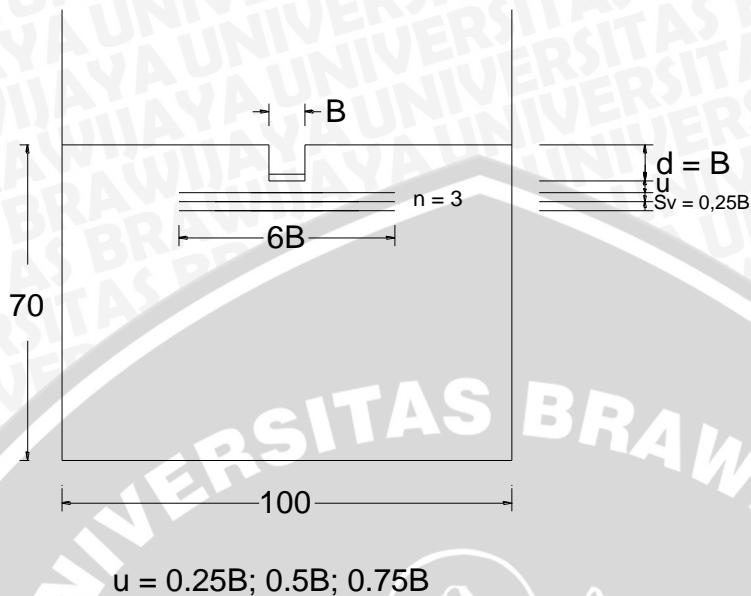
Gambar 4.6. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dengan $B = 6; 8; 10 \text{ cm}$ dan $d/B = 1$

Pada pemodelan tanpa perkuatan geogrid dengan variasi lebar pondasi sebesar 6 cm, 8 cm, dan 10 cm, terlihat bahwa pondasi dengan lebar 10 cm mampu menahan beban paling besar yaitu sebesar $180,417 \text{ kN/m}^2$ dengan penurunan yang paling besar terjadi pada lebar pondasi 8 cm yaitu sebesar 7,935 mm.

4.3.2. Dengan Perkuatan Geogrid

Pengujian model dengan perkuatan dilakukan sebanyak 9 kali sesuai dengan variabel yang diteliti. Pemodelan dibuat dengan variasi lebar pondasi (B) yaitu 6; 8; 10 dan variasi rasio jarak lapis geogrid teratas terhadap lebar pondasi (u/B) yaitu 0,25; 0,5; dan 0,75. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah rasio kedalaman terhadap lebar pondasi (d/B) yang bernilai 1, serta jumlah geogrid (n) sebesar 3 dengan jarak antar geogrid (S_v) sebesar $0,25B$. Berikut ini bentuk pemodelan dengan perkuatan geogrid yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.

$$B = 6; 8; 10 \text{ cm}$$



Gambar 4.7. Pemodelan dengan variasi B sebesar 6; 8; 10 cm, dan variasi rasio u/B sebesar 0,25; 0,5; 0,75

4.3.2.1. Hasil Pemeriksaan Kepadatan dan Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada pemodelan tanpa perkuatan diperoleh nilai kadar air dan berat isi kering dengan menggunakan *density ring* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai Kadar Air dan Berat Isi Kering Tanah dengan Perkuatan

| No. | Variabel Terikat | Variabel Bebas | Berat isi kering (gr/cm ³) | Kadar air (%) |
|-----|------------------|-----------------------|---|---------------|
| 1. | | $B = 6 ; u/B = 0,25$ | 1,523 | 10,02 |
| 2. | | $B = 6 ; u/B = 0,50$ | 1,517 | 9,84 |
| 3. | | $B = 6 ; u/B = 0,75$ | 1,514 | 9,86 |
| 4. | | $B = 8 ; u/B = 0,25$ | 1,532 | 9,62 |
| 5. | $d/B = 1$ | $B = 8 ; u/B = 0,50$ | 1,519 | 9,90 |
| 6. | $n = 3$ | $B = 8 ; u/B = 0,75$ | 1,530 | 10,02 |
| 7. | | $B = 10 ; u/B = 0,25$ | 1,510 | 10,03 |
| 8. | | $B = 10 ; u/B = 0,50$ | 1,523 | 10,03 |
| 9. | | $B = 10 ; u/B = 0,75$ | 1,541 | 10,05 |

4.3.2.2. Analisis Daya Dukung Tanah Pasir dengan R_c 85%

Pada pengujian yang dilakukan pada model tanah pasir menggunakan perkuatan geogrid dengan variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas didapatkan nilai daya dukung sebagai berikut.

Tabel 4.8. Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Hasil Eksperimen dengan Perkuatan Variasi Lebar Pondasi

| Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) | Lebar Pondasi (B) | Beban (kg) | Penurunan (mm) | s/B (%) | qu (kg/cm ²) | qu (kN/cm ²) |
|---------------------------------|-------------------|------------|----------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| 0,25B | 6 | 1709 | 6,703 | 11,171 | 2,967 | 296,701 |
| | 8 | 2330 | 5,758 | 7,197 | 3,034 | 303,385 |
| | 10 | 3250 | 3,975 | 3,975 | 3,385 | 338,542 |
| 0,5B | 6 | 1801 | 6,053 | 10,088 | 3,127 | 312,674 |
| | 8 | 2728 | 5,540 | 6,925 | 3,552 | 355,208 |
| | 10 | 4120 | 5,120 | 5,120 | 4,292 | 429,167 |
| 0,75B | 6 | 1621 | 14,280 | 23,800 | 2,814 | 281,424 |
| | 8 | 2186 | 11,133 | 13,916 | 2,846 | 284,635 |
| | 10 | 3189 | 13,180 | 13,180 | 3,322 | 332,188 |

Tabel 4.9. Nilai Daya Dukung Tanah Pasir Hasil Eksperimen dengan Perkuatan Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas

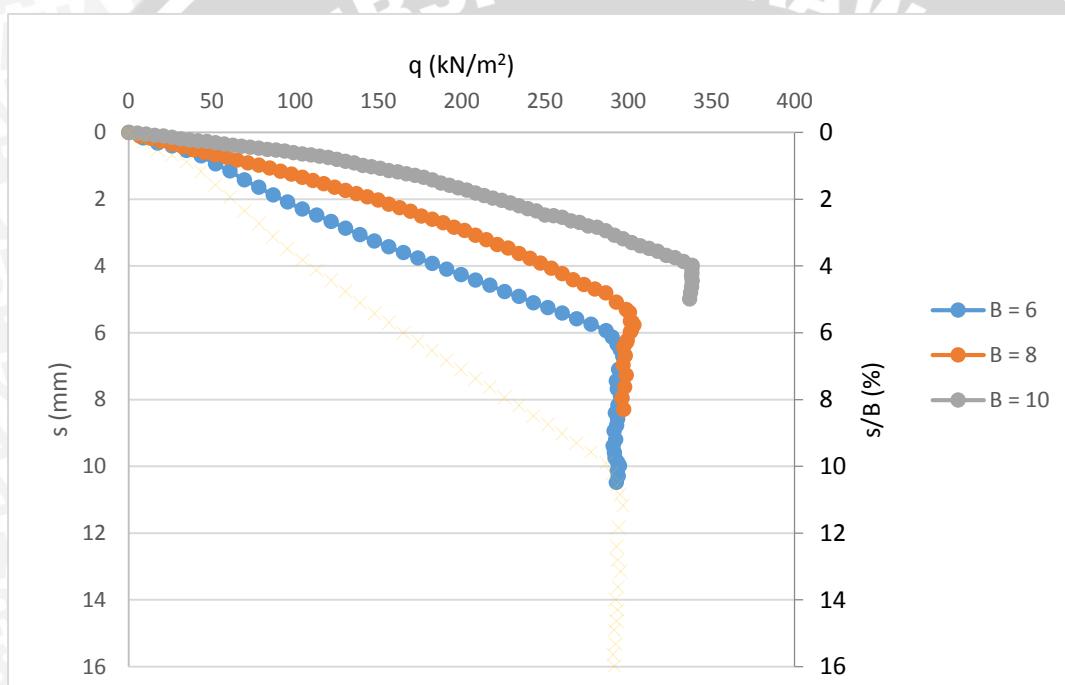
| Lebar Pondasi (B) | Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) | Beban (kg) | Penurunan (mm) | s/B (%) | qu (kg/cm ²) | qu (kN/cm ²) |
|-------------------|---------------------------------|------------|----------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| 6 | 0,25B | 1709 | 6,703 | 11,171 | 2,967 | 296,701 |
| | 0,5B | 1801 | 6,053 | 10,088 | 3,127 | 312,674 |
| | 0,75B | 1621 | 14,280 | 23,800 | 2,814 | 281,424 |
| 8 | 0,25B | 2330 | 5,758 | 7,197 | 3,034 | 303,385 |
| | 0,5B | 2728 | 5,540 | 6,925 | 3,552 | 355,208 |
| | 0,75B | 2186 | 11,133 | 13,916 | 2,846 | 284,635 |
| 10 | 0,25B | 3250 | 3,975 | 3,975 | 3,385 | 338,542 |
| | 0,5B | 4120 | 5,120 | 5,120 | 4,292 | 429,167 |
| | 0,75B | 3189 | 13,180 | 13,180 | 3,322 | 332,188 |

4.3.2.3. Analisis Penurunan Tanah Pasir dengan R_c 85%

4.3.2.3.1. Penurunan Tanah Pasir pada Variasi Lebar Pondasi Terhadap Jarak Lapis Geogrid Teratas

a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,25B, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,25B disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.

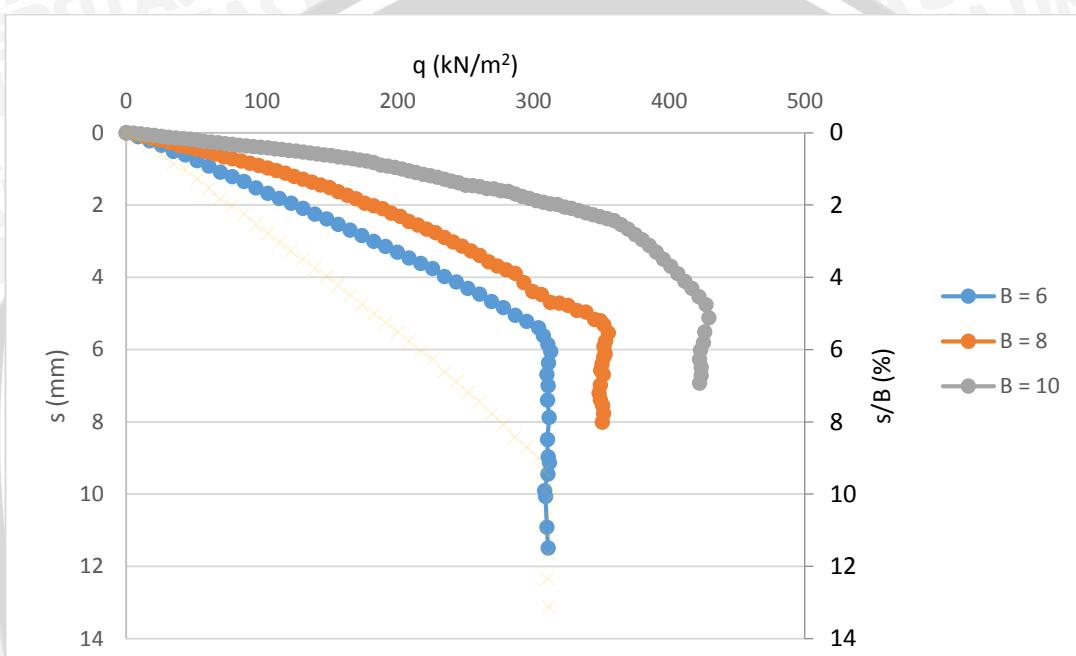


Gambar 4.8. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,25B, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1$, $n = 3$

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi paling kecil terdapat pada lebar pondasi 10 cm dan penurunan paling besar terjadi pada lebar pondasi 6 cm. Jika ditinjau dari beban runtuhnya, semakin lebar pondasi, maka semakin besar pula beban yang mampu ditahan. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,25B, pada lebar pondasi 6 cm didapatkan penurunan sebesar 6,703 mm dengan beban runtuh 296,701 kN/cm², pada lebar pondasi 8 cm didapatkan penurunan sebesar 5,758 mm dengan beban runtuh 303,385 kN/cm², dan pada lebar pondasi 10 cm didapatkan penurunan sebesar 3,975 mm dengan beban runtuh 338,542 kN/cm².

b. Jarak Lapis Geogrid Teratas ($u = 0,5B$)

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.

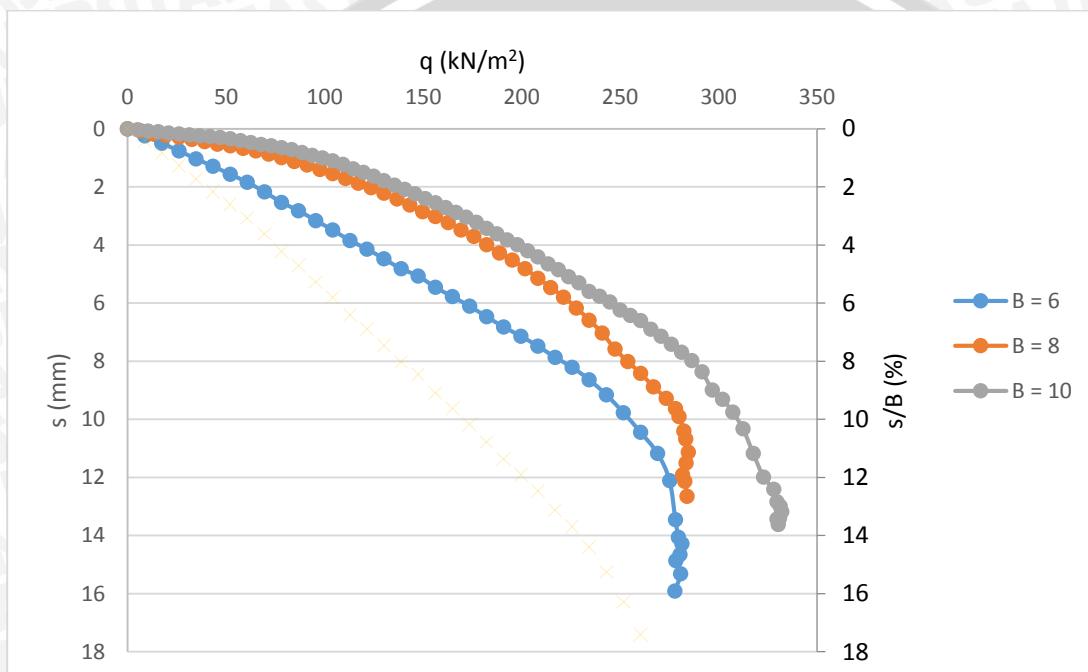


Gambar 4.9. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1$, $n = 3$

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa penurunan dan besarnya beban runtuh yang terjadi mempunyai pola yang sama dengan pemodelan yang menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$, dimana penurunan terkecil terjadi pada lebar pondasi 10 cm dan penurunan terbesar terjadi pada lebar pondasi 6 cm. Sedangkan untuk beban runtuh yang terjadi, semakin lebar pondasi maka beban yang ditahan menunjukkan hasil yang lebih besar. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$, pada lebar pondasi 6 cm didapatkan penurunan sebesar 6,053 mm dengan beban runtuh $312,674 \text{ kN/cm}^2$, pada lebar pondasi 8 cm didapatkan penurunan sebesar 5,540 mm dengan beban runtuh $355,208 \text{ kN/cm}^2$, dan pada lebar pondasi 10 cm didapatkan penurunan sebesar 5,120 mm dengan beban runtuh $429,167 \text{ kN/cm}^2$.

c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,75B, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan menggunakan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,75B disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



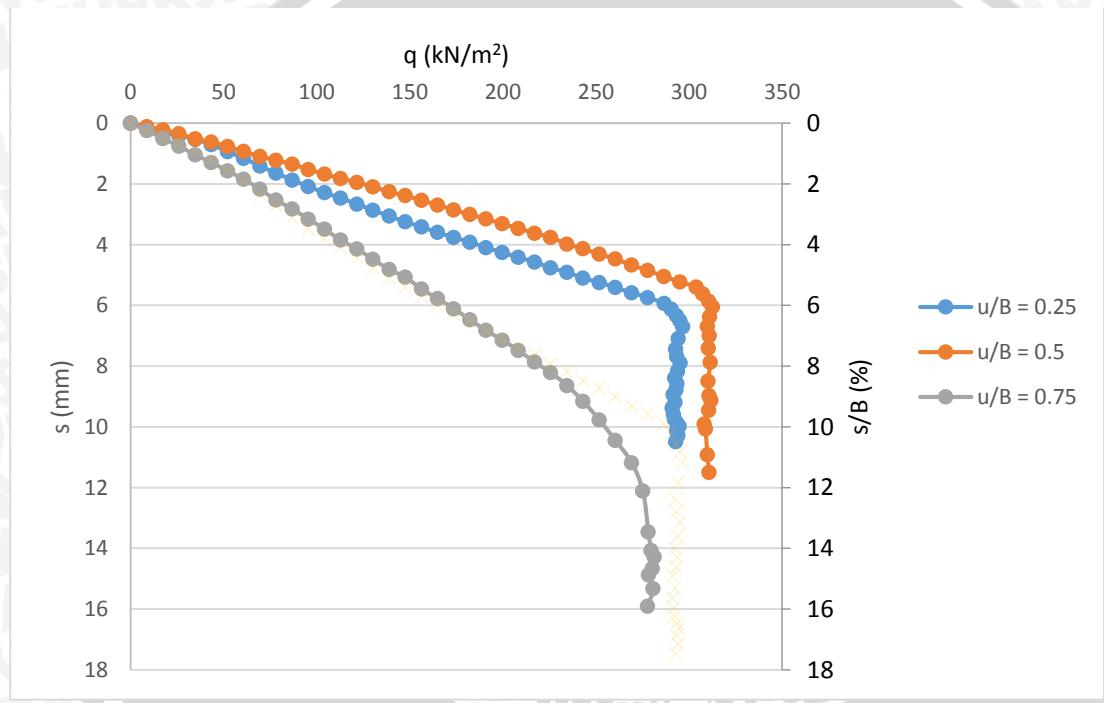
Gambar 4.10. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,75B, variasi $B = 6; 8; 10$ cm, $d/B = 1$, $n = 3$

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi polanya sedikit berbeda dengan pola-pola sebelumnya, dimana penurunan terbesar terjadi pada lebar pondasi 6 cm dan penurunan terkecil terjadi pada lebar pondasi 8 cm. Akan tetapi beban runtuh yang dapat ditahan semakin besar jika lebar pondasi semakin lebar pula. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,75B, pada lebar pondasi 6 cm didapatkan penurunan sebesar 14,280 mm dengan beban runtuh 281,424 kN/cm², pada lebar pondasi 8 cm didapatkan penurunan sebesar 11,133 mm dengan beban runtuh 284,635 kN/cm², dan pada lebar pondasi 10 cm didapatkan penurunan sebesar 13,180 mm dengan beban runtuh 332,188 kN/cm².

4.3.2.3.2. Penurunan Tanah pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Lebar Pondasi

a. Lebar Pondasi (B) = 6 cm

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan lebar pondasi 6 cm, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan lebar pondasi 6 cm, disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.

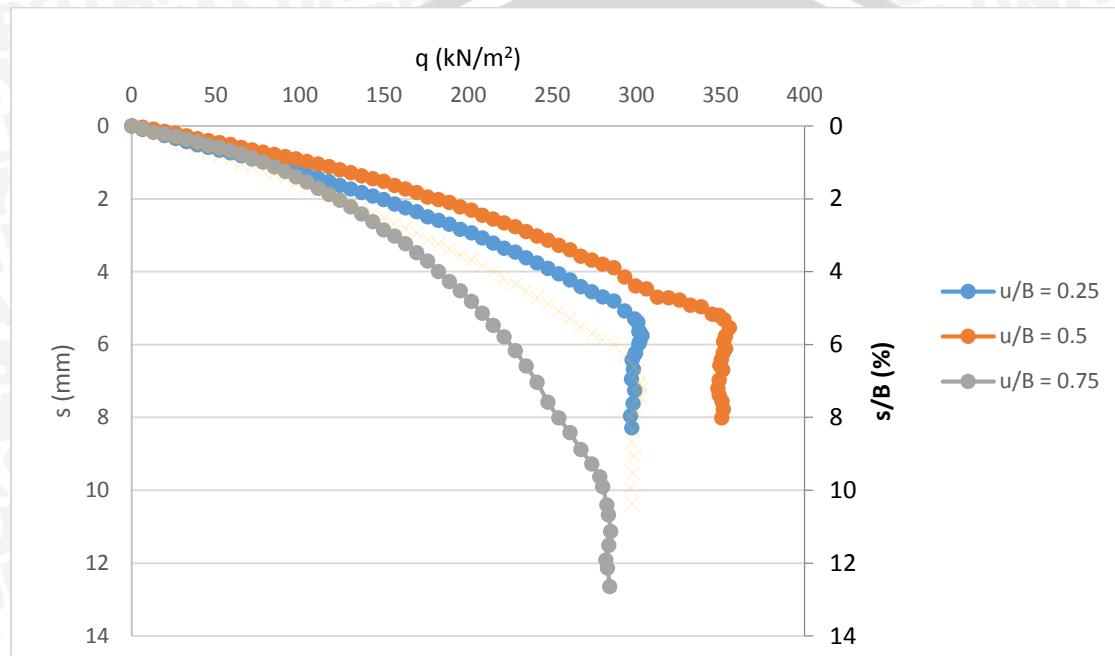


Gambar 4.11. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 6 \text{ cm}$, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1$, $n = 3$

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi paling kecil terdapat pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ dan penurunan paling besar terjadi pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Jika ditinjau dari beban runtuhnya, beban yang dapat ditahan terus naik hingga mencapai titik maksimum pada jarak lapis geogrid teratas $0,5B$, dan turun pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir pada lebar pondasi 6 cm dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ didapatkan penurunan sebesar 6,703 mm dengan beban runtuh $296,701 \text{ kN/cm}^2$, pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ didapatkan penurunan sebesar 6,053 mm dengan beban runtuh $312,674 \text{ kN/cm}^2$, dan pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ didapatkan penurunan sebesar 14,280 mm dengan beban runtuh $281,424 \text{ kN/cm}^2$.

b. Lebar Pondasi (B) = 8 cm

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan lebar pondasi 8 cm, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan lebar pondasi 8 cm, disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.

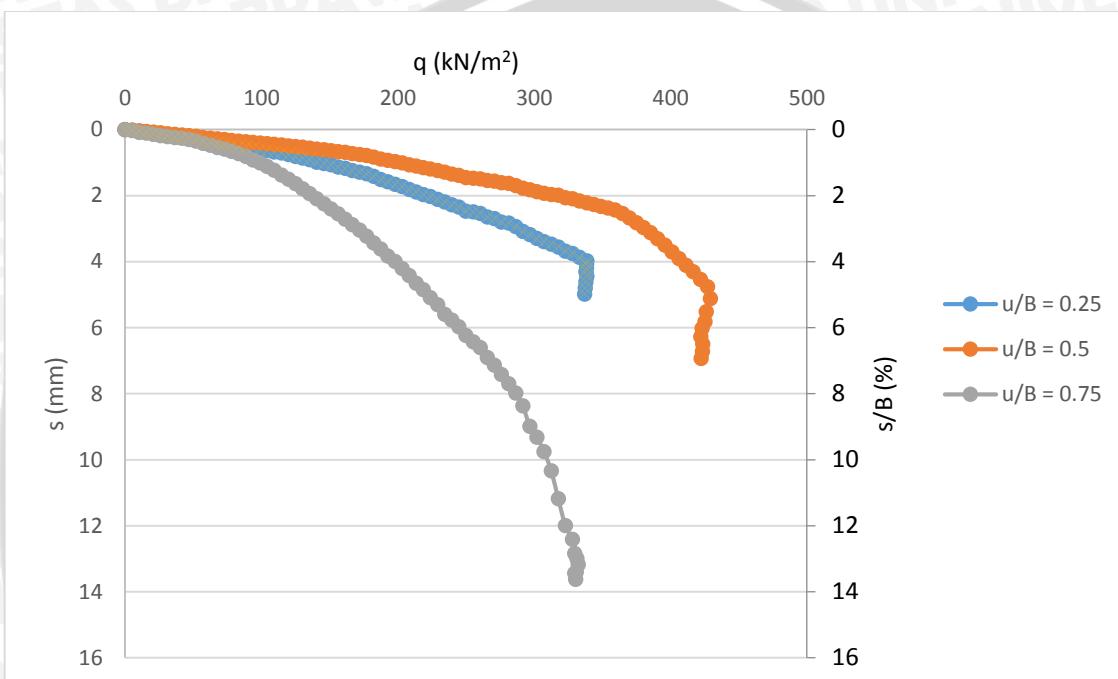


Gambar 4.12. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 8$ cm, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1$, $n = 3$

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa penurunan dan beban runtuh yang terjadi mempunyai pola yang sama dengan hasil yang disajikan pada lebar pondasi 6 cm, dimana penurunan paling kecil terdapat pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ dan penurunan paling besar terjadi pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Sementara untuk beban runtuhnya, beban yang dapat ditahan terus naik hingga mencapai titik maksimum pada jarak lapis geogrid teratas $0,5B$, dan turun pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir pada lebar pondasi 8 cm dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ didapatkan penurunan sebesar 5,758 mm dengan beban runtuh 303,385 kN/cm², pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ didapatkan penurunan sebesar 5,540 mm dengan beban runtuh 355,208 kN/cm², dan pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ didapatkan penurunan sebesar 11,133 mm dengan beban runtuh 284,635 kN/cm².

c. Lebar Pondasi (B) = 10 cm

Berdasarkan hasil pembebanan yang dilakukan pada model tanah pasir di laboratorium dengan lebar pondasi 10 cm, didapatkan nilai daya dukung dan penurunan yang terjadi. Hasil pembacaan daya dukung dan penurunan untuk model tanah pasir dengan lebar pondasi 10 cm, disajikan dalam grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir dengan $B = 10$ cm, variasi $u = 0,25B; 0,5B; 0,75B$, $d/B = 1$, $n = 3$

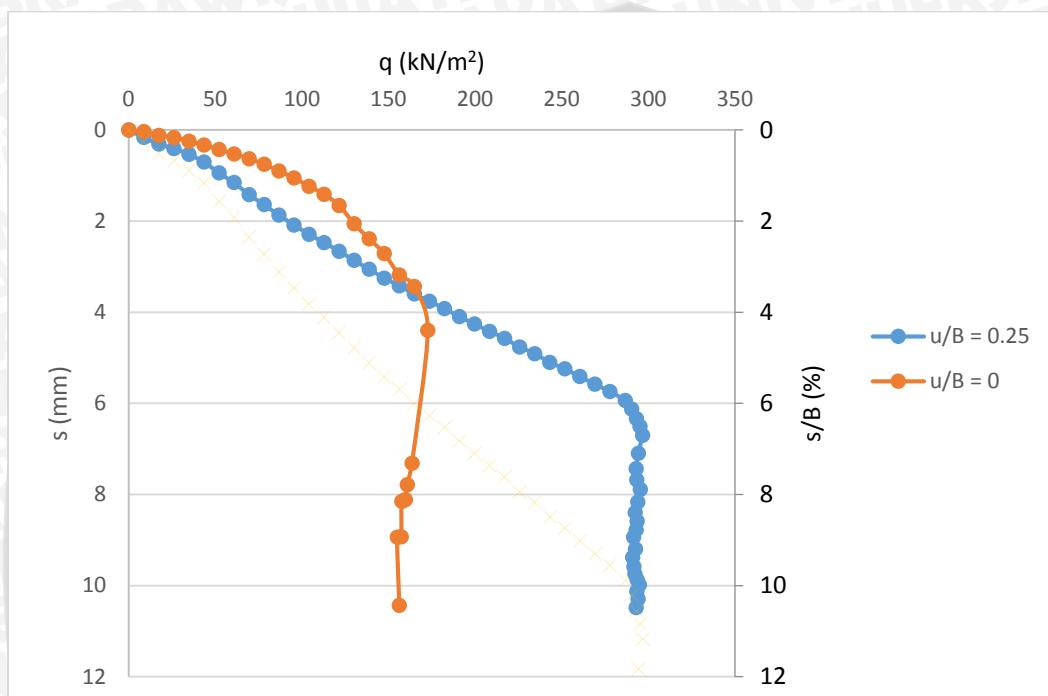
Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi mempunyai pola yang sedikit berbeda dengan hasil yang disajikan pada lebar pondasi 6 cm dan 8 cm, dimana penurunan paling kecil terdapat pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ dan penurunan paling besar terjadi pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Sementara untuk beban runtuhnya masih mempunyai pola yang sama dengan lebar pondasi sebelumnya, pada lebar pondasi 10 cm ini beban yang dapat ditahan terus naik hingga mencapai titik maksimum pada jarak lapis geogrid teratas $0,5B$, dan turun pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$. Untuk hasil pembebanan model tanah pasir pada lebar pondasi 10 cm dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ didapatkan penurunan sebesar 3,975 mm dengan beban runtuh $338,542$ kN/cm², pada jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ didapatkan penurunan sebesar 5,120 mm dengan beban runtuh $429,167$ kN/cm², dan pada jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ didapatkan penurunan sebesar 13,180 mm dengan beban runtuh $332,188$ kN/cm².

4.4. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan antara Pemodelan Tanpa Perkuatan dengan Pemodelan yang Menggunakan Perkuatan Geogrid

4.4.1. Perbandingan Hubungan Daya Dukung dan Penurunan Pemodelan Tanpa Perkuatan dengan Pemodelan yang Menggunakan Perkuatan Geogrid pada Variasi Lebar Pondasi

4.4.1.1. Lebar Pondasi (B) = 6 cm

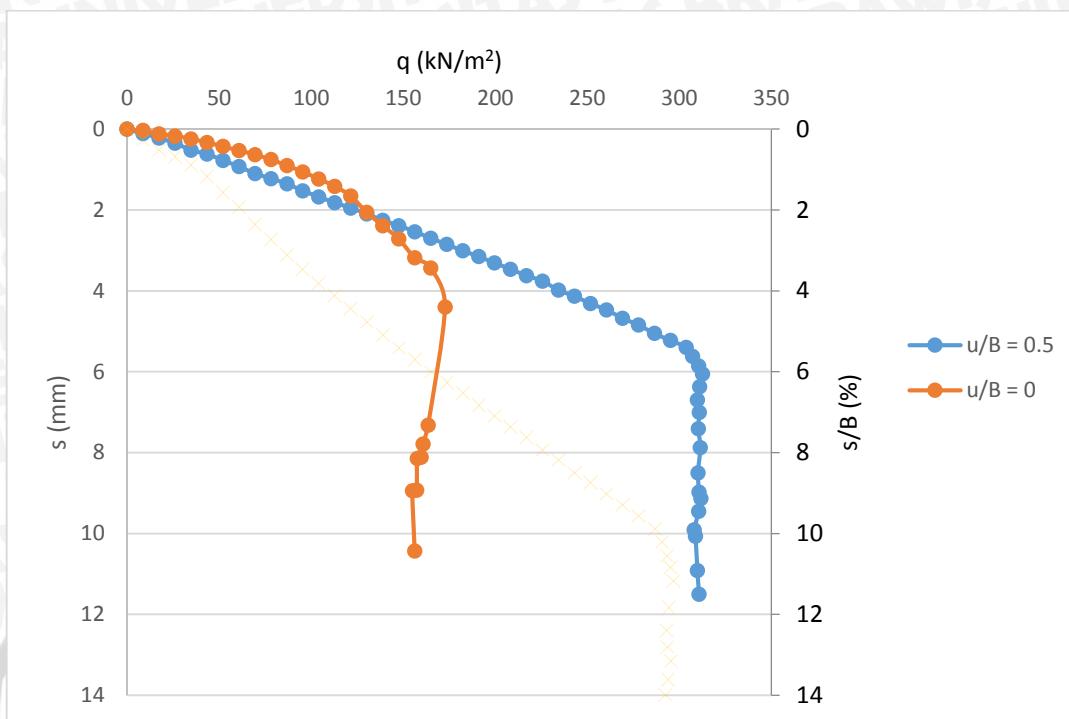
a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B



Gambar 4.14. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 6$ cm, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.14 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ cenderung lebih besar dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ nilainya juga lebih besar dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model dengan perkuatan jauh lebih besar dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh model dengan perkuatan pun lebih besar daripada model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 6 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,398 mm dengan beban runtuh $172,743 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ adalah 6,703 mm dengan beban runtuh $296,701 \text{ kN/cm}^2$.

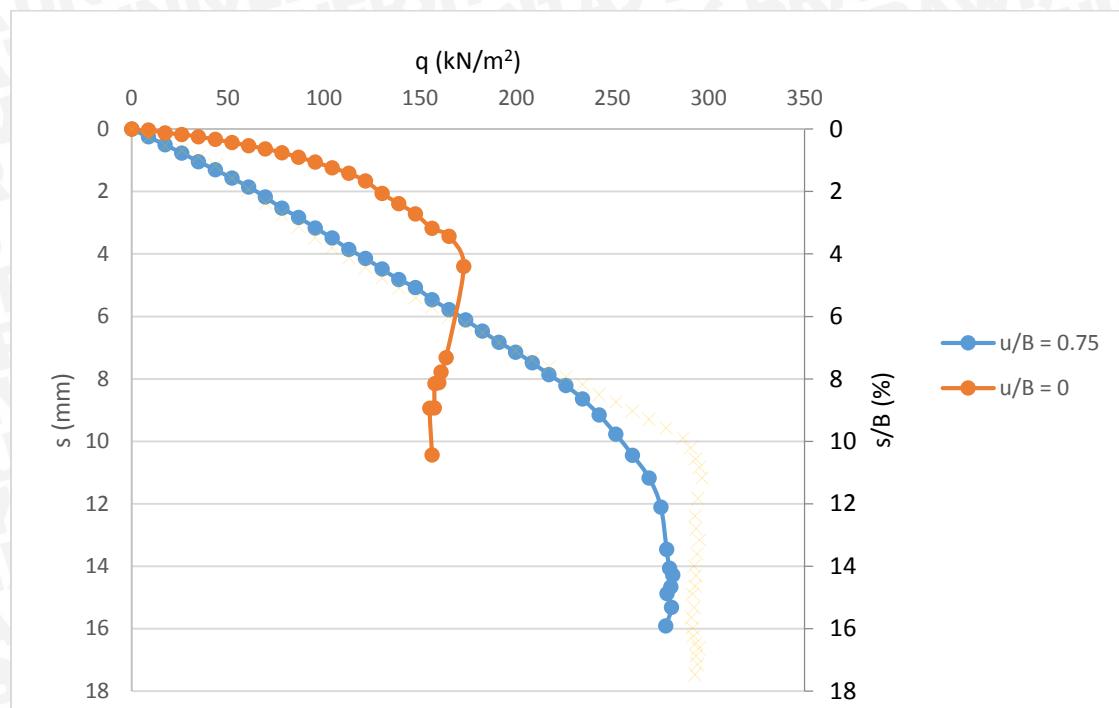
b. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,5B



Gambar 4.15. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ pada awal pembebanan menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, kemudian di akhir penurunannya menjadi lebih kecil daripada tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan pemodelan tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model tanah pasir dengan perkuatan jauh lebih besar daripada tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh pemodelan dengan perkuatan pun lebih besar dibandingkan dengan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 6 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,398 mm dengan beban runtuh $172,743 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ adalah 6,053 mm dengan beban runtuh $312,674 \text{ kN/cm}^2$.

c. Jarak Lapis Geogrid Teratas ($u = 0,75B$)

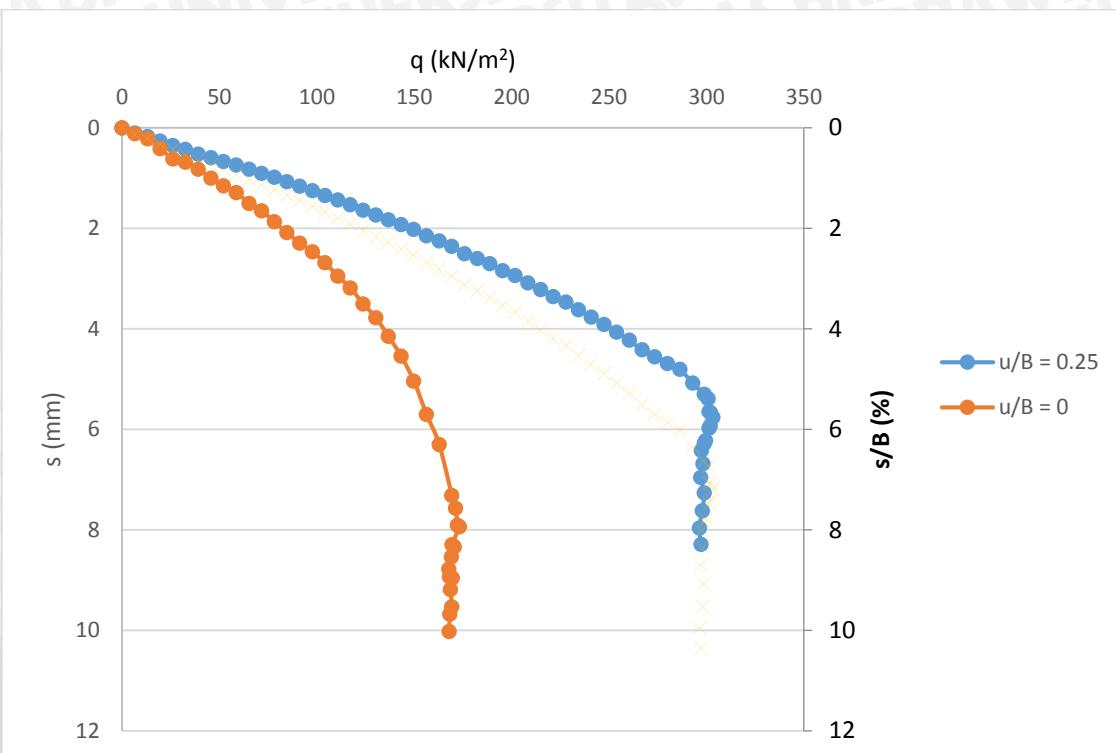


Gambar 4.16. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.16 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ cenderung lebih besar daripada penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ lebih besar juga dibandingkan pemodelan tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model tanah pasir dengan perkuatan jauh lebih besar daripada tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh pemodelan dengan perkuatan pun lebih besar dibandingkan dengan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 6 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,398 mm dengan beban runtuh $172,743 \text{ kN}/\text{cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,75B$ adalah 14,280 mm dengan beban runtuh $281,424 \text{ kN}/\text{cm}^2$.

4.4.1.2. Lebar Pondasi (B) = 8 cm

a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = $0,25B$

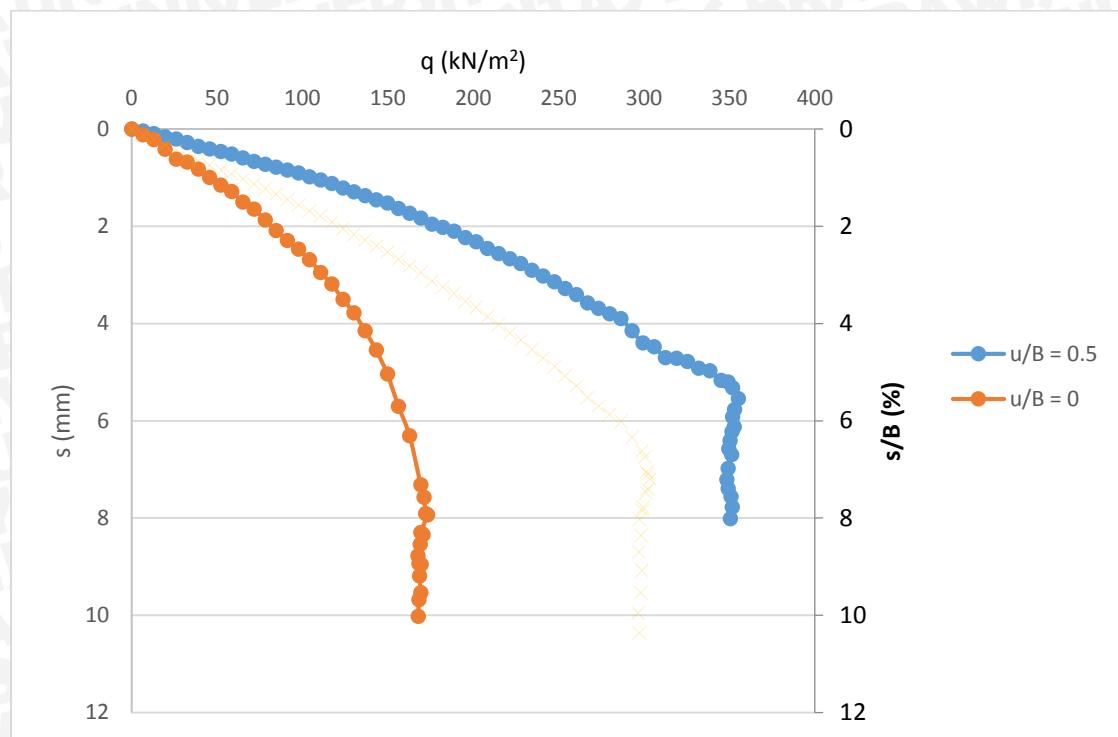


Gambar 4.17. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.17 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ cenderung lebih kecil dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ nilainya lebih kecil pula dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan, walaupun beban yang mampu ditahan oleh model dengan perkuatan jauh lebih besar dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan dan menghasilkan nilai daya dukung yang lebih besar pula dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan.

Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 8 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 7,935 mm dengan beban runtuh $173,177 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ adalah 5,758 mm dengan beban runtuh $303,385 \text{ kN/cm}^2$.

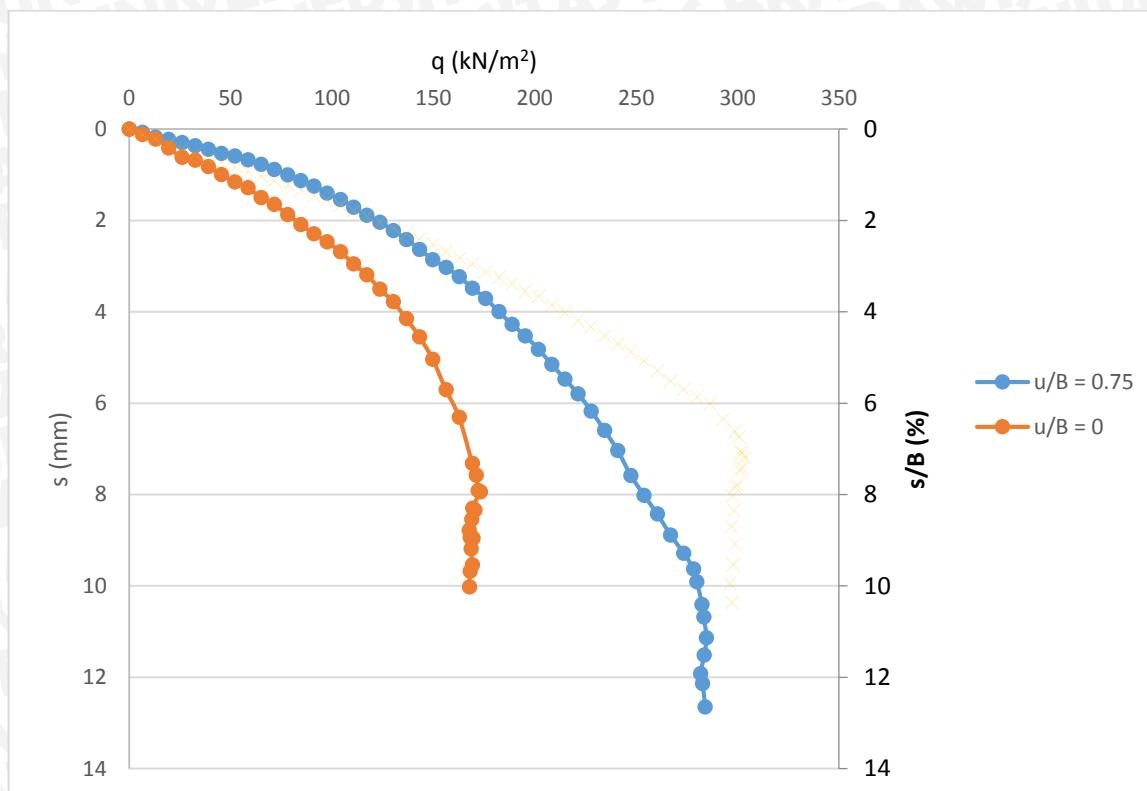
b. Jarak Lapis Geogrid Teratas ($u = 0,5B$)



Gambar 4.18. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.18 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ cenderung lebih kecil dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ nilainya juga lebih kecil dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan, walaupun beban yang mampu ditahan oleh model dengan perkuatan jauh lebih besar dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan dan menghasilkan nilai daya dukung yang lebih besar pula dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 8 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 7,935 mm dengan beban runtuh $173,177 \text{ kN}/\text{cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ adalah 5,540 mm dengan beban runtuh $355,208 \text{ kN}/\text{cm}^2$.

c. Jarak Lapis Geogrid Teratas ($u = 0,75B$)

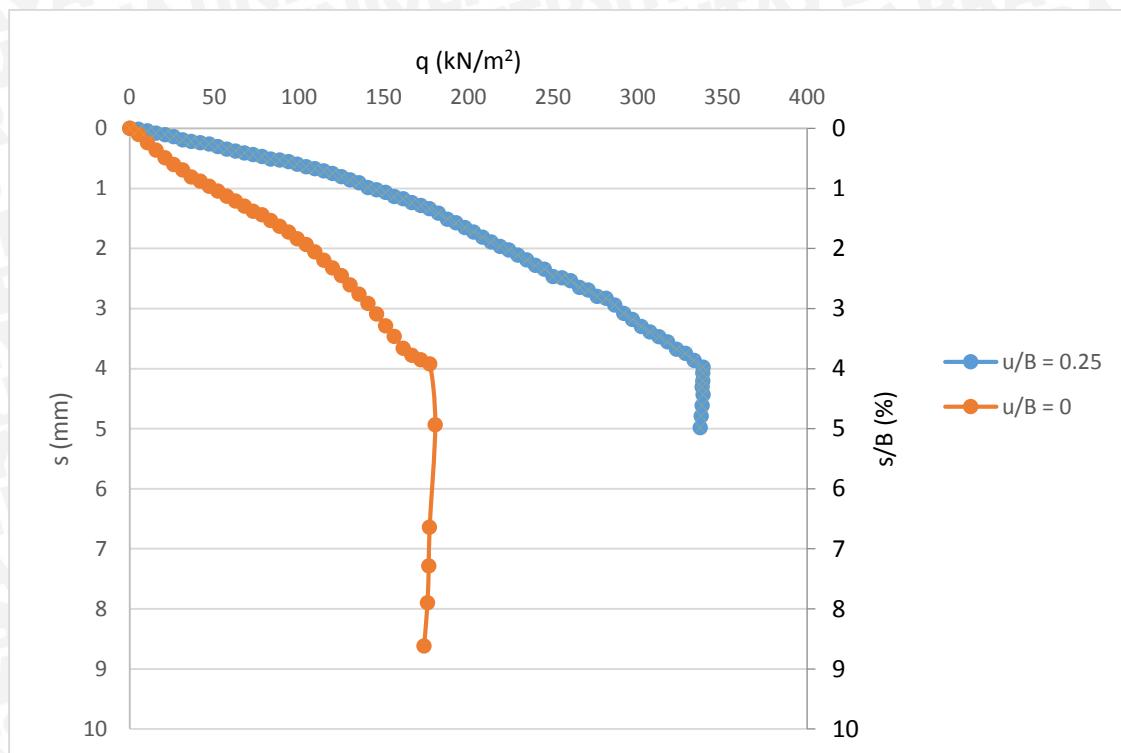


Gambar 4.19. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.19 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ cenderung lebih kecil daripada penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Akan tetapi jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ lebih besar dibandingkan pemodelan tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model tanah pasir dengan perkuatan jauh lebih besar daripada tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh pemodelan dengan perkuatan pun lebih besar dibandingkan dengan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 8 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 7,935 mm dengan beban runtuh $173,177 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,75B$ adalah 11,133 mm dengan beban runtuh $284,635 \text{ kN/cm}^2$.

4.4.1.3. Lebar Pondasi (B) = 10 cm

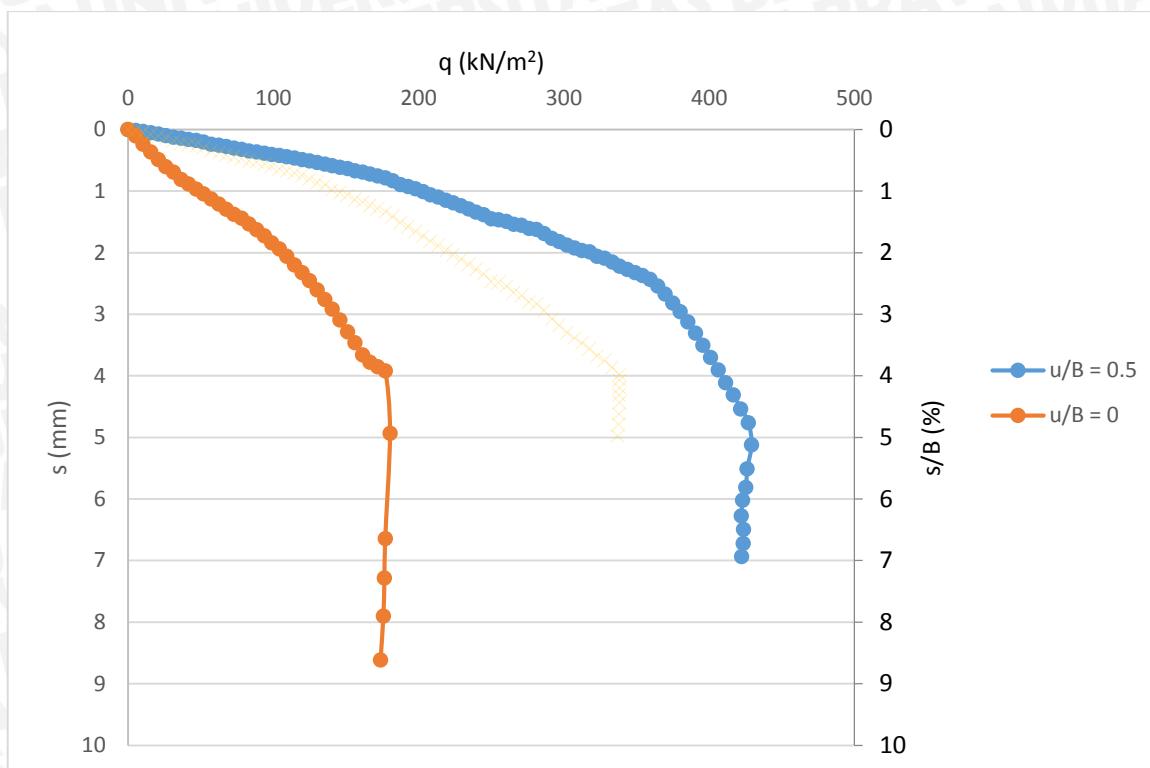
a. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,25B



Gambar 4.20. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,25B$, pada $B = 10$ cm, $d/B = 1$

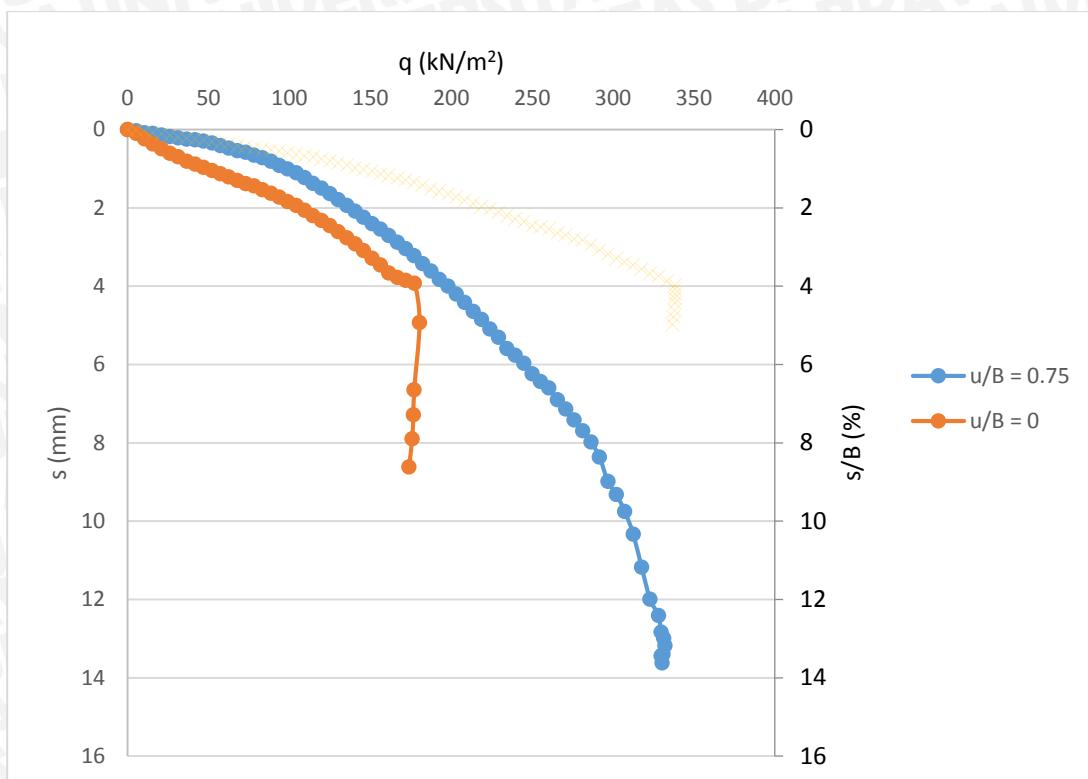
Dari Gambar 4.20 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ cenderung lebih kecil daripada penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,25B$ nilainya juga lebih kecil dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan, walaupun beban yang mampu ditahan oleh model dengan perkuatan jauh lebih besar dibanding model tanah pasir tanpa perkuatan dan menghasilkan nilai daya dukung yang lebih besar pula dibandingkan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 10 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,933 mm dengan beban runtuh 180,417 kN/cm², sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,25B$ adalah 3,975 mm dengan beban runtuh 338,542 kN/cm².

b. Jarak Lapis Geogrid Teratas ($u = 0,5B$)



Gambar 4.21. Hubungan qu dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,5B$, pada $B = 10$ cm, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.21 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ cenderung lebih kecil daripada penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Akan tetapi jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,5B$ lebih besar dibandingkan pemodelan tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model tanah pasir dengan perkuatan jauh lebih besar daripada tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh pemodelan dengan perkuatan pun lebih besar dibandingkan dengan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 10 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,933 mm dengan beban runtuh $180,417 \text{ kN/cm}^2$, sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,5B$ adalah 5,120 mm dengan beban runtuh $429,167 \text{ kN/cm}^2$.

c. Jarak Lapis Geogrid Teratas (u) = 0,75B

Gambar 4.22. Hubungan q_u dan penurunan pada model tanah pasir tanpa perkuatan dan dengan perkuatan $n = 3$, $u = 0,75B$, pada $B = 10$ cm, $d/B = 1$

Dari Gambar 4.22 terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ cenderung lebih kecil daripada penurunan model tanah pasir tanpa perkuatan, jika ditinjau dari beban yang sama. Akan tetapi jika ditinjau pada beban runtuhnya, penurunan untuk tanah pasir dengan perkuatan sebanyak 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas $0,75B$ lebih besar dibandingkan pemodelan tanah pasir tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan beban yang mampu ditahan oleh model tanah pasir dengan perkuatan jauh lebih besar daripada tanah pasir tanpa perkuatan, sehingga nilai daya dukung yang dihasilkan oleh pemodelan dengan perkuatan pun lebih besar dibandingkan dengan model tanah pasir tanpa perkuatan. Hasil dari penurunan untuk lebar pondasi 10 cm pada model tanah pasir tanpa perkuatan adalah 4,933 mm dengan beban runtuh 180,417 kN/cm^2 , sedangkan penurunan pada model tanah pasir dengan perkuatan 3 lapis geogrid dan jarak lapis geogrid teratas sebesar $0,75B$ adalah 13,180 mm dengan beban runtuh 332,188 kN/cm^2 .

4.5. Analisis Bearing Capacity Improvement Berdasarkan Daya Dukung Ultimit (BCI_u)

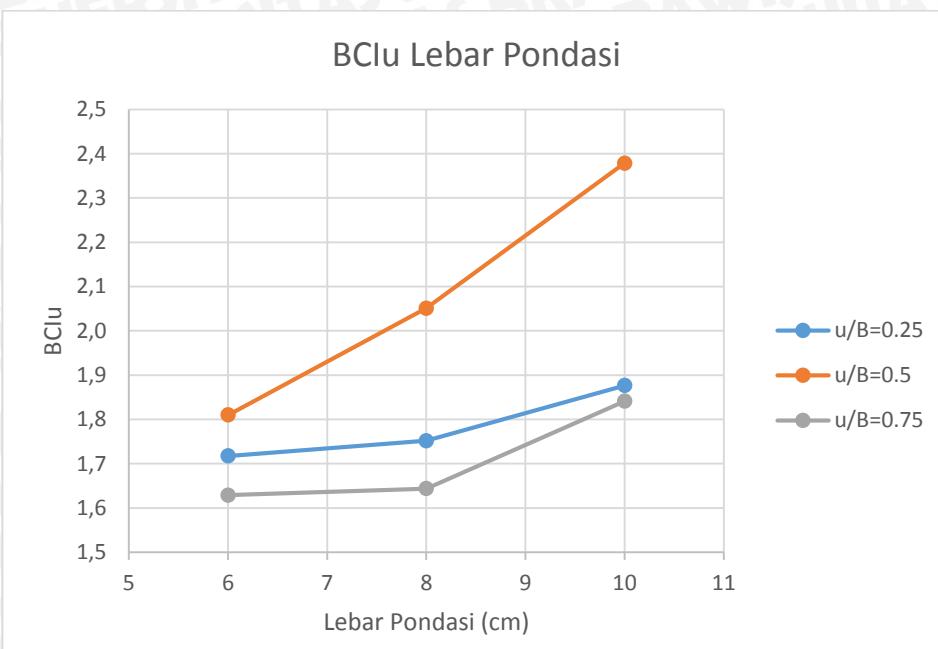
Analisis BCI_u merupakan analisis perbandingan nilai daya dukung maksimum yang dihasilkan pada saat beban runtuh antara model tanah pasir dengan perkuatan dan model tanah pasir tanpa perkuatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan terhadap nilai daya dukung yang terjadi ketika tanah pasir diberikan perkuatan menggunakan geogrid dengan variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas. Sehingga dapat diketahui lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas yang menghasilkan peningkatan nilai daya dukung paling maksimum.

4.5.1. Perbandingan BCI_u pada Variasi Lebar Pondasi Terhadap Jarak Lapis Geogrid Teratas

Berdasarkan pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada setiap variasi lebar pondasi untuk pemodelan tanah pasir, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_u) seperti pada Tabel 4.10 berikut dan grafik perbandingan nilai BCI_u untuk variasi lebar pondasi ditunjukkan pada Gambar 4.23.

Tabel 4.10. Nilai BCI_u untuk Variasi Lebar Pondasi

| Jarak Lapis Geogrid Teratas (u/B) | Lebar Pondasi (cm) | qu Tanpa Perkuatan (kN/m ²) | qu Dengan Perkuatan (kN/m ²) | BCI _u |
|-----------------------------------|--------------------|---|--|------------------|
| 0,25 | 6 | 172,743 | 296,701 | 1,718 |
| | 8 | 173,177 | 303,385 | 1,752 |
| | 10 | 180,417 | 338,542 | 1,876 |
| 0,5 | 6 | 172,743 | 312,674 | 1,810 |
| | 8 | 173,177 | 355,208 | 2,051 |
| | 10 | 180,417 | 429,167 | 2,379 |
| 0,75 | 6 | 172,743 | 281,424 | 1,629 |
| | 8 | 173,177 | 284,635 | 1,644 |
| | 10 | 180,417 | 332,188 | 1,841 |



Gambar 4.23. Perbandingan nilai BCI_u untuk variasi lebar pondasi

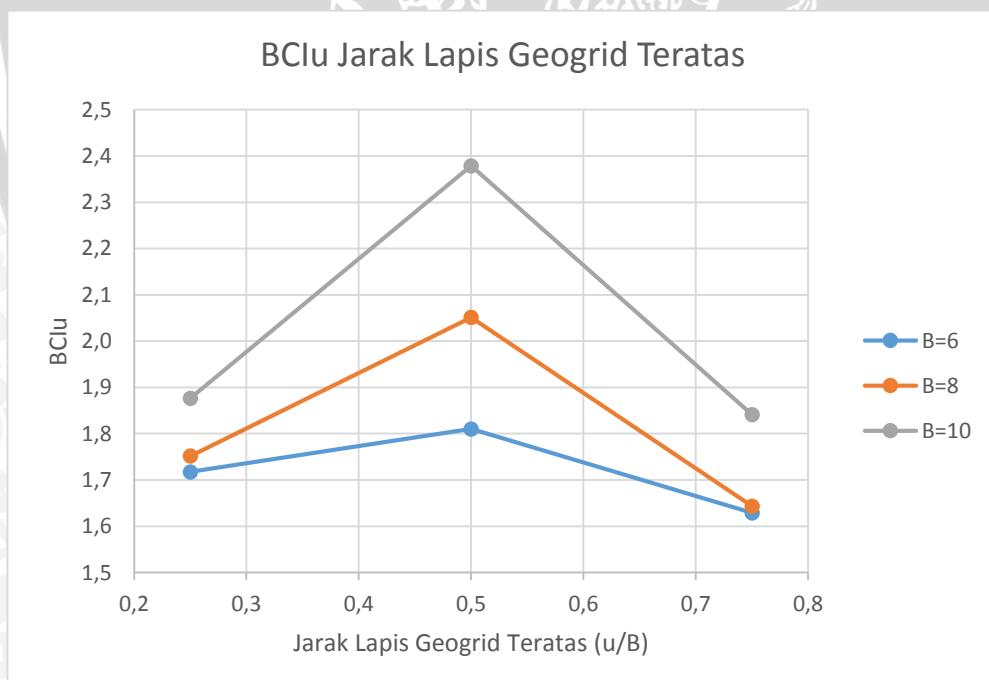
Dapat dilihat dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.23 bahwa semakin besar lebar pondasi, maka nilai daya dukung akan semakin besar pula. Nilai BCI_u maksimum pada penelitian ini diperoleh saat model tanah pasir dengan lebar pondasi (B) 10 cm dan jarak lapis geogrid teratas (u) sebesar 0,5B, yaitu sebesar 2,379.

4.5.2. Perbandingan BCI_u pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Lebar Pondasi

Berdasarkan pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada setiap variasi jarak lapis geogrid teratas, maka didapatkan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI_u) seperti pada Tabel 4.11 berikut dan grafik perbandingan nilai BCI_u untuk variasi jarak lapis geogrid teratas ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Tabel 4.11. Nilai BCIu untuk Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas

| Lebar Pondasi (cm) | Jarak Lapis Geogrid Teratas (u/B) | qu Tanpa Perkuatan (kN/m ²) | qu Dengan Perkuatan (kN/m ²) | BCIu |
|-----------------------|---|--|--|-------|
| 6 | 0,25 | 172,743 | 296,701 | 1,718 |
| | 0,5 | 172,743 | 312,674 | 1,810 |
| | 0,75 | 172,743 | 281,424 | 1,629 |
| 8 | 0,25 | 173,177 | 303,385 | 1,752 |
| | 0,5 | 173,177 | 355,208 | 2,051 |
| | 0,75 | 173,177 | 284,635 | 1,644 |
| 10 | 0,25 | 180,417 | 338,542 | 1,876 |
| | 0,5 | 180,417 | 429,167 | 2,379 |
| | 0,75 | 180,417 | 332,188 | 1,841 |

**Gambar 4.24.** Perbandingan nilai BCIu untuk variasi jarak lapis geogrid teratas

Dapat dilihat dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.24 bahwa pada variasi jarak lapis geogrid teratas nilai daya dukung naik hingga $u = 0,5B$ dan turun pada saat $u = 0,75B$. Nilai BC_{lu} maksimum pada penelitian ini diperoleh saat model tanah pasir dengan lebar pondasi (B) 10 cm dan jarak lapis geogrid teratas (u) sebesar 0,5B, yaitu sebesar 2,379.

4.6. Analisis Peningkatan Nilai Daya Dukung pada Pemodelan Tanah Pasir Tanpa Perkuatan dengan Pemodelan Tanah Pasir yang Menggunakan Perkuatan Geogrid

Dari hasil analisis BC_{lu} yang telah dilakukan, maka dapat dilihat peningkatan nilai daya dukung model tanah pasir tanpa perkuatan dengan pemodelan yang menggunakan perkuatan geogrid. Presentase peningkatan nilai daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut. Sedangkan untuk peningkatan daya dukung antara variabel pada model tanah pasir dengan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.12. Peningkatan Daya Dukung Pemodelan Tanah Pasir

| Lebar Pondasi (cm) | Jarak Lapis Geogrid Teratas (u/B) | qu Tanpa Perkuatan (kN/m ²) | qu Dengan Perkuatan (kN/m ²) |
|-----------------------|--|--|---|
| 6 | 0,25 | 172,743 | 296,701 |
| | 0,5 | 172,743 | 312,674 |
| | 0,75 | 172,743 | 281,424 |
| 8 | 0,25 | 173,177 | 303,385 |
| | 0,5 | 173,177 | 355,208 |
| | 0,75 | 173,177 | 284,635 |
| 10 | 0,25 | 180,417 | 338,542 |
| | 0,5 | 180,417 | 429,167 |
| | 0,75 | 180,417 | 332,188 |



Tabel 4.13. Peningkatan Daya Dukung antar Variabel pada Variasi Lebar Pondasi

| Jarak Lapis Geogrid Teratas (u/B) | Lebar Pondasi (cm) | qu (kN/cm ²) | Peningkatan antara variabel (%) |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 0,25 | 6 | 296,701 | - |
| | 8 | 303,385 | 2,253 |
| | 10 | 338,542 | 11,588 |
| 0,5 | 6 | 312,674 | - |
| | 8 | 355,208 | 13,604 |
| | 10 | 429,167 | 20,821 |
| 0,75 | 6 | 281,424 | - |
| | 8 | 284,635 | 1,141 |
| | 10 | 332,188 | 16,706 |

Tabel 4.14. Peningkatan Daya Dukung antar Variabel pada Variasi Jarak Lapis Geogrid Teratas

| Lebar Pondasi (cm) | Jarak Lapis Geogrid Teratas (u/B) | qu (kN/cm ²) | Peningkatan antara variabel (%) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 6 | 0,25 | 296,701 | - |
| | 0,5 | 312,674 | 5,383 |
| | 0,75 | 281,424 | - |
| 8 | 0,25 | 303,385 | - |
| | 0,5 | 355,208 | 17,082 |
| | 0,75 | 284,635 | - |
| 10 | 0,25 | 338,542 | - |
| | 0,5 | 429,167 | 26,769 |
| | 0,75 | 332,188 | - |

Dari Tabel 4.13 dan Tabel 4.14, dapat dilihat bahwa pada variasi lebar pondasi persentase peningkatan daya dukung terbesar terdapat pada lebar pondasi terbesar yaitu 10 cm, sedangkan untuk variabel jarak lapis geogrid teratas mencapai nilai optimum pada jarak lapis geogrid teratas 0,5B. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada penelitian ini kedua variasi yang digunakan mampu memberikan pengaruh peningkatan daya dukung tanah pasir dengan pondasi menerus.

4.7. Pengaruh Lebar Pondasi dan Jarak Lapis Geogrid Teratas Terhadap Nilai Daya Dukung

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap pemodelan fisik tanah pasir $R_c = 85\%$ dengan variabel tetap yaitu rasio kedalaman terhadap lebar pondasi (d/B) = 1 dan jumlah lapis geogrid (n) = 3, serta variabel bebas yaitu lebar pondasi (B) = 6; 8; 10 cm, dan jarak lapis geogrid teratas (u) = 0,25B; 0,5B; 0,75B, diperoleh hasil bahwa variasi dari kedua variabel bebas tersebut memiliki pengaruh terhadap daya dukung tanah pada model tanah pasir dengan pondasi menerus.

Dari hasil yang didapatkan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pada variasi lebar pondasi apabila ditinjau dari beban ultimit yang bekerja didapatkan bahwa semakin besar lebar pondasi yang digunakan maka nilai daya dukungnya akan semakin besar pula. Sedangkan untuk variasi jarak lapis geogrid teratas, jika ditinjau pada beban ultimitnya didapatkan bahwa pada jarak lapis geogrid teratas 0,25B hingga 0,5B terus mengalami peningkatan, namun akan turun kembali ketika diberikan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,75B. Sehingga pada penelitian ini yang menghasilkan nilai daya dukung paling besar adalah variasi lebar pondasi 10 cm dengan jarak lapis geogrid teratas sebesar 0,5B. Variasi tersebut juga menghasilkan nilai BCI_u yang paling besar.

Penurunan yang terjadi pada model tanah pasir dengan perkuatan bervariasi, dimana pada lebar pondasi 6 cm penurunan cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan pemodelan tanpa perkuatan ketika beban yang sama. Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Mohd Raihan Taha dan Enas B. Altahe (2013), besarnya penurunan pada tanah dengan perkuatan dibanding tanah tanpa perkuatan disebabkan tanah yang terkekang di antara lapisan geogrid mengalami kegagalan tarik terlebih dahulu sebelum mengalami geser. Hal ini disebabkan karena jarak antar lapisan geogrid yang terlalu dekat. Selain itu, faktor kepadatan tanah dan kinerja geogrid yang belum bekerja sepenuhnya di awal dapat pula mempengaruhi. Sementara pada perkuatan tanah pasir dengan lebar pondasi 8 cm dan 10 cm, penurunan yang terjadi cenderung lebih kecil dibandingkan pemodelan pada tanah pasir tanpa perkuatan ketika beban yang sama bekerja.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi lebar pondasi (B) sebesar 6 cm, 8 cm, dan 10 cm serta jarak lapis geogrid teratas (u) sebesar 0,25B; 0,5B; dan 0,75B pada pemodelan fisik tanah pasir R_c 85% dengan variabel tetap yaitu rasio kedalaman terhadap lebar pondasi (d/B) sebesar 1 dan jumlah lapis geogrid (n) sebanyak 3, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung ultimit pada model tanah pasir tanpa perkuatan nilainya lebih kecil dibandingkan daya dukung ultimit pada model dengan perkuatan pada variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas, sehingga dengan adanya perkuatan geogrid terjadi peningkatan daya dukung pada pemodelan tanah pasir.
2. Berdasarkan variasi lebar pondasi dapat disimpulkan bahwa semakin besar lebar pondasi yang digunakan, maka akan semakin besar pula nilai daya dukung ultimit model tersebut.
3. Berdasarkan variasi jarak lapis geogrid teratas dapat disimpulkan bahwa jarak optimum yang menghasilkan daya dukung ultimit terbesar yaitu pada jarak 0,5B.
4. Dapat dilihat dari hasil analisis BC_Iu bahwa nilai daya dukung pemodelan tanah pasir yang paling maksimum dengan perkuatan geogrid pada variasi lebar pondasi dan jarak lapis geogrid teratas terdapat pada $B = 10\text{ cm}$ dan $u = 0,5B$.





5.2. Saran

Dalam penelitian ini sangat dibutuhkan ketelitian, waktu dan tempat yang memadai, serta metode pelaksanaan yang baik dan sesuai untuk dapat meminimalisir kesalahan sehingga tercapai hasil yang maksimal. Karena itu ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut.

1. Dalam pelaksanaan pemanjangan pada tanah pasir, diperlukan pelaksanaan pekerjaan yang baik dan merata pada seluruh bidang yang dipadatkan dikarenakan jika didapati kualitas pemanjangan yang kurang baik akan mengakibatkan hasil pengujian berupa qu dan penurunan menjadi kurang sempurna dan tidak konsisten.
2. Diperlukan pula ketelitian dalam kontrol kadar air sehingga didapatkan nilai yang mendekati nilai acuan penelitian.
3. Perlu diperhatikan perletakan geogrid yang sesuai dengan jarak yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1993. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Chen, Q. 2007. An Experimental Study on Characteristics and Behavior of Reinforced Soil Foundation. *Disertasi*. Tidak dipublikasikan. China: Tongji University.
- Craig, R.F. 1989. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 1999. *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement*. California: CRC Press LLC.
- Das, B.M. 2011. *Principles of Foundation Engineering Seventh Edition*. Stamford: Cengage Learning.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2009. *Modul Pelatihan Geosintetik*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Gofar, N. & Oemar, B. 1990. *Perencanaan reinforced retaining wall dengan menggunakan spreadsheet program*. Bandung: HATTI.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1 Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2 Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hausman, M. 1990. *Engineering Principles Of Ground Modification*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Indrawahyuni, H., Suroso, Suyadi, W., & Zaika, Y. 2012. Pengaruh Perkuatan Pile Terhadap Daya Dukung Pada Pemodelan Fisik Lereng Tanah Pasir. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 6 (3):1978-5658.
- Isparmo. 2011. Geogrid, Definisi dan Fungsi. (<http://geotextile.web.id/geogrid-definisi-dan-fungsi.html>), diakses pada 11 februari 2016.
- Koerner, R.M. 2005. *Designing With Geosynthetics, Fifth Edition*. New Jersey: Pearson/Prentice Hall.



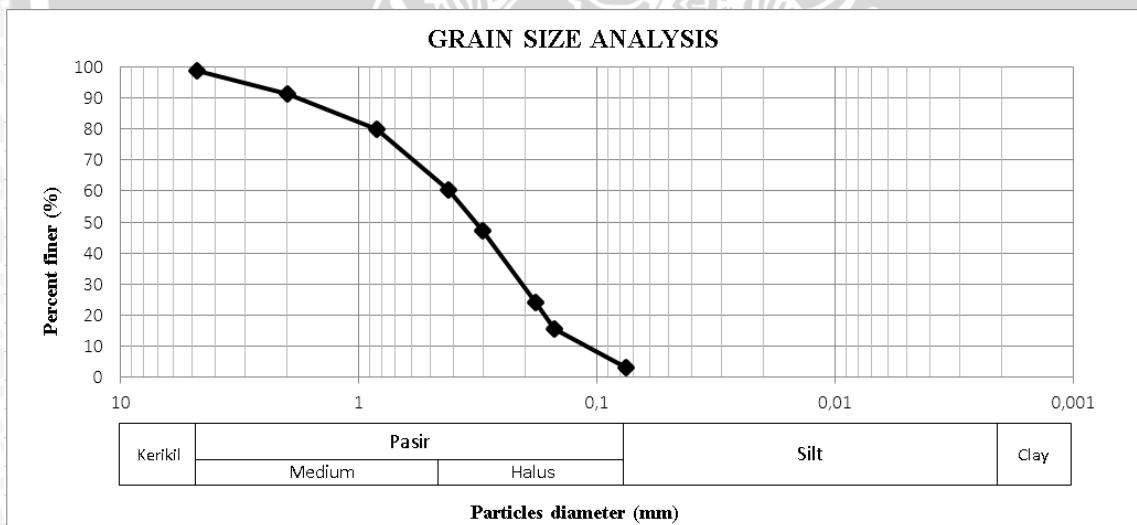
- Munawir, A., Suyadi, W., & Noviyanto, T. 2009. Alternatif Perkuatan Tanah Pasir Menggunakan Lapis Anyaman Bambu Dengan Variasi Jarak dan Jumlah Lapis. *Jurnal Rekaya Sipil*. 3 (1).
- Musthafa, A. 2015. Pengaruh Sudut Kemiringan dan Jarak Pondasi Menerus Dari Tepi Lereng Pada Pemodelan Fisik Lereng Pasir Dengan Perkuatan Geogrid. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Patra, C.R., Mandal, J. N., & Das, B. M. 2005. Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. *Millpress Science (ICSMGE)*. 1397 – 1400.
- Pettijohn, F.J., Potter, E.P., & Siever, R. 1973. *Sand and Sandstone*. New York: Springer-Verlag.
- Prasasti, Y.D.J. 2014. Pengaruh Variasi Panjang Lapisan dan Jarak Vertikal Antar Geotekstil terhadap Daya Dukung Pondasi Menerus Pada Pemodelan Lereng Pasir Kepadatan 74%. *Jurnal Terpublikasi*, 1 – 6.
- Prasetyo, R.A. 2015. Pegaruh Lebar Pondasi dan Perkuatan Geogrid terhadap Daya Dukung Lereng Tanah Pasir Kemiringan 51°. *Jurnal Terpublikasi*, 1 – 10.
- Rabbani, R. 2016. Pengaruh Sudut Kemiringan dan Jumlah Lapisan Perkuatan Geogrid Pada Lereng Pasir Rc 85% Terhadap Daya Dukung Tanah Dengan Pondasi Menerus. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Shin, E.C. & Das, B. M. 2000. Experimental Study of Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. *Geosynthetics International*. 7 (1): 59 – 71.
- Silmi, N. 2012. *Stabilisasi Lereng dengan Geotextile*. Jogja: Joglo Semar.
- Surendro, B. 2004. *Mekanika Tanah - Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Magelang: Andi Yogyakarta.
- Taha, M. R. & Altalhe, E. B. 2013. Numerical and Experimental Evaluation of Bearing Capacity Factor N_y of Strip Footing on Sand Slopes. *International Journal of Physical Sciences*. 8 (36): 1807 – 1823.
- Teng, W.C. 1981. *Foundation Design*. New Delhi: Prentice Hall.
- Utomo, P. 2004. Daya Dukung Ultimit Pondasi Dangkal diatas Tanah Pasir yang diperkuat Geogrid. *Civil Engginerring Dimension*. 6 (1): 15 – 20.
- Wijaya, G. D. 2014. Pengaruh Variasi Jumlah dan Jarak Antar Lapis Geotekstil Terhadap Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Menerus Pada Tanah Pasir Poorly Graded. *Jurnal Terpublikasi*, 1 – 15.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis Gradasi Butir Tanah

| Saringan | | Tertahan Saringan (gram) | Jumlah Tertahan (gram) | % Komulatif Tertahan | % Komulatif Lelos Saringan |
|---------------|-------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| Diameter (mm) | Nomor | (gram) | (gram) | | |
| 4,75 | 4 | 7,95 | 7,95 | 1 | 99 |
| 2 | 10 | 39,99 | 47,94 | 9 | 91 |
| 0,84 | 20 | 62,08 | 110,02 | 20,04 | 79,96 |
| 0,42 | 40 | 108,76 | 218,78 | 39,85 | 60,15 |
| 0,3 | 50 | 72,05 | 290,83 | 52,97 | 47,03 |
| 0,18 | 80 | 126,38 | 417,21 | 75,99 | 24,01 |
| 0,15 | 100 | 47,13 | 464,34 | 84,57 | 15,43 |
| 0,075 | 200 | 66,74 | 531,08 | 96,73 | 3,27 |
| Pan | | 17,98 | 549,06 | 100 | 0,00 |

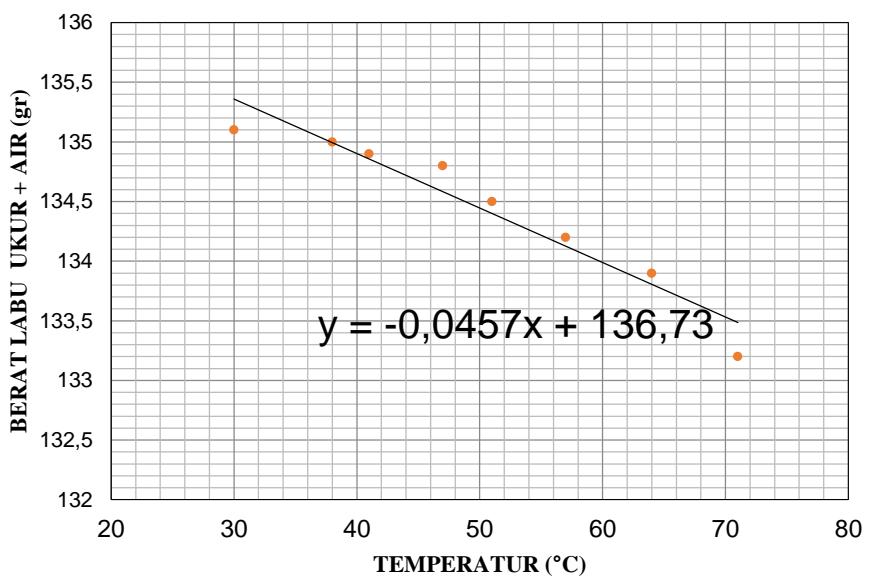


Lampiran 2. Analisis Specific Gravity Tanah

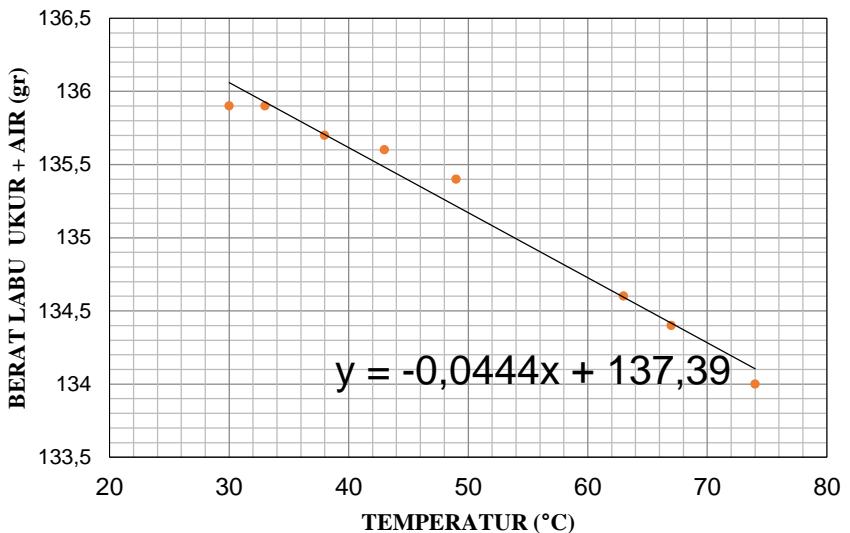
Data Percobaan Kalibrasi Labu Ukur

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

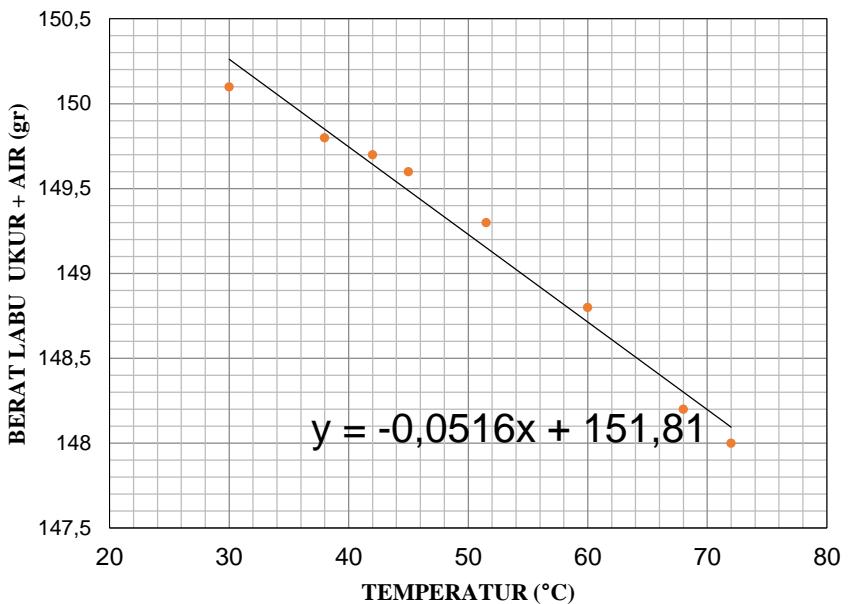
Kalibrasi Labu Ukur No. 1



KALIBRASI LABU 2



KALIBRASI LABU 3



| LABU UKUR | SATUAN | 1 | | | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Berat Tanah Kering (Ws) | gram | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram | 146 | 146,4 | 146,7 | 146,8 | 147,1 | 147,3 | 147,5 | 147,6 |
| Suhu (°C) | °C | 67 | 60 | 52 | 47 | 45 | 41 | 37 | 30 |
| Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 133,5 | 134 | 134,5 | 134,7 | 134,8 | 134,9 | 135 | 135,1 |
| Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm ³ | 2,6539 | 2,6178 | 2,5654 | 2,5265 | 2,6008 | 2,6267 | 2,6645 | 2,6702 |
| Rata-rata Berat Jenis | gram/cm ³ | 2,6157 | | | | | | | |

| LABU UKUR | SATUAN | 2 | | | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Berat Tanah Kering (Ws) | gram | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram | 146,4 | 147 | 147,5 | 147,7 | 148 | 148,2 | 148,4 | 148,5 |
| Suhu (°C) | °C | 71 | 63 | 54 | 52 | 45 | 39 | 33 | 30 |
| Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 134 | 134,5 | 135 | 135,1 | 135,4 | 135,7 | 135,8 | 135,9 |
| Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm ³ | 2,6313 | 2,6562 | 2,6551 | 2,6914 | 2,6887 | 2,6827 | 2,6923 | 2,7031 |
| Rata-rata Berat Jenis | gram/cm ³ | 2,6751 | | | | | | | |

| LABU UKUR | SATUAN | 3 | | | | | | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Berat Tanah Kering (Ws) | gram | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram | 161 | 161,2 | 161,6 | 161,9 | 162 | 162,3 | 162,5 | 162,5 |
| Suhu (°C) | °C | 67 | 63 | 55 | 49 | 47 | 40 | 33 | 30 |
| Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 148,4 | 148,7 | 149,2 | 149,5 | 149,5 | 149,8 | 150 | 150,1 |
| Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm ³ | 2,6854 | 2,6644 | 2,6432 | 2,6451 | 2,6491 | 2,6589 | 2,6541 | 2,6285 |
| Rata-rata Berat Jenis | gram/cm ³ | 2,6536 | | | | | | | |

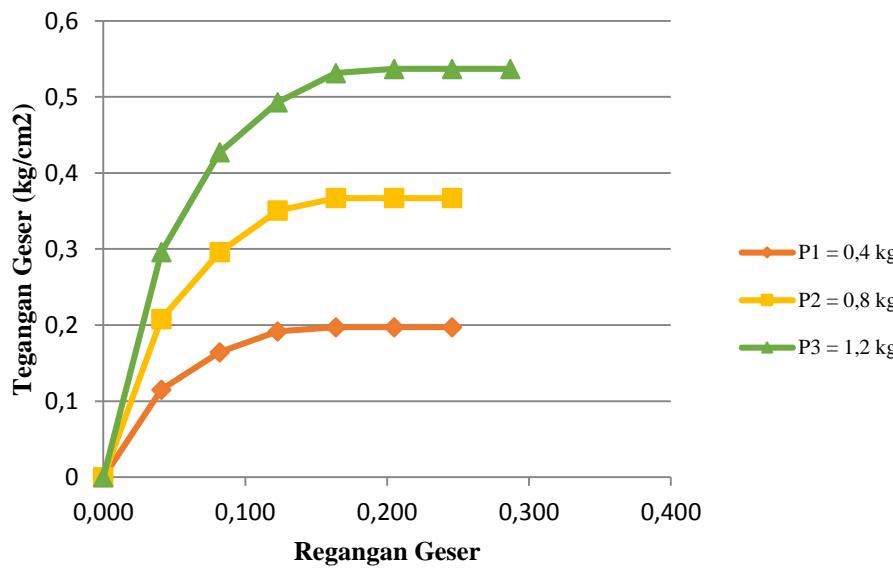
Rata-rata = 2,648145

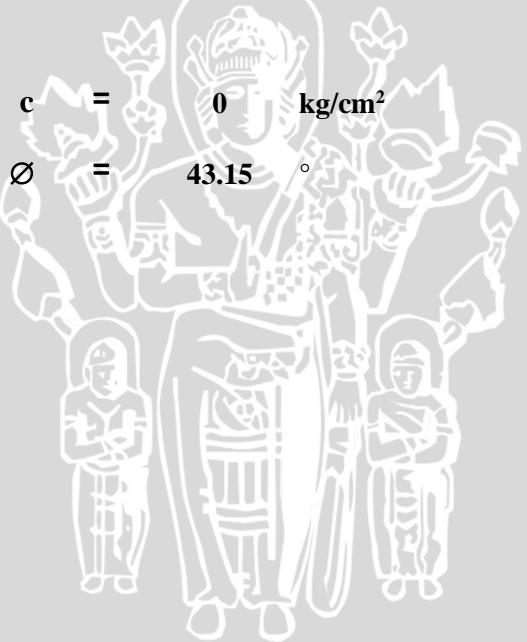
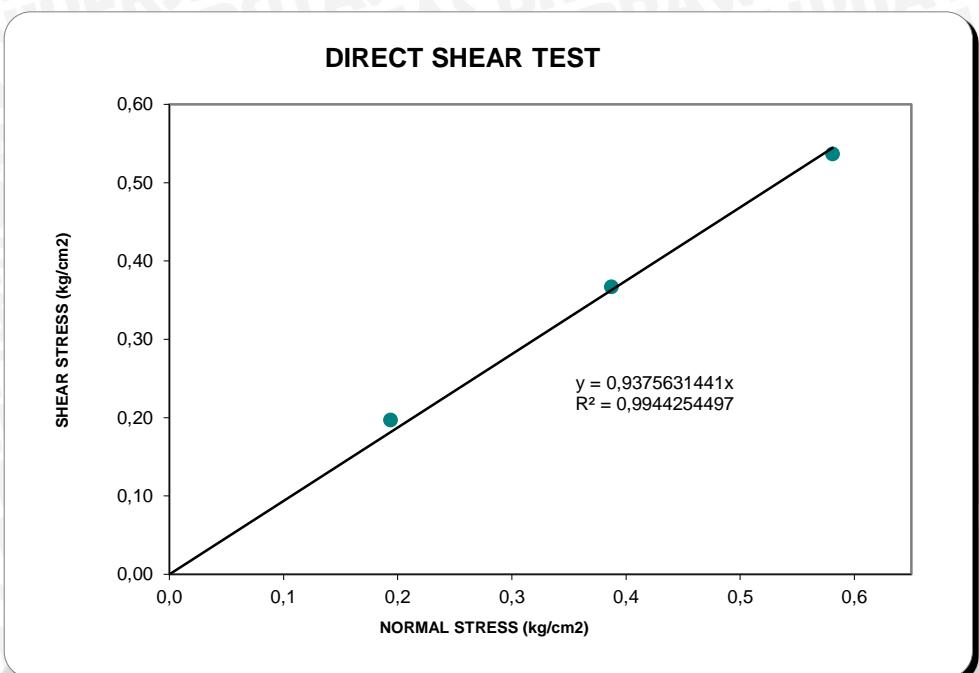
Lampiran 3. Analisis Uji Geser Langsung (*Direct Shear*)

| | | | |
|--------------------|---|-------|--------------------|
| <i>Diameter</i> | : | 6.1 | cm |
| <i>Area</i> | : | 29.21 | cm ² |
| <i>Height</i> | : | 1.8 | cm |
| <i>Lever Ratio</i> | : | 14.14 | |
| <i>Unit Weight</i> | : | 1.531 | gr/cm ³ |
| <i>Calibration</i> | : | 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 | | | | |
| | 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 | 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 | | | | | | | | | | | |

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Geser





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

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

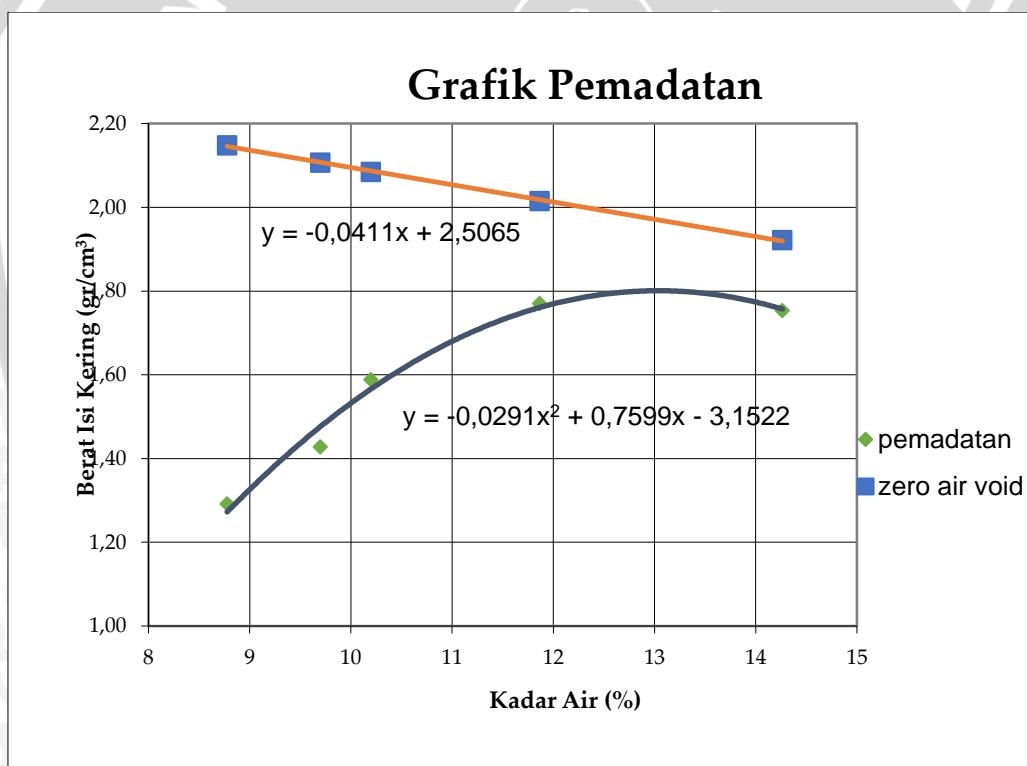
Kadar Air

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

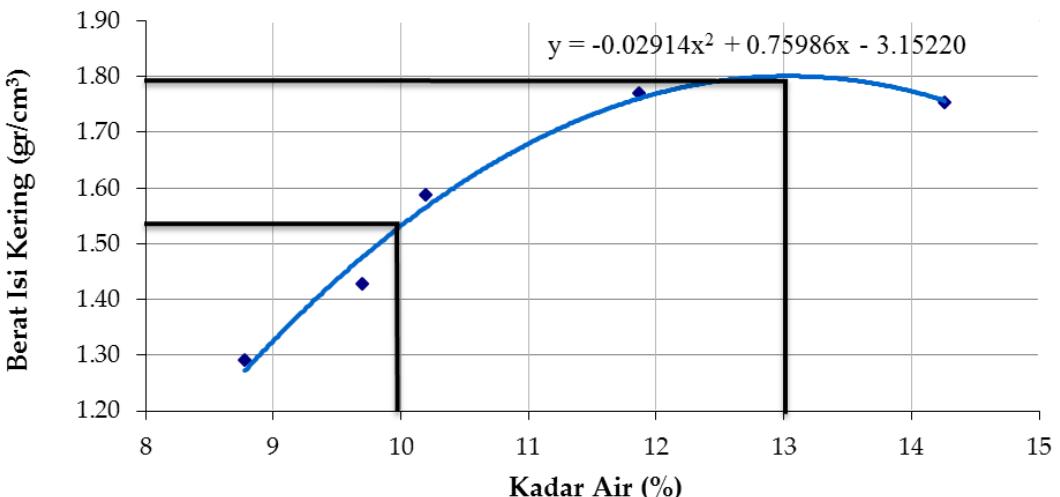
Density

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

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



Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering



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

Lampiran 5. Pengujian Kadar Air dan Kepadatan Pasir

Tanpa perkuatan B = 6 cm, d/B = 1

| Lapisan | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,94 | 35,47 | 35,42 | 36,24 | 36,07 | 36,12 | 35,94 | 35,87 | 36,62 | 36,64 | 36,97 | 36,32 | 36,24 | 36,97 | 36,62 | 36,54 | 36,87 | 36,32 | 36,64 | 36,59 | 34,82 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,70 | 17,40 | 17,40 | 18,00 | 18,00 | 18,10 | 17,70 | 17,80 | 18,60 | 18,40 | 18,90 | 18,30 | 18,00 | 18,90 | 18,60 | 18,30 | 18,80 | 18,30 | 18,40 | 18,52 | 16,80 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 |
| 5. ρw | gr/cm ³ | 1,658 | 1,642 | 1,642 | 1,596 | 1,698 | 1,708 | 1,569 | 1,679 | 1,755 | 1,631 | 1,783 | 1,727 | 1,596 | 1,783 | 1,755 | 1,622 | 1,774 | 1,727 | 1,631 | 1,747 | 1,585 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 35,29 | 33,91 | 33,88 | 34,67 | 34,48 | 34,57 | 34,35 | 34,39 | 34,95 | 35,08 | 35,19 | 34,59 | 34,54 | 35,36 | 34,99 | 34,99 | 35,11 | 34,73 | 34,92 | 34,85 | 33,38 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 17,05 | 15,84 | 15,86 | 16,43 | 16,41 | 16,55 | 16,11 | 16,32 | 16,93 | 16,84 | 17,12 | 16,57 | 16,30 | 17,29 | 16,97 | 16,75 | 17,04 | 16,71 | 16,68 | 16,78 | 15,36 |
| 8. Berat Air | gr | 1,65 | 1,56 | 1,54 | 1,57 | 1,59 | 1,55 | 1,59 | 1,48 | 1,67 | 1,56 | 1,78 | 1,73 | 1,70 | 1,61 | 1,63 | 1,55 | 1,76 | 1,59 | 1,72 | 1,74 | 1,44 |
| 9. Kadar Air | % | 9,68 | 9,85 | 9,71 | 9,56 | 9,69 | 9,37 | 9,87 | 9,07 | 9,86 | 9,26 | 10,40 | 10,44 | 10,43 | 9,31 | 9,61 | 9,25 | 10,33 | 9,52 | 10,31 | 10,37 | 9,38 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,511 | 1,494 | 1,496 | 1,456 | 1,548 | 1,561 | 1,428 | 1,540 | 1,597 | 1,493 | 1,615 | 1,563 | 1,445 | 1,631 | 1,601 | 1,485 | 1,608 | 1,577 | 1,479 | 1,583 | 1,449 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tanpa perkuatan B = 8 cm, d/B = 1

| Lapisan | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,54 | 35,67 | 36,42 | 36,24 | 36,07 | 36,02 | 36,94 | 36,27 | 35,92 | 36,44 | 36,37 | 35,52 | 36,34 | 36,37 | 36,12 | 36,64 | 36,37 | 36,42 | 36,04 | 36,37 | 35,32 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,30 | 17,60 | 18,40 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,70 | 18,20 | 17,90 | 18,20 | 18,30 | 17,50 | 18,10 | 18,30 | 18,10 | 18,40 | 18,30 | 18,40 | 17,80 | 18,30 | 17,30 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 |
| 5. ρw | gr/cm ³ | 1,622 | 1,661 | 1,736 | 1,596 | 1,698 | 1,698 | 1,658 | 1,717 | 1,689 | 1,613 | 1,727 | 1,651 | 1,604 | 1,727 | 1,708 | 1,631 | 1,727 | 1,736 | 1,578 | 1,727 | 1,632 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 34,83 | 34,02 | 34,58 | 34,64 | 34,48 | 34,33 | 35,24 | 34,62 | 34,13 | 34,68 | 34,63 | 33,86 | 34,71 | 34,71 | 34,47 | 34,92 | 34,65 | 34,73 | 34,33 | 34,61 | 33,67 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,59 | 15,95 | 16,56 | 16,40 | 16,41 | 16,31 | 17,00 | 16,55 | 16,11 | 16,44 | 16,56 | 15,84 | 16,47 | 16,64 | 16,45 | 16,68 | 16,58 | 16,71 | 16,09 | 16,54 | 15,65 |
| 8. Berat Air | gr | 1,71 | 1,65 | 1,84 | 1,60 | 1,59 | 1,69 | 1,70 | 1,65 | 1,79 | 1,76 | 1,74 | 1,66 | 1,63 | 1,66 | 1,65 | 1,72 | 1,72 | 1,69 | 1,71 | 1,76 | 1,65 |
| 9. Kadar Air | % | 10,31 | 10,34 | 11,11 | 9,76 | 9,69 | 10,36 | 10,00 | 9,97 | 11,11 | 10,71 | 10,51 | 10,48 | 9,90 | 9,98 | 10,03 | 10,31 | 10,37 | 10,11 | 10,63 | 10,64 | 10,54 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,471 | 1,505 | 1,562 | 1,454 | 1,548 | 1,539 | 1,507 | 1,561 | 1,520 | 1,457 | 1,562 | 1,494 | 1,460 | 1,570 | 1,552 | 1,479 | 1,564 | 1,577 | 1,426 | 1,561 | 1,477 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tanpa perkuatan B = 10 cm, d/B = 1

| Lapisan | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,60 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,24 | 18,02 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,94 | 36,37 | 35,72 | 35,84 | 36,07 | 36,22 | 35,42 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,70 | 18,30 | 17,70 | 17,60 | 18,00 | 18,20 | 19,30 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 |
| 5. γw | gr/cm ³ | 1,658 | 1,727 | 1,670 | 1,560 | 1,698 | 1,717 | 1,711 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 35,07 | 34,41 | 34,01 | 34,14 | 34,27 | 34,32 | 35,73 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,83 | 16,34 | 15,99 | 15,90 | 16,20 | 16,30 | 17,49 |
| 8. Berat Air | gr | 1,87 | 1,96 | 1,71 | 1,70 | 1,80 | 1,90 | 1,81 |
| 9. Kadar Air | % | 11,11 | 12,00 | 10,69 | 10,69 | 11,11 | 11,66 | 10,35 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | 11,46 |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,492 | 1,542 | 1,509 | 1,409 | 1,528 | 1,538 | 1,550 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | 1,502 |

Dengan perkuatan $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,25$

| Lapisan | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,44 | 36,77 | 36,12 | 36,54 | 35,77 | 36,22 | 36,44 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,20 | 18,70 | 18,10 | 18,30 | 17,70 | 18,20 | 18,20 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 |
| 5. γ_w | gr/cm ³ | 1,613 | 1,764 | 1,708 | 1,622 | 1,670 | 1,717 | 1,613 |
| 6. Berat Ring + Tnh Kering | gr | 34,62 | 34,86 | 34,33 | 34,82 | 34,19 | 34,54 | 34,62 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,38 | 16,79 | 16,31 | 16,58 | 16,12 | 16,52 | 16,54 |
| 8. Berat Air | gr | 1,82 | 1,91 | 1,79 | 1,72 | 1,58 | 1,68 | 1,66 |
| 9. Kadar Air | % | 11,11 | 11,38 | 10,97 | 10,37 | 9,80 | 10,17 | 10,04 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | 10,02 | | |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,452 | 1,584 | 1,539 | 1,470 | 1,521 | 1,559 | 1,464 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | 1,523 | | |

Dengan perkuatan $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

| Lapisan | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 35,94 | 36,37 | 36,62 | 36,24 | 36,47 | 36,52 | 36,14 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 17,70 | 18,30 | 18,60 | 18,00 | 18,40 | 18,50 | 17,90 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 |
| 5. γ_w | gr/cm ³ | 1,569 | 1,727 | 1,755 | 1,596 | 1,736 | 1,745 | 1,587 |
| 6. Berat Ring + Tnh Kering | gr | 34,15 | 34,53 | 34,72 | 34,42 | 34,68 | 34,65 | 34,49 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 15,91 | 16,46 | 16,70 | 16,18 | 16,61 | 16,63 | 16,25 |
| 8. Berat Air | gr | 1,79 | 1,84 | 1,90 | 1,82 | 1,79 | 1,87 | 1,65 |
| 9. Kadar Air | % | 11,25 | 11,18 | 11,38 | 11,25 | 10,78 | 11,24 | 10,15 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | 9,84 | | |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,410 | 1,553 | 1,576 | 1,434 | 1,567 | 1,569 | 1,440 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | 1,517 | | |

Dengan perkuatan $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

| Lapisan | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,54 | 35,37 | 36,42 | 36,84 | 34,67 | 36,42 | 36,14 | 35,77 | 36,02 | 36,54 | 37,07 | 35,72 | 36,74 | 35,57 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,30 | 17,30 | 18,40 | 18,60 | 16,60 | 18,40 | 17,90 | 17,70 | 18,00 | 18,30 | 19,00 | 17,70 | 18,50 | 17,50 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 |
| 5. γ_w | gr/cm ³ | 1,622 | 1,632 | 1,736 | 1,649 | 1,566 | 1,736 | 1,587 | 1,670 | 1,698 | 1,622 | 1,793 | 1,670 | 1,640 | 1,651 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 34,73 | 33,77 | 34,57 | 35,08 | 33,27 | 34,70 | 34,51 | 34,26 | 34,35 | 34,90 | 35,39 | 34,19 | 35,14 | 34,13 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,49 | 15,70 | 16,55 | 16,84 | 15,20 | 16,68 | 16,27 | 16,19 | 16,33 | 16,66 | 17,32 | 16,17 | 16,90 | 16,06 |
| 8. Berat Air | gr | 1,81 | 1,60 | 1,85 | 1,76 | 1,40 | 1,72 | 1,63 | 1,51 | 1,67 | 1,64 | 1,68 | 1,53 | 1,60 | 1,44 |
| 9. Kadar Air | % | 10,98 | 10,19 | 11,18 | 10,45 | 9,21 | 10,31 | 10,02 | 9,33 | 10,23 | 9,84 | 9,70 | 9,46 | 9,47 | 8,97 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | 9,86 |
| 11. y_d | gr/cm ³ | 1,462 | 1,481 | 1,561 | 1,493 | 1,434 | 1,574 | 1,442 | 1,528 | 1,541 | 1,477 | 1,634 | 1,526 | 1,498 | 1,515 |
| 12. y_d rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | 1,514 |

Dengan perkuatan $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,25$

| Lapisan | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | | | | | | |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,30 | | | | | | |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | | | | | | |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,14 | 36,77 | 35,92 | 36,04 | 36,17 | 36,32 | 36,54 | 35,67 | 36,32 | 36,24 | 36,67 | 36,42 | 35,84 | 36,47 | 36,62 | 36,44 | | | | | |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 17,90 | 18,70 | 17,90 | 17,80 | 18,10 | 18,30 | 18,30 | 17,60 | 18,30 | 18,00 | 18,60 | 18,40 | 17,60 | 18,40 | 18,60 | 18,00 | | | | | |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | | | | | |
| 5. γ_w | gr/cm ³ | 1,587 | 1,764 | 1,689 | 1,578 | 1,708 | 1,727 | 1,622 | 1,661 | 1,727 | 1,596 | 1,755 | 1,736 | 1,560 | 1,736 | 1,755 | 1,613 | 1,698 | 1,689 | 1,596 | 1,736 | 1,717 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 34,41 | 35,91 | 34,24 | 34,39 | 34,47 | 34,60 | 35,83 | 34,05 | 34,65 | 34,61 | 34,93 | 34,72 | 34,23 | 34,76 | 34,96 | 34,80 | 34,48 | 34,32 | 34,54 | 34,76 | 34,52 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,17 | 17,84 | 16,22 | 16,15 | 16,40 | 16,58 | 17,59 | 15,98 | 16,63 | 16,37 | 16,86 | 16,70 | 15,99 | 16,69 | 16,94 | 16,56 | 16,41 | 16,30 | 16,30 | 16,69 | 16,50 |
| 8. Berat Air | gr | 1,73 | 0,86 | 1,68 | 1,65 | 1,70 | 1,72 | 0,71 | 1,62 | 1,67 | 1,63 | 1,74 | 1,70 | 1,61 | 1,71 | 1,66 | 1,64 | 1,59 | 1,60 | 1,70 | 1,71 | 1,70 |
| 9. Kadar Air | % | 10,70 | 4,82 | 10,36 | 10,22 | 10,37 | 10,37 | 4,04 | 10,14 | 10,04 | 9,96 | 10,32 | 10,18 | 10,07 | 10,25 | 9,80 | 9,90 | 9,69 | 9,82 | 10,43 | 10,25 | 10,30 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. y_d | gr/cm ³ | 1,433 | 1,683 | 1,530 | 1,432 | 1,547 | 1,564 | 1,559 | 1,508 | 1,569 | 1,451 | 1,591 | 1,576 | 1,417 | 1,575 | 1,598 | 1,468 | 1,548 | 1,538 | 1,445 | 1,575 | 1,557 |
| 12. y_d rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Dengan perkuatan $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

| Lapisan | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,30 | |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,14 | 36,27 | 35,52 | 35,94 | 35,57 | 36,22 | 36,54 | 36,77 | 35,82 | 36,44 | 36,27 | 36,22 | 35,94 | 36,07 | 35,62 | 35,84 | 36,77 | 35,52 | 37,04 | 36,57 | 36,32 | |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 17,80 | 18,20 | 17,50 | 17,70 | 17,50 | 18,20 | 18,30 | 18,70 | 17,80 | 18,20 | 18,20 | 18,20 | 18,20 | 17,70 | 18,00 | 17,60 | 17,60 | 18,70 | 17,50 | 18,80 | 18,30 | |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | |
| 5. γ_w | gr/cm ³ | 1,578 | 1,717 | 1,651 | 1,569 | 1,651 | 1,717 | 1,622 | 1,764 | 1,679 | 1,613 | 1,717 | 1,717 | 1,717 | 1,569 | 1,698 | 1,661 | 1,560 | 1,764 | 1,651 | 1,666 | 1,745 | 1,727 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 34,51 | 34,57 | 33,99 | 34,29 | 33,92 | 34,47 | 34,82 | 35,03 | 34,12 | 34,63 | 34,52 | 34,43 | 34,43 | 35,53 | 34,23 | 34,16 | 35,04 | 33,73 | 35,38 | 34,90 | 34,56 | |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,27 | 16,50 | 15,97 | 16,05 | 15,85 | 16,45 | 16,58 | 16,96 | 16,10 | 16,39 | 16,45 | 16,41 | 16,19 | 17,46 | 16,21 | 15,92 | 16,97 | 15,71 | 17,14 | 16,83 | 16,54 | |
| 8. Berat Air | gr | 1,53 | 1,70 | 1,53 | 1,65 | 1,65 | 1,75 | 1,72 | 1,74 | 1,70 | 1,81 | 1,75 | 1,79 | 1,51 | 0,54 | 1,39 | 1,68 | 1,73 | 1,79 | 1,66 | 1,67 | 1,76 | |
| 9. Kadar Air | % | 9,40 | 10,30 | 9,58 | 10,28 | 10,41 | 10,64 | 10,37 | 10,26 | 10,56 | 11,04 | 10,64 | 10,91 | 9,33 | 3,09 | 8,57 | 10,57 | 10,19 | 11,39 | 9,68 | 9,92 | 10,64 | |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. y_d | gr/cm ³ | 1,442 | 1,557 | 1,507 | 1,423 | 1,495 | 1,552 | 1,470 | 1,600 | 1,519 | 1,453 | 1,552 | 1,548 | 1,435 | 1,647 | 1,529 | 1,411 | 1,601 | 1,482 | 1,519 | 1,588 | 1,561 | |
| 12. y_d rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Dengan perkuatan $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

| Lapisan | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,84 | 36,87 | 36,22 | 36,34 | 36,27 | 36,72 | 36,04 | 35,87 | 35,92 | 36,44 | 36,37 | 36,62 | 36,34 | 36,77 | 36,02 | 36,94 | 34,57 | 36,02 | 36,74 | 36,47 | 36,32 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,60 | 18,80 | 18,20 | 18,10 | 18,20 | 18,70 | 17,80 | 17,80 | 17,90 | 18,20 | 18,30 | 18,60 | 18,10 | 18,70 | 18,00 | 18,70 | 16,50 | 18,00 | 18,50 | 18,40 | 18,30 |
| 4. Volume Tanah | cm³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 |
| 5. γw | gr/cm³ | 1,649 | 1,774 | 1,717 | 1,604 | 1,717 | 1,764 | 1,578 | 1,679 | 1,689 | 1,613 | 1,727 | 1,755 | 1,604 | 1,764 | 1,698 | 1,658 | 1,557 | 1,698 | 1,640 | 1,736 | 1,727 |
| 6. Berat Ring + Tnh Kering | gr | 35,05 | 35,02 | 34,38 | 34,68 | 34,52 | 34,89 | 34,36 | 34,18 | 34,28 | 34,82 | 34,83 | 35,04 | 34,65 | 35,16 | 34,47 | 35,25 | 33,13 | 34,53 | 35,14 | 34,82 | 34,70 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,81 | 16,95 | 16,36 | 16,44 | 16,45 | 16,87 | 16,12 | 16,11 | 16,26 | 16,58 | 16,76 | 17,02 | 16,41 | 17,09 | 16,45 | 17,01 | 15,06 | 16,51 | 16,90 | 16,75 | 16,68 |
| 8. Berat Air | gr | 1,79 | 1,85 | 1,84 | 1,66 | 1,75 | 1,83 | 1,68 | 1,69 | 1,64 | 1,62 | 1,54 | 1,58 | 1,69 | 1,61 | 1,55 | 1,69 | 1,44 | 1,49 | 1,60 | 1,65 | 1,62 |
| 9. Kadar Air | % | 10,65 | 10,91 | 11,25 | 10,10 | 10,64 | 10,85 | 10,42 | 10,49 | 10,09 | 9,77 | 9,19 | 9,28 | 10,30 | 9,42 | 9,42 | 9,94 | 9,56 | 9,02 | 9,47 | 9,85 | 9,71 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | 10,02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. yd rata-rata | gr/cm³ | 1,490 | 1,599 | 1,544 | 1,457 | 1,552 | 1,592 | 1,429 | 1,520 | 1,534 | 1,470 | 1,581 | 1,606 | 1,455 | 1,612 | 1,552 | 1,508 | 1,421 | 1,558 | 1,498 | 1,580 | 1,574 |
| 12. yd rata-rata | gr | 1,530 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Dengan perkuatan $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,25$

| Lapisan | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 35,74 | 36,37 | 35,62 | 35,74 | 36,37 | 36,04 | 36,42 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 17,50 | 18,30 | 17,60 | 17,50 | 18,30 | 18,00 | 18,40 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 |
| 5. ρw | gr/cm ³ | 1,551 | 1,727 | 1,661 | 1,551 | 1,727 | 1,717 | 1,578 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 34,08 | 34,71 | 33,93 | 34,11 | 34,64 | 34,53 | 34,44 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 15,84 | 16,64 | 15,91 | 15,87 | 16,57 | 16,51 | 16,20 |
| 8. Berat Air | gr | 1,66 | 1,66 | 1,69 | 1,63 | 1,73 | 1,69 | 1,60 |
| 9. Kadar Air | % | 10,48 | 9,98 | 10,62 | 10,27 | 10,44 | 10,24 | 9,88 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | 10,03 |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,404 | 1,570 | 1,501 | 1,407 | 1,563 | 1,558 | 1,436 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | 1,510 |

Dengan perkuatan $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

| Lapisan | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,94 | 35,27 | 36,72 | 36,04 | 36,07 | 36,12 | 37,74 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,70 | 17,20 | 18,70 | 17,80 | 18,00 | 18,10 | 19,50 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 |
| 5. ρw | gr/cm ³ | 1,658 | 1,623 | 1,764 | 1,578 | 1,698 | 1,708 | 1,728 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 35,17 | 33,74 | 35,02 | 34,38 | 34,34 | 34,37 | 36,02 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 16,93 | 15,67 | 17,00 | 16,14 | 16,27 | 16,35 | 17,78 |
| 8. Berat Air | gr | 1,77 | 1,53 | 1,70 | 1,66 | 1,73 | 1,75 | 1,72 |
| 9. Kadar Air | % | 10,45 | 9,76 | 10,00 | 10,29 | 10,63 | 10,70 | 9,67 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | 10,03 |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,501 | 1,478 | 1,604 | 1,431 | 1,535 | 1,543 | 1,576 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | 1,523 |

Dengan perkuatan $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

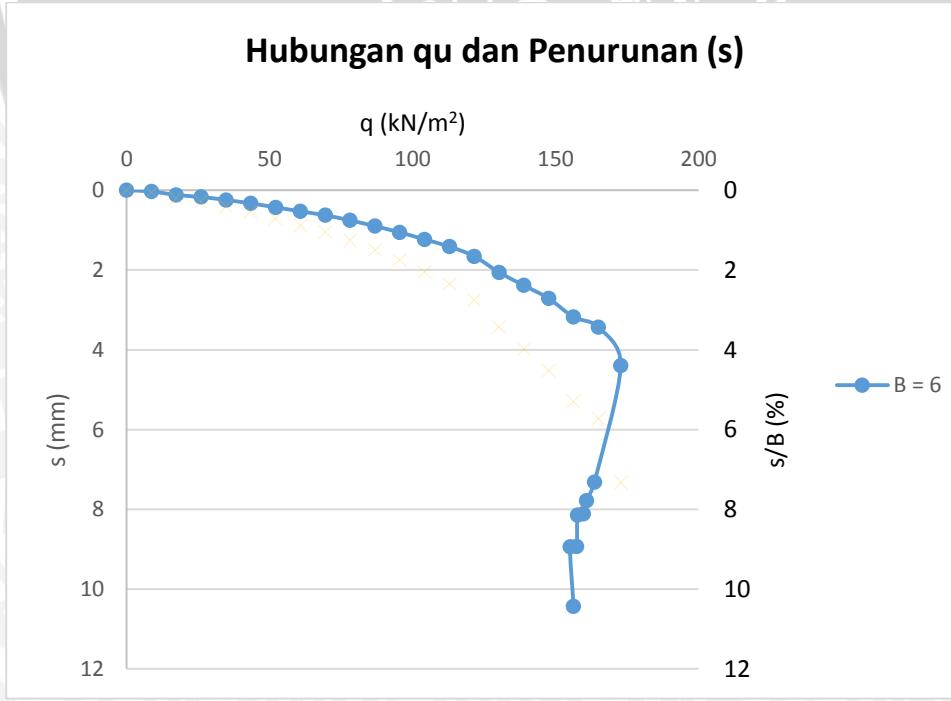
| Lapisan | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring | cm | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 | 2,60 | 2,55 | 2,55 |
| Diameter Ring | cm | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,30 | 2,30 | 2,30 |
| 1. Berat Ring | gr | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 | 18,24 | 18,07 | 18,02 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah | gr | 36,84 | 36,87 | 36,22 | 37,34 | 36,27 | 36,02 | 37,14 | 36,27 | 36,72 | 37,04 | 35,37 | 36,52 | 37,54 | 36,47 | 35,22 | 37,24 | 35,57 | 35,62 | 36,04 | 37,37 | 36,12 |
| 3. Berat Tanah Basah | gr | 18,60 | 18,80 | 18,20 | 19,10 | 18,20 | 18,00 | 18,90 | 18,20 | 18,70 | 18,80 | 17,30 | 18,50 | 19,30 | 18,40 | 17,20 | 19,00 | 17,50 | 17,60 | 17,80 | 19,30 | 18,10 |
| 4. Volume Tanah | cm ³ | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 | 11,28 | 10,60 | 10,60 |
| 5. yw | gr/cm ³ | 1,649 | 1,774 | 1,717 | 1,693 | 1,717 | 1,698 | 1,675 | 1,717 | 1,764 | 1,666 | 1,632 | 1,745 | 1,711 | 1,736 | 1,623 | 1,684 | 1,651 | 1,661 | 1,578 | 1,821 | 1,708 |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering | gr | 35,25 | 35,09 | 34,51 | 35,40 | 34,51 | 34,28 | 35,25 | 34,64 | 35,04 | 35,32 | 33,77 | 34,89 | 35,85 | 34,82 | 33,68 | 35,62 | 34,12 | 34,06 | 34,54 | 35,57 | 34,38 |
| 7. Berat Tanah Kering | gr | 17,01 | 17,02 | 16,49 | 17,16 | 16,44 | 16,26 | 17,01 | 16,57 | 17,02 | 17,08 | 15,70 | 16,87 | 17,61 | 16,75 | 15,66 | 17,38 | 16,05 | 16,04 | 16,30 | 17,50 | 16,36 |
| 8. Berat Air | gr | 1,59 | 1,78 | 1,71 | 1,94 | 1,76 | 1,74 | 1,89 | 1,63 | 1,68 | 1,72 | 1,60 | 1,63 | 1,69 | 1,65 | 1,54 | 1,62 | 1,45 | 1,56 | 1,50 | 1,80 | 1,74 |
| 9. Kadar Air | % | 9,35 | 10,46 | 10,37 | 11,31 | 10,71 | 10,70 | 11,11 | 9,84 | 9,87 | 10,07 | 10,19 | 9,66 | 9,60 | 9,85 | 9,83 | 9,32 | 9,03 | 9,73 | 9,20 | 10,29 | 10,64 |
| 10. Kadar Air Rata-Rata | % | | | | | | | | | | | | | | | 10,05 | | | | | | |
| 11. yd | gr/cm ³ | 1,508 | 1,606 | 1,556 | 1,521 | 1,551 | 1,534 | 1,508 | 1,563 | 1,606 | 1,514 | 1,481 | 1,592 | 1,561 | 1,580 | 1,478 | 1,541 | 1,514 | 1,513 | 1,445 | 1,651 | 1,544 |
| 12. yd rata-rata | gr | | | | | | | | | | | | | | | 1,541 | | | | | | |

Lampiran 6. Rekapitulasi Data Daya Dukung dan Penurunan Hasil Eksperimen

Tanpa Perkuatan

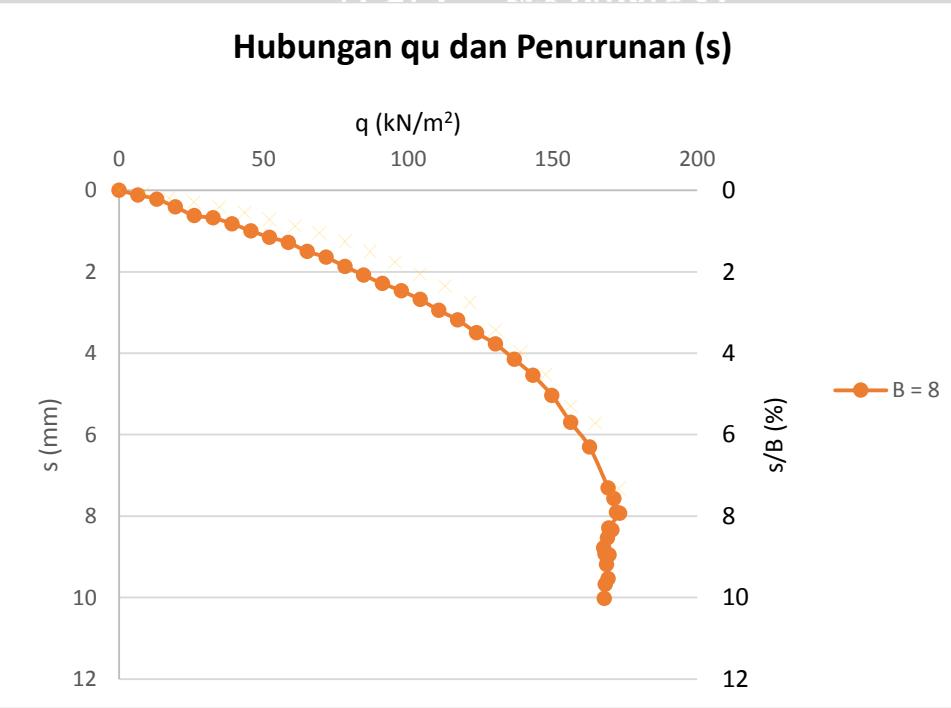
1. $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|---------------------------|--------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -2777 | -1651 | -27,770 | -8,255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -2775 | -1643 | -27,750 | -8,215 | 0,020 | 0,040 | 0,030 | 0,050 | 0,087 | 8,681 |
| 100 | -2769 | -1620 | -27,690 | -8,100 | 0,080 | 0,155 | 0,118 | 0,196 | 0,174 | 17,361 |
| 150 | -2762 | -1614 | -27,620 | -8,070 | 0,150 | 0,185 | 0,168 | 0,279 | 0,260 | 26,042 |
| 200 | -2754 | -1600 | -27,540 | -8,000 | 0,230 | 0,255 | 0,243 | 0,404 | 0,347 | 34,722 |
| 250 | -2746 | -1582 | -27,460 | -7,910 | 0,310 | 0,345 | 0,328 | 0,546 | 0,434 | 43,403 |
| 300 | -2736 | -1562 | -27,360 | -7,810 | 0,410 | 0,445 | 0,428 | 0,713 | 0,521 | 52,083 |
| 350 | -2727 | -1540 | -27,270 | -7,700 | 0,500 | 0,555 | 0,528 | 0,879 | 0,608 | 60,764 |
| 400 | -2718 | -1518 | -27,180 | -7,590 | 0,590 | 0,665 | 0,628 | 1,046 | 0,694 | 69,444 |
| 450 | -2707 | -1490 | -27,070 | -7,450 | 0,700 | 0,805 | 0,753 | 1,254 | 0,781 | 78,125 |
| 500 | -2695 | -1455 | -26,950 | -7,275 | 0,820 | 0,980 | 0,900 | 1,500 | 0,868 | 86,806 |
| 550 | -2682 | -1419 | -26,820 | -7,095 | 0,950 | 1,160 | 1,055 | 1,758 | 0,955 | 95,486 |
| 600 | -2666 | -1380 | -26,660 | -6,900 | 1,110 | 1,355 | 1,233 | 2,054 | 1,042 | 104,167 |
| 650 | -2650 | -1340 | -26,500 | -6,700 | 1,270 | 1,555 | 1,413 | 2,354 | 1,128 | 112,847 |
| 700 | -2630 | -1283 | -26,300 | -6,415 | 1,470 | 1,840 | 1,655 | 2,758 | 1,215 | 121,528 |
| 750 | -2597 | -1188 | -25,970 | -5,940 | 1,800 | 2,315 | 2,058 | 3,429 | 1,302 | 130,208 |
| 800 | -2571 | -1109 | -25,710 | -5,545 | 2,060 | 2,710 | 2,385 | 3,975 | 1,389 | 138,889 |
| 850 | -2545 | -1030 | -25,450 | -5,150 | 2,320 | 3,105 | 2,713 | 4,521 | 1,476 | 147,569 |
| 900 | -2506 | -922 | -25,060 | -4,610 | 2,710 | 3,645 | 3,178 | 5,296 | 1,563 | 156,250 |
| 950 | -2485 | -861 | -24,850 | -4,305 | 2,920 | 3,950 | 3,435 | 5,725 | 1,649 | 164,931 |
| 995 | -2413 | -620 | -24,130 | -3,100 | 3,640 | 5,155 | 4,398 | 7,329 | 1,727 | 172,743 |
| 942 | -2157 | 35 | -21,570 | 0,175 | 6,200 | 8,430 | 7,315 | 12,192 | 1,635 | 163,542 |
| 926 | -2109 | 126 | -21,090 | 0,630 | 6,680 | 8,885 | 7,783 | 12,971 | 1,608 | 160,764 |
| 920 | -2078 | 196 | -20,780 | 0,980 | 6,990 | 9,235 | 8,113 | 13,521 | 1,597 | 159,722 |
| 908 | -2077 | 207 | -20,770 | 1,035 | 7,000 | 9,290 | 8,145 | 13,575 | 1,576 | 157,639 |
| 906 | -2000 | 366 | -20,000 | 1,830 | 7,770 | 10,085 | 8,928 | 14,879 | 1,573 | 157,292 |
| 893 | -1999 | 368 | -19,990 | 1,840 | 7,780 | 10,095 | 8,938 | 14,896 | 1,550 | 155,035 |
| 900 | -1863 | 694 | -18,630 | 3,470 | 9,140 | 11,725 | 10,433 | 17,388 | 1,563 | 156,250 |



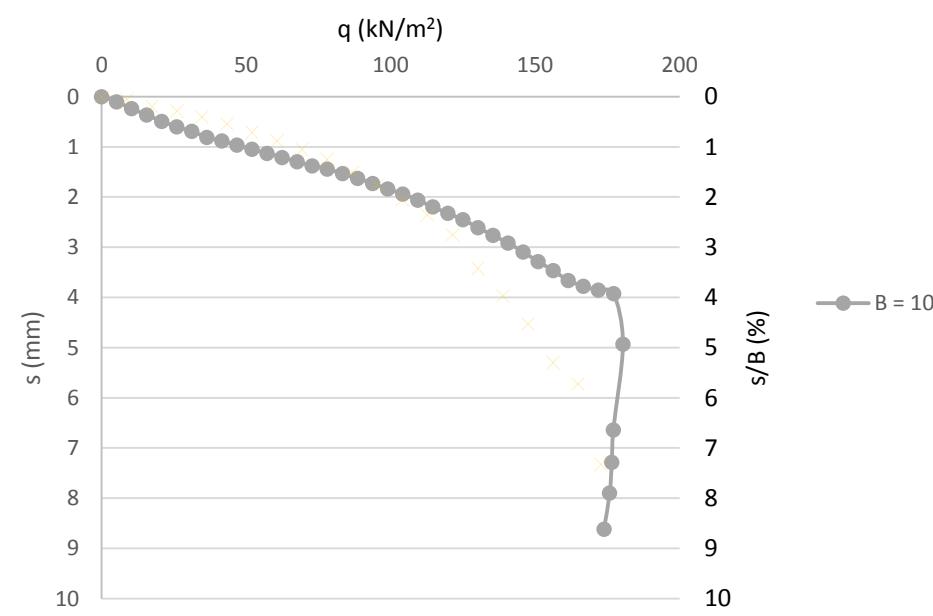
2. $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

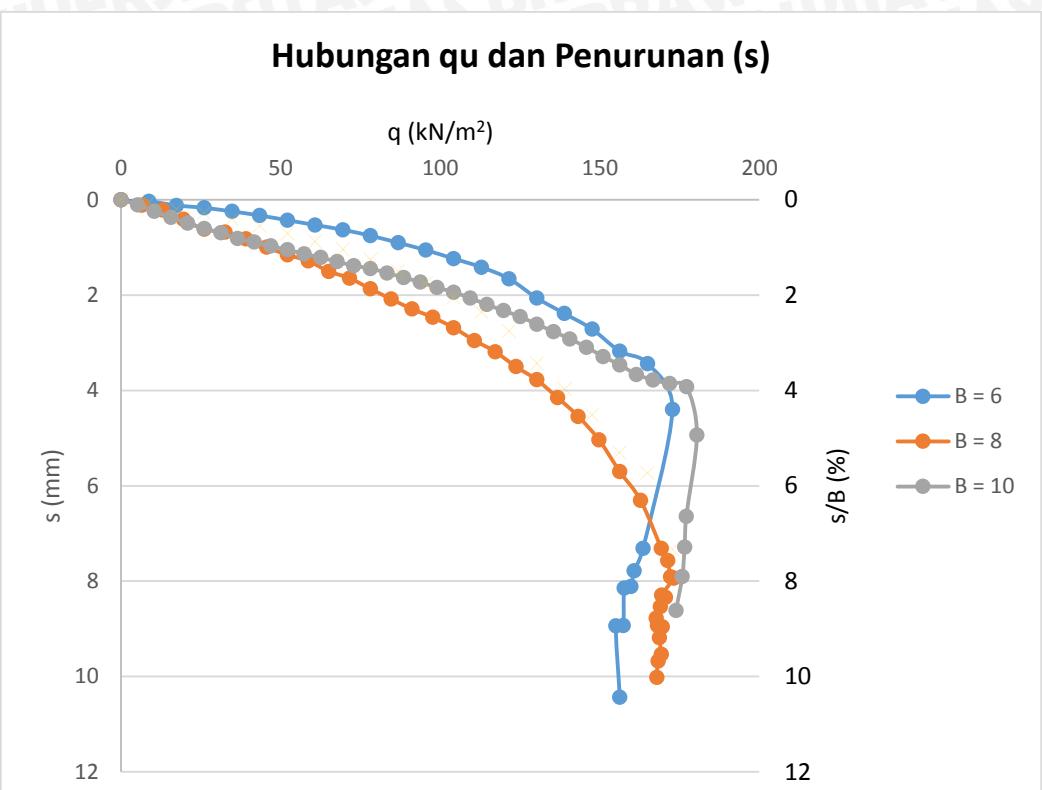
| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | $q (\text{kg/cm}^2)$ | $q (\text{kN/m}^2)$ |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|----------------------|---------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -2597 | -3760 | -25,970 | -18,800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -2585 | -3738 | -25,850 | -18,690 | 0,120 | 0,110 | 0,115 | 0,144 | 0,065 | 6,510 |
| 100 | -2577 | -3714 | -25,770 | -18,570 | 0,200 | 0,230 | 0,215 | 0,269 | 0,130 | 13,021 |
| 150 | -2550 | -3690 | -25,500 | -18,450 | 0,470 | 0,350 | 0,410 | 0,513 | 0,195 | 19,531 |
| 200 | -2525 | -3657 | -25,250 | -18,285 | 0,720 | 0,515 | 0,618 | 0,772 | 0,260 | 26,042 |
| 250 | -2523 | -3637 | -25,230 | -18,185 | 0,740 | 0,615 | 0,678 | 0,847 | 0,326 | 32,552 |
| 300 | -2509 | -3608 | -25,090 | -18,040 | 0,880 | 0,760 | 0,820 | 1,025 | 0,391 | 39,063 |
| 350 | -2490 | -3576 | -24,900 | -17,880 | 1,070 | 0,920 | 0,995 | 1,244 | 0,456 | 45,573 |
| 400 | -2475 | -3543 | -24,750 | -17,715 | 1,220 | 1,085 | 1,153 | 1,441 | 0,521 | 52,083 |
| 450 | -2466 | -3509 | -24,660 | -17,545 | 1,310 | 1,255 | 1,283 | 1,603 | 0,586 | 58,594 |
| 500 | -2440 | -3474 | -24,400 | -17,370 | 1,570 | 1,430 | 1,500 | 1,875 | 0,651 | 65,104 |
| 550 | -2428 | -3440 | -24,280 | -17,200 | 1,690 | 1,600 | 1,645 | 2,056 | 0,716 | 71,615 |
| 600 | -2401 | -3405 | -24,010 | -17,025 | 1,960 | 1,775 | 1,868 | 2,334 | 0,781 | 78,125 |
| 650 | -2375 | -3371 | -23,750 | -16,855 | 2,220 | 1,945 | 2,083 | 2,603 | 0,846 | 84,635 |
| 700 | -2352 | -3334 | -23,520 | -16,670 | 2,450 | 2,130 | 2,290 | 2,863 | 0,911 | 91,146 |
| 750 | -2337 | -3294 | -23,370 | -16,470 | 2,600 | 2,330 | 2,465 | 3,081 | 0,977 | 97,656 |
| 800 | -2314 | -3253 | -23,140 | -16,265 | 2,830 | 2,535 | 2,683 | 3,353 | 1,042 | 104,167 |
| 850 | -2282 | -3210 | -22,820 | -16,050 | 3,150 | 2,750 | 2,950 | 3,688 | 1,107 | 110,677 |
| 900 | -2255 | -3170 | -22,550 | -15,850 | 3,420 | 2,950 | 3,185 | 3,981 | 1,172 | 117,188 |
| 950 | -2217 | -3120 | -22,170 | -15,600 | 3,800 | 3,200 | 3,500 | 4,375 | 1,237 | 123,698 |
| 1000 | -2188 | -3068 | -21,880 | -15,340 | 4,090 | 3,460 | 3,775 | 4,719 | 1,302 | 130,208 |
| 1050 | -2142 | -3011 | -21,420 | -15,055 | 4,550 | 3,745 | 4,148 | 5,184 | 1,367 | 136,719 |
| 1100 | -2097 | -2943 | -20,970 | -14,715 | 5,000 | 4,085 | 4,543 | 5,678 | 1,432 | 143,229 |
| 1150 | -2040 | -2859 | -20,400 | -14,295 | 5,570 | 4,505 | 5,038 | 6,297 | 1,497 | 149,740 |
| 1200 | -1956 | -2762 | -19,560 | -13,810 | 6,410 | 4,990 | 5,700 | 7,125 | 1,563 | 156,250 |
| 1250 | -1879 | -2675 | -18,790 | -13,375 | 7,180 | 5,425 | 6,303 | 7,878 | 1,628 | 162,760 |
| 1300 | -1750 | -2529 | -17,500 | -12,645 | 8,470 | 6,155 | 7,313 | 9,141 | 1,693 | 169,271 |
| 1315 | -1716 | -2494 | -17,160 | -12,470 | 8,810 | 6,330 | 7,570 | 9,463 | 1,712 | 171,224 |
| 1322 | -1673 | -2445 | -16,730 | -12,225 | 9,240 | 6,575 | 7,908 | 9,884 | 1,721 | 172,135 |
| 1330 | -1670 | -2440 | -16,700 | -12,200 | 9,270 | 6,600 | 7,935 | 9,919 | 1,732 | 173,177 |
| 1301 | -1615 | -2407 | -16,150 | -12,035 | 9,820 | 6,765 | 8,293 | 10,366 | 1,694 | 169,401 |
| 1310 | -1609 | -2401 | -16,090 | -12,005 | 9,880 | 6,795 | 8,338 | 10,422 | 1,706 | 170,573 |
| 1298 | -1579 | -2381 | -15,790 | -11,905 | 10,180 | 6,895 | 8,538 | 10,672 | 1,690 | 169,010 |
| 1288 | -1543 | -2357 | -15,430 | -11,785 | 10,540 | 7,015 | 8,778 | 10,972 | 1,677 | 167,708 |
| 1291 | -1522 | -2337 | -15,220 | -11,685 | 10,750 | 7,115 | 8,933 | 11,166 | 1,681 | 168,099 |
| 1302 | -1522 | -2328 | -15,220 | -11,640 | 10,750 | 7,160 | 8,955 | 11,194 | 1,695 | 169,531 |
| 1295 | -1485 | -2309 | -14,850 | -11,545 | 11,120 | 7,255 | 9,188 | 11,484 | 1,686 | 168,620 |
| 1300 | -1436 | -2269 | -14,360 | -11,345 | 11,610 | 7,455 | 9,533 | 11,916 | 1,693 | 169,271 |
| 1292 | -1398 | -2288 | -13,980 | -11,440 | 11,990 | 7,360 | 9,675 | 12,094 | 1,682 | 168,229 |
| 1289 | -1368 | -2210 | -13,680 | -11,050 | 12,290 | 7,750 | 10,020 | 12,525 | 1,678 | 167,839 |



3. $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | $q (\text{kg/cm}^2)$ | $q (\text{kN/m}^2)$ |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|----------------------|---------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -3907 | -1852 | -39,070 | -9,260 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -3899 | -1827 | -38,990 | -9,135 | 0,080 | 0,125 | 0,102 | 0,102 | 0,052 | 5,208 |
| 100 | -3888 | -1794 | -38,880 | -8,970 | 0,190 | 0,290 | 0,240 | 0,240 | 0,104 | 10,417 |
| 150 | -3879 | -1762 | -38,790 | -8,810 | 0,280 | 0,450 | 0,365 | 0,365 | 0,156 | 15,625 |
| 200 | -3869 | -1732 | -38,690 | -8,660 | 0,380 | 0,600 | 0,490 | 0,490 | 0,208 | 20,833 |
| 250 | -3859 | -1707 | -38,590 | -8,535 | 0,480 | 0,725 | 0,602 | 0,602 | 0,260 | 26,042 |
| 300 | -3851 | -1687 | -38,510 | -8,435 | 0,560 | 0,825 | 0,693 | 0,693 | 0,313 | 31,250 |
| 350 | -3840 | -1661 | -38,400 | -8,305 | 0,670 | 0,955 | 0,813 | 0,813 | 0,365 | 36,458 |
| 400 | -3834 | -1645 | -38,340 | -8,225 | 0,730 | 1,035 | 0,882 | 0,882 | 0,417 | 41,667 |
| 450 | -3827 | -1625 | -38,270 | -8,125 | 0,800 | 1,135 | 0,967 | 0,967 | 0,469 | 46,875 |
| 500 | -3820 | -1607 | -38,200 | -8,035 | 0,870 | 1,225 | 1,048 | 1,048 | 0,521 | 52,083 |
| 550 | -3813 | -1588 | -38,130 | -7,940 | 0,940 | 1,320 | 1,130 | 1,130 | 0,573 | 57,292 |
| 600 | -3806 | -1570 | -38,060 | -7,850 | 1,010 | 1,410 | 1,210 | 1,210 | 0,625 | 62,500 |
| 650 | -3799 | -1549 | -37,990 | -7,745 | 1,080 | 1,515 | 1,298 | 1,298 | 0,677 | 67,708 |
| 700 | -3792 | -1530 | -37,920 | -7,650 | 1,150 | 1,610 | 1,380 | 1,380 | 0,729 | 72,917 |
| 750 | -3785 | -1520 | -37,850 | -7,600 | 1,220 | 1,660 | 1,440 | 1,440 | 0,781 | 78,125 |
| 800 | -3777 | -1498 | -37,770 | -7,490 | 1,300 | 1,770 | 1,535 | 1,535 | 0,833 | 83,333 |
| 850 | -3769 | -1476 | -37,690 | -7,380 | 1,380 | 1,880 | 1,630 | 1,630 | 0,885 | 88,542 |
| 900 | -3760 | -1455 | -37,600 | -7,275 | 1,470 | 1,985 | 1,728 | 1,728 | 0,938 | 93,750 |
| 950 | -3750 | -1430 | -37,500 | -7,150 | 1,570 | 2,110 | 1,840 | 1,840 | 0,990 | 98,958 |
| 1000 | -3741 | -1409 | -37,410 | -7,045 | 1,660 | 2,215 | 1,938 | 1,938 | 1,042 | 104,167 |
| 1050 | -3730 | -1382 | -37,300 | -6,910 | 1,770 | 2,350 | 2,060 | 2,060 | 1,094 | 109,375 |
| 1100 | -3718 | -1351 | -37,180 | -6,755 | 1,890 | 2,505 | 2,198 | 2,198 | 1,146 | 114,583 |
| 1150 | -3706 | -1325 | -37,060 | -6,625 | 2,010 | 2,635 | 2,323 | 2,323 | 1,198 | 119,792 |
| 1200 | -3695 | -1295 | -36,950 | -6,475 | 2,120 | 2,785 | 2,453 | 2,453 | 1,250 | 125,000 |
| 1250 | -3681 | -1261 | -36,810 | -6,305 | 2,260 | 2,955 | 2,608 | 2,608 | 1,302 | 130,208 |
| 1300 | -3667 | -1227 | -36,670 | -6,135 | 2,400 | 3,125 | 2,763 | 2,763 | 1,354 | 135,417 |
| 1350 | -3653 | -1193 | -36,530 | -5,965 | 2,540 | 3,295 | 2,918 | 2,918 | 1,406 | 140,625 |
| 1400 | -3637 | -1155 | -36,370 | -5,775 | 2,700 | 3,485 | 3,093 | 3,093 | 1,458 | 145,833 |
| 1450 | -3619 | -1113 | -36,190 | -5,565 | 2,880 | 3,695 | 3,288 | 3,288 | 1,510 | 151,042 |
| 1500 | -3603 | -1075 | -36,030 | -5,375 | 3,040 | 3,885 | 3,463 | 3,463 | 1,563 | 156,250 |
| 1550 | -3585 | -1031 | -35,850 | -5,155 | 3,220 | 4,105 | 3,663 | 3,663 | 1,615 | 161,458 |
| 1600 | -3575 | -1005 | -35,750 | -5,025 | 3,320 | 4,235 | 3,778 | 3,778 | 1,667 | 166,667 |
| 1650 | -3568 | -988 | -35,680 | -4,940 | 3,390 | 4,320 | 3,855 | 3,855 | 1,719 | 171,875 |
| 1701 | -3562 | -973 | -35,620 | -4,865 | 3,450 | 4,395 | 3,923 | 3,923 | 1,772 | 177,188 |
| 1732 | -3472 | -749 | -34,720 | -3,745 | 4,350 | 5,515 | 4,933 | 4,933 | 1,804 | 180,417 |
| 1700 | -3319 | -371 | -33,190 | -1,855 | 5,880 | 7,405 | 6,643 | 6,643 | 1,771 | 177,083 |
| 1695 | -3263 | -227 | -32,630 | -1,135 | 6,440 | 8,125 | 7,283 | 7,283 | 1,766 | 176,563 |
| 1688 | -3211 | -84 | -32,110 | -0,420 | 6,960 | 8,840 | 7,900 | 7,900 | 1,758 | 175,833 |
| 1669 | -3146 | 72 | -31,460 | 0,360 | 7,610 | 9,620 | 8,615 | 8,615 | 1,739 | 173,854 |

Hubungan qu dan Penurunan (s)

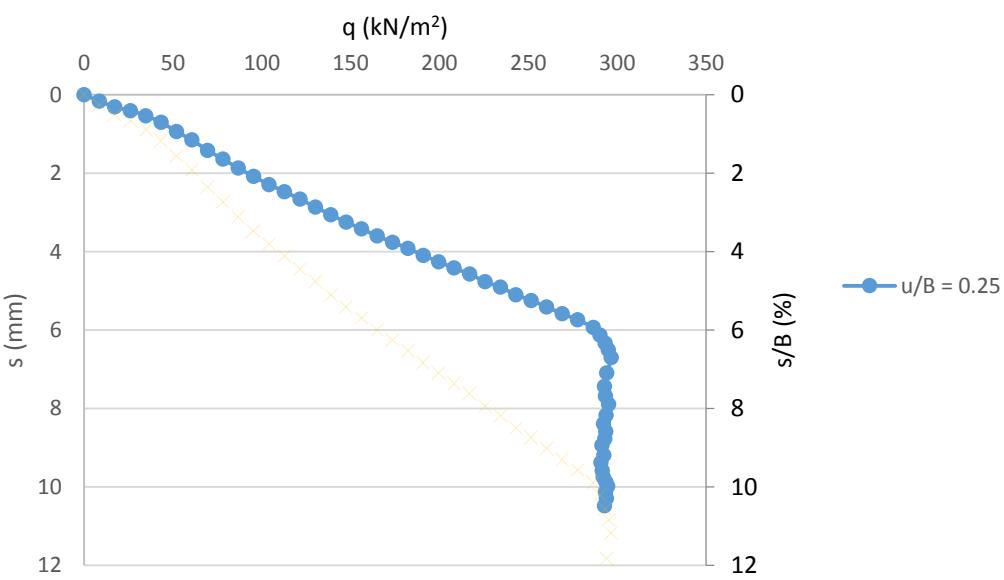


Dengan Perkuatan

1. B = 6 cm, d/B = 1, n = 3, u/B = 0,25

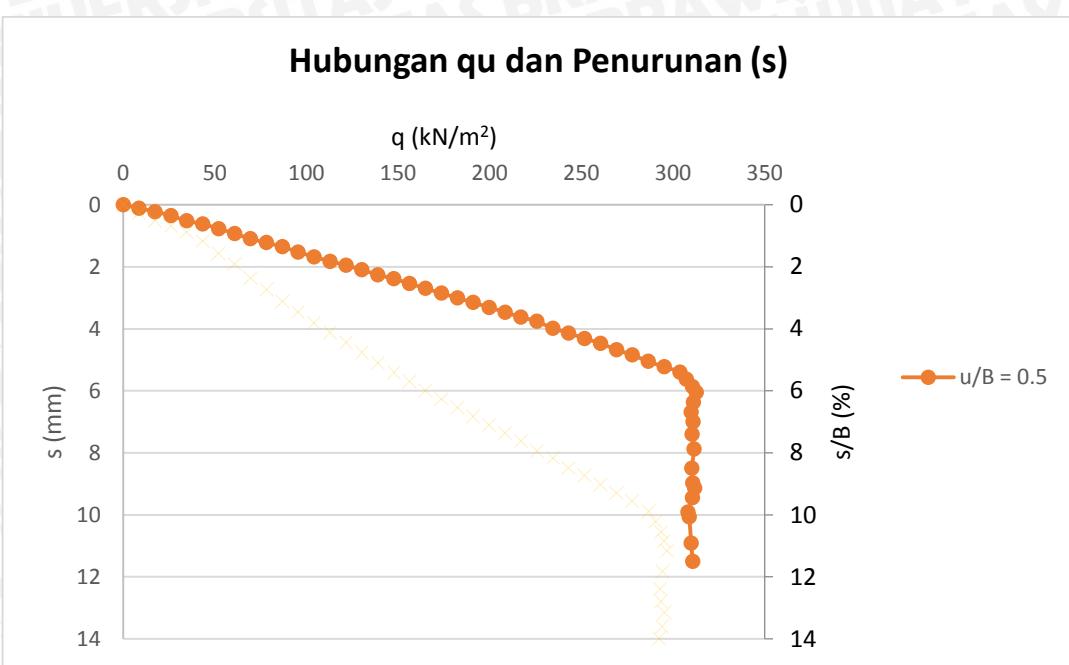
| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -3899 | -2345 | -38,990 | -11,725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -3883 | -2313 | -38,830 | -11,565 | 0,160 | 0,160 | 0,160 | 0,267 | 0,087 | 8,681 |
| 100 | -3868 | -2283 | -38,680 | -11,415 | 0,310 | 0,310 | 0,310 | 0,517 | 0,174 | 17,361 |
| 150 | -3858 | -2265 | -38,580 | -11,325 | 0,410 | 0,400 | 0,405 | 0,675 | 0,260 | 26,042 |
| 200 | -3844 | -2242 | -38,440 | -11,210 | 0,550 | 0,515 | 0,533 | 0,888 | 0,347 | 34,722 |
| 250 | -3830 | -2203 | -38,300 | -11,015 | 0,690 | 0,710 | 0,700 | 1,167 | 0,434 | 43,403 |
| 300 | -3810 | -2147 | -38,100 | -10,735 | 0,890 | 0,990 | 0,940 | 1,567 | 0,521 | 52,083 |
| 350 | -3793 | -2096 | -37,930 | -10,480 | 1,060 | 1,245 | 1,153 | 1,921 | 0,608 | 60,764 |
| 400 | -3771 | -2035 | -37,710 | -10,175 | 1,280 | 1,550 | 1,415 | 2,358 | 0,694 | 69,444 |
| 450 | -3752 | -1984 | -37,520 | -9,920 | 1,470 | 1,805 | 1,638 | 2,729 | 0,781 | 78,125 |
| 500 | -3732 | -1931 | -37,320 | -9,655 | 1,670 | 2,070 | 1,870 | 3,117 | 0,868 | 86,806 |
| 550 | -3713 | -1884 | -37,130 | -9,420 | 1,860 | 2,305 | 2,083 | 3,471 | 0,955 | 95,486 |
| 600 | -3694 | -1840 | -36,940 | -9,200 | 2,050 | 2,525 | 2,288 | 3,813 | 1,042 | 104,167 |
| 650 | -3678 | -1800 | -36,780 | -9,000 | 2,210 | 2,725 | 2,468 | 4,113 | 1,128 | 112,847 |
| 700 | -3660 | -1758 | -36,600 | -8,790 | 2,390 | 2,935 | 2,663 | 4,438 | 1,215 | 121,528 |
| 750 | -3642 | -1715 | -36,420 | -8,575 | 2,570 | 3,150 | 2,860 | 4,767 | 1,302 | 130,208 |
| 800 | -3623 | -1674 | -36,230 | -8,370 | 2,760 | 3,355 | 3,058 | 5,096 | 1,389 | 138,889 |
| 850 | -3605 | -1634 | -36,050 | -8,170 | 2,940 | 3,555 | 3,248 | 5,413 | 1,476 | 147,569 |
| 900 | -3589 | -1598 | -35,890 | -7,990 | 3,100 | 3,735 | 3,418 | 5,696 | 1,563 | 156,250 |
| 950 | -3572 | -1560 | -35,720 | -7,800 | 3,270 | 3,925 | 3,598 | 5,996 | 1,649 | 164,931 |
| 1000 | -3557 | -1526 | -35,570 | -7,630 | 3,420 | 4,095 | 3,758 | 6,263 | 1,736 | 173,611 |
| 1050 | -3541 | -1494 | -35,410 | -7,470 | 3,580 | 4,255 | 3,918 | 6,529 | 1,823 | 182,292 |
| 1100 | -3524 | -1457 | -35,240 | -7,285 | 3,750 | 4,440 | 4,095 | 6,825 | 1,910 | 190,972 |
| 1150 | -3508 | -1424 | -35,080 | -7,120 | 3,910 | 4,605 | 4,258 | 7,096 | 1,997 | 199,653 |
| 1200 | -3491 | -1394 | -34,910 | -6,970 | 4,080 | 4,755 | 4,418 | 7,363 | 2,083 | 208,333 |
| 1250 | -3477 | -1361 | -34,770 | -6,805 | 4,220 | 4,920 | 4,570 | 7,617 | 2,170 | 217,014 |
| 1300 | -3457 | -1324 | -34,570 | -6,620 | 4,420 | 5,105 | 4,763 | 7,938 | 2,257 | 225,694 |
| 1350 | -3443 | -1294 | -34,430 | -6,470 | 4,560 | 5,255 | 4,908 | 8,179 | 2,344 | 234,375 |
| 1400 | -3424 | -1256 | -34,240 | -6,280 | 4,750 | 5,445 | 5,098 | 8,496 | 2,431 | 243,056 |
| 1450 | -3410 | -1226 | -34,100 | -6,130 | 4,890 | 5,595 | 5,243 | 8,738 | 2,517 | 251,736 |
| 1500 | -3394 | -1191 | -33,940 | -5,955 | 5,050 | 5,770 | 5,410 | 9,017 | 2,604 | 260,417 |
| 1550 | -3377 | -1157 | -33,770 | -5,785 | 5,220 | 5,940 | 5,580 | 9,300 | 2,691 | 269,097 |
| 1600 | -3361 | -1126 | -33,610 | -5,630 | 5,380 | 6,095 | 5,738 | 9,563 | 2,778 | 277,778 |
| 1651 | -3342 | -1085 | -33,420 | -5,425 | 5,570 | 6,300 | 5,935 | 9,892 | 2,866 | 286,632 |
| 1673 | -3323 | -1047 | -33,230 | -5,235 | 5,760 | 6,490 | 6,125 | 10,208 | 2,905 | 290,451 |
| 1689 | -3302 | -1005 | -33,020 | -5,025 | 5,970 | 6,700 | 6,335 | 10,558 | 2,932 | 293,229 |
| 1700 | -3286 | -970 | -32,860 | -4,850 | 6,130 | 6,875 | 6,503 | 10,838 | 2,951 | 295,139 |
| 1709 | -3266 | -930 | -32,660 | -4,650 | 6,330 | 7,075 | 6,703 | 11,171 | 2,967 | 296,701 |
| 1695 | -3217 | -871 | -32,170 | -4,355 | 6,820 | 7,370 | 7,095 | 11,825 | 2,943 | 294,271 |
| 1687 | -3175 | -819 | -31,750 | -4,095 | 7,240 | 7,630 | 7,435 | 12,392 | 2,929 | 292,882 |
| 1690 | -3146 | -780 | -31,460 | -3,900 | 7,530 | 7,825 | 7,678 | 12,796 | 2,934 | 293,403 |
| 1701 | -3121 | -745 | -31,210 | -3,725 | 7,780 | 8,000 | 7,890 | 13,150 | 2,953 | 295,313 |
| 1693 | -3085 | -707 | -30,850 | -3,535 | 8,140 | 8,190 | 8,165 | 13,608 | 2,939 | 293,924 |
| 1684 | -3054 | -678 | -30,540 | -3,390 | 8,450 | 8,335 | 8,393 | 13,988 | 2,924 | 292,361 |
| 1691 | -3025 | -660 | -30,250 | -3,300 | 8,740 | 8,425 | 8,583 | 14,304 | 2,936 | 293,576 |
| 1688 | -2997 | -639 | -29,970 | -3,195 | 9,020 | 8,530 | 8,775 | 14,625 | 2,931 | 293,056 |
| 1679 | -2975 | -618 | -29,750 | -3,090 | 9,240 | 8,635 | 8,938 | 14,896 | 2,915 | 291,493 |
| 1685 | -2939 | -588 | -29,390 | -2,940 | 9,600 | 8,785 | 9,193 | 15,321 | 2,925 | 292,535 |
| 1676 | -2914 | -563 | -29,140 | -2,815 | 9,850 | 8,910 | 9,380 | 15,633 | 2,910 | 290,972 |
| 1680 | -2888 | -533 | -28,880 | -2,665 | 10,110 | 9,060 | 9,585 | 15,975 | 2,917 | 291,667 |
| 1683 | -2870 | -505 | -28,700 | -2,525 | 10,290 | 9,200 | 9,745 | 16,242 | 2,922 | 292,188 |
| 1691 | -2854 | -487 | -28,540 | -2,435 | 10,450 | 9,290 | 9,870 | 16,450 | 2,936 | 293,576 |
| 1698 | -2839 | -472 | -28,390 | -2,360 | 10,600 | 9,365 | 9,983 | 16,638 | 2,948 | 294,792 |
| 1690 | -2820 | -453 | -28,200 | -2,265 | 10,790 | 9,460 | 10,125 | 16,875 | 2,934 | 293,403 |
| 1694 | -2799 | -429 | -27,990 | -2,145 | 11,000 | 9,580 | 10,290 | 17,150 | 2,941 | 294,097 |
| 1687 | -2774 | -403 | -27,740 | -2,015 | 11,250 | 9,710 | 10,480 | 17,467 | 2,929 | 292,882 |

Hubungan qu dan Penurunan (s)



2. $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

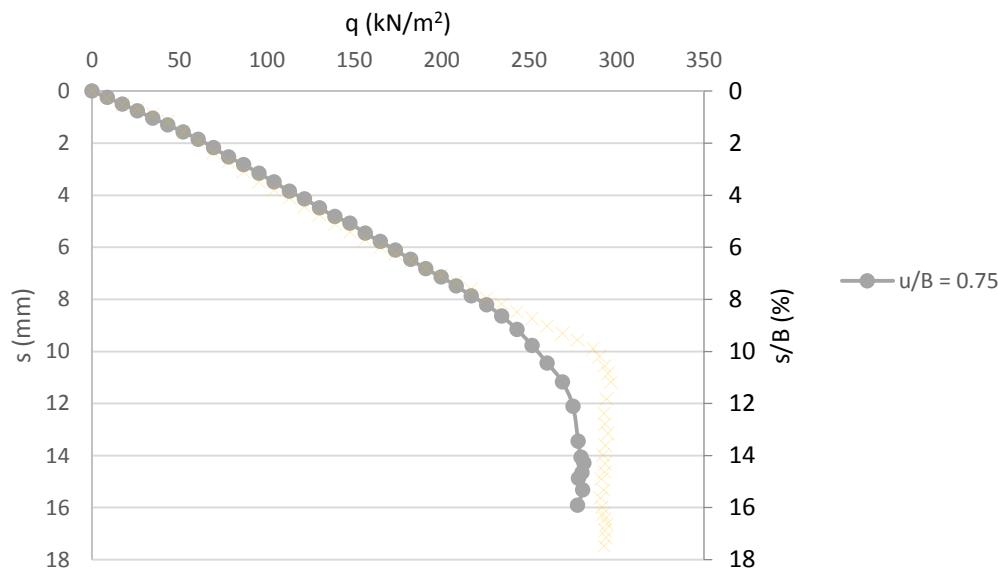
| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm2) | q (kN/m2) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|------------|-----------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -2902 | -2604 | -29,020 | -13,020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -2891 | -2582 | -28,910 | -12,910 | 0,110 | 0,110 | 0,110 | 0,183 | 0,087 | 8,681 |
| 100 | -2880 | -2560 | -28,800 | -12,800 | 0,220 | 0,220 | 0,220 | 0,367 | 0,174 | 17,361 |
| 150 | -2869 | -2531 | -28,690 | -12,655 | 0,330 | 0,365 | 0,347 | 0,579 | 0,260 | 26,042 |
| 200 | -2854 | -2493 | -28,540 | -12,465 | 0,480 | 0,555 | 0,518 | 0,863 | 0,347 | 34,722 |
| 250 | -2846 | -2469 | -28,460 | -12,345 | 0,560 | 0,675 | 0,617 | 1,029 | 0,434 | 43,403 |
| 300 | -2833 | -2434 | -28,330 | -12,170 | 0,690 | 0,850 | 0,770 | 1,283 | 0,521 | 52,083 |
| 350 | -2820 | -2398 | -28,200 | -11,990 | 0,820 | 1,030 | 0,925 | 1,542 | 0,608 | 60,764 |
| 400 | -2807 | -2356 | -28,070 | -11,780 | 0,950 | 1,240 | 1,095 | 1,825 | 0,694 | 69,444 |
| 450 | -2797 | -2326 | -27,970 | -11,630 | 1,050 | 1,390 | 1,220 | 2,033 | 0,781 | 78,125 |
| 500 | -2786 | -2295 | -27,860 | -11,475 | 1,160 | 1,545 | 1,353 | 2,254 | 0,868 | 86,806 |
| 550 | -2773 | -2253 | -27,730 | -11,265 | 1,290 | 1,755 | 1,523 | 2,538 | 0,955 | 95,486 |
| 600 | -2760 | -2218 | -27,600 | -11,090 | 1,420 | 1,930 | 1,675 | 2,792 | 1,042 | 104,167 |
| 650 | -2748 | -2184 | -27,480 | -10,920 | 1,540 | 2,100 | 1,820 | 3,033 | 1,128 | 112,847 |
| 700 | -2736 | -2156 | -27,360 | -10,780 | 1,660 | 2,240 | 1,950 | 3,250 | 1,215 | 121,528 |
| 750 | -2725 | -2120 | -27,250 | -10,600 | 1,770 | 2,420 | 2,095 | 3,492 | 1,302 | 130,208 |
| 800 | -2711 | -2084 | -27,110 | -10,420 | 1,910 | 2,600 | 2,255 | 3,758 | 1,389 | 138,889 |
| 850 | -2699 | -2056 | -26,990 | -10,280 | 2,030 | 2,740 | 2,385 | 3,975 | 1,476 | 147,569 |
| 900 | -2686 | -2022 | -26,860 | -10,110 | 2,160 | 2,910 | 2,535 | 4,225 | 1,563 | 156,250 |
| 950 | -2671 | -1988 | -26,710 | -9,940 | 2,310 | 3,080 | 2,695 | 4,492 | 1,649 | 164,931 |
| 1000 | -2657 | -1954 | -26,570 | -9,770 | 2,450 | 3,250 | 2,850 | 4,750 | 1,736 | 173,611 |
| 1050 | -2643 | -1920 | -26,430 | -9,600 | 2,590 | 3,420 | 3,005 | 5,008 | 1,823 | 182,292 |
| 1100 | -2631 | -1886 | -26,310 | -9,430 | 2,710 | 3,590 | 3,150 | 5,250 | 1,910 | 190,972 |
| 1150 | -2617 | -1851 | -26,170 | -9,255 | 2,850 | 3,765 | 3,308 | 5,513 | 1,997 | 199,653 |
| 1200 | -2603 | -1817 | -26,030 | -9,085 | 2,990 | 3,935 | 3,463 | 5,771 | 2,083 | 208,333 |
| 1250 | -2588 | -1784 | -25,880 | -8,920 | 3,140 | 4,100 | 3,620 | 6,033 | 2,170 | 217,014 |
| 1300 | -2573 | -1759 | -25,730 | -8,795 | 3,290 | 4,225 | 3,758 | 6,263 | 2,257 | 225,694 |
| 1350 | -2558 | -1700 | -25,580 | -8,500 | 3,440 | 4,520 | 3,980 | 6,633 | 2,344 | 234,375 |
| 1400 | -2543 | -1669 | -25,430 | -8,345 | 3,590 | 4,675 | 4,133 | 6,888 | 2,431 | 243,056 |
| 1450 | -2526 | -1631 | -25,260 | -8,155 | 3,760 | 4,865 | 4,313 | 7,188 | 2,517 | 251,736 |
| 1500 | -2510 | -1601 | -25,100 | -8,005 | 3,920 | 5,015 | 4,468 | 7,446 | 2,604 | 260,417 |
| 1550 | -2490 | -1559 | -24,900 | -7,795 | 4,120 | 5,225 | 4,673 | 7,788 | 2,691 | 269,097 |
| 1600 | -2473 | -1525 | -24,730 | -7,625 | 4,290 | 5,395 | 4,843 | 8,071 | 2,778 | 277,778 |
| 1650 | -2452 | -1484 | -24,520 | -7,420 | 4,500 | 5,600 | 5,050 | 8,417 | 2,865 | 286,458 |
| 1700 | -2436 | -1446 | -24,360 | -7,230 | 4,660 | 5,790 | 5,225 | 8,708 | 2,951 | 295,139 |
| 1750 | -2418 | -1413 | -24,180 | -7,065 | 4,840 | 5,955 | 5,398 | 8,996 | 3,038 | 303,819 |
| 1770 | -2396 | -1368 | -23,960 | -6,840 | 5,060 | 6,180 | 5,620 | 9,367 | 3,073 | 307,292 |
| 1789 | -2372 | -1321 | -23,720 | -6,605 | 5,300 | 6,415 | 5,858 | 9,763 | 3,106 | 310,590 |
| 1801 | -2353 | -1281 | -23,530 | -6,405 | 5,490 | 6,615 | 6,053 | 10,088 | 3,127 | 312,674 |
| 1792 | -2321 | -1218 | -23,210 | -6,090 | 5,810 | 6,930 | 6,370 | 10,617 | 3,111 | 311,111 |
| 1785 | -2290 | -1152 | -22,900 | -5,760 | 6,120 | 7,260 | 6,690 | 11,150 | 3,099 | 309,896 |
| 1791 | -2260 | -1088 | -22,600 | -5,440 | 6,420 | 7,580 | 7,000 | 11,667 | 3,109 | 310,938 |
| 1788 | -2219 | -1008 | -22,190 | -5,040 | 6,830 | 7,980 | 7,405 | 12,342 | 3,104 | 310,417 |
| 1794 | -2172 | -914 | -21,720 | -4,570 | 7,300 | 8,450 | 7,875 | 13,125 | 3,115 | 311,458 |
| 1787 | -2113 | -784 | -21,130 | -3,920 | 7,890 | 9,100 | 8,495 | 14,158 | 3,102 | 310,243 |
| 1790 | -2069 | -682 | -20,690 | -3,410 | 8,330 | 9,610 | 8,970 | 14,950 | 3,108 | 310,764 |
| 1796 | -2053 | -650 | -20,530 | -3,250 | 8,490 | 9,770 | 9,130 | 15,217 | 3,118 | 311,806 |
| 1789 | -2021 | -586 | -20,210 | -2,930 | 8,810 | 10,090 | 9,450 | 15,750 | 3,106 | 310,590 |
| 1775 | -1977 | -491 | -19,770 | -2,455 | 9,250 | 10,565 | 9,908 | 16,513 | 3,082 | 308,160 |
| 1779 | -1961 | -460 | -19,610 | -2,300 | 9,410 | 10,720 | 10,065 | 16,775 | 3,089 | 308,854 |
| 1785 | -1877 | -288 | -18,770 | -1,440 | 10,250 | 11,580 | 10,915 | 18,192 | 3,099 | 309,896 |
| 1790 | -1815 | -180 | -18,150 | -0,900 | 10,870 | 12,120 | 11,495 | 19,158 | 3,108 | 310,764 |



3. $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

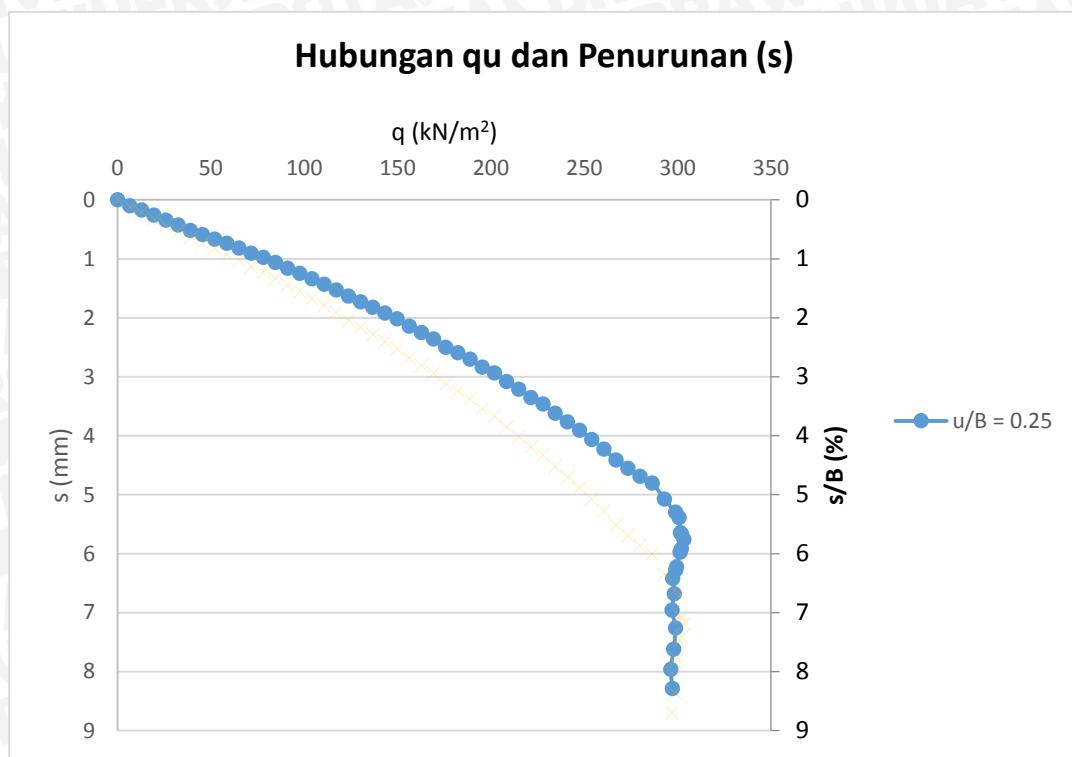
| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -4208 | -3574 | -42,080 | -17,870 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -4178 | -3536 | -41,780 | -17,680 | 0,300 | 0,190 | 0,245 | 0,408 | 0,087 | 8,681 |
| 100 | -4147 | -3496 | -41,470 | -17,480 | 0,610 | 0,390 | 0,500 | 0,833 | 0,174 | 17,361 |
| 150 | -4117 | -3451 | -41,170 | -17,255 | 0,910 | 0,615 | 0,762 | 1,271 | 0,260 | 26,042 |
| 200 | -4083 | -3409 | -40,830 | -17,045 | 1,250 | 0,825 | 1,038 | 1,729 | 0,347 | 34,722 |
| 250 | -4054 | -3364 | -40,540 | -16,820 | 1,540 | 1,050 | 1,295 | 2,158 | 0,434 | 43,403 |
| 300 | -4020 | -3323 | -40,200 | -16,615 | 1,880 | 1,255 | 1,568 | 2,613 | 0,521 | 52,083 |
| 350 | -3989 | -3273 | -39,890 | -16,365 | 2,190 | 1,505 | 1,848 | 3,079 | 0,608 | 60,764 |
| 400 | -3954 | -3213 | -39,540 | -16,065 | 2,540 | 1,805 | 2,173 | 3,621 | 0,694 | 69,444 |
| 450 | -3916 | -3145 | -39,160 | -15,725 | 2,920 | 2,145 | 2,533 | 4,221 | 0,781 | 78,125 |
| 500 | -3885 | -3091 | -38,850 | -15,455 | 3,230 | 2,415 | 2,823 | 4,704 | 0,868 | 86,806 |
| 550 | -3850 | -3026 | -38,500 | -15,130 | 3,580 | 2,740 | 3,160 | 5,267 | 0,955 | 95,486 |
| 600 | -3820 | -2955 | -38,200 | -14,775 | 3,880 | 3,095 | 3,488 | 5,813 | 1,042 | 104,167 |
| 650 | -3780 | -2891 | -37,800 | -14,455 | 4,280 | 3,415 | 3,848 | 6,413 | 1,128 | 112,847 |
| 700 | -3749 | -2836 | -37,490 | -14,180 | 4,590 | 3,690 | 4,140 | 6,900 | 1,215 | 121,528 |
| 750 | -3719 | -2760 | -37,190 | -13,800 | 4,890 | 4,070 | 4,480 | 7,467 | 1,302 | 130,208 |
| 800 | -3684 | -2695 | -36,840 | -13,475 | 5,240 | 4,395 | 4,818 | 8,029 | 1,389 | 138,889 |
| 850 | -3659 | -2643 | -36,590 | -13,215 | 5,490 | 4,655 | 5,073 | 8,454 | 1,476 | 147,569 |
| 900 | -3620 | -2567 | -36,200 | -12,835 | 5,880 | 5,035 | 5,458 | 9,096 | 1,563 | 156,250 |
| 950 | -3590 | -2499 | -35,900 | -12,495 | 6,180 | 5,375 | 5,778 | 9,629 | 1,649 | 164,931 |
| 1000 | -3560 | -2427 | -35,600 | -12,135 | 6,480 | 5,735 | 6,108 | 10,179 | 1,736 | 173,611 |
| 1050 | -3528 | -2346 | -35,280 | -11,730 | 6,800 | 6,140 | 6,470 | 10,783 | 1,823 | 182,292 |
| 1100 | -3492 | -2277 | -34,920 | -11,385 | 7,160 | 6,485 | 6,823 | 11,371 | 1,910 | 190,972 |
| 1150 | -3461 | -2212 | -34,610 | -11,060 | 7,470 | 6,810 | 7,140 | 11,900 | 1,997 | 199,653 |
| 1200 | -3431 | -2135 | -34,310 | -10,675 | 7,770 | 7,195 | 7,483 | 12,471 | 2,083 | 208,333 |
| 1250 | -3396 | -2052 | -33,960 | -10,260 | 8,120 | 7,610 | 7,865 | 13,108 | 2,170 | 217,014 |
| 1300 | -3367 | -1972 | -33,670 | -9,860 | 8,410 | 8,010 | 8,210 | 13,683 | 2,257 | 225,694 |
| 1350 | -3322 | -1891 | -33,220 | -9,455 | 8,860 | 8,415 | 8,638 | 14,396 | 2,344 | 234,375 |
| 1400 | -3266 | -1796 | -32,660 | -8,980 | 9,420 | 8,890 | 9,155 | 15,258 | 2,431 | 243,056 |
| 1450 | -3192 | -1698 | -31,920 | -8,490 | 10,160 | 9,380 | 9,770 | 16,283 | 2,517 | 251,736 |
| 1500 | -3109 | -1595 | -31,090 | -7,975 | 10,990 | 9,895 | 10,443 | 17,404 | 2,604 | 260,417 |
| 1550 | -3017 | -1485 | -30,170 | -7,425 | 11,910 | 10,445 | 11,178 | 18,629 | 2,691 | 269,097 |
| 1585 | -2916 | -1314 | -29,160 | -6,570 | 12,920 | 11,300 | 12,110 | 20,183 | 2,752 | 275,174 |
| 1602 | -2764 | -1080 | -27,640 | -5,400 | 14,440 | 12,470 | 13,455 | 22,425 | 2,781 | 278,125 |
| 1611 | -2721 | -922 | -27,210 | -4,610 | 14,870 | 13,260 | 14,065 | 23,442 | 2,797 | 279,688 |
| 1621 | -2700 | -878 | -27,000 | -4,390 | 15,080 | 13,480 | 14,280 | 23,800 | 2,814 | 281,424 |
| 1615 | -2661 | -805 | -26,610 | -4,025 | 15,470 | 13,845 | 14,658 | 24,429 | 2,804 | 280,382 |
| 1603 | -2641 | -760 | -26,410 | -3,800 | 15,670 | 14,070 | 14,870 | 24,783 | 2,783 | 278,299 |
| 1617 | -2604 | -654 | -26,040 | -3,270 | 16,040 | 14,600 | 15,320 | 25,533 | 2,807 | 280,729 |
| 1600 | -2542 | -543 | -25,420 | -2,715 | 16,660 | 15,155 | 15,908 | 26,513 | 2,778 | 277,778 |

Hubungan qu dan Penurunan (s)



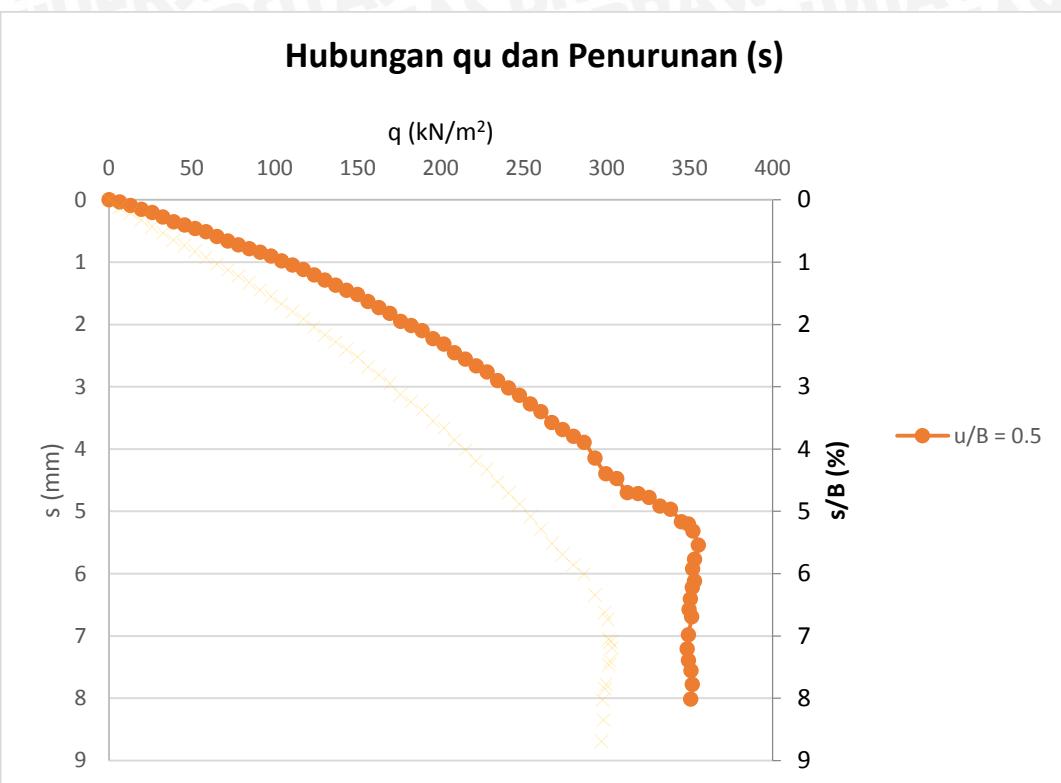
4. $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,25$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -2923 | -3767 | -29,230 | -18,835 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -2913 | -3747 | -29,130 | -18,735 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,125 | 0,065 | 6,510 |
| 100 | -2907 | -3731 | -29,070 | -18,655 | 0,160 | 0,180 | 0,170 | 0,213 | 0,130 | 13,021 |
| 150 | -2898 | -3713 | -28,980 | -18,565 | 0,250 | 0,270 | 0,260 | 0,325 | 0,195 | 19,531 |
| 200 | -2890 | -3695 | -28,900 | -18,475 | 0,330 | 0,360 | 0,345 | 0,431 | 0,260 | 26,042 |
| 250 | -2882 | -3678 | -28,820 | -18,390 | 0,410 | 0,445 | 0,428 | 0,534 | 0,326 | 32,552 |
| 300 | -2873 | -3660 | -28,730 | -18,300 | 0,500 | 0,535 | 0,518 | 0,647 | 0,391 | 39,063 |
| 350 | -2866 | -3646 | -28,660 | -18,230 | 0,570 | 0,605 | 0,588 | 0,734 | 0,456 | 45,573 |
| 400 | -2858 | -3631 | -28,580 | -18,155 | 0,650 | 0,680 | 0,665 | 0,831 | 0,521 | 52,083 |
| 450 | -2851 | -3616 | -28,510 | -18,080 | 0,720 | 0,755 | 0,737 | 0,922 | 0,586 | 58,594 |
| 500 | -2843 | -3599 | -28,430 | -17,995 | 0,800 | 0,840 | 0,820 | 1,025 | 0,651 | 65,104 |
| 550 | -2834 | -3583 | -28,340 | -17,915 | 0,890 | 0,920 | 0,905 | 1,131 | 0,716 | 71,615 |
| 600 | -2827 | -3568 | -28,270 | -17,840 | 0,960 | 0,995 | 0,978 | 1,222 | 0,781 | 78,125 |
| 650 | -2818 | -3551 | -28,180 | -17,755 | 1,050 | 1,080 | 1,065 | 1,331 | 0,846 | 84,635 |
| 700 | -2808 | -3534 | -28,080 | -17,670 | 1,150 | 1,165 | 1,158 | 1,447 | 0,911 | 91,146 |
| 750 | -2799 | -3517 | -27,990 | -17,585 | 1,240 | 1,250 | 1,245 | 1,556 | 0,977 | 97,656 |
| 800 | -2789 | -3499 | -27,890 | -17,495 | 1,340 | 1,340 | 1,340 | 1,675 | 1,042 | 104,167 |
| 850 | -2779 | -3482 | -27,790 | -17,410 | 1,440 | 1,425 | 1,433 | 1,791 | 1,107 | 110,677 |
| 900 | -2769 | -3463 | -27,690 | -17,315 | 1,540 | 1,520 | 1,530 | 1,913 | 1,172 | 117,188 |
| 950 | -2758 | -3443 | -27,580 | -17,215 | 1,650 | 1,620 | 1,635 | 2,044 | 1,237 | 123,698 |
| 1000 | -2748 | -3424 | -27,480 | -17,120 | 1,750 | 1,715 | 1,733 | 2,166 | 1,302 | 130,208 |
| 1050 | -2738 | -3407 | -27,380 | -17,035 | 1,850 | 1,800 | 1,825 | 2,281 | 1,367 | 136,719 |
| 1100 | -2730 | -3384 | -27,300 | -16,920 | 1,930 | 1,915 | 1,923 | 2,403 | 1,432 | 143,229 |
| 1150 | -2720 | -3365 | -27,200 | -16,825 | 2,030 | 2,010 | 2,020 | 2,525 | 1,497 | 149,740 |
| 1200 | -2707 | -3342 | -27,070 | -16,710 | 2,160 | 2,125 | 2,143 | 2,678 | 1,563 | 156,250 |
| 1250 | -2696 | -3321 | -26,960 | -16,605 | 2,270 | 2,230 | 2,250 | 2,813 | 1,628 | 162,760 |
| 1300 | -2685 | -3300 | -26,850 | -16,500 | 2,380 | 2,335 | 2,358 | 2,947 | 1,693 | 169,271 |
| 1350 | -2670 | -3273 | -26,700 | -16,365 | 2,530 | 2,470 | 2,500 | 3,125 | 1,758 | 175,781 |
| 1400 | -2661 | -3253 | -26,610 | -16,265 | 2,620 | 2,570 | 2,595 | 3,244 | 1,823 | 182,292 |
| 1450 | -2651 | -3231 | -26,510 | -16,155 | 2,720 | 2,680 | 2,700 | 3,375 | 1,888 | 188,802 |
| 1500 | -2638 | -3202 | -26,380 | -16,010 | 2,850 | 2,825 | 2,838 | 3,547 | 1,953 | 195,313 |
| 1550 | -2627 | -3186 | -26,270 | -15,930 | 2,960 | 2,905 | 2,933 | 3,666 | 2,018 | 201,823 |
| 1600 | -2611 | -3159 | -26,110 | -15,795 | 3,120 | 3,040 | 3,080 | 3,850 | 2,083 | 208,333 |
| 1650 | -2598 | -3132 | -25,980 | -15,660 | 3,250 | 3,175 | 3,213 | 4,016 | 2,148 | 214,844 |
| 1700 | -2584 | -3104 | -25,840 | -15,520 | 3,390 | 3,315 | 3,353 | 4,191 | 2,214 | 221,354 |
| 1750 | -2573 | -3082 | -25,730 | -15,410 | 3,500 | 3,425 | 3,463 | 4,328 | 2,279 | 227,865 |
| 1800 | -2556 | -3053 | -25,560 | -15,265 | 3,670 | 3,570 | 3,620 | 4,525 | 2,344 | 234,375 |
| 1850 | -2540 | -3027 | -25,400 | -15,135 | 3,830 | 3,700 | 3,765 | 4,706 | 2,409 | 240,885 |
| 1900 | -2526 | -2998 | -25,260 | -14,990 | 3,970 | 3,845 | 3,908 | 4,884 | 2,474 | 247,396 |
| 1950 | -2509 | -2970 | -25,090 | -14,850 | 4,140 | 3,985 | 4,063 | 5,078 | 2,539 | 253,906 |
| 2000 | -2494 | -2935 | -24,940 | -14,675 | 4,290 | 4,160 | 4,225 | 5,281 | 2,604 | 260,417 |
| 2050 | -2474 | -2900 | -24,740 | -14,500 | 4,490 | 4,335 | 4,413 | 5,516 | 2,669 | 266,927 |
| 2100 | -2460 | -2871 | -24,600 | -14,355 | 4,630 | 4,480 | 4,555 | 5,694 | 2,734 | 273,438 |
| 2150 | -2449 | -2839 | -24,490 | -14,195 | 4,740 | 4,640 | 4,690 | 5,863 | 2,799 | 279,948 |
| 2200 | -2437 | -2817 | -24,370 | -14,085 | 4,860 | 4,750 | 4,805 | 6,006 | 2,865 | 286,458 |
| 2250 | -2410 | -2763 | -24,100 | -13,815 | 5,130 | 5,020 | 5,075 | 6,344 | 2,930 | 292,969 |
| 2295 | -2386 | -2722 | -23,860 | -13,610 | 5,370 | 5,225 | 5,298 | 6,622 | 2,988 | 298,828 |
| 2310 | -2376 | -2705 | -23,760 | -13,525 | 5,470 | 5,310 | 5,390 | 6,738 | 3,008 | 300,781 |
| 2315 | -2349 | -2658 | -23,490 | -13,290 | 5,740 | 5,545 | 5,643 | 7,053 | 3,014 | 301,432 |
| 2321 | -2346 | -2653 | -23,460 | -13,265 | 5,770 | 5,570 | 5,670 | 7,088 | 3,022 | 302,214 |
| 2330 | -2337 | -2636 | -23,370 | -13,180 | 5,860 | 5,655 | 5,758 | 7,197 | 3,034 | 303,385 |
| 2319 | -2320 | -2604 | -23,200 | -13,020 | 6,030 | 5,815 | 5,923 | 7,403 | 3,020 | 301,953 |
| 2314 | -2314 | -2595 | -23,140 | -12,975 | 6,090 | 5,860 | 5,975 | 7,469 | 3,013 | 301,302 |
| 2300 | -2291 | -2542 | -22,910 | -12,710 | 6,320 | 6,125 | 6,223 | 7,778 | 2,995 | 299,479 |
| 2296 | -2287 | -2528 | -22,870 | -12,640 | 6,360 | 6,195 | 6,278 | 7,847 | 2,990 | 298,958 |
| 2284 | -2273 | -2498 | -22,730 | -12,490 | 6,500 | 6,345 | 6,423 | 8,028 | 2,974 | 297,396 |
| 2290 | -2247 | -2446 | -22,470 | -12,230 | 6,760 | 6,605 | 6,683 | 8,353 | 2,982 | 298,177 |
| 2281 | -2216 | -2399 | -22,160 | -11,995 | 7,070 | 6,840 | 6,955 | 8,694 | 2,970 | 297,005 |
| 2295 | -2198 | -2312 | -21,980 | -11,560 | 7,250 | 7,275 | 7,263 | 9,078 | 2,988 | 298,828 |
| 2288 | -2160 | -2245 | -21,600 | -11,225 | 7,630 | 7,610 | 7,620 | 9,525 | 2,979 | 297,917 |
| 2276 | -2118 | -2193 | -21,180 | -10,965 | 8,050 | 7,870 | 7,960 | 9,950 | 2,964 | 296,354 |
| 2283 | -2099 | -2100 | -20,990 | -10,500 | 8,240 | 8,335 | 8,288 | 10,359 | 2,973 | 297,266 |



5. $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -3403 | -3718 | -34,030 | -18,590 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -3401 | -3708 | -34,010 | -18,540 | 0,020 | 0,050 | 0,035 | 0,044 | 0,065 | 6,510 |
| 100 | -3396 | -3696 | -33,960 | -18,480 | 0,070 | 0,110 | 0,090 | 0,113 | 0,130 | 13,021 |
| 150 | -3391 | -3681 | -33,910 | -18,405 | 0,120 | 0,185 | 0,152 | 0,191 | 0,195 | 19,531 |
| 200 | -3387 | -3669 | -33,870 | -18,345 | 0,160 | 0,245 | 0,203 | 0,253 | 0,260 | 26,042 |
| 250 | -3380 | -3654 | -33,800 | -18,270 | 0,230 | 0,320 | 0,275 | 0,344 | 0,326 | 32,552 |
| 300 | -3372 | -3639 | -33,720 | -18,195 | 0,310 | 0,395 | 0,353 | 0,441 | 0,391 | 39,063 |
| 350 | -3367 | -3629 | -33,670 | -18,145 | 0,360 | 0,445 | 0,403 | 0,503 | 0,456 | 45,573 |
| 400 | -3361 | -3618 | -33,610 | -18,090 | 0,420 | 0,500 | 0,460 | 0,575 | 0,521 | 52,083 |
| 450 | -3356 | -3607 | -33,560 | -18,035 | 0,470 | 0,555 | 0,512 | 0,641 | 0,586 | 58,594 |
| 500 | -3348 | -3592 | -33,480 | -17,960 | 0,550 | 0,630 | 0,590 | 0,737 | 0,651 | 65,104 |
| 550 | -3340 | -3579 | -33,400 | -17,895 | 0,630 | 0,695 | 0,663 | 0,828 | 0,716 | 71,615 |
| 600 | -3334 | -3567 | -33,340 | -17,835 | 0,690 | 0,755 | 0,722 | 0,903 | 0,781 | 78,125 |
| 650 | -3329 | -3553 | -33,290 | -17,765 | 0,740 | 0,825 | 0,783 | 0,978 | 0,846 | 84,635 |
| 700 | -3324 | -3539 | -33,240 | -17,695 | 0,790 | 0,895 | 0,842 | 1,053 | 0,911 | 91,146 |
| 750 | -3318 | -3527 | -33,180 | -17,635 | 0,850 | 0,955 | 0,903 | 1,128 | 0,977 | 97,656 |
| 800 | -3310 | -3512 | -33,100 | -17,560 | 0,930 | 1,030 | 0,980 | 1,225 | 1,042 | 104,167 |
| 850 | -3303 | -3500 | -33,030 | -17,500 | 1,000 | 1,090 | 1,045 | 1,306 | 1,107 | 110,677 |
| 900 | -3297 | -3483 | -32,970 | -17,415 | 1,060 | 1,175 | 1,118 | 1,397 | 1,172 | 117,188 |
| 950 | -3287 | -3467 | -32,870 | -17,335 | 1,160 | 1,255 | 1,208 | 1,509 | 1,237 | 123,698 |
| 1000 | -3278 | -3453 | -32,780 | -17,265 | 1,250 | 1,325 | 1,288 | 1,609 | 1,302 | 130,208 |
| 1050 | -3269 | -3438 | -32,690 | -17,190 | 1,340 | 1,400 | 1,370 | 1,713 | 1,367 | 136,719 |
| 1100 | -3263 | -3418 | -32,630 | -17,090 | 1,400 | 1,500 | 1,450 | 1,813 | 1,432 | 143,229 |
| 1150 | -3258 | -3400 | -32,580 | -17,000 | 1,450 | 1,590 | 1,520 | 1,900 | 1,497 | 149,740 |
| 1200 | -3246 | -3379 | -32,460 | -16,895 | 1,570 | 1,695 | 1,633 | 2,041 | 1,563 | 156,250 |
| 1250 | -3236 | -3360 | -32,360 | -16,800 | 1,670 | 1,790 | 1,730 | 2,163 | 1,628 | 162,760 |
| 1300 | -3226 | -3342 | -32,260 | -16,710 | 1,770 | 1,880 | 1,825 | 2,281 | 1,693 | 169,271 |
| 1350 | -3213 | -3317 | -32,130 | -16,585 | 1,900 | 2,005 | 1,953 | 2,441 | 1,758 | 175,781 |
| 1400 | -3208 | -3300 | -32,080 | -16,500 | 1,950 | 2,090 | 2,020 | 2,525 | 1,823 | 182,292 |
| 1450 | -3200 | -3284 | -32,000 | -16,420 | 2,030 | 2,170 | 2,100 | 2,625 | 1,888 | 188,802 |
| 1500 | -3188 | -3257 | -31,880 | -16,285 | 2,150 | 2,305 | 2,228 | 2,784 | 1,953 | 195,313 |
| 1550 | -3178 | -3242 | -31,780 | -16,210 | 2,250 | 2,380 | 2,315 | 2,894 | 2,018 | 201,823 |
| 1600 | -3163 | -3217 | -31,630 | -16,085 | 2,400 | 2,505 | 2,453 | 3,066 | 2,083 | 208,333 |
| 1650 | -3153 | -3195 | -31,530 | -15,975 | 2,500 | 2,615 | 2,558 | 3,197 | 2,148 | 214,844 |
| 1700 | -3144 | -3170 | -31,440 | -15,850 | 2,590 | 2,740 | 2,665 | 3,331 | 2,214 | 221,354 |
| 1750 | -3134 | -3150 | -31,340 | -15,750 | 2,690 | 2,840 | 2,765 | 3,456 | 2,279 | 227,865 |
| 1800 | -3120 | -3123 | -31,200 | -15,615 | 2,830 | 2,975 | 2,903 | 3,628 | 2,344 | 234,375 |
| 1850 | -3108 | -3100 | -31,080 | -15,500 | 2,950 | 3,090 | 3,020 | 3,775 | 2,409 | 240,885 |
| 1900 | -3097 | -3075 | -30,970 | -15,375 | 3,060 | 3,215 | 3,138 | 3,922 | 2,474 | 247,396 |
| 1950 | -3082 | -3050 | -30,820 | -15,250 | 3,210 | 3,340 | 3,275 | 4,094 | 2,539 | 253,906 |
| 2000 | -3072 | -3020 | -30,720 | -15,100 | 3,310 | 3,490 | 3,400 | 4,250 | 2,604 | 260,417 |
| 2050 | -3054 | -2987 | -30,540 | -14,935 | 3,490 | 3,655 | 3,573 | 4,466 | 2,669 | 266,927 |
| 2100 | -3044 | -2962 | -30,440 | -14,810 | 3,590 | 3,780 | 3,685 | 4,606 | 2,734 | 273,438 |
| 2150 | -3037 | -2932 | -30,370 | -14,660 | 3,660 | 3,930 | 3,795 | 4,744 | 2,799 | 279,948 |
| 2200 | -3027 | -2912 | -30,270 | -14,560 | 3,760 | 4,030 | 3,895 | 4,869 | 2,865 | 286,458 |
| 2250 | -3002 | -2862 | -30,020 | -14,310 | 4,010 | 4,280 | 4,145 | 5,181 | 2,930 | 292,969 |
| 2300 | -2982 | -2802 | -29,820 | -14,010 | 4,210 | 4,580 | 4,395 | 5,494 | 2,995 | 299,479 |
| 2350 | -2974 | -2787 | -29,740 | -13,935 | 4,290 | 4,655 | 4,473 | 5,591 | 3,060 | 305,990 |
| 2400 | -2949 | -2747 | -29,490 | -13,735 | 4,540 | 4,855 | 4,698 | 5,872 | 3,125 | 312,500 |
| 2450 | -2947 | -2744 | -29,470 | -13,720 | 4,560 | 4,870 | 4,715 | 5,894 | 3,190 | 319,010 |
| 2500 | -2942 | -2729 | -29,420 | -13,645 | 4,610 | 4,945 | 4,778 | 5,972 | 3,255 | 325,521 |
| 2550 | -2929 | -2699 | -29,290 | -13,495 | 4,740 | 5,095 | 4,918 | 6,147 | 3,320 | 332,031 |
| 2600 | -2924 | -2689 | -29,240 | -13,445 | 4,790 | 5,145 | 4,968 | 6,209 | 3,385 | 338,542 |
| 2650 | -2904 | -2649 | -29,040 | -13,245 | 4,990 | 5,345 | 5,168 | 6,459 | 3,451 | 345,052 |
| 2682 | -2902 | -2639 | -29,020 | -13,195 | 5,010 | 5,395 | 5,203 | 6,503 | 3,492 | 349,219 |
| 2703 | -2892 | -2614 | -28,920 | -13,070 | 5,110 | 5,520 | 5,315 | 6,644 | 3,520 | 351,953 |
| 2728 | -2872 | -2564 | -28,720 | -12,820 | 5,310 | 5,770 | 5,540 | 6,925 | 3,552 | 355,208 |
| 2711 | -2844 | -2529 | -28,440 | -12,645 | 5,590 | 5,945 | 5,768 | 7,209 | 3,530 | 352,995 |
| 2702 | -2828 | -2500 | -28,280 | -12,500 | 5,750 | 6,090 | 5,920 | 7,400 | 3,518 | 351,823 |
| 2710 | -2808 | -2460 | -28,080 | -12,300 | 5,950 | 6,290 | 6,120 | 7,650 | 3,529 | 352,865 |
| 2700 | -2793 | -2450 | -27,930 | -12,250 | 6,100 | 6,340 | 6,220 | 7,775 | 3,516 | 351,563 |
| 2691 | -2766 | -2430 | -27,660 | -12,150 | 6,370 | 6,440 | 6,405 | 8,006 | 3,504 | 350,391 |
| 2685 | -2746 | -2402 | -27,460 | -12,010 | 6,570 | 6,580 | 6,575 | 8,219 | 3,496 | 349,609 |
| 2698 | -2730 | -2387 | -27,300 | -11,935 | 6,730 | 6,655 | 6,693 | 8,366 | 3,513 | 351,302 |
| 2682 | -2695 | -2342 | -26,950 | -11,710 | 7,080 | 6,880 | 6,980 | 8,725 | 3,492 | 349,219 |
| 2676 | -2670 | -2302 | -26,700 | -11,510 | 7,330 | 7,080 | 7,205 | 9,006 | 3,484 | 348,438 |
| 2682 | -2650 | -2267 | -26,500 | -11,335 | 7,530 | 7,255 | 7,393 | 9,241 | 3,492 | 349,219 |
| 2695 | -2630 | -2242 | -26,300 | -11,210 | 7,730 | 7,380 | 7,555 | 9,444 | 3,509 | 350,911 |
| 2701 | -2605 | -2204 | -26,050 | -11,020 | 7,980 | 7,570 | 7,775 | 9,719 | 3,517 | 351,693 |
| 2693 | -2580 | -2159 | -25,800 | -10,795 | 8,230 | 7,795 | 8,013 | 10,016 | 3,507 | 350,651 |

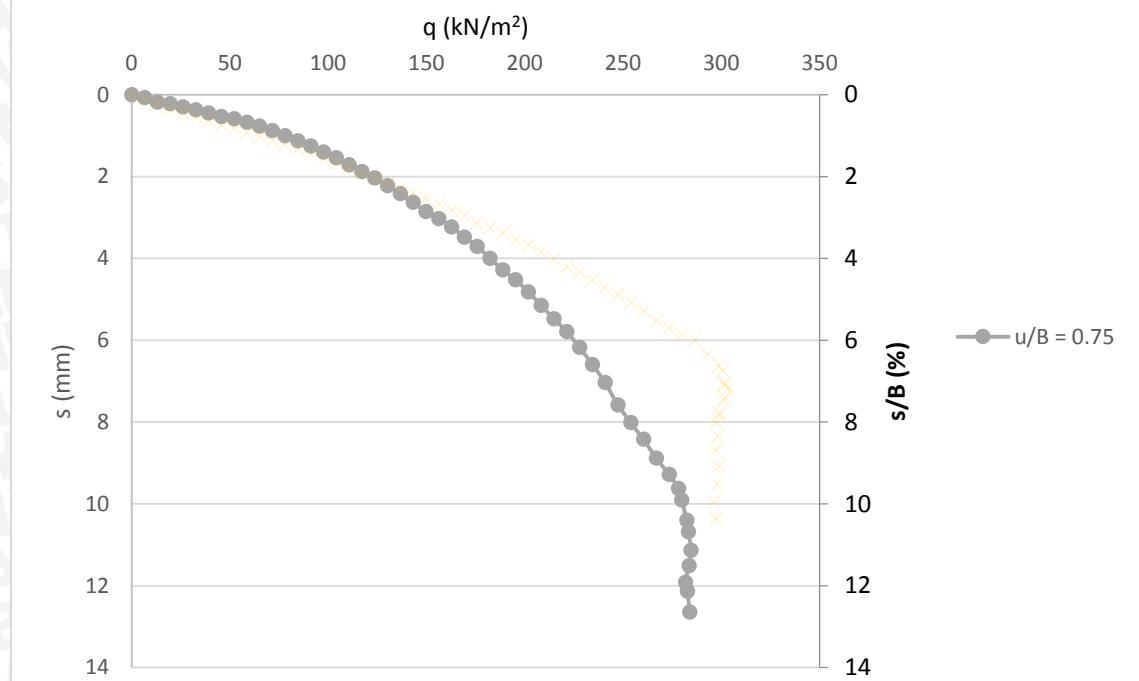


6. $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -2287 | -3358 | -22,870 | -16,790 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -2280 | -3344 | -22,800 | -16,720 | 0,070 | 0,070 | 0,070 | 0,088 | 0,065 | 6,510 |
| 100 | -2267 | -3328 | -22,670 | -16,640 | 0,200 | 0,150 | 0,175 | 0,219 | 0,130 | 13,021 |
| 150 | -2265 | -3314 | -22,650 | -16,570 | 0,220 | 0,220 | 0,220 | 0,275 | 0,195 | 19,531 |
| 200 | -2259 | -3297 | -22,590 | -16,485 | 0,280 | 0,305 | 0,293 | 0,366 | 0,260 | 26,042 |
| 250 | -2252 | -3283 | -22,520 | -16,415 | 0,350 | 0,375 | 0,363 | 0,453 | 0,326 | 32,552 |
| 300 | -2247 | -3262 | -22,470 | -16,310 | 0,400 | 0,480 | 0,440 | 0,550 | 0,391 | 39,063 |
| 350 | -2237 | -3247 | -22,370 | -16,235 | 0,500 | 0,555 | 0,528 | 0,659 | 0,456 | 45,573 |
| 400 | -2231 | -3235 | -22,310 | -16,175 | 0,560 | 0,615 | 0,588 | 0,734 | 0,521 | 52,083 |
| 450 | -2223 | -3217 | -22,230 | -16,085 | 0,640 | 0,705 | 0,673 | 0,841 | 0,586 | 58,594 |
| 500 | -2213 | -3200 | -22,130 | -16,000 | 0,740 | 0,790 | 0,765 | 0,956 | 0,651 | 65,104 |
| 550 | -2202 | -3177 | -22,020 | -15,885 | 0,850 | 0,905 | 0,878 | 1,097 | 0,716 | 71,615 |
| 600 | -2189 | -3155 | -21,890 | -15,775 | 0,980 | 1,015 | 0,998 | 1,247 | 0,781 | 78,125 |
| 650 | -2176 | -3130 | -21,760 | -15,650 | 1,110 | 1,140 | 1,125 | 1,406 | 0,846 | 84,635 |
| 700 | -2164 | -3105 | -21,640 | -15,525 | 1,230 | 1,265 | 1,248 | 1,559 | 0,911 | 91,146 |
| 750 | -2148 | -3077 | -21,480 | -15,385 | 1,390 | 1,405 | 1,398 | 1,747 | 0,977 | 97,656 |
| 800 | -2133 | -3050 | -21,330 | -15,250 | 1,540 | 1,540 | 1,540 | 1,925 | 1,042 | 104,167 |
| 850 | -2115 | -3018 | -21,150 | -15,090 | 1,720 | 1,700 | 1,710 | 2,138 | 1,107 | 110,677 |
| 900 | -2097 | -2986 | -20,970 | -14,930 | 1,900 | 1,860 | 1,880 | 2,350 | 1,172 | 117,188 |
| 950 | -2081 | -2956 | -20,810 | -14,780 | 2,060 | 2,010 | 2,035 | 2,544 | 1,237 | 123,698 |
| 1000 | -2061 | -2922 | -20,610 | -14,610 | 2,260 | 2,180 | 2,220 | 2,775 | 1,302 | 130,208 |
| 1050 | -2040 | -2887 | -20,400 | -14,435 | 2,470 | 2,355 | 2,413 | 3,016 | 1,367 | 136,719 |
| 1100 | -2020 | -2840 | -20,200 | -14,200 | 2,670 | 2,590 | 2,630 | 3,288 | 1,432 | 143,229 |
| 1150 | -1990 | -2810 | -19,900 | -14,050 | 2,970 | 2,740 | 2,855 | 3,569 | 1,497 | 149,740 |
| 1200 | -1974 | -2774 | -19,740 | -13,870 | 3,130 | 2,920 | 3,025 | 3,781 | 1,563 | 156,250 |
| 1250 | -1952 | -2736 | -19,520 | -13,680 | 3,350 | 3,110 | 3,230 | 4,038 | 1,628 | 162,760 |
| 1300 | -1925 | -2690 | -19,250 | -13,450 | 3,620 | 3,340 | 3,480 | 4,350 | 1,693 | 169,271 |
| 1350 | -1901 | -2647 | -19,010 | -13,235 | 3,860 | 3,555 | 3,708 | 4,634 | 1,758 | 175,781 |
| 1400 | -1871 | -2592 | -18,710 | -12,960 | 4,160 | 3,830 | 3,995 | 4,994 | 1,823 | 182,292 |
| 1450 | -1840 | -2542 | -18,400 | -12,710 | 4,470 | 4,080 | 4,275 | 5,344 | 1,888 | 188,802 |
| 1500 | -1813 | -2496 | -18,130 | -12,480 | 4,740 | 4,310 | 4,525 | 5,656 | 1,953 | 195,313 |
| 1550 | -1780 | -2445 | -17,800 | -12,225 | 5,070 | 4,565 | 4,818 | 6,022 | 2,018 | 201,823 |
| 1600 | -1743 | -2388 | -17,430 | -11,940 | 5,440 | 4,850 | 5,145 | 6,431 | 2,083 | 208,333 |
| 1650 | -1708 | -2327 | -17,080 | -11,635 | 5,790 | 5,155 | 5,473 | 6,841 | 2,148 | 214,844 |
| 1700 | -1679 | -2257 | -16,790 | -11,285 | 6,080 | 5,505 | 5,793 | 7,241 | 2,214 | 221,354 |
| 1750 | -1644 | -2175 | -16,440 | -10,875 | 6,430 | 5,915 | 6,173 | 7,716 | 2,279 | 227,865 |
| 1800 | -1605 | -2085 | -16,050 | -10,425 | 6,820 | 6,365 | 6,593 | 8,241 | 2,344 | 234,375 |
| 1850 | -1564 | -1990 | -15,640 | -9,950 | 7,230 | 6,840 | 7,035 | 8,794 | 2,409 | 240,885 |
| 1900 | -1509 | -1882 | -15,090 | -9,410 | 7,780 | 7,380 | 7,580 | 9,475 | 2,474 | 247,396 |
| 1950 | -1467 | -1792 | -14,670 | -8,960 | 8,200 | 7,830 | 8,015 | 10,019 | 2,539 | 253,906 |
| 2000 | -1428 | -1707 | -14,280 | -8,535 | 8,590 | 8,255 | 8,423 | 10,528 | 2,604 | 260,417 |
| 2050 | -1376 | -1627 | -13,760 | -8,135 | 9,110 | 8,655 | 8,883 | 11,103 | 2,669 | 266,927 |
| 2100 | -1334 | -1552 | -13,340 | -7,760 | 9,530 | 9,030 | 9,280 | 11,600 | 2,734 | 273,438 |
| 2137 | -1306 | -1469 | -13,060 | -7,345 | 9,810 | 9,445 | 9,628 | 12,034 | 2,783 | 278,255 |
| 2150 | -1277 | -1417 | -12,770 | -7,085 | 10,100 | 9,705 | 9,903 | 12,378 | 2,799 | 279,948 |
| 2169 | -1220 | -1332 | -12,200 | -6,660 | 10,670 | 10,130 | 10,400 | 13,000 | 2,824 | 282,422 |
| 2176 | -1190 | -1281 | -11,900 | -6,405 | 10,970 | 10,385 | 10,678 | 13,347 | 2,833 | 283,333 |
| 2186 | -1144 | -1191 | -11,440 | -5,955 | 11,430 | 10,835 | 11,133 | 13,916 | 2,846 | 284,635 |
| 2178 | -1111 | -1106 | -11,110 | -5,530 | 11,760 | 11,260 | 11,510 | 14,388 | 2,836 | 283,594 |
| 2164 | -1069 | -1028 | -10,690 | -5,140 | 12,180 | 11,650 | 11,915 | 14,894 | 2,818 | 281,771 |
| 2172 | -1050 | -977 | -10,500 | -4,885 | 12,370 | 11,905 | 12,138 | 15,172 | 2,828 | 282,813 |
| 2181 | -989 | -895 | -9,890 | -4,475 | 12,980 | 12,315 | 12,648 | 15,809 | 2,840 | 283,984 |

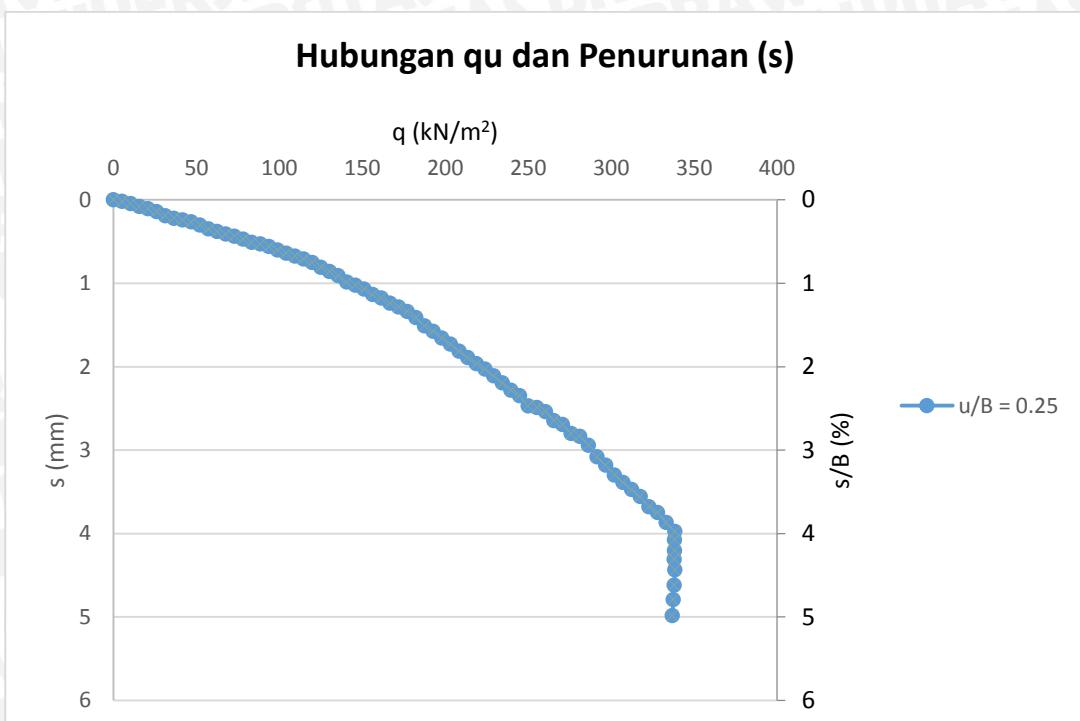


Hubungan qu dan Penurunan (s)



7. $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,25$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -3539 | -3095 | -35,390 | -15,475 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -3537 | -3092 | -35,370 | -15,460 | 0,020 | 0,015 | 0,018 | 0,018 | 0,052 | 5,208 |
| 100 | -3534 | -3087 | -35,340 | -15,435 | 0,050 | 0,040 | 0,045 | 0,045 | 0,104 | 10,417 |
| 150 | -3531 | -3079 | -35,310 | -15,395 | 0,080 | 0,080 | 0,080 | 0,080 | 0,156 | 15,625 |
| 200 | -3529 | -3073 | -35,290 | -15,365 | 0,100 | 0,110 | 0,105 | 0,105 | 0,208 | 20,833 |
| 250 | -3526 | -3065 | -35,260 | -15,325 | 0,130 | 0,150 | 0,140 | 0,140 | 0,260 | 26,042 |
| 300 | -3521 | -3055 | -35,210 | -15,275 | 0,180 | 0,200 | 0,190 | 0,190 | 0,313 | 31,250 |
| 350 | -3518 | -3049 | -35,180 | -15,245 | 0,210 | 0,230 | 0,220 | 0,220 | 0,365 | 36,458 |
| 400 | -3516 | -3044 | -35,160 | -15,220 | 0,230 | 0,255 | 0,242 | 0,242 | 0,417 | 41,667 |
| 450 | -3514 | -3040 | -35,140 | -15,200 | 0,250 | 0,275 | 0,262 | 0,262 | 0,469 | 46,875 |
| 500 | -3509 | -3034 | -35,090 | -15,170 | 0,300 | 0,305 | 0,302 | 0,302 | 0,521 | 52,083 |
| 550 | -3504 | -3026 | -35,040 | -15,130 | 0,350 | 0,345 | 0,348 | 0,348 | 0,573 | 57,292 |
| 600 | -3500 | -3021 | -35,000 | -15,105 | 0,390 | 0,370 | 0,380 | 0,380 | 0,625 | 62,500 |
| 650 | -3498 | -3013 | -34,980 | -15,065 | 0,410 | 0,410 | 0,410 | 0,410 | 0,677 | 67,708 |
| 700 | -3496 | -3006 | -34,960 | -15,030 | 0,430 | 0,445 | 0,437 | 0,437 | 0,729 | 72,917 |
| 750 | -3492 | -3001 | -34,920 | -15,005 | 0,470 | 0,470 | 0,470 | 0,470 | 0,781 | 78,125 |
| 800 | -3487 | -2995 | -34,870 | -14,975 | 0,520 | 0,500 | 0,510 | 0,510 | 0,833 | 83,333 |
| 850 | -3485 | -2992 | -34,850 | -14,960 | 0,540 | 0,515 | 0,527 | 0,527 | 0,885 | 88,542 |
| 900 | -3483 | -2984 | -34,830 | -14,920 | 0,560 | 0,555 | 0,558 | 0,558 | 0,938 | 93,750 |
| 950 | -3479 | -2975 | -34,790 | -14,875 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,990 | 98,958 |
| 1000 | -3474 | -2969 | -34,740 | -14,845 | 0,650 | 0,630 | 0,640 | 0,640 | 1,042 | 104,167 |
| 1050 | -3471 | -2962 | -34,710 | -14,810 | 0,680 | 0,665 | 0,672 | 0,672 | 1,094 | 109,375 |
| 1100 | -3469 | -2952 | -34,690 | -14,760 | 0,700 | 0,715 | 0,708 | 0,708 | 1,146 | 114,583 |
| 1150 | -3466 | -2941 | -34,660 | -14,705 | 0,730 | 0,770 | 0,750 | 0,750 | 1,198 | 119,792 |
| 1200 | -3461 | -2928 | -34,610 | -14,640 | 0,780 | 0,835 | 0,808 | 0,808 | 1,250 | 125,000 |
| 1250 | -3456 | -2918 | -34,560 | -14,590 | 0,830 | 0,885 | 0,857 | 0,857 | 1,302 | 130,208 |
| 1300 | -3452 | -2906 | -34,520 | -14,530 | 0,870 | 0,945 | 0,907 | 0,907 | 1,354 | 135,417 |
| 1350 | -3444 | -2891 | -34,440 | -14,455 | 0,950 | 1,020 | 0,985 | 0,985 | 1,406 | 140,625 |
| 1400 | -3442 | -2879 | -34,420 | -14,395 | 0,970 | 1,080 | 1,025 | 1,025 | 1,458 | 145,833 |
| 1450 | -3437 | -2872 | -34,370 | -14,360 | 1,020 | 1,115 | 1,068 | 1,068 | 1,510 | 151,042 |
| 1500 | -3431 | -2857 | -34,310 | -14,285 | 1,080 | 1,190 | 1,135 | 1,135 | 1,563 | 156,250 |
| 1550 | -3428 | -2847 | -34,280 | -14,235 | 1,110 | 1,240 | 1,175 | 1,175 | 1,615 | 161,458 |
| 1600 | -3420 | -2838 | -34,200 | -14,190 | 1,190 | 1,285 | 1,238 | 1,238 | 1,667 | 166,667 |
| 1650 | -3417 | -2825 | -34,170 | -14,125 | 1,220 | 1,350 | 1,285 | 1,285 | 1,719 | 171,875 |
| 1700 | -3412 | -2814 | -34,120 | -14,070 | 1,270 | 1,405 | 1,338 | 1,338 | 1,771 | 177,083 |
| 1750 | -3405 | -2798 | -34,050 | -13,990 | 1,340 | 1,485 | 1,413 | 1,413 | 1,823 | 182,292 |
| 1800 | -3395 | -2778 | -33,950 | -13,890 | 1,440 | 1,585 | 1,513 | 1,513 | 1,875 | 187,500 |
| 1850 | -3390 | -2763 | -33,900 | -13,815 | 1,490 | 1,660 | 1,575 | 1,575 | 1,927 | 192,708 |
| 1900 | -3383 | -2745 | -33,830 | -13,725 | 1,560 | 1,750 | 1,655 | 1,655 | 1,979 | 197,917 |
| 1950 | -3378 | -2726 | -33,780 | -13,630 | 1,610 | 1,845 | 1,728 | 1,728 | 2,031 | 203,125 |
| 2000 | -3372 | -2704 | -33,720 | -13,520 | 1,670 | 1,955 | 1,813 | 1,813 | 2,083 | 208,333 |
| 2050 | -3365 | -2687 | -33,650 | -13,435 | 1,740 | 2,040 | 1,890 | 1,890 | 2,135 | 213,542 |
| 2100 | -3359 | -2669 | -33,590 | -13,345 | 1,800 | 2,130 | 1,965 | 1,965 | 2,188 | 218,750 |
| 2150 | -3356 | -2650 | -33,560 | -13,250 | 1,830 | 2,225 | 2,028 | 2,028 | 2,240 | 223,958 |
| 2200 | -3347 | -2635 | -33,470 | -13,175 | 1,920 | 2,300 | 2,110 | 2,110 | 2,292 | 229,167 |
| 2250 | -3339 | -2618 | -33,390 | -13,090 | 2,000 | 2,385 | 2,193 | 2,193 | 2,344 | 234,375 |
| 2300 | -3329 | -2603 | -33,290 | -13,015 | 2,100 | 2,460 | 2,280 | 2,280 | 2,396 | 239,583 |
| 2350 | -3322 | -2590 | -33,220 | -12,950 | 2,170 | 2,525 | 2,348 | 2,348 | 2,448 | 244,792 |
| 2400 | -3310 | -2565 | -33,100 | -12,825 | 2,290 | 2,650 | 2,470 | 2,470 | 2,500 | 250,000 |
| 2450 | -3308 | -2562 | -33,080 | -12,810 | 2,310 | 2,665 | 2,488 | 2,488 | 2,552 | 255,208 |
| 2500 | -3304 | -2550 | -33,040 | -12,750 | 2,350 | 2,725 | 2,538 | 2,538 | 2,604 | 260,417 |
| 2550 | -3293 | -2528 | -32,930 | -12,640 | 2,460 | 2,835 | 2,648 | 2,648 | 2,656 | 265,625 |
| 2600 | -3288 | -2520 | -32,880 | -12,600 | 2,510 | 2,875 | 2,693 | 2,693 | 2,708 | 270,833 |
| 2650 | -3279 | -2495 | -32,790 | -12,475 | 2,600 | 3,000 | 2,800 | 2,800 | 2,760 | 276,042 |
| 2700 | -3277 | -2486 | -32,770 | -12,430 | 2,620 | 3,045 | 2,833 | 2,833 | 2,813 | 281,250 |
| 2750 | -3267 | -2463 | -32,670 | -12,315 | 2,720 | 3,160 | 2,940 | 2,940 | 2,865 | 286,458 |
| 2800 | -3253 | -2435 | -32,530 | -12,175 | 2,860 | 3,300 | 3,080 | 3,080 | 2,917 | 291,667 |
| 2850 | -3243 | -2415 | -32,430 | -12,075 | 2,960 | 3,400 | 3,180 | 3,180 | 2,969 | 296,875 |
| 2900 | -3232 | -2390 | -32,320 | -11,950 | 3,070 | 3,525 | 3,298 | 3,298 | 3,021 | 302,083 |
| 2950 | -3224 | -2370 | -32,240 | -11,850 | 3,150 | 3,625 | 3,388 | 3,388 | 3,073 | 307,292 |
| 3000 | -3211 | -2363 | -32,110 | -11,815 | 3,280 | 3,660 | 3,470 | 3,470 | 3,125 | 312,500 |
| 3050 | -3201 | -2348 | -32,010 | -11,740 | 3,380 | 3,735 | 3,558 | 3,558 | 3,177 | 317,708 |
| 3100 | -3188 | -2326 | -31,880 | -11,630 | 3,510 | 3,845 | 3,678 | 3,678 | 3,229 | 322,917 |
| 3150 | -3179 | -2316 | -31,790 | -11,580 | 3,600 | 3,895 | 3,748 | 3,748 | 3,281 | 328,125 |
| 3200 | -3168 | -2291 | -31,680 | -11,455 | 3,710 | 4,020 | 3,865 | 3,865 | 3,333 | 333,333 |
| 3250 | -3160 | -2263 | -31,600 | -11,315 | 3,790 | 4,160 | 3,975 | 3,975 | 3,385 | 338,542 |
| 3248 | -3148 | -2248 | -31,480 | -11,240 | 3,910 | 4,235 | 4,073 | 4,073 | 3,383 | 338,333 |
| 3248 | -3132 | -2228 | -31,320 | -11,140 | 4,070 | 4,335 | 4,203 | 4,203 | 3,383 | 338,333 |
| 3245 | -3122 | -2206 | -31,220 | -11,030 | 4,170 | 4,445 | 4,308 | 4,308 | 3,380 | 338,021 |
| 3250 | -3109 | -2181 | -31,090 | -10,905 | 4,300 | 4,570 | 4,435 | 4,435 | 3,385 | 338,542 |
| 3245 | -3090 | -2146 | -30,900 | -10,730 | 4,490 | 4,745 | 4,618 | 4,618 | 3,380 | 338,021 |
| 3240 | -3070 | -2116 | -30,700 | -10,580 | 4,690 | 4,895 | 4,793 | 4,793 | 3,375 | 337,500 |
| 3235 | -3051 | -2078 | -30,510 | -10,390 | 4,880 | 5,085 | 4,983 | 4,983 | 3,370 | 336,979 |

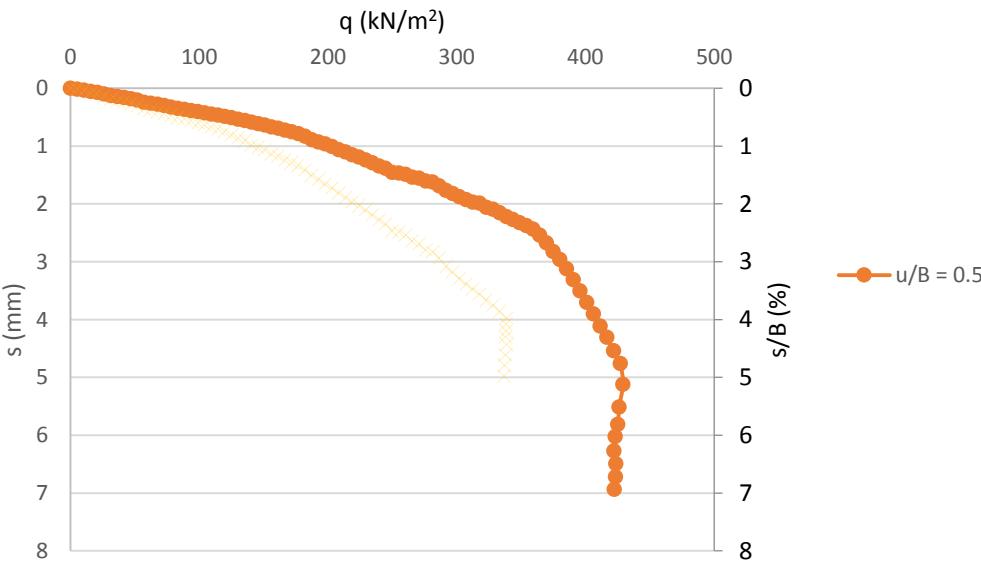


8. $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,5$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm2) | q (kN/m2) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|------------|-----------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -4140 | -2742 | -41,400 | -13,710 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -4138 | -2740 | -41,380 | -13,700 | 0,020 | 0,010 | 0,015 | 0,015 | 0,052 | 5,208 |
| 100 | -4136 | -2737 | -41,360 | -13,685 | 0,040 | 0,025 | 0,032 | 0,032 | 0,104 | 10,417 |
| 150 | -4134 | -2732 | -41,340 | -13,660 | 0,060 | 0,050 | 0,055 | 0,055 | 0,156 | 15,625 |
| 200 | -4132 | -2729 | -41,320 | -13,645 | 0,080 | 0,065 | 0,072 | 0,072 | 0,208 | 20,833 |
| 250 | -4129 | -2725 | -41,290 | -13,625 | 0,110 | 0,085 | 0,098 | 0,098 | 0,260 | 26,042 |
| 300 | -4126 | -2720 | -41,260 | -13,600 | 0,140 | 0,110 | 0,125 | 0,125 | 0,313 | 31,250 |
| 350 | -4124 | -2717 | -41,240 | -13,585 | 0,160 | 0,125 | 0,142 | 0,142 | 0,365 | 36,458 |
| 400 | -4122 | -2714 | -41,220 | -13,570 | 0,180 | 0,140 | 0,160 | 0,160 | 0,417 | 41,667 |
| 450 | -4120 | -2710 | -41,200 | -13,550 | 0,200 | 0,160 | 0,180 | 0,180 | 0,469 | 46,875 |
| 500 | -4117 | -2707 | -41,170 | -13,535 | 0,230 | 0,175 | 0,202 | 0,202 | 0,521 | 52,083 |
| 550 | -4112 | -2702 | -41,120 | -13,510 | 0,280 | 0,200 | 0,240 | 0,240 | 0,573 | 57,292 |
| 600 | -4110 | -2699 | -41,100 | -13,495 | 0,300 | 0,215 | 0,257 | 0,257 | 0,625 | 62,500 |
| 650 | -4108 | -2695 | -41,080 | -13,475 | 0,320 | 0,235 | 0,278 | 0,278 | 0,677 | 67,708 |
| 700 | -4106 | -2690 | -41,060 | -13,450 | 0,340 | 0,260 | 0,300 | 0,300 | 0,729 | 72,917 |
| 750 | -4103 | -2686 | -41,030 | -13,430 | 0,370 | 0,280 | 0,325 | 0,325 | 0,781 | 78,125 |
| 800 | -4100 | -2683 | -41,000 | -13,415 | 0,400 | 0,295 | 0,347 | 0,347 | 0,833 | 83,333 |
| 850 | -4098 | -2680 | -40,980 | -13,400 | 0,420 | 0,310 | 0,365 | 0,365 | 0,885 | 88,542 |
| 900 | -4096 | -2676 | -40,960 | -13,380 | 0,440 | 0,330 | 0,385 | 0,385 | 0,938 | 93,750 |
| 950 | -4094 | -2672 | -40,940 | -13,360 | 0,460 | 0,350 | 0,405 | 0,405 | 0,990 | 98,958 |
| 1000 | -4092 | -2669 | -40,920 | -13,345 | 0,480 | 0,365 | 0,422 | 0,422 | 1,042 | 104,167 |
| 1050 | -4089 | -2666 | -40,890 | -13,330 | 0,510 | 0,380 | 0,445 | 0,445 | 1,094 | 109,375 |
| 1100 | -4087 | -2662 | -40,870 | -13,310 | 0,530 | 0,400 | 0,465 | 0,465 | 1,146 | 114,583 |
| 1150 | -4085 | -2657 | -40,850 | -13,285 | 0,550 | 0,425 | 0,487 | 0,487 | 1,198 | 119,792 |
| 1200 | -4082 | -2655 | -40,820 | -13,275 | 0,580 | 0,435 | 0,507 | 0,507 | 1,250 | 125,000 |
| 1250 | -4079 | -2650 | -40,790 | -13,250 | 0,610 | 0,460 | 0,535 | 0,535 | 1,302 | 130,208 |
| 1300 | -4077 | -2644 | -40,770 | -13,220 | 0,630 | 0,490 | 0,560 | 0,560 | 1,354 | 135,417 |
| 1350 | -4075 | -2637 | -40,750 | -13,185 | 0,650 | 0,525 | 0,587 | 0,587 | 1,406 | 140,625 |
| 1400 | -4073 | -2631 | -40,730 | -13,155 | 0,670 | 0,555 | 0,612 | 0,612 | 1,458 | 145,833 |
| 1450 | -4070 | -2628 | -40,700 | -13,140 | 0,700 | 0,570 | 0,635 | 0,635 | 1,510 | 151,042 |
| 1500 | -4067 | -2620 | -40,670 | -13,100 | 0,730 | 0,610 | 0,670 | 0,670 | 1,563 | 156,250 |
| 1550 | -4065 | -2616 | -40,650 | -13,080 | 0,750 | 0,630 | 0,690 | 0,690 | 1,615 | 161,458 |
| 1600 | -4060 | -2613 | -40,600 | -13,065 | 0,800 | 0,645 | 0,722 | 0,722 | 1,667 | 166,667 |
| 1650 | -4058 | -2605 | -40,580 | -13,025 | 0,820 | 0,685 | 0,753 | 0,753 | 1,719 | 171,875 |
| 1700 | -4055 | -2598 | -40,550 | -12,990 | 0,850 | 0,720 | 0,785 | 0,785 | 1,771 | 177,083 |
| 1750 | -4051 | -2588 | -40,510 | -12,940 | 0,890 | 0,770 | 0,830 | 0,830 | 1,823 | 182,292 |
| 1800 | -4046 | -2573 | -40,460 | -12,865 | 0,940 | 0,845 | 0,892 | 0,892 | 1,875 | 187,500 |
| 1850 | -4043 | -2565 | -40,430 | -12,825 | 0,970 | 0,885 | 0,927 | 0,927 | 1,927 | 192,708 |
| 1900 | -4041 | -2555 | -40,410 | -12,775 | 0,990 | 0,935 | 0,962 | 0,962 | 1,979 | 197,917 |
| 1950 | -4038 | -2543 | -40,380 | -12,715 | 1,020 | 0,995 | 1,008 | 1,008 | 2,031 | 203,125 |
| 2000 | -4034 | -2530 | -40,340 | -12,650 | 1,060 | 1,060 | 1,060 | 1,060 | 2,083 | 208,333 |
| 2050 | -4031 | -2520 | -40,310 | -12,600 | 1,090 | 1,110 | 1,100 | 1,100 | 2,135 | 213,542 |
| 2100 | -4027 | -2508 | -40,270 | -12,540 | 1,130 | 1,170 | 1,150 | 1,150 | 2,188 | 218,750 |
| 2150 | -4025 | -2496 | -40,250 | -12,480 | 1,150 | 1,230 | 1,190 | 1,190 | 2,240 | 223,958 |
| 2200 | -4020 | -2487 | -40,200 | -12,435 | 1,200 | 1,275 | 1,238 | 1,238 | 2,292 | 229,167 |
| 2250 | -4016 | -2474 | -40,160 | -12,370 | 1,240 | 1,340 | 1,290 | 1,290 | 2,344 | 234,375 |
| 2300 | -4010 | -2465 | -40,100 | -12,325 | 1,300 | 1,385 | 1,343 | 1,343 | 2,396 | 239,583 |
| 2350 | -4006 | -2456 | -40,060 | -12,280 | 1,340 | 1,430 | 1,385 | 1,385 | 2,448 | 244,792 |
| 2400 | -4001 | -2439 | -40,010 | -12,195 | 1,390 | 1,515 | 1,453 | 1,453 | 2,500 | 250,000 |
| 2450 | -3999 | -2437 | -39,990 | -12,185 | 1,410 | 1,525 | 1,468 | 1,468 | 2,552 | 255,208 |
| 2500 | -3997 | -2432 | -39,970 | -12,160 | 1,430 | 1,550 | 1,490 | 1,490 | 2,604 | 260,417 |
| 2550 | -3992 | -2422 | -39,920 | -12,110 | 1,480 | 1,600 | 1,540 | 1,540 | 2,656 | 265,625 |
| 2600 | -3990 | -2420 | -39,900 | -12,100 | 1,500 | 1,610 | 1,555 | 1,555 | 2,708 | 270,833 |
| 2650 | -3986 | -2408 | -39,860 | -12,040 | 1,540 | 1,670 | 1,605 | 1,605 | 2,760 | 276,042 |
| 2700 | -3984 | -2405 | -39,840 | -12,025 | 1,560 | 1,685 | 1,623 | 1,623 | 2,813 | 281,250 |
| 2750 | -3978 | -2390 | -39,780 | -11,950 | 1,620 | 1,760 | 1,690 | 1,690 | 2,865 | 286,458 |
| 2800 | -3971 | -2373 | -39,710 | -11,865 | 1,690 | 1,845 | 1,768 | 1,768 | 2,917 | 291,667 |
| 2850 | -3966 | -2363 | -39,660 | -11,815 | 1,740 | 1,895 | 1,818 | 1,818 | 2,969 | 296,875 |
| 2900 | -3960 | -2351 | -39,600 | -11,755 | 1,800 | 1,955 | 1,878 | 1,878 | 3,021 | 302,083 |
| 2950 | -3956 | -2340 | -39,560 | -11,700 | 1,840 | 2,010 | 1,925 | 1,925 | 3,073 | 307,292 |
| 3000 | -3950 | -2335 | -39,500 | -11,675 | 1,900 | 2,035 | 1,968 | 1,968 | 3,125 | 312,500 |

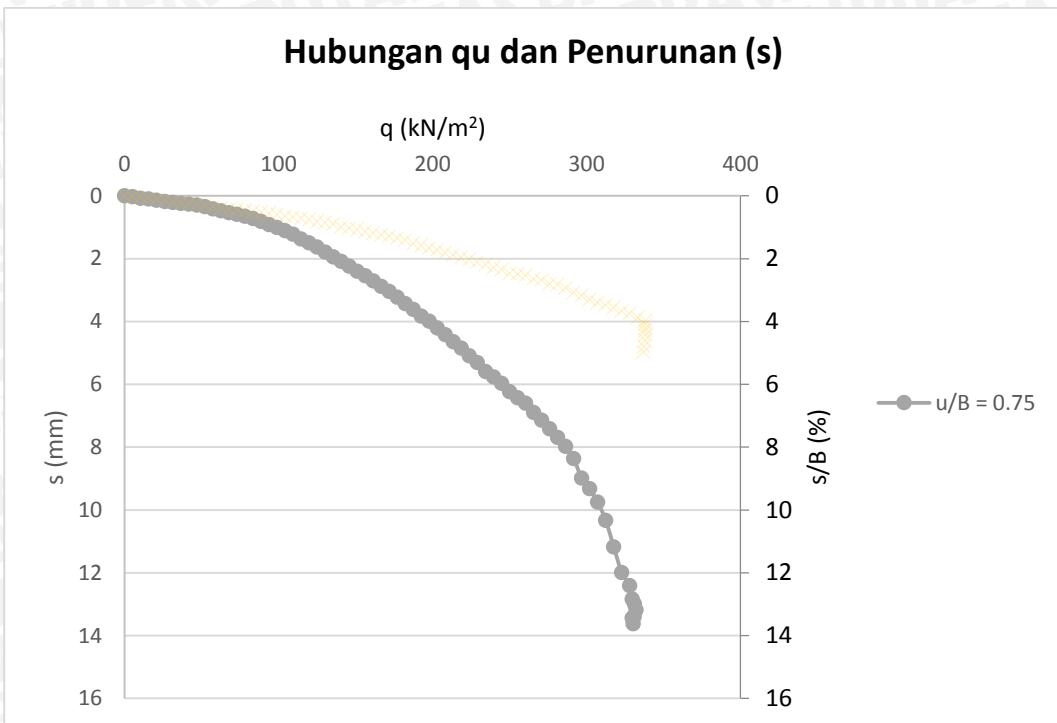
| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 3050 | -3948 | -2331 | -39,480 | -11,655 | 1,920 | 2,055 | 1,988 | 1,988 | 3,177 | 317,708 |
| 3100 | -3941 | -2316 | -39,410 | -11,580 | 1,990 | 2,130 | 2,060 | 2,060 | 3,229 | 322,917 |
| 3150 | -3937 | -2311 | -39,370 | -11,555 | 2,030 | 2,155 | 2,093 | 2,093 | 3,281 | 328,125 |
| 3200 | -3932 | -2296 | -39,320 | -11,480 | 2,080 | 2,230 | 2,155 | 2,155 | 3,333 | 333,333 |
| 3250 | -3928 | -2278 | -39,280 | -11,390 | 2,120 | 2,320 | 2,220 | 2,220 | 3,385 | 338,542 |
| 3300 | -3922 | -2270 | -39,220 | -11,350 | 2,180 | 2,360 | 2,270 | 2,270 | 3,438 | 343,750 |
| 3350 | -3916 | -2260 | -39,160 | -11,300 | 2,240 | 2,410 | 2,325 | 2,325 | 3,490 | 348,958 |
| 3400 | -3912 | -2249 | -39,120 | -11,245 | 2,280 | 2,465 | 2,373 | 2,373 | 3,542 | 354,167 |
| 3450 | -3908 | -2233 | -39,080 | -11,165 | 2,320 | 2,545 | 2,433 | 2,433 | 3,594 | 359,375 |
| 3500 | -3896 | -2213 | -38,960 | -11,065 | 2,440 | 2,645 | 2,543 | 2,543 | 3,646 | 364,583 |
| 3550 | -3883 | -2188 | -38,830 | -10,940 | 2,570 | 2,770 | 2,670 | 2,670 | 3,698 | 369,792 |
| 3600 | -3868 | -2158 | -38,680 | -10,790 | 2,720 | 2,920 | 2,820 | 2,820 | 3,750 | 375,000 |
| 3650 | -3856 | -2126 | -38,560 | -10,630 | 2,840 | 3,080 | 2,960 | 2,960 | 3,802 | 380,208 |
| 3700 | -3841 | -2091 | -38,410 | -10,455 | 2,990 | 3,255 | 3,123 | 3,123 | 3,854 | 385,417 |
| 3750 | -3826 | -2047 | -38,260 | -10,235 | 3,140 | 3,475 | 3,308 | 3,308 | 3,906 | 390,625 |
| 3800 | -3807 | -2007 | -38,070 | -10,035 | 3,330 | 3,675 | 3,503 | 3,503 | 3,958 | 395,833 |
| 3850 | -3790 | -1962 | -37,900 | -9,810 | 3,500 | 3,900 | 3,700 | 3,700 | 4,010 | 401,042 |
| 3900 | -3775 | -1911 | -37,750 | -9,555 | 3,650 | 4,155 | 3,903 | 3,903 | 4,063 | 406,250 |
| 3950 | -3757 | -1863 | -37,570 | -9,315 | 3,830 | 4,395 | 4,113 | 4,113 | 4,115 | 411,458 |
| 4000 | -3741 | -1817 | -37,410 | -9,085 | 3,990 | 4,625 | 4,308 | 4,308 | 4,167 | 416,667 |
| 4050 | -3720 | -1767 | -37,200 | -8,835 | 4,200 | 4,875 | 4,538 | 4,538 | 4,219 | 421,875 |
| 4100 | -3698 | -1722 | -36,980 | -8,610 | 4,420 | 5,100 | 4,760 | 4,760 | 4,271 | 427,083 |
| 4120 | -3656 | -1662 | -36,560 | -8,310 | 4,840 | 5,400 | 5,120 | 5,120 | 4,292 | 429,167 |
| 4092 | -3611 | -1595 | -36,110 | -7,975 | 5,290 | 5,735 | 5,513 | 5,513 | 4,263 | 426,250 |
| 4083 | -3578 | -1541 | -35,780 | -7,705 | 5,620 | 6,005 | 5,813 | 5,813 | 4,253 | 425,313 |
| 4062 | -3557 | -1500 | -35,570 | -7,500 | 5,830 | 6,210 | 6,020 | 6,020 | 4,231 | 423,125 |
| 4054 | -3524 | -1465 | -35,240 | -7,325 | 6,160 | 6,385 | 6,273 | 6,273 | 4,223 | 422,292 |
| 4067 | -3494 | -1436 | -34,940 | -7,180 | 6,460 | 6,530 | 6,495 | 6,495 | 4,236 | 423,646 |
| 4065 | -3465 | -1404 | -34,650 | -7,020 | 6,750 | 6,690 | 6,720 | 6,720 | 4,234 | 423,438 |
| 4055 | -3437 | -1374 | -34,370 | -6,870 | 7,030 | 6,840 | 6,935 | 6,935 | 4,224 | 422,396 |

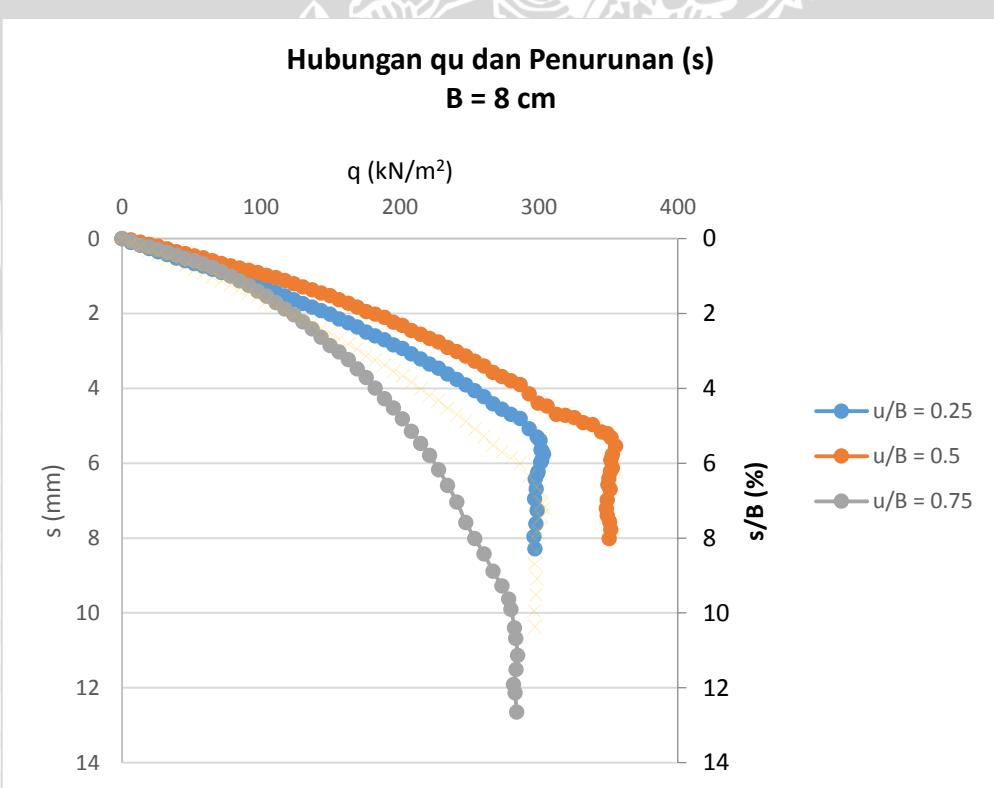
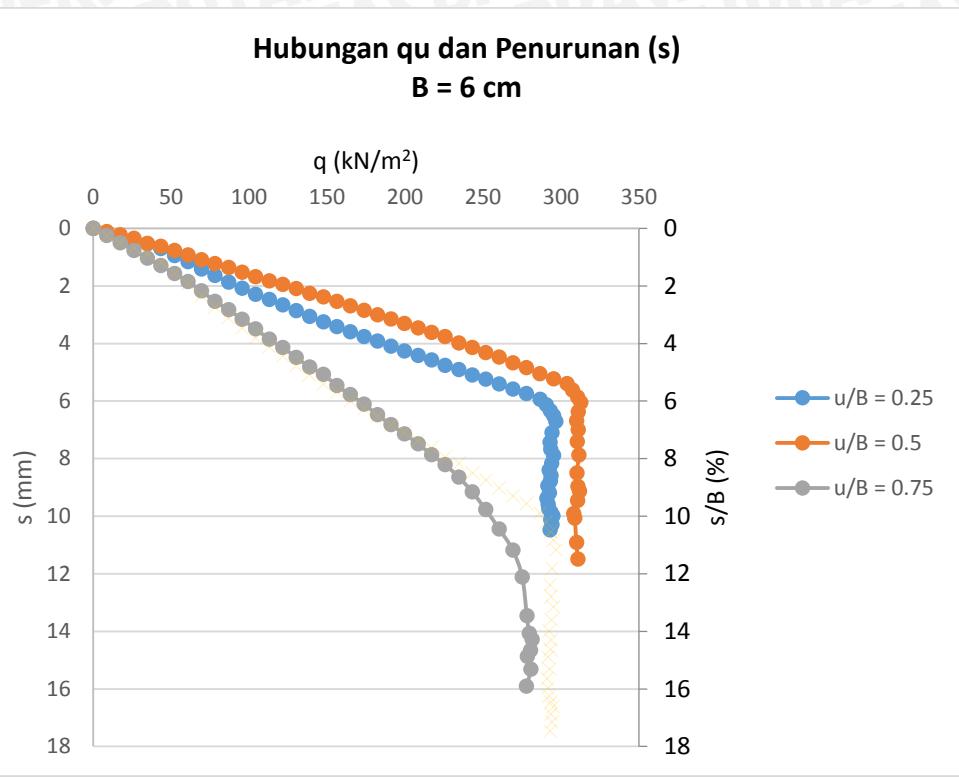
Hubungan qu dan Penurunan (s)

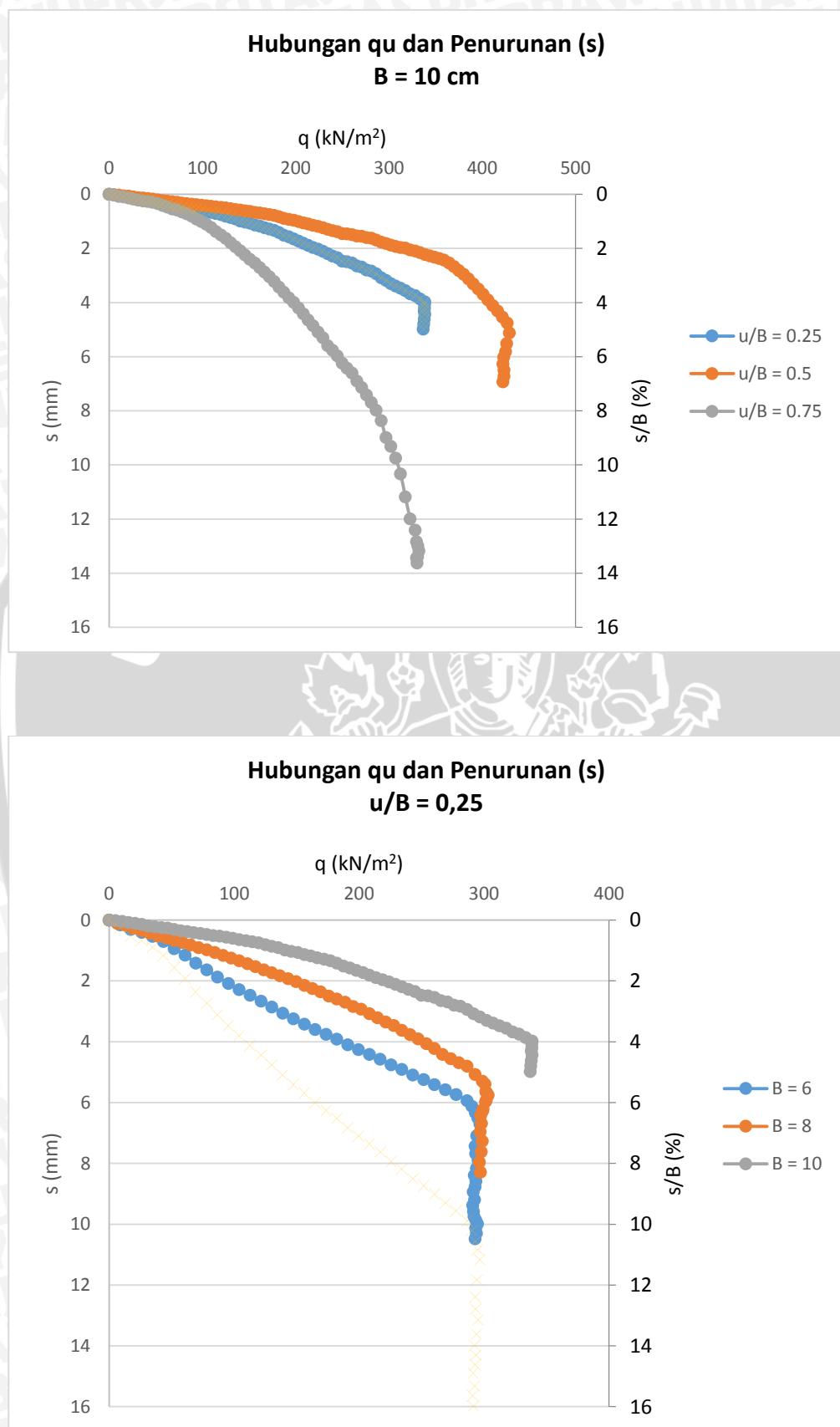


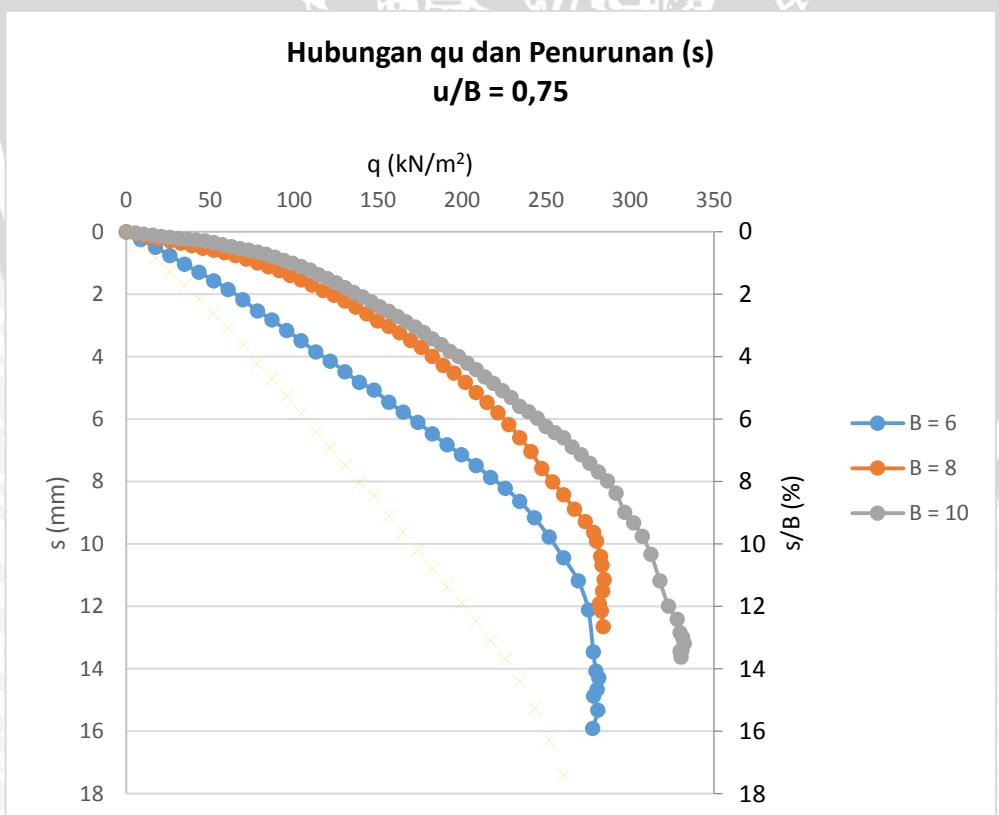
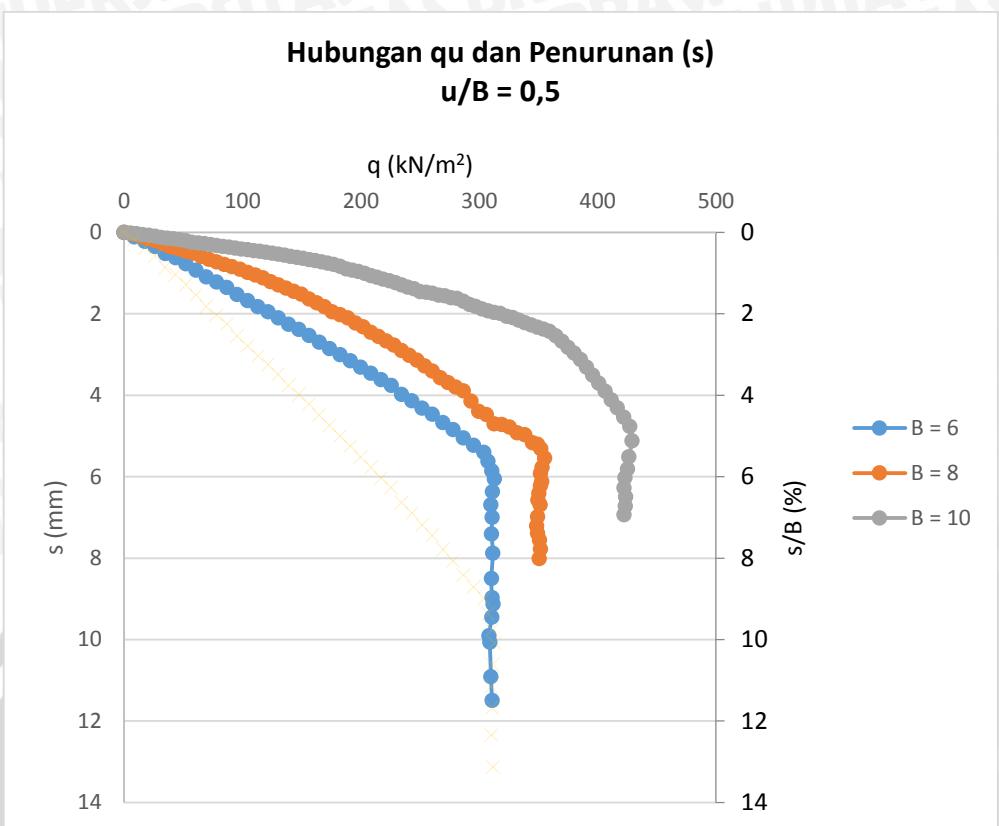
9. $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$, $n = 3$, $u/B = 0,75$

| BEBAN (kg) | LVDT | | LVDT Terkalibrasi | | PENURUNAN (mm) | | | s/B (%) | q (kg/cm ²) | q (kN/m ²) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|-------------------------|------------------------|
| | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Pembacaan 1 | Pembacaan 2 | Rata-Rata | | | |
| 0 | -3508 | -3092 | -35,080 | -15,460 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | -3506 | -3084 | -35,060 | -15,420 | 0,020 | 0,040 | 0,030 | 0,030 | 0,052 | 5,208 |
| 100 | -3501 | -3074 | -35,010 | -15,370 | 0,070 | 0,090 | 0,080 | 0,080 | 0,104 | 10,417 |
| 150 | -3499 | -3069 | -34,990 | -15,345 | 0,090 | 0,115 | 0,102 | 0,102 | 0,156 | 15,625 |
| 200 | -3496 | -3059 | -34,960 | -15,295 | 0,120 | 0,165 | 0,142 | 0,142 | 0,208 | 20,833 |
| 250 | -3492 | -3052 | -34,920 | -15,260 | 0,160 | 0,200 | 0,180 | 0,180 | 0,260 | 26,042 |
| 300 | -3490 | -3042 | -34,900 | -15,210 | 0,180 | 0,250 | 0,215 | 0,215 | 0,313 | 31,250 |
| 350 | -3487 | -3037 | -34,870 | -15,185 | 0,210 | 0,275 | 0,243 | 0,243 | 0,365 | 36,458 |
| 400 | -3485 | -3033 | -34,850 | -15,165 | 0,230 | 0,295 | 0,262 | 0,262 | 0,417 | 41,667 |
| 450 | -3482 | -3026 | -34,820 | -15,130 | 0,260 | 0,330 | 0,295 | 0,295 | 0,469 | 46,875 |
| 500 | -3477 | -3016 | -34,770 | -15,080 | 0,310 | 0,380 | 0,345 | 0,345 | 0,521 | 52,083 |
| 550 | -3471 | -3001 | -34,710 | -15,005 | 0,370 | 0,455 | 0,412 | 0,412 | 0,573 | 57,292 |
| 600 | -3464 | -2991 | -34,640 | -14,955 | 0,440 | 0,505 | 0,472 | 0,472 | 0,625 | 62,500 |
| 650 | -3458 | -2976 | -34,580 | -14,880 | 0,500 | 0,580 | 0,540 | 0,540 | 0,677 | 67,708 |
| 700 | -3454 | -2966 | -34,540 | -14,830 | 0,540 | 0,630 | 0,585 | 0,585 | 0,729 | 72,917 |
| 750 | -3448 | -2951 | -34,480 | -14,755 | 0,600 | 0,705 | 0,652 | 0,652 | 0,781 | 78,125 |
| 800 | -3441 | -2937 | -34,410 | -14,685 | 0,670 | 0,775 | 0,722 | 0,722 | 0,833 | 83,333 |
| 850 | -3431 | -2921 | -34,310 | -14,605 | 0,770 | 0,855 | 0,812 | 0,812 | 0,885 | 88,542 |
| 900 | -3420 | -2902 | -34,200 | -14,510 | 0,880 | 0,950 | 0,915 | 0,915 | 0,938 | 93,750 |
| 950 | -3412 | -2882 | -34,120 | -14,410 | 0,960 | 1,050 | 1,005 | 1,005 | 0,990 | 98,958 |
| 1000 | -3402 | -2861 | -34,020 | -14,305 | 1,060 | 1,155 | 1,108 | 1,108 | 1,042 | 104,167 |
| 1050 | -3391 | -2836 | -33,910 | -14,180 | 1,170 | 1,280 | 1,225 | 1,225 | 1,094 | 109,375 |
| 1100 | -3376 | -2806 | -33,760 | -14,030 | 1,320 | 1,430 | 1,375 | 1,375 | 1,146 | 114,583 |
| 1150 | -3361 | -2786 | -33,610 | -13,930 | 1,470 | 1,530 | 1,500 | 1,500 | 1,198 | 119,792 |
| 1200 | -3348 | -2759 | -33,480 | -13,795 | 1,600 | 1,665 | 1,633 | 1,633 | 1,250 | 125,000 |
| 1250 | -3332 | -2729 | -33,320 | -13,645 | 1,760 | 1,815 | 1,788 | 1,788 | 1,302 | 130,208 |
| 1300 | -3317 | -2698 | -33,170 | -13,490 | 1,910 | 1,970 | 1,940 | 1,940 | 1,354 | 135,417 |
| 1350 | -3304 | -2665 | -33,040 | -13,325 | 2,040 | 2,135 | 2,088 | 2,088 | 1,406 | 140,625 |
| 1400 | -3290 | -2631 | -32,900 | -13,155 | 2,180 | 2,305 | 2,243 | 2,243 | 1,458 | 145,833 |
| 1450 | -3275 | -2596 | -32,750 | -12,980 | 2,330 | 2,480 | 2,405 | 2,405 | 1,510 | 151,042 |
| 1500 | -3262 | -2566 | -32,620 | -12,830 | 2,460 | 2,630 | 2,545 | 2,545 | 1,563 | 156,250 |
| 1550 | -3247 | -2531 | -32,470 | -12,655 | 2,610 | 2,805 | 2,708 | 2,708 | 1,615 | 161,458 |
| 1600 | -3231 | -2494 | -32,310 | -12,470 | 2,770 | 2,990 | 2,880 | 2,880 | 1,667 | 166,667 |
| 1650 | -3216 | -2458 | -32,160 | -12,290 | 2,920 | 3,170 | 3,045 | 3,045 | 1,719 | 171,875 |
| 1700 | -3198 | -2423 | -31,980 | -12,115 | 3,100 | 3,345 | 3,223 | 3,223 | 1,771 | 177,083 |
| 1750 | -3177 | -2383 | -31,770 | -11,915 | 3,310 | 3,545 | 3,428 | 3,428 | 1,823 | 182,292 |
| 1800 | -3159 | -2344 | -31,590 | -11,720 | 3,490 | 3,740 | 3,615 | 3,615 | 1,875 | 187,500 |
| 1850 | -3138 | -2301 | -31,380 | -11,505 | 3,700 | 3,955 | 3,828 | 3,828 | 1,927 | 192,708 |
| 1900 | -3123 | -2264 | -31,230 | -11,320 | 3,850 | 4,140 | 3,995 | 3,995 | 1,979 | 197,917 |
| 1950 | -3102 | -2222 | -31,020 | -11,110 | 4,060 | 4,350 | 4,205 | 4,205 | 2,031 | 203,125 |
| 2000 | -3084 | -2174 | -30,840 | -10,870 | 4,240 | 4,590 | 4,415 | 4,415 | 2,083 | 208,333 |
| 2050 | -3056 | -2137 | -30,560 | -10,685 | 4,520 | 4,775 | 4,648 | 4,648 | 2,135 | 213,542 |
| 2100 | -3037 | -2094 | -30,370 | -10,470 | 4,710 | 4,990 | 4,850 | 4,850 | 2,188 | 218,750 |
| 2150 | -3016 | -2040 | -30,160 | -10,200 | 4,920 | 5,260 | 5,090 | 5,090 | 2,240 | 223,958 |
| 2200 | -2995 | -1997 | -29,950 | -9,985 | 5,130 | 5,475 | 5,303 | 5,303 | 2,292 | 229,167 |
| 2250 | -2967 | -1936 | -29,670 | -9,680 | 5,410 | 5,780 | 5,595 | 5,595 | 2,344 | 234,375 |
| 2300 | -2949 | -1904 | -29,490 | -9,520 | 5,590 | 5,940 | 5,765 | 5,765 | 2,396 | 239,583 |
| 2350 | -2929 | -1863 | -29,290 | -9,315 | 5,790 | 6,145 | 5,968 | 5,968 | 2,448 | 244,792 |
| 2400 | -2904 | -1806 | -29,040 | -9,030 | 6,040 | 6,430 | 6,235 | 6,235 | 2,500 | 250,000 |
| 2450 | -2889 | -1758 | -28,890 | -8,790 | 6,190 | 6,670 | 6,430 | 6,430 | 2,552 | 255,208 |
| 2500 | -2871 | -1726 | -28,710 | -8,630 | 6,370 | 6,830 | 6,600 | 6,600 | 2,604 | 260,417 |
| 2550 | -2842 | -1665 | -28,420 | -8,325 | 6,660 | 7,135 | 6,898 | 6,898 | 2,656 | 265,625 |
| 2600 | -2817 | -1619 | -28,170 | -8,095 | 6,910 | 7,365 | 7,138 | 7,138 | 2,708 | 270,833 |
| 2650 | -2789 | -1563 | -27,890 | -7,815 | 7,190 | 7,645 | 7,418 | 7,418 | 2,760 | 276,042 |
| 2700 | -2761 | -1509 | -27,610 | -7,545 | 7,470 | 7,915 | 7,693 | 7,693 | 2,813 | 281,250 |
| 2750 | -2729 | -1458 | -27,290 | -7,290 | 7,790 | 8,170 | 7,980 | 7,980 | 2,865 | 286,458 |
| 2800 | -2691 | -1380 | -26,910 | -6,900 | 8,170 | 8,560 | 8,365 | 8,365 | 2,917 | 291,667 |
| 2850 | -2627 | -1259 | -26,270 | -6,295 | 8,810 | 9,165 | 8,988 | 8,988 | 2,969 | 296,875 |
| 2900 | -2607 | -1167 | -26,070 | -5,835 | 9,010 | 9,625 | 9,318 | 9,318 | 3,021 | 302,083 |
| 2950 | -2549 | -1109 | -25,490 | -5,545 | 9,590 | 9,915 | 9,753 | 9,753 | 3,073 | 307,292 |
| 3000 | -2489 | -998 | -24,890 | -4,990 | 10,190 | 10,470 | 10,330 | 10,330 | 3,125 | 312,500 |
| 3050 | -2427 | -783 | -24,270 | -3,915 | 10,810 | 11,545 | 11,178 | 11,178 | 3,177 | 317,708 |
| 3100 | -2326 | -659 | -23,260 | -3,295 | 11,820 | 12,165 | 11,993 | 11,993 | 3,229 | 322,917 |
| 3150 | -2272 | -601 | -22,720 | -3,005 | 12,360 | 12,455 | 12,408 | 12,408 | 3,281 | 328,125 |
| 3165 | -2234 | -506 | -22,340 | -2,530 | 12,740 | 12,930 | 12,835 | 12,835 | 3,297 | 329,688 |
| 3180 | -2203 | -507 | -22,030 | -2,535 | 13,050 | 12,925 | 12,988 | 12,988 | 3,313 | 331,250 |
| 3189 | -2195 | -446 | -21,950 | -2,230 | 13,130 | 13,230 | 13,180 | 13,180 | 3,322 | 332,188 |
| 3177 | -2164 | -421 | -21,640 | -2,105 | 13,440 | 13,355 | 13,398 | 13,398 | 3,309 | 330,938 |
| 3165 | -2158 | -417 | -21,580 | -2,085 | 13,500 | 13,375 | 13,438 | 13,438 | 3,297 | 329,688 |
| 3171 | -2147 | -365 | -21,470 | -1,825 | 13,610 | 13,635 | 13,623 | 13,623 | 3,303 | 330,313 |









Lampiran 7. Perhitungan Daya Dukung Tanah Pasir Tanpa Perkuatan dengan Metode Analitik

A. Metode Meyerhoff

$$\gamma = 16,48 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah} = 43,15^\circ$$

$$L = \sim$$

1. $B = 6 \text{ cm}$, $d/B = 1$

$$B = \text{lebar pondasi } (B = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m})$$

$$d = \text{jarak kedalaman pondasi } (d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m})$$

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1,4 \phi) = (101,396 - 1) \tan (1,4 \times 43,15) = 176,800$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 43,15/2) = 5,327$$

$$f_{cs} = 1 + 0,2 K_p B/L = 1 + 0,2 \times 5,327 \times 0,06/\sim = 1$$

$$f_{qs} = 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,06/\sim = 1$$

$$f_{\gamma s} = 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,06/\sim = 1$$

$$f_{cd} = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,2 \sqrt{5,327} (0,06/0,06) = 1,462$$

$$f_{qd} = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,06/0,06) = 1,231$$

$$f_{\gamma d} = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,06/0,06) = 1,231$$

$$f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i} = 1$$

$$q_u = c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$\quad \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i}$$

$$= 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,462 \times 1 + 16,48 \times 0,06 \times 101,396 \times 1 \times 1,231 \times 1 + 0,5$$

$$\quad \times 16,48 \times 0,06 \times 176,800 \times 1 \times 1,231 \times 1$$

$$= 230,986 \text{ kN/m}^3$$



2. $B = 8 \text{ cm}$, $d/B = 1$

$$\begin{aligned}
 B &= \text{lebar pondasi} (B = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}) \\
 d &= \text{jarak kedalaman pondasi} (d = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}) \\
 N_q &= e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396 \\
 N_c &= (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098 \\
 N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4 \phi) = (101,396 - 1) \tan (1,4 \times 43,15) = 176,800 \\
 K_p &= \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 43,15/2) = 5,327 \\
 f_{cs} &= 1 + 0,2 K_p B/L = 1 + 0,2 \times 5,327 \times 0,08/\sim = 1 \\
 f_{qs} &= 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,08/\sim = 1 \\
 f_{\gamma s} &= 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,08/\sim = 1 \\
 f_{cd} &= 1 + 0,2 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,2 \sqrt{5,327} (0,08/0,08) = 1,462 \\
 f_{qd} &= 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,08/0,08) = 1,231 \\
 f_{\gamma d} &= 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,08/0,08) = 1,231 \\
 f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i} &= 1 \\
 q_u &= c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{q\delta} \times f_{q\beta} + 0,5 \times \gamma \times B \times \\
 &\quad N_\gamma \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} \\
 &= 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,462 \times 1 + 16,48 \times 0,08 \times 101,396 \times 1 \times 1,231 \times 1 + \\
 &\quad 0,5 \times 16,48 \times 0,08 \times 176,800 \times 1 \times 1,231 \times 1 \\
 &= 307,982 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$



3. $B = 10 \text{ cm}$, $d/B = 1$

$$\begin{aligned}
 B &= \text{lebar pondasi} (B = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}) \\
 d &= \text{jarak kedalaman pondasi} (d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}) \\
 N_q &= e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396 \\
 N_c &= (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098 \\
 N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4 \phi) = (101,396 - 1) \tan (1,4 \times 43,15) = 176,800 \\
 K_p &= \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 43,15/2) = 5,327 \\
 f_{cs} &= 1 + 0,2 K_p B/L = 1 + 0,2 \times 5,327 \times 0,1/\sim = 1 \\
 f_{qs} &= 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,1/\sim = 1 \\
 f_{\gamma s} &= 1 + 0,1 K_p B/L = 1 + 0,1 \times 5,327 \times 0,1/\sim = 1 \\
 f_{cd} &= 1 + 0,2 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,2 \sqrt{5,327} (0,1/0,1) = 1,462 \\
 f_{qd} &= 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,1/0,1) = 1,231 \\
 f_{\gamma d} &= 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) = 1 + 0,1 \sqrt{5,327} (0,1/0,1) = 1,231 \\
 f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i} &= 1 \\
 q_u &= c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{q\delta} \times f_{q\beta} + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \\
 &\quad \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} \\
 &= 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,462 \times 1 + 16,48 \times 0,1 \times 101,396 \times 1 \times 1,231 \times 1 + 0,5 \times \\
 &\quad 16,48 \times 0,1 \times 176,800 \times 1 \times 1,231 \times 1 \\
 &= 384,977 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$



B. Metode Hansen

$$\gamma = 16,48 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah} = 43,15^\circ$$

$$L = \sim$$

1. $B = 6, d/B = 1$

$$B = \text{lebar pondasi } (B = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m})$$

$$d = \text{jarak kedalaman pondasi } (d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m})$$

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (101,396 - 1) \tan 43,15 \\ = 141,170$$

$$f_{cs} = 1 + (B/L)(N_q/N_c) = 1 + (0,06/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$f_{qs} = 1 + (B/L)\tan \phi = 1 + (0,06/\sim) \tan 43,15 = 1$$

$$f_{\gamma s} = 1 - 0,4 (B/L) = 1 - 0,4 (0,06/\sim) = 1$$

$$f_{cd} = 1 + 0,4 (D/B) = 1 + 0,4 (0,06/0,06) = 1,400$$

$$f_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D/B) \\ = 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,06/0,06) = 1,187$$

$$f_{\gamma d}, f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i}, f_{c\delta}, f_{q\delta}, f_{\gamma\delta}, f_{c\beta}, f_{q\beta}, f_{\gamma\beta} = 1$$

$$q_u = c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} \times f_{c\delta} \times f_{c\beta} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{q\delta} \times f_{q\beta} + 0,5$$

$$\times \gamma \times B \times N_\gamma \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} \times f_{\gamma\delta} \times f_{\gamma\beta}$$

$$= 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1 \times 1 \times 1 + 16,48 \times 0,06 \times 101,396 \times 1 \times 1,187$$

$$\times 1 \times 1 \times 1 + 0,5 \times 16,48 \times 0,06 \times 141,170 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$= 188,835 \text{ kN/m}^3$$



2. $B = 8$, $d/B = 1$

B = lebar pondasi ($B = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$)

d = jarak kedalaman pondasi ($d = 8 \text{ cm}$)

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (101,396 - 1) \tan 43,15 = 141,170$$

$$f_{cs} = 1 + (B/L)(N_q/N_c) = 1 + (0,08/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$f_{qs} = 1 + (B/L)\tan \phi = 1 + (0,08/\sim) \tan 43,15 = 1$$

$$f_{\gamma s} = 1 - 0,4 (B/L) = 1 - 0,4 (0,08/\sim) = 1$$

$$f_{cd} = 1 + 0,4 (D/B) = 1 + 0,4 (0,08/0,08) = 1,400$$

$$f_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D/B)$$

$$= 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,08/0,08) = 1,187$$

$$f_{\gamma d}, f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i}, f_{c\delta}, f_{q\delta}, f_{\gamma \delta}, f_{c\beta}, f_{q\beta}, f_{\gamma \beta} = 1$$

$$q_u = c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} \times f_{c\delta} \times f_{c\beta} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{q\delta} \times f_{q\beta} + 0,5 \times \gamma$$

$$\times B \times N_\gamma \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} \times f_{\gamma \delta} \times f_{\gamma \beta}$$

$$= 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1 \times 1 \times 1 + 16,48 \times 0,08 \times 101,396 \times 1 \times 1,187 \times$$

$$1 \times 1 \times 1 + 0,5 \times 16,48 \times 0,08 \times 141,170 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$= 251,780 \text{ kN/m}^3$$

3. $B = 10$, $d/B = 1$

B = lebar pondasi ($B = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$)

d = jarak kedalaman pondasi ($d = 0,1 \text{ cm}$)

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi = 1,5 (101,396 - 1) \tan 43,15 \\ = 141,170$$

$$f_{cs} = 1 + (B/L)(N_q/N_c) = 1 + (0,1/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$f_{qs} = 1 + (B/L)\tan \phi = 1 + (0,1/\sim) \tan 43,15 = 1$$

$$f_{\gamma s} = 1 - 0,4 (B/L) = 1 - 0,4 (0,1/\sim) = 1$$

$$f_{cd} = 1 + 0,4 (D/B) = 1 + 0,4 (0,1/0,1) = 1,400$$

$$f_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D/B)$$

$$= 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,1/0,1) = 1,187$$

$$f_{\gamma d}, f_{ci}, f_{qi}, f_{\gamma i}, f_{c\delta}, f_{q\delta}, f_{\gamma\delta}, f_{c\beta}, f_{q\beta}, f_{\gamma\beta} = 1$$

$$q_u = c \times N_c \times f_{cs} \times f_{cd} \times f_{ci} \times f_{c\delta} \times f_{c\beta} + q \times N_q \times f_{qs} \times f_{qd} \times f_{qi} \times f_{q\delta} \times f_{q\beta} + 0,5 \\ \times \gamma \times B \times N_\gamma \times f_{\gamma s} \times f_{\gamma d} \times f_{\gamma i} \times f_{\gamma\delta} \times f_{\gamma\beta} \\ = 0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1 \times 1 \times 1 + 16,48 \times 0,1 \times 101,396 \times 1 \times 1,187 \\ \times 1 \times 1 \times 1 + 0,5 \times 16,48 \times 0,1 \times 141,170 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \\ = 314,725 \text{ kN/m}^3$$

C. Metode Vesic

$$\gamma = 16,48 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0$$

$$\phi = \text{sudut geser dalam tanah} = 43,15^\circ$$

$$L = \sim$$

1. $B = 6, d/B = 1$

$$B = \text{lebar pondasi} = 6 \text{ cm}$$

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N\gamma = 2(Nq + 1) \tan \phi = 2(101,396 + 1) \tan 43,15 = 191,976$$

$$F_{sc} = 1 + (B/L)(Nq/Nc) = 1 + (0,06/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$F_{sq} = 1 + (B/L) \tan \phi = 1 + (0,06/\sim)(\tan 43,15) = 1$$

$$F_{s\gamma} = 1 - 0,4(B/L) = 1 - 0,4(0,06/\sim) = 1$$

$$F_{dc} = 1 + 0,4(d/B) = 1 + 0,4(0,06/0,06) = 1,400$$

$$F_{dq} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (d/B) = 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,06/0,06) \\ = 1,187$$

$$F_{d\gamma} = 1$$

$$F_{ic} = 1$$

$$F_{iq} = 1$$

$$F_{i\gamma} = 1$$

$$q_u = (c \times N_c \times F_{sc} \times F_{dc} \times F_{ic}) + (d \times \gamma \times N_q \times F_{sq} \times F_{dq} \times F_{iq}) + (\gamma \times (B/2) \times N\gamma \times F_{s\gamma} \times F_{d\gamma} \times F_{i\gamma}) \\ = (0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1) + (0,06 \times 16,48 \times 101,396 \times 1 \times 1,187 \times 1) + \\ (16,48 \times (0,06/2) \times 191,976 \times 1 \times 1 \times 1) \\ = 213,954 \text{ kN/m}^3$$



2. $B = 8$; $d/B = 1$

$$B \quad = \text{lebar pondasi} = 8 \text{ cm}$$

$$Nq = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N\gamma = 2 (Nq + 1) \tan \phi = 2 (101,396 + 1) \tan 43,15 = 191,976$$

$$F_{Sc} = 1 + (B/L)(Nq/Nc) = 1 + (0,08/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$F_{Sq} = 1 + (B/L) \tan \phi = 1 + (0,08/\sim)(\tan 43,15) = 1$$

$$F_{S\gamma} = 1 - 0,4(B/L) = 1 - 0,4(0,08/\sim) = 1$$

$$F_{dc} = 1 + 0,4(d/B) = 1 + 0,4(0,08/0,08) = 1,400$$

$$F_{dq} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (d/B) = 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,08/0,08) \\ = 1,187$$

$$F_{d\gamma} = 1$$

$$F_{ic} = 1$$

$$F_{iq} = 1$$

$$F_{i\gamma} = 1$$

$$qu = (c \times Nc \times F_{Sc} \times F_{dc} \times F_{ic}) + (d \times \gamma \times Nq \times F_{Sq} \times F_{dq} \times F_{iq}) + (\gamma \times (B/2) \times N\gamma \times F_{S\gamma} \times F_{d\gamma} \times F_{i\gamma}) \\ = (0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1) + (0,08 \times 16,48 \times 101,396 \times 1 \times 1,187 \times 1) \\ + (16,48 \times (0,08/2) \times 191,976 \times 1 \times 1 \times 1) \\ = 285,272 \text{ kN/m}^3$$

3. $B = 10$, $d/B = 1$

$$B = \text{lebar pondasi} = 10 \text{ cm}$$

$$Nq = e^{(\pi \tan \phi)} \tan^2 (45 + \phi/2) = e^{(\pi \tan 43,15)} \tan^2 (45 + 43,15/2) = 101,396$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi = (101,396 - 1) \cot 43,15 = 107,098$$

$$N\gamma = 2(Nq + 1) \tan \phi = 2(101,396 + 1) \tan 43,15 = 191,976$$

$$Fs_c = 1 + (B/L)(Nq/Nc) = 1 + (0,1/\sim)(101,396/107,098) = 1$$

$$Fs_q = 1 + (B/L) \tan \phi = 1 + (0,1/\sim)(\tan 43,15) = 1$$

$$Fs_\gamma = 1 - 0,4(B/L) = 1 - 0,4(0,1/\sim) = 1$$

$$Fd_c = 1 + 0,4(d/B) = 1 + 0,4(0,1/0,1) = 1,400$$

$$Fd_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (d/B) = 1 + 2 \tan 43,15 (1 - \sin 43,15)^2 (0,1/0,1) \\ = 1,187$$

$$Fd_\gamma = 1$$

$$Fi_c = 1$$

$$Fi_q = 1$$

$$Fi_\gamma = 1$$

$$qu = (c \times Nc \times Fs_c \times Fd_c \times Fi_c) + (d \times \gamma \times Nq \times Fs_q \times Fd_q \times Fi_q) + (\gamma \times (B/2) \times N\gamma \times \\ Fs_\gamma \times Fd_\gamma \times Fi_\gamma) \\ = (0 \times 107,098 \times 1 \times 1,400 \times 1) + (0,1 \times 16,48 \times 101,396 \times 1 \times 1,187 \times 1) + \\ (16,48 \times (0,1/2) \times 191,976 \times 1 \times 1 \times 1) \\ = 356,590 \text{ kN/m}^3$$



Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian







