

STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI
TIANG BOR PADA JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN
RUMUS STATIS DAN UJI PEMBEBANAN OSTEBERG CELL

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

Febri Satria Utama

0210610029

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
MALANG
2007

STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI
TIANG BOR PADA JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN
RUMUS STATIS DAN UJI PEMBEBANAN OSTEBERG CELL

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

Febri Satria Utama

0210610029

**Mengetahui dan menyetujui
Dosen pembimbing**

Ir. Masyhur Irsyam, MSE, PhD.
NIP. 131 414 791

Ir. As'ad Munawir, MT.
NIP. 131 754 850

STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI
TIANG BOR PADA JEMBRAN SURAMADU MENGGUNAKAN
RUMUS STATIS DAN UJI PEMBEBANAN OSTEBERG CELL

Disusun Oleh :

Febri Satria Utama

0210610029

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal 9 Agustus 2007**

Dosen Penguji

Ir. Suroso, M.Eng., Dipl.HE
NIP. 130 531 859

Ir. Masyhur Irsyam, MSE, PhD.
NIP. 131 414 791

Ir. As'ad Munawir, MT.
NIP. 131 574 850

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. As'ad Munawir, MT.
NIP. 131 574 850

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi Analisis Daya Dukung Aksial Pondasi Suramadu Main Bridge, Jawa Timur.

Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sarjana teknik di Program Studi teknik Sipil, Universitas Brawijaya Malang. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, dari awal hingga tahap penulisan laporan, kami mendapat banyak bimbingan, masukan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. As’ad Munawir, MT selaku dosen pembimbing.
2. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, PhD selaku dosen pembimbing.
3. Ir. Suroso, Meng., Dipl.HE selaku dosen penguji.
4. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa laporan tugas akhir ini memiliki kekurangan sehingga kami mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Demikian pengantar dari kami.

Malang, 10 Juli 2007.

Penulis.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Pondasi.....	5
2.2 Pondasi Dalam.....	6
2.2.1 Pondasi Tiang Pancang (Driven Pile).....	8
2.2.2 Pondasi Tiang Bor (Bored Pile).....	8
2.3 Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal.....	11
2.4 Daya Dukung Ujung Tiang (End Bearing Piles).....	12
2.5 Daya Dukung Geser Tiang (Skin Friction Piles).....	13
2.6 Penyelidikan tanah.....	14
2.6.1 Uji Penetrasi Standar (Standard Penetration Test atau SPT)....	14
2.7 Uji Pembebanan Osteberg Cell (O-Cell).....	16
2.7.1 Prinsip Kerja Osteberg Cell.....	18
2.7.2 Instrumen Tes.....	18
2.7.2.1 Instrumen Pembebanan.....	18
2.7.2.2 Instrumen Untuk Mengukur Displacement.....	19
2.7.2.3 Instrumen Untuk Mengukur Regangan.....	19

2.7.2.4	Computer and Automated Data Acquisition.....	19
2.7.3	Prosedur Pengujian.....	19
2.8	Shale Stone.....	21
2.9	Grouting.....	22
BAB III METODE ANALISIS		23
3.1	Lokasi Daerah Studi.....	23
3.2	Pengumpulan Data.....	23
3.3	Tahap Penyelesaian Skripsi.....	23
3.4	Analisis Perhitungan Dengan Menggunakan Data SPT.....	25
3.4.1	Tanah Pasir.....	29
3.4.2	Tanah Lempung.....	31
3.5	Analisis Perhitungan Dengan Menggunakan Data O-Cell.....	35
3.5.1	Pengamatan Electronic Displacement Transducer.....	35
3.5.2	Pengamatan Strain Gauge.....	36
BAB IV Analisis Daya Dukung Aksial		39
4.1	Perhitungan Daya Dukung Teoritis.....	39
4.1.1	Perhitungan Pada Tiang P46.....	40
4.1.1.1	Tahanan Friksi Pada Tiang P46.....	40
4.1.1.2	Tahanan Ujung Pada Tiang P46.....	42
4.1.2	Perhitungan Pada Tiang P47.....	43
4.1.2.1	Tahanan Friksi Pada Tiang P47.....	43
4.1.2.2	Tahanan Ujung Pada Tiang P47.....	45
4.2	Perhitungan Daya Dukung Ultimit Uji Pembebanan O-Cell.....	46
4.3	Perhitungan Tahanan Friksi dan Ujung Sebelum & Sesudah Grouting.....	51
4.3.1	Perhitungan Sebelum Grouting.....	51
4.3.1.1	Perhitungan Tahanan Friksi.....	51
4.3.1.2	Perhitungan Tahanan Ujung.....	60
4.3.2	Perhitungan Setelah Grouting.....	60
4.3.2.1	Perhitungan Tahanan Friksi.....	60
4.3.2.2	Perhitungan Tahanan Ujung.....	67

4.4	Perbandingan Perhitungan Sebelum dan Sesudah Grouting.....	68
4.4.1	Tahanan Friksi.....	68
4.4.2	Tahanan Ujung.....	71
4.4.3	Kapasitas Total.....	72
4.5	Perbandingan Perhitungan Berdasar N-SPT dan O-Cell.....	73
4.5.1	Tahanan Friksi.....	73
4.5.2	Tahanan Ujung.....	75
BAB V	Kesimpulan dan Saran	76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Tipe-tipe keruntuhan.
- Gambar 2.2. Cara pemasangan pondasi tiang bor pada lokasi proyek jembatan Suramadu.
- Gambar 2.3. Auxiliary platform dan platform pengecoran.
- Gambar 2.4. Sistem reaksi pada daya dukung pondasi tiang.
- Gambar 2.5. Distribusi tegangan daya dukung ujung dan gesek pada tanah.
- Gambar 2.6. Skema daya dukung ujung dan gesek.
- Gambar 2.7. Standard Penetration Test.
- Gambar 2.8. Persiapan soil investigation.
- Gambar 2.9. Pelaksanaan SPT di lokasi proyek.
- Gambar 2.10. Perbandingan antara sistem uji O-Cell dan Uji Konvensional.
- Gambar 2.11. Perbandingan biaya uji pembebanan konvensional dan O-Cell.
- Gambar 2.12. Osteberg cell pada pondasi.
- Gambar 2.13. Computer and automatic data acquisition system.
- Gambar 2.14. Senyawa Montmorillonite.
- Gambar 2.15. Perubahan senyawa montmorillonite stone menjadi shale clay.
- Gambar 2.16. Gambar saluran grouting.
- Gambar 3.1. Diagram Alir Analisis Pondasi.
- Gambar 3.2. Korelasi nilai S_u dan N-SPT pada kondisi undrained.
- Gambar 3.3. Korelasi nilai S_u dan α .
- Gambar 3.4. Hubungan β dengan panjang pondasi tiang bor pada tanah lempung.
- Gambar 3.5. Koefisien kapasitas gesek λ .
- Gambar 3.6. (a) Skema pemasangan strain gauge, (b) Skema pemasangan load cell.
- Gambar 4. 1. N-SPT jembatan utama Suramadu P46 dan P47, Jawa Timur.
- Gambar 4. 2. Grafik uji pembebanan P46 sebelum grouting.
- Gambar 4. 3. Grafik uji pembebanan P47 sebelum grouting.
- Gambar 4. 4. Grafik uji pembebanan P46 setelah grouting.
- Gambar 4. 5. Grafik uji pembebanan P47 setelah grouting.
- Gambar 4. 6. Gaya aksial pada P46 sebelum grouting.
- Gambar 4. 7. Gaya aksial pada P47 sebelum grouting.

- Gambar 4. 8. Tahanan friksi pada P46 sebelum grouting.
- Gambar 4. 9. Tahanan friksi pada P47 sebelum grouting.
- Gambar 4. 10. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 sebelum grouting.
- Gambar 4. 11. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 sebelum grouting.
- Gambar 4. 12. Tahanan ujung P46 dan P47 sebelum grouting.
- Gambar 4. 13. Gaya aksial pada P46 setelah grouting.
- Gambar 4. 14. Gaya aksial pada P47 setelah grouting.
- Gambar 4. 15. Tahanan friksi pada P46 setelah grouting.
- Gambar 4. 16. Tahanan friksi pada P47 setelah grouting.
- Gambar 4. 17. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 setelah grouting.
- Gambar 4. 18. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 setelah grouting.
- Gambar 4. 19. Tahanan ujung P46 dan P47 setelah grouting.
- Gambar 4. 20. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P46.
- Gambar 4. 21. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P47.
- Gambar 4. 22. Peningkatan Tahanan Gesek Sebelum dan Sesudah Grouting.
- Gambar 4. 23. Perbandingan daya dukung ujung pada P46 dan P47.
- Gambar 4. 24. Distribusi daya dukung aksial pada P46 dan P47.



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Alat-alat yang digunakan untuk pemasangan platform.

Tabel 2.2. Spesifikasi mesin bor.

Tabel 2.3. Kemampuan mengembang dari beberapa jenis lempung.

Tabel 3.1. Nilai efisiensi hammer.

Tabel 3.2. Nilai efisiensi lubang bor, sampler, dan panjang batang.

Tabel 3.3. Nilai angka keamanan yang disarankan.

Tabel 3.4. Nilai Φ_s/Φ untuk pondasi tiang bor.

Tabel 3.5. Nilai K/Ko untuk disain pondasi tiang bor.

Tabel 3.6. Korelasi nilai γ dan tipe tanah.

Tabel 4. 1. Parameter tanah pada tiang P46.

Tabel 4. 2. Perhitungan tahanan friksi tiang P46 pada tanah pasir.

Tabel 4. 3. Perhitungan tahanan friksi tiang P46 pada tanah lempung.

Tabel 4. 4. Perhitungan tahanan friksi total pada tiang P46.

Tabel 4. 5. Tabel N-SPT dan Cu rata-rata sebaran tahanan ujung tiang P46.

Tabel 4. 6. Parameter tanah pada tiang P47.

Tabel 4. 7. Perhitungan tahanan friksi tiang P47 pada tanah pasir.

Tabel 4. 8. Perhitungan tahanan friksi tiang P47 pada tanah lempung.

Tabel 4. 9. Perhitungan tahanan friksi total pada tiang P47.

Tabel 4. 10. N-SPT dan Cu rata-rata sebaran tahanan ujung tiang P47.

Tabel 4. 11. Uji pembebanan sebelum grouting P46 bagian lower cell.

Tabel 4. 12. Uji pembebanan sebelum grouting P46 bagian upper cell.

Tabel 4. 13. Uji pembebanan sebelum grouting P47 bagian lower cell.

Tabel 4. 14. Uji pembebanan sebelum grouting P47 bagian upper cell.

Tabel 4. 15. Uji pembebanan setelah grouting P46 bagian lower cell.

Tabel 4. 16. Uji pembebanan setelah grouting P46 bagian upper cell.

Tabel 4. 17. Uji pembebanan setelah grouting P47 bagian lower cell.

Tabel 4. 18. Uji pembebanan setelah grouting P47 bagian upper cell.

Tabel 4. 19. Daya dukung aksial berdasar grafik Q-s.

Tabel 4. 20. Gaya aksial pada P46 lower cell sebelum grouting.

Tabel 4. 21. Gaya aksial pada P46 upper cell sebelum grouting.

- Tabel 4. 22. Gaya aksial pada P47 lower cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 23. Gaya aksial pada P47 upper cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 24. Tahanan friksi pada P46 lower cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 25. Tahanan friksi pada P46 upper cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 26. Tahanan friksi pada P47 lower cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 27. Tahanan friksi pada P47 upper cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 28. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 lower cell sebelum grouting
- Tabel 4. 29. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 upper cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 30. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 lower cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 31. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 upper cell sebelum grouting.
- Tabel 4. 32. Tahanan ujung P46 dan P47 sebelum grouting.
- Tabel 4. 33. Gaya aksial pada P46 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 34. Gaya aksial pada P46 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 35. Gaya aksial pada P47 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 36. Gaya aksial pada P47 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 37. Tahanan friksi pada P46 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 38. Tahanan friksi pada P46 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 39. Tahanan friksi pada P47 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 40. Tahanan friksi pada P47 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 41. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 42. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 43. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 lower cell setelah grouting.
- Tabel 4. 44. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 upper cell setelah grouting.
- Tabel 4. 45. Tahanan ujung P46 dan P47 setelah grouting.
- Tabel 4. 46. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P46.
- Tabel 4. 47. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P47.
- Tabel 4. 48. Perbandingan perhitungan tahanan friksi teoritis dan uji pembebanan pada tiang P46.
- Tabel 4. 49. Perbandingan q_s/N -SPT pada tiang P46.
- Tabel 4. 50. Perbandingan perhitungan tahanan friksi teoritis dan uji pembebanan P47.
- Tabel 4. 51. Perbandingan q_s/N -SPT pada tiang P47.
- Tabel 4. 52. Perbandingan tahanan ujung teoritis dan uji pembebanan.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Gambar spesifikasi teknis pondasi P46 dan P47.
- Lampiran 2. Hasil pembacaan strain gauge sebelum grouting.
- Lampiran 3. Hasil pembacaan strain gauge setelah grouting.
- Lampiran 4. Hasil pembacaan displacement transducer sebelum grouting.
- Lampiran 5. Hasil pembacaan displacement transducer setelah grouting.
- Lampiran 6. Pencatatan grouting pada dasar tiang.



ABSTRAK

Febri Satria Utama, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2007, "*Studi Analisis Daya Dukung Aksial Pondasi Suramadu Main Bridge, Jawa Timur*", Dosen Pembimbing : Ir. As'ad Munawir, MT. dan Ir. Masyhur Irsyam, MSE, PhD.

Jembatan Suramadu yang kini dalam proses pembangunan akan menjadi jembatan terpanjang di Indonesia dan akan memiliki peranan yang sangat penting dalam perekonomian di wilayah Jawa Timur. Kondisi tanah yang terdapat pada lokasi proyek didominasi oleh kandungan lempung montmorillonite yang merupakan jenis tanah lempung ekspansif yang apabila tanah tersebut dalam kondisi *undisturbed* akan memiliki kekuatan yang tinggi namun apabila dalam kondisi *disturbed* atau terekspos dengan perubahan kondisi lingkungan maka kekuatan ini akan menurun secara drastis. Lempung jenis tersebut sangat mudah mengalami penurunan kekuatan apabila tanah terganggu dan mengalami interaksi dengan udara dan lingkungan sekitar. Pondasi pada jembatan Suramadu merupakan jenis tiang bor dimana dalam pemasangan tiang, tanah dibor terlebih dahulu. Proses pemasangan ini akan menyebabkan retakan-retakan pada tanah dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan daya dukung pondasi.

Untuk menutup kontak tanah dengan udara atau lingkungan sekitarnya maka dilakukan grouting yang dialirkan melalui dasar pondasi. Grouting ini diharapkan menutup retakan-retakan yang terjadi di tanah dan mengembalikan kekuatan tanah.

Uji pembebanan Osteberg Cell (O-Cell) yang dilengkapi dengan instrumen-instrumen untuk mengukur perpindahan, gaya, regangan dilakukan untuk memverifikasi dan mengukur tahanan friksi, tahanan ujung, efek grouting sekaligus hubungan antara N-SPT dengan kapasitas tiang.

Secara umum hasil akhir pada pengujian ini yaitu grouting akan meningkatkan kekuatan secara signifikan pada tahanan friksi.

Kata kunci: Pondasi tiang bor, kapasitas tiang, material lempung shale, SPT, Osteberg Cell, grouting.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seluruh elemen konstruksi yang menapak pada tanah harus didukung oleh suatu sistem pondasi. Pondasi berfungsi meneruskan berat bangunan maupun berat pondasi itu sendiri ke dalam tanah maupun batuan. Dengan adanya suatu sistem pondasi maka diharapkan kestabilan dan kekokohan suatu struktur dapat dipertahankan.

Jembatan Suramadu yang nantinya akan menghubungkan pulau Jawa dan Madura ini memiliki lebar 2×15 m dengan panjang total 5438 m yang terdiri atas Cause way ($1822,25 + 1457,75$ m), approach bridge ($670 + 670$ m), dan main bridge (818 m). Untuk menopang beban main bridge yang terdiri dari steel box girder deck (2,8 m) dengan balok pemisahannya yang terdiri dari steel guard rail dan cable stay yang terdiri dari parallel wire dengan diameter 7 mm digunakan sistem pondasi bored pile. Upper structure pada main bridge ini ditopang oleh 2 buah pylon (P46 dan P47) yang masing-masing pylon terdiri atas 56 buah pondasi bored pile dengan diameter 2,4 m.

Perkiraan daya dukung aksial pondasi untuk menopang beban-beban diatas harus dilakukan agar tidak terjadi keruntuhan maupun settlement yang berlebihan. Perkiraan tersebut dapat diperkirakan menggunakan parameter tanah yang diperoleh dari hasil penyelidikan di lapangan. Namun pada saat pelaksanaan konstruksi seringkali ditemukan faktor-faktor yang bisa menurunkan daya dukung pondasi baik daya dukung ujung (end bearing) maupun daya dukung friksi (side friction). Kesalahan tersebut bisa terjadi sebagai akibat dari kesalahan dalam konstruksi ataupun kesalahan yang terjadi sebagai akibat kurang telitian pada saat melakukan desain pondasi maupun melakukan penyelidikan tanah. Berkurangnya daya dukung sebagai akibat dari kesalahan-kesalahan di atas akan membahayakan stabilitas struktur dan bisa mengakibatkan kegagalan-kegagalan yang fatal. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil yang akurat mengenai besarnya daya dukung tanah maka

uji pembebanan diperlukan untuk memverifikasi hasil daya dukung hasil perhitungan empiris.

Karena besarnya beban yang direncanakan maka uji pembebanan pada jembatan Suramadu main bridge tidak mungkin menggunakan metode konvensional karena sistem reaksi yang dibutuhkan akan sangat besar pula. Oleh karena itu pada jembatan Suramadu ini digunakan uji pembebanan menggunakan sistem O-Cell (Osterberg Cell) test dimana salah satu kelebihan dari uji pembebanan ini ialah mampu memikul beban yang sangat besar. Sistem ini pada prinsipnya menggunakan load cell yang diletakkan di dalam pondasi dan mengembangkannya menggunakan pompa hidrolis. Pada saat pengembangan, dengan memberikan tekanan, dilakukan pengukuran strain, deformasi dan stress dengan menggunakan strain gauge sehingga tekanan-tekanan di mana strain gauge dipasang bisa diukur. Dengan pengaturan lokasi strain gauge yang baik, besarnya daya dukung pondasi, baik daya dukung friksi maupun daya dukung ujung bisa diukur.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Drs. McVay, Ellis, M. Kim, J Villegas, S-H. Kim, dan S. Lee yang dilakukan pada bulan September 1993 hingga Juli 2003 dengan judul "Static and Dynamic Field Testing of Drilled Shafts: Suggested Guidelines on Their Use for FDOT Structures" melakukan analisis daya dukung aksial menggunakan uji lapangan dengan metoda yang berbeda-beda yaitu uji pembebanan Osterberg Cell, uji pembebanan konvensional dan uji pembebanan statnamic. Dari jenis uji pembebanan yang berbeda-beda tersebut ketiganya menunjukkan hasil daya dukung yang nilainya relatif sama antara Osterberg Cell load test (27 tes), konvensional load test (3 tes), dan Statnamic load test (12). Analisis data diperoleh dari laporan proyek pada 11 jembatan yang berbeda di wilayah Amerika. Dari hasil analisis tersebut maka bisa disimpulkan bahwa penggunaan Osterberg Cell yang nantinya akan digunakan sebagai metode untuk melakukan analisis daya dukung aksial pada jembatan utama Suramadu mampu memberikan hasil perkiraan daya dukung tanah yang akurat.

1.2. Identifikasi Masalah

Pengujian loading test pada Suramadu main bridge dilakukan sebanyak dua kali. Pada pengujian pertama terdapat perbedaan nilai daya dukung aksial yang dilakukan pada jembatan utama Suramadu antara metode load cell dan perhitungan SPT. Setelah diselidiki maka ternyata di dalam lapisan tanah tersebut terdapat kandungan shale stone yang menyebabkan berkurangnya kekuatan tanah. Untuk mengatasi hal tersebut maka salah satu metoda yang bisa diterapkan untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan melakukan grouting sebagai media untuk melakukan perbaikan tanah. Perhitungan ulang dan analisa daya dukung aksial setelah dilakukan grouting perlu dilakukan untuk mengetahui apakah hasil daya dukung aksial telah memenuhi nilai yang diinginkan dan apakah solusi grouting mampu memberikan perbaikan nilai daya dukung aksial.

1.3. Batasan Masalah

Untuk membahas permasalahan ini secara efektif maka dibuat pembatasan bahasan sebagai berikut :

- Analisis pondasi dilakukan pada proyek Jembatan Suramadu pada P46-19 dan P 47-31.
- Jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang bor dengan diameter 2,4m.
- Analisis dilakukan hanya pada tiang tunggal.
- Analisa daya dukung yang dilakukan hanya daya dukung aksial (tidak dilakukan analisa daya dukung lateral).
- Analisis biaya dan waktu diabaikan.
- Perhitungan dengan metode statis menggunakan data uji SPT (Standard Penetration Test) dan parameter empiris yang ada.
- Uji pembebanan lapangan adalah uji pembebanan statis dengan menggunakan metode Osterberg Cell.

1.4. Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan batasan-batasan masalah yang telah diuraikan sebelumnya maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam perencanaan ini adalah :

1. Bagaimana hasil daya dukung aksial pondasi Suramadu main bridge menggunakan perhitungan empiris dan uji pembebanan?
2. Bagaimana pengaruh grouting terhadap daya dukung aksial pondasi Suramadu main bridge P46 dan P47 pada tanah yang mengandung shale stone?

1.5. Tujuan Studi

Tujuan studi ini adalah :

- Menghitung daya dukung aksial, tahanan friksi dan tahanan ujung, berdasarkan data SPT pada pondasi Jembatan Utama Suramadu P 46 dan P 47.
- Menghitung daya dukung aksial, tahanan friksi dan tahanan ujung, berdasarkan hasil uji pembebanan pada pondasi Jembatan Utama Suramadu P 46 dan P 47.
- Membandingkan hasil daya dukung aksial antara hasil perhitungan berdasarkan SPT dan hasil dari uji pembebanan O-Cell.
- Mempelajari efek adanya material shale dan pengaruh grouting terhadap daya dukung friksi dan tahanan ujung pondasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengetian Pondasi

Pondasi adalah suatu bangunan yang berfungsi meneruskan berat bangunan tersebut ke tanah dimana bangunan itu didirikan.

(Karl Terzaghi, Ralph B Peck:1991;3)

Dalam merencanakan suatu pondasi harus dipertimbangkan secara teliti dan akurat baik secara teknis maupun ekonomis sehingga dapat menjamin kestabilan dan kekokohan bangunan terhadap berat sendiri, beban hidup dan gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan pengaruh perubahan suhu. Selain itu, hal yang paling penting dalam merencanakan pondasi adalah pondasi harus disesuaikan dengan daya dukung tanah yang terjadi pada pondasi. Pemahaman mengenai karakteristik tanah sangat diperlukan dalam melakukan perhitungan daya dukung tanah karena daya dukung tanah merupakan media penentu dalam menjamin kestabilan dan kekokohan suatu pondasi. Kesalahan dalam melakukan desain maupun penghitungan daya dukung tanah akan mengakibatkan keruntuhan geser maupun adanya deformasi yang berlebihan seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



(a)

(b)

Gambar 2.1 Tipe-tipe keruntuhan. (a) Deformasi yang berlebihan, (b) Keruntuhan geser (kiri:internet; kanan:laporan proyek PLTU Tambak Lorok, Semarang)

2.2. Pondasi Dalam (*deep foundation*)

Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah yang terletak relatif jauh dari permukaan. Pondasi-pondasi dapat diklasifikasikan pondasi dalam apabila konstruksi yang disangga oleh tiang-tiang (*piles*) yang kedalaman tiang-tiang tersebut jauh lebih besar dari lebar alas pondasi itu sendiri ($D_f > B$). Pondasi dalam digunakan pada sebuah struktur bangunan apabila pada kondisi-kondisi tertentu penggunaan pondasi dangkal sudah tidak bisa digunakan lagi. Contoh alasan penggunaan pondasi dalam adalah:

- Lapisan tanah yang sangat lunak dan/atau beban struktur sangat besar sehingga pondasi dangkal tidak mampu memikul beban.
- Pondasi harus menapak pada tanah dibawah permukaan air (pondasi pier).
- Dibutuhkan daya dukung uplift yang besar.
- Dibutuhkan daya dukung lateral yang besar.

Jenis-jenis pondasi dalam (*deep foundation*) dapat dibedakan menurut cara pemasangannya yaitu pondasi tiang pancang (kayu, baja, beton, komposit); pondasi bor (bored pile); dan jenis-jenis lainnya (mandrel driven shells, auger-cast pile, pressure injected footings, anchors).

2.2.1. Pondasi Tiang Pancang (*Driven Pile*)

Pondasi tiang pancang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Kekuatan pondasi tiang dalam menahan beban bergantung pada ukuran tiang dan jenis lapisan bawah tanah.

Adapun kriteria perencanaan pondasi tiang adalah :

- Tegangan ijin material tiang \geq tegangan yang terjadi
- Tegangan ijin tanah \geq tegangan yang terjadi atau angka keamanan terhadap keruntuhan geser cukup ($SF \geq 2$).
- Penurunan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan.

Adapun alasan dalam pemilihan pondasi tiang adalah :

- Dapat melimpahkan beban ke lapisan yang lebih kuat dan lebih dalam.
- Mampu memikul beban horizontal.
- Menambah stabilitas bangunan tinggi

- d. Meningkatkan kepadatan lapisan tanah pasir
- e. Mengurangi bahaya penggerusan

Adapun jenis-jenis tiang terbagi sebagai berikut :

1. Large displacement pile, yang terbagi atas :
 - a. Precast reinforced pile, penampang dapat berupa penampang padat (*solid*) yaitu bias terbuat dari bahan beton dan kayu serta penampang yang berlubang yang terbuat dari pipa baja dan bisa juga pada pipa beton.
 - b. Cast in situ seperti Franki Pile
2. Small displacement pile yang bentuk bahannya berupa :
 - a. Baja profil : profil I, H dan O
 - b. Baja ulir

Cara pemasangan pondasi tiang pancang adalah dengan melakukan pemancangan menggunakan pile driving rig yang merupakan tempat pengangkatan hammer. Hammer inilah yang nantinya akan digunakan untuk mendorong atau memancang pondasi ke dalam tanah. Terdapat berbagai macam jenis hammer diantaranya adalah drop hammer; steam, pneumatic dan hydraulic hammer; diesel hammer, vibratory hammer.

Pada lapisan tanah yang keras terkadang penggunaan hammer tidaklah cukup kuat untuk menancapkan tiang dalam tanah untuk itu biasanya digunakan predrilling, jetting dan spudding. Predrilling digunakan pada tanah lempung dan dilakukan dengan membuat lubang yang ukurannya lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran tiang pondasi, pengeboran tidak harus dilakukan sedalam pemancangan pondasi. Jetting digunakan pada tanah pasir dan dilakukan dengan memberikan air bertekanan tinggi yang diletakkan pada ujung tiang pondasi sehingga akan melepaskan ikatan antar partikel tanah dan pada akhirnya pemancangan lebih mudah untuk dilakukan. Spudding dilakukan dengan cara memancarkan logam keras kedalam tanah dan mengambilnya kembali untuk membuat lubang, kemudian setelah lubang dibuat tiang dipancarkan pada lubang yang dihasilkan. Metode ini spudding sangat jarang digunakan.

2.2.2. Tiang bor (*bore pile*)

Pondasi tiang bor yang termasuk dalam kelompok non displacement pile merupakan pondasi yang dibuat dengan melakukan pengeboran terlebih dahulu dan kemudian baru menginstalasi komponen pondasi yang terdiri atas beton bertulang.

Pondasi tipe ini memiliki kelebihan-kelebihan diantaranya:

- a. Diameter tiang bisa dibuat sangat besar untuk menahan beban yang sangat besar pula.
- b. Kebisingan dan vibrasi yang dihasilkan pada saat pelaksanaan konstruksi relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan pondasi tiang pancang.
- c. Pada saat konstruksi diameter ataupun panjang pondasi bisa diubah sesuai kebutuhan untuk mengatasi kondisi tanah yang tak terduga.
- d. Pondasi bisa dibuat menembus lapisan batuan.

Sedangkan kekurangan dari pondasi ini adalah:

- a. Tingkat keberhasilan konstruksi dalam mencapai daya dukung yang dibutuhkan sangat tergantung dari keahlian kontraktor dalam pengerjaan. Pengerjaan yang buruk akan mengurangi daya dukung secara signifikan.
- b. Dibutuhkan loading test untuk mengukur daya dukung.
- c. Proses pengeboran akan menyebabkan penurunan kualitas tanah.

Metode konstruksi pier pada Suramadu main bridge akan dilakukan pada off-shore platforms. Platform ini terdiri atas 3 bagian yaitu platform untuk melakukan pengecoran beton, platform untuk melakukan pengeboran, dan auxiliary platform (platform bantu).

Drilling platform ditopang oleh steel casing dari bored pile yang terdiri atas 56 buah steel casing dengan diameter 2,4m dan ketebalan 20mm. Platform pengecoran dan auxiliary platform terdiri atas pondasi tiang besi yang dipancang ke dasar laut. Diameter masing-masing pondasi tiang besi adalah 1m dengan ketebalan 20mm. Pemancangan dilakukan rata-rata 15m dibawah dasar laut sedangkan elevasi platform berada pada 5,5m diatas permukaan laut. Pengangkutan dan pengereksian seluruh tiang dilakukan menggunakan kapal tongkang yang dimodifikasi. Pada tabel 2.1. bisa

dilihat jenis-jenis kapal yang digunakan dalam pemasangan pondasi tiang bor pada jembatan utama Suramadu.

Name	Spec	Quantity	Remark
Pilling Barge	PB380	1	
Barge Crane	80T	2	
Deck Barge	180 feet	2	
Deck Barge	230 feet	2	
Tug Boat	1080hp	2	
Crawling Crane	80T	2	
Tire mounted crane	30T	1	
Trailer Car	50T	1	

Tabel 2.1 Alat-alat yang digunakan untuk pemasangan platform

Masing-masing pier nantinya akan dilengkapi dengan 3 buah mesin bor. Spesifikasi mesin bor yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.2.

Model	KP3000	Diameter of bored holes	3
Depth of bored holes (m)	100	Torque (KN·m)	90
Rotation rate (r/min)	6, 9, 13, 17, 25, 35	Lifting capacity (KN)	600
Internal diameter of drill shaft (mm)	241	Type of sediment discharge	Normal cycle: pumping; reverse cycle: air lift
Power of motor (kw)	75	Dimensions (L×W×H) (m)	7.9×4.5×13.3

Tabel 2.2 Spesifikasi mesin bor

Pada masing-masing pier digunakan satu buah 80 ton crawler crane, 2-4 air compressor (air pressure 0.8MPa, air flow rate 22m³/min), empat set slurry treatment equipments (kapasitas 100-150m³/h) untuk mendukung konstruksi pondasi.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2.2 Cara pemasangan pondasi tiang bor. (a) Kanan: Pemasangan steel pipe casing pada drilling platform menggunakan piling barge, Kiri: Auxiliary platform; (b) Pengeboran pada drilling platform; (c) Proses pengecoran; (d) Pile cap pada jembatan utama Suramadu. (Dokumentasi Dept. Pekerjaan Umum dan Pemprov Jatim)

Langkah pertama dalam instalasi pondasi bored pile adalah dengan membuat auxillary platform yang nantinya sebagai tempat untuk mendukung pemasangan alat-alat untuk insatalasi pondasi. Setelah pemasangan elemen-elemen super structure pada auxillary platform pertama selesai maka langkah kedua adalah pemasangan stell casing dan drilling platform yang diteruskan dengan pemasangan platform pengecoran. Mobilisasi seluruh peralatan dan perlengkapan yang nantinya digunakan untuk instalasi pondasi menggunakan kapal yang disebut dengan barge. Kapal ini juga dilengkapi dengan alat yang berfungsi untuk melakukan ereksi steel pipe piles.

Setelah seluruh platform terpasang langkah berikutnya adalah pengerjaan pondasi bored pile itu sendiri. Langkah pertama adalah melakukan pengeboran menggunakan drilling machine yang terdapat pada drilling platform. Setelah lubang berhasil dibuat maka langkah selanjutnya adalah memasang steel cage atau tulangan menggunakan tower crane yang terpasang pada auxillary platform. Setelah pengeboran selesai dilakukan maka langkah selanjutnya adalah mengangkat lumpur dan melakukan pembersihan dengan air bersih. Untuk mendukung kegiatan ini disediakan 3 buah

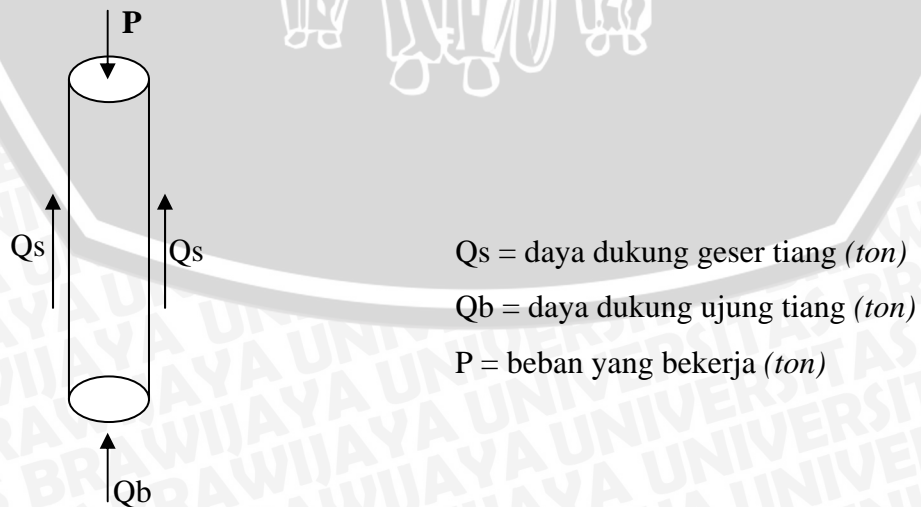
kapal 600 ton untuk mengangkut air bersih dan 2 buah kapal 600 ton untuk mengangkut lumpur buangan. Setelah selesai maka pemasangan tulangan dilakukan menggunakan barge crane. Langkah terakhir adalah melakukan pengecoran yang dibuat di platform pengecoran yang kemudian diteruskan dengan pemasangan pile cap. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.2 dan gambar 2.3.



Gambar 2.3 Auxiliary platform dan platform pengecoran (Dok. PT. LAPI ITB)

2.3. Analisa Daya Dukung Tiang Tunggal

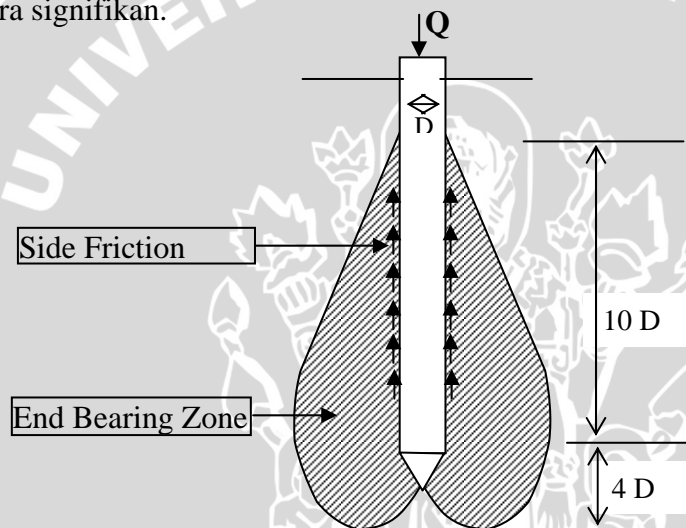
Perilaku pondasi tiang tunggal diklasifikasikan menjadi tiang dengan daya dukung ujung dan tiang dengan daya dukung geser. Daya dukung ujung didapatkan melalui tanah pada ujung tiang tersebut, sedangkan daya dukung geser pada tiang didapatkan melalui tanah yang mengelilingi tiang, yang merupakan gesekan antara tiang dan tanah. (Karl Terzaghi, 1991; 46)



Gambar 2.4 Sistem reaksi pada daya dukung pondasi tiang

Distribusi gaya pada daya dukung ujung dan daya dukung geser tidaklah sama. Pada gambar 2.5 bisa kita lihat perbedaan dari keduanya. Pada daya dukung ujung distribusi gaya membentuk pola bola lampu yang mengelilingi pondasi sehingga bagian yang menerima tahanan dari daya dukung ujung cukup luas. Sedangkan daya dukung geser daerah yang menerima tegangan hanyalah pada bagian samping pondasi saja atau dengan kata lain hanya mengandalkan lekatan antara tanah dengan dinding pondasi.

Dengan sangat kecilnya daerah pengaruh pada tahanan geser maka penggalian yang tidak dilakukan dengan hati-hati dan pengetahuan yang rendah tentang sifat material yang terdapat dalam tanah dapat mengakibatkan berkurangnya daya dukung geser secara signifikan.



Gambar 2.5 Distribusi tegangan daya dukung ujung dan geser pada tanah

2.4. Daya Dukung Ujung Tiang (*end bearing pile*)

Tiang yang tertahan pada ujungnya, dihitung berdasarkan pada tahanan ujungnya (*end bearing pile*) yang diletakkan pada lapisan tanah keras, dan mampu memikul beban yang diterima oleh tiang tersebut.

Lapisan tanah keras ini dapat merupakan lempung keras sampai pada batuan-batuan tetap yang sangat keras. Bila lapisan tanah keras terdiri dari batuan keras maka penentuan daya dukung tiang tidak akan menjadi suatu permasalahan. Dalam hal tersebut daya dukung tiang akan lebih besar tergantung pada kekuatan bahan pondasi itu sendiri. Namun bila daya dukung ujung diletakkan pada lapisan pasir atau lempung

yang keras maka daya dukung ujung tiang akan sangat tergantung pada karakteristik lapisan tanah tersebut terutama mengenai kepadatannya.

Untuk mengetahui nilai daya dukung ujung tiang dapat digunakan berbagai macam metode yaitu pengujian lapangan menggunakan SPT atau CPT, pengujian laboratorium menggunakan, maupun uji pembebanan.

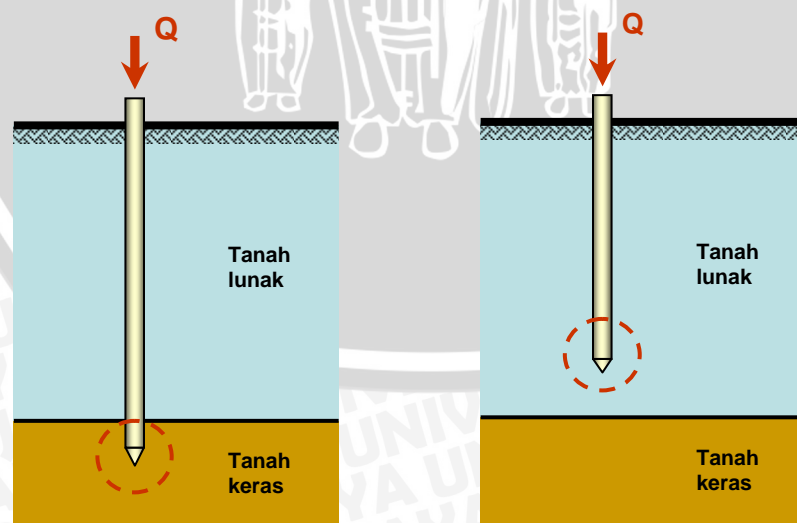
2.5. Daya Dukung Geser Tiang (*skin friction pile*)

Bila lapisan tanah keras letaknya sangat dalam sehingga pembuatan dan penempatan tiang sampai lapisan tanah keras sangat sulit dilaksanakan, maka bisa dipergunakan tiang dengan daya dukung berdasarkan perletakkan antara tiang dengan tanah (cleef). Gesekan antara tiang dan tanah akan dominan pada skin friction pile.

Hal ini sering terjadi bila tiang ditempatkan pada kedalaman lapisan lempung, maka perlawanan pada ujung tiang akan jauh lebih kecil daripada perlawanan akibat perletakkan antara tiang dengan tanah dasar, oleh karena itu untuk merencanakan daya dukung tiang pada kedalaman lapisan lempung terlebih dahulu harus menentukan besarnya gaya perlekatan antara tiang dengan tanah.

Sama seperti daya dukung ujung maka nilai daya dukung gesek tiang dapat digunakan berbagai macam metode yaitu pengujian lapangan menggunakan SPT atau CPT, pengujian laboratorium menggunakan, maupun uji pembebanan.

Perbedaan daya dukung yang menggunakan ujung tiang dan gesekan antar tiangnya sebagai pemikul beban bisa dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema daya dukung ujung dan gesek

2.6. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan merupakan tindakan eksplorasi tanah untuk memberikan informasi yang memadai mengenai karakteristik dari lapisan bawah tanah baik itu jenis atau tipe tanah yang terdapat di dalamnya maupun untuk memperkirakan parameter tanah seperti sudut geser dan nilai kompresibilitas tanah.

Dari pengolahan penyelidikan tanah tersebut maka bisa dihasilkan data-data sebagai berikut:

1. Informasi untuk menentukan jenis pondasi yang diperlukan.
2. Informasi yang memungkinkan konsultan geoteknik membuat rekomendasi mengenai kapasitas beban yang diijinkan elemen pondasi.
3. Data/pengujian laboratorium yang memadai untuk menaksir penurunan (settlement).
4. Letak muka air tanah.
5. Informasi untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah penggalian.
6. Identifikasi masalah lingkungan serta solusinya.

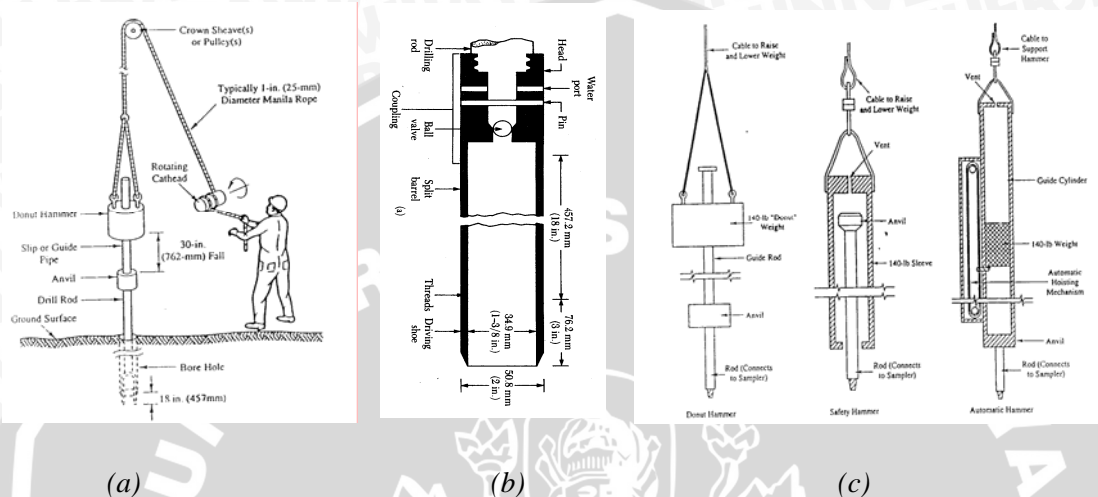
Untuk mendapatkan informasi dan contoh tanah dari lapisan bawah permukaan ada beberapa cara yang bisa digunakan seperti SPT atau (Standard Penetration Test dan CPT (Cone Penetration Test). Alat dan metode yang digunakan sangat tergantung dari tempat pelaksanaan proyek dan juga data-data yang dibutuhkan. Selain dua metode diatas ada beberapa alat lain yang bisa digunakan seperti vane shear test, uji geser lubang bor, uji dilatometer rata, uji pengukur tekanan, dll. Masing-masing alat tersebut memiliki kelebihan masing-masing.

2.6.1. Uji Penetrasi Standar (Standard Penetration Test atau SPT)

Uji penetrasi standar merupakan sarana paling populer dan paling ekonomis untuk mendapatkan informasi dari lapisan bawah tanah. Cara ini telah dibakukan dalam ASTM D 1586. Pengujian SPT ini terdiri dari:

- a. Pemancangan alat pengambil contoh bahan silinder belah standar yang dimensinya diperlihatkan pada gambar 2.7.

- b. Perhitungan banyaknya pukulan untuk memasukkan tabung sejarak 305mm yang terakhir untuk mendapatkan bilangan N.
- c. Sebagai alat pendorong digunakan palu sebesar 63,5 Kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 760mm.



(a) (b) (c)
 Gambar 2.7 Standard Penetration Test (a) Cara uji SPT, (b) Split Spoon Sampler, (c) Tipe Hammer (Coduto, 1994)

Untuk mendapatkan hasil pengujian dari dasar laut seperti yang terdapat pada proyek Jembatan Suramadu ini maka pengujian SPT bisa dilakukan dengan menggunakan rangka khusus (gambar 2.8) yang diangkat menggunakan kapal ke lokasi penyelidikan tanah. Rangka khusus inilah yang nantinya akan menjadi lantai kerja sekaligus tempat untuk meletakkan semua peralatan uji SPT. Pemboran dilakukan melalui acuan (casing) yang membentang ke dasar lautan (gambar 2.9).

Pada perairan dalam maka beberapa metode lain pengujian lain untuk melakukan investigasi tanah bisa digunakan, salah satunya adalah menggunakan sejenis kapal selam dan peralatan proyektil yang diturunkan ke dalam lautan. Pendorongan tabung ke dalam tanah dilakukan menggunakan berat kapal itu sendiri atau alat untuk reaksi. Untuk mendorong ke dalam tanah proyektil bisa mengandung gas ataupun bahan peledak untuk memudahkan pendoraongan kedalam tanah.



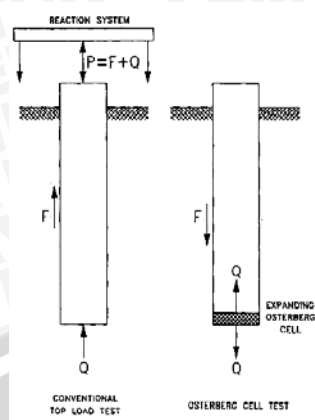
*Gambar 2.8 Persiapan soil investigation
(Dokumentasi Dept. Pekerjaan Umum dan Pemprov Jatim).*



*Gambar 2.9 Pelaksanaan SPT di lokasi proyek
(Dokumentasi Dept. Pekerjaan Umum dan Pemprov Jatim).*

2.7. Uji Pembebanan Osteberg Cell (O-Cell)

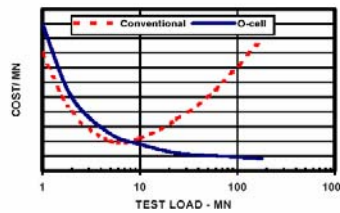
Uji pembebanan O-Cell (gambar 2.12) merupakan salah satu metode uji pembebanan statis. Inovasi sistem pembebanan dari sistem konvensional dilakukan dengan mengubah posisi hidrolik yang biasanya diletakkan diatas kepala pondasi menjadi menyatu dengan pondasi dibawah permukaan tanah (gambar 2.10). Pada uji pembebanan konvensional nilai daya dukung ujung dan daya dukung gesek hanya bisa didapatkan melalui perkiraan analisa dari regangan atau tegangan bersamaan dengan nilai modulus. Sedangkan pada sistem Osteberg Cell maka harga dari daya dukung ujung maupun geseknya bisa langsung didapatkan.



Gambar 2.10 Perbandingan antara sistem uji O-Cell dan Uji Konvensional (Jurnal Jorj Osteberg)

Selain kemampuan untuk memisahkan nilai daya dukung ujung dan daya dukung geseknya sistem O-Cell juga memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut:

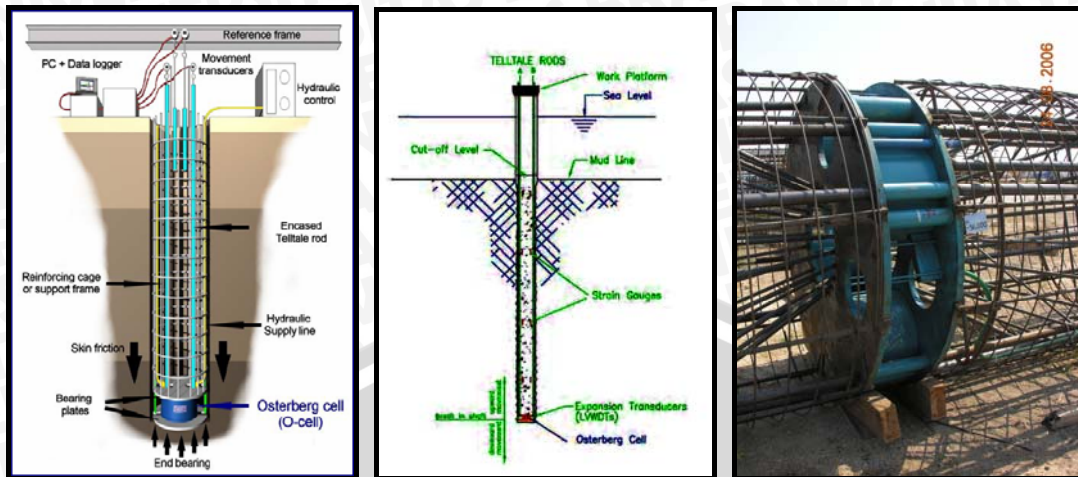
1. Ekonomis apabila digunakan pada beban yang besar, semakin besar pembebanan maka semakin murah biaya pengujian jika dibandingkan dengan metode konvensional seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Perbandingan biaya uji pembebanan konvensional dan O-Cell (Jurnal Jorj Osteberg)

Kapasitas beban pada sistem O-Cell sangat tinggi. Sebuah uji pembebanan pada pier jembatan yang melalui Apalachicola, Florida mampu menguji daya dukung aksialnya yang sebesar 133 MN (15000 Ton) pada bulan Februari 1997. Hal ini mustahil dilakukan menggunakan metode konvensional.

2. Sistem O-Cell sangat menghemat tempat untuk melakukan pengujian. Sistem ini sangat berguna untuk uji pembebanan pada daerah yang sangat ramai atau padat sehingga ruang kerja sangat terbatas. Hal ini memungkinkan karena sistem reaksi terletak dibawah tanah.



Gambar 2.12 Osterberg cell pada pondasi

(Kiri dan tengah: Jurnal Jorj Osteberg; kanan: dokumentasi PT LAPI ITB)

2.7.1. Prinsip Kerja Osterberg Cell

Load Cell merupakan peralatan yang didisain secara khusus yang terdiri atas plunger, top plate, bottom plate, dan cell walls. Tekanan yang diberikan pada load cell dapat diukur menggunakan manometer, kemudian displacement dari top plate dan bottom plate akan diukur menggunakan displacement transducer yang terintegrasi di dalamnya. Agar bisa mengukur besarnya tahanan yang terjadi pada tiap lapisan tanah maka pada pondasi dipasang strain gauge pada kedalaman tertentu. Tekanan pada cell diberikan oleh sebuah pompa oli bertekanan tinggi pada permukaan tanah. Pada saat pembebanan, load cell akan mengembang dan mendorong bagian atas pondasi keatas dan bagian bawah pondasi ke bawah. Hal ini akan mengakibatkan terjadi tahanan geser dan tahanan ujung. Dari pergerakan tersebut maka bisa digambarkan suatu grafik hubungan antara gaya dan displacement atau pergeseran. Daya dukung ultimate bisa didapatkan dengan menjumlahkan daya dukung ujung dan daya dukung gesek. Prinsip kerja dari load cell dapat dilihat pada gambar 2.12.

2.7.2. Instrumen Test

2.7.2.1 Instrumen Pembebanan

Pada masing-masing tiang pondasi diberi dua load cell dimana kemampuan mengembang masing-masing cell sekitar 20 cm.

Pompa oli hidrolis bertekanan tinggi memiliki kapasitas sebesar 60 Mpa.

2.7.2.2 Instrumen untuk mengukur displacement

Electronic displacement transducer. Tiap tiang dilengkapi dengan 6 electronic displacement transducer, 2 transducer digunakan untuk mengamati pergerakan keatas dari load cell, 2 untuk pergerakan kebawah, dan 2 lagi untuk mengukur pergerakan keatas dari ujung kepala tiang.



Gambar 2.13 Computer and automatic data acquisition system (Dokumentasi PT LAPI ITB)

2.7.2.3 Instrumen untuk mengukur regangan

Strain gauges. Masing-masing tiang dilengkapi dengan 12 buah strain gauges. Strain gauges diletakkan pada kedalaman tertentu yang mewakili masing-masing lapisan tanah. Strain gauges akan memberikan nilai regangan pada masing-masing lapisan tanah tersebut.

2.7.2.4 Computer and automatic data acquisition

Computer and automatic data acquisition system berguna untuk menggambarkan hubungan antara pembebanan yang diberikan dan juga displacement yang terjadi (gambar 2.13).

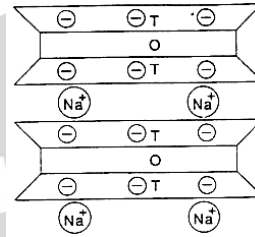
2.7.3. Prosedur pengujian

Setelah semua alat terpasang maka pengujian dapat mulai dilakukan, hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- (1) Jarak antara pengujian dan pengecoran pondasi dilakukan sekurang-kurangnya 15 hari sehingga kekuatan dari pondasi telah mencapai yang disyaratkan.
- (2) Pemberian pembebanan diberikan setiap $1/15$ dari daya dukung ultimate yang diperkirakan sebelumnya (21000kN untuk upper load cell dan 12000kN untuk lower load cell). Sedangkan pelepasan tegangan juga diberikan secara bertahap sejumlah 3 kali dari beban ultimate yang dicapai pada saat pembebanan.
- (3) Survey pada saat pembebanan dicatat pada setiap tahap pembebanan pada 5, 15, 30, 45, dan 60 menit. Setelah itu pencatatan dilakukan setiap 30 menit. Pada saat yang bersamaan grafik Q-s, s-lgt, dan s-lgQ bisa ditampilkan secara bersamaan pada layar komputer.
- (4) Survey pada saat pelepasan beban juga dicatat pada setiap tahap. Observasi dilakukan setiap 30 menit. Setelah beban ditiadakan seluruhnya pencatatan dilakukan setidaknya selama 2 jam.
- (5) Standar Stabilisasi ditentukan apabila displacement yang terjadi kurang dari 0.1mm pada setiap tahapan pembebanan.
- (6) Pembebanan dapat dihentikan pada kondisi-kondisi sebagai berikut:
 - a. Displacement yang terjadi sama dengan 40 mm atau lebih. Pada setiap tahapan pembebanan apabila displacement yang terjadi 5 kali lebih besar dari displacement sebelumnya maka pembebanan dapat dihentikan.
 - b. Total displacement yang terjadi sama dengan 40 mm atau lebih. Pada tahapan pembebanan ini jika stabilisasi tidak bisa dicapai dalam waktu 24 jam maka pembebanan bisa dihentikan dan nilai dari pembebanan sebelumnya dapat dianggap sebagai daya dukung batasnya.
 - c. Total displacement kurang dari 40 mm namun jumlah pembebanan telah mencapai kapasitas ultimit sehingga melebihi kemampuan dari load cell.

2.8. Shale Stone

Kondisi tanah sangat mempengaruhi kemampuan daya dukung suatu pondasi. Salah satu jenis tanah yang perlu diperhatikan dan diteliti apabila terdapat pada suatu lapisan tanah adalah jenis shale clay yang biasanya berwarna abu-abu. Clay shale merupakan jenis lempung yang komposisi utamanya terdiri atas montmorillonite (gambar 2.14). Senyawa dari clay shale ini berbentuk oktahedral.



Gambar 2.14 Senyawa Montmorillonite

(Nelson and Debora, 1992)

Salah satu sifat dari jenis lempung ini adalah memiliki daya serap air yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan ion negatif pada kristal oktahedralnya. Karena banyaknya kandungan ion negatif maka selain menyerap air dalam jumlah yang besar, lempung ini memiliki kemampuan untuk mengikat kation-kation dari luar atau dengan kata lain adanya pengikatan senyawa mineral garam (Na). Dalam jumlah yang besar.

Akibat dari sifat-sifat kimia diatas maka secara fisik shale mineral memiliki sifat-sifat seperti kemampuan kembang susut yang sangat tinggi dan juga sangat sensitive terhadap perubahan pengaruh cuaca.



Gambar 2.15 Perubahan senyawa montmorillonite stone menjadi shale clay

(Laporan proyek BPREC Jonggol)

Pada tabel 2.3 bisa kita potensi pengembangan dari beberapa jenis lempung.

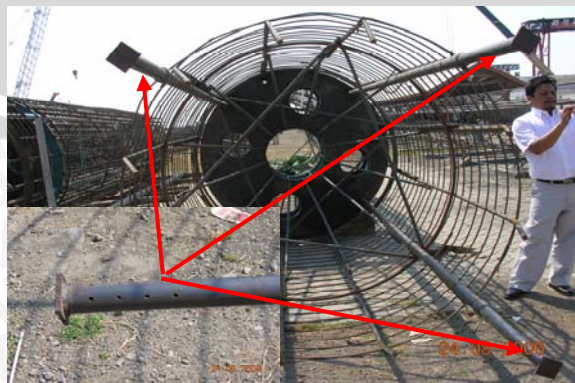
Surcharge Load (lb/ft ²)	Load (kPa)	Swell Potential (%)		
		Kaolinite	Illite	Montmorillonite
200	9,6	negligible	350	1500
400	19,1	negligible	150	350

Tabel 2.3 Kemampuan mengembang dari beberapa jenis lempung (Budge et al. (1964))

2.9. Grouting

Keberadaan shale stone atau kandungan montmorillonite pada suatu lapisan tanah tentunya akan menjadi suatu masalah tersendiri terutama apabila tanah tersebut akan digunakan sebagai media peletakan pondasi bored pile. Sifat senyawa montmorillonite yang sangat mudah mengembang dan bereaksi secara kimia apabila mengalami disturbance tentunya akan menjadi masalah ketika tanah tersebut dibor dan mengalami interaksi dengan lingkungan sekelilingnya. Kondisi tanah pada permukaan yang dibor akan mengalami retakan-retakan hingga perubahan sifat secara fisik dari batuan menjadi lempung lunak. Apabila itu terjadi maka tentunya tanah akan mengalami gradasi penurunan kekuatan secara signifikan. Salah satu metode untuk mengembalikan kekuatan tanah yaitu dengan menutup kontak material tanah yang mengandung shale stone dengan lingkungan sekitar. Metode yang bisa diterapkan adalah dengan melakukan grouting. Dengan cara ini pori-pori yang ada di dalam tanah akan diisi oleh semen yang dialirkan secara khusus dari permukaan tanah melalui saluran yang telah disediakan.

Pada proyek jembatan Suramadu main bridge P46 dan P47 dilakukan grouting pada seluruh bored pile dan menghabiskan 14 ton intrusion cement per pylon. Dengan dilakukannya grouting maka diharapkan kekuatan tanah yang hilang mampu diatasi dan nilai daya dukung aksial sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 2.16 Gambar saluran grouting (Dokumentasi PT. LAPI ITB)

BAB III

METODE ANALISIS

3.1. Lokasi Daerah Studi.

Lokasi daerah studi adalah Proyek Pembangunan Jembatan Utama Suramadu pada bagian pondasi P46-19 dan P47-31.

3.2. Pengumpulan Data.

Dalam penulisan skripsi ini, data yang digunakan adalah data perencanaan pembangunan konstruksi serta data hasil lapangan yang dilakukan oleh Consortium of Chinese Contractors selaku pihak kontraktor.

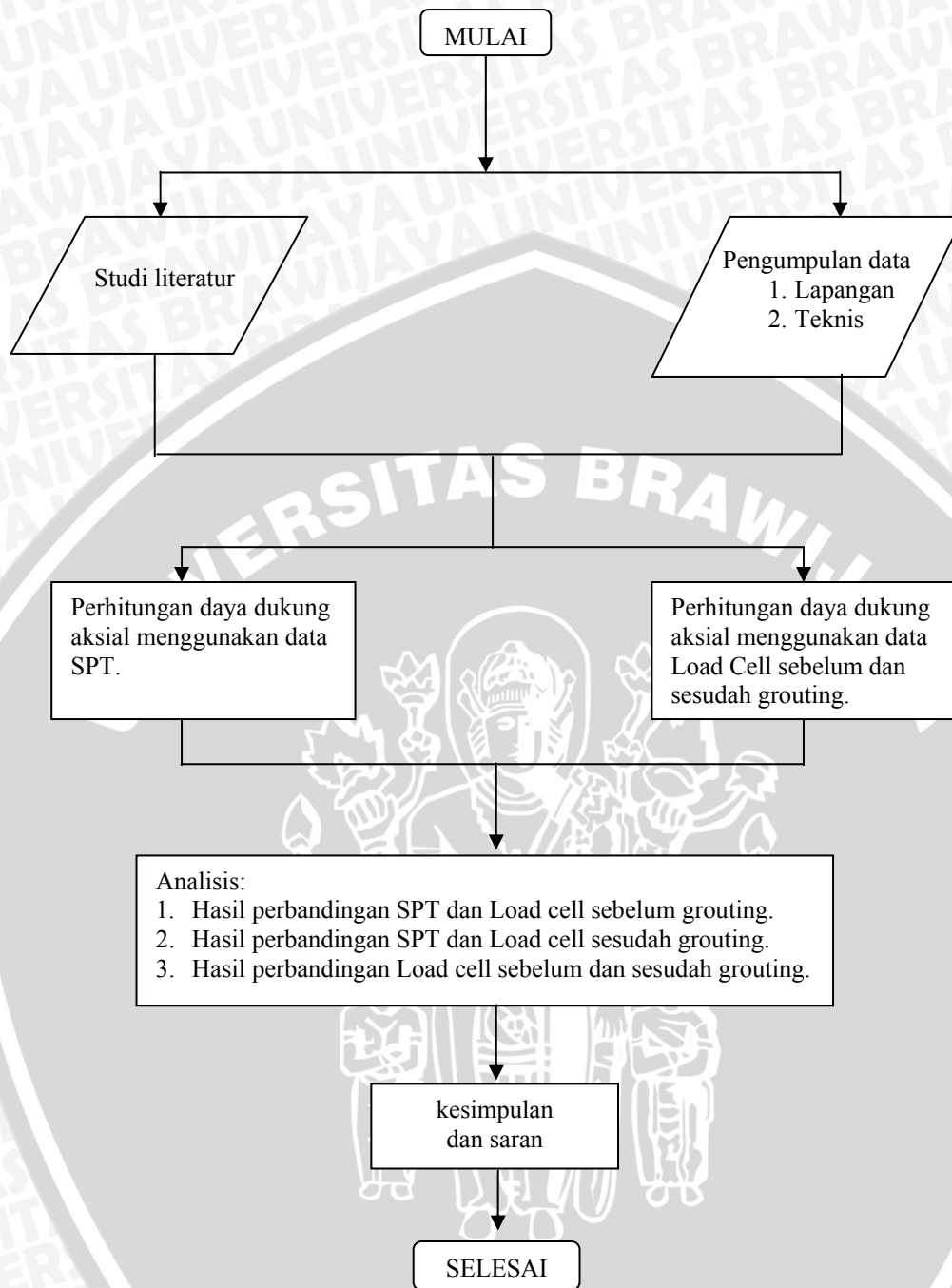
Untuk bisa melakukan analisa terhadap daya dukung axial pondasi jembatan utama Suramadu, data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- a. Data tentang sifat geologis tanah (SPT).
- b. Data hasil pengukuran uji pembebanan Osteberg-Cell.
- c. Data tentang instalasi dan spesifikasi pondasi.

3.3. Tahapan Penyelesaian Skripsi.

Secara garis besar tahapan penyelesaian skripsi adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data-data yang diperlukan untuk melakukan analisa.
- b. Melakukan studi literatur mengenai cara melakukan perhitungan daya dukung aksial menggunakan SPT dan load cell.
- d. Melakukan perhitungan daya dukung aksial melalui metode SPT dan Osteberg Cell sebelum dan sesudah grouting.
- e. Melakukan analisis hasil perhitungan daya dukung aksial melalui metode SPT dan Osteberg Cell sebelum dan sesudah grouting.
- f. Kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis Pondasi

3.4. Analisa Perhitungan Menggunakan Data SPT.

Data nilai N-SPT yang didapat dari lapangan bisa diperbaiki dengan mengalikannya dengan beberapa faktor koreksi. Rumus dari nilai N terkoreksi bisa dilihat pada rumus di bawah ini (Skempton, 1986):

$$N_{60} = \frac{Em.Cb.Cs.Cr.N}{0,6} \dots\dots\dots(3. 1)$$

- Dimana:
- N_{60} : Nilai N terkoreksi;
 - Em : Efisiensi hammer (tabel 3.1);
 - Cb : Koreksi diameter lubang bor (tabel3.2);
 - Cs : Koreksi sampler (tabel 3.2);
 - Cr : Koreksi panjang batang (tabel 3.2);
 - N : Nilai N-SPT lapangan.

Country	Hammer Type	Hammer Release Mechanism	Efficiency (Em)
Argentina	Donut	Cathead	0,45
Brazil	Pin Weight	Hand Dropped	0,72
China	Automatic	Trip	0,6
	Donut	Hand Dropped	0,55
	Donut	Cathead	0,5
Colombia	Donut	Cathead	0,5
Japan	Donut	Tombi Trigger	0,78-0,85
	Donut	Cathead 2 turns + special release	0,65-0,67
UK	Automatic	Trip	0,73
USA	Safety	2 Turns on Cathead	0,55-0,6
	Donut	2 Turns on Cathead	0,45
Venezuela	Donut	Cathead	0,43

Tabel 3.1 Nilai efisiensi hammer (Clayton, 1990)

Factor	Equipment Variable	Value
Borehole Diameter (Cb)	6 in (65-115mm)	1
	6in (150mm)	1,05
	8in (200mm)	1,15
Sampling method (Cs)	Standard sampler	1
	Sample without liner (not recommended)	1,2
Rod length (Cr)	10-13ft (3-4m)	0,75
	13-20ft (4-6m)	0,85
	20-30ft (6-10m)	0,95
	>3ft (>10m)	1

Tabel 3.2 Nilai efisiensi lubang bor, sampler, dan panjang batang (Skempton, 1986)

Pada tanah pasir perlu ada koreksi sebagai akibat penyesuaian terhadap tekanan efektif dan kedalaman tanah yang berbanding lurus. Sehingga koreksi overburden bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$N'_{60} = CN \times N_{60} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana skempton merumuskan CN adalah:

untuk *normally consolidated fine sands* :

$$CN = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_v}{\sigma_r}} \dots\dots\dots (3.3)$$

untuk *normally consolidated coarse sands*:

$$CN = \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_v}{\sigma_r}} \dots\dots\dots (3.4)$$

untuk *overconsolidated sands*:

$$CN = \frac{1.7}{0.7 + \frac{\sigma'_v}{\sigma_r}} \dots\dots\dots (3.5)$$

- Dimana :
- N'_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap tekanan overburden
 - σ'_v = Tekanan vertikal efektif
 - σ_r = Tekanan referensi = 2000 lb/ft² = 100kPa
 - N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur.

Nilai daya dukung ultimit bisa didapat dari penjumlahan daya dukung gesek dan daya dukung ujung seperti di bawah ini:

$$Q_u = \frac{Q_s + Q_b}{SF} \dots\dots\dots (3.6)$$

- Dimana:
- Q_u : Daya dukung ultimit;
 - Q_s : Daya dukung geser;
 - Q_b : Daya dukung ujung;
 - SF : *Safety factor* (angka keamanan).

Untuk menghitung daya dukung aksial hasil dari pengujian SPT banyak metode atau rumus-rumus pendekatan yang bisa digunakan. Salah satu metode yang bisa dilakukan adalah dengan mengkonversikan nilai N-SPT menjadi soil properties

dan kemudian menggunakan nilai-nilai soil properties tersebut untuk menghitung daya dukung aksial.

Dalam mendisain sebuah bangunan perlu diambil suatu angka keamanan (SF), untuk disain sebuah pondasi ditentukan oleh beberapa faktor seperti dibawah ini:

- a. Tipe dan tingkat kepentingan suatu bangunan;
- b. Kondisi kerumitan dari tanah;
- c. Tingkat ketelitian dan kelengkapan dari eksplorasi tanah;
- d. Tipe dan jumlah tes tanah yang dilakukan;
- e. Ketersediaan dari uji pembebanan pada lokasi ataupun lokasi yang berdekatan.
- f. Ketelitian dari pelaksanaan konstruksi;
- g. Jumlah kombinasi pembebanan yang digunakan dalam melakukan desain.

Pugsley's pada tahun 1966 membuat sistem klasifikasi angka keamanan dan membaginya dalam 3 kategori:

- a. *Monumental buildings* yang memiliki desain bangunan melebihi 100 tahun, seperti jembatan-jembatan besar dan bangunan yang memiliki nilai sangat tinggi.
- b. *Permanent buildings* yang memiliki desain bangunan dengan usia 25 hingga 100 tahun, seperti bangunan besar serta jembatan kereta api dan jalan.
- c. *Temporary buildings* yang hanya dibuat untuk waktu sesaat (kurang dari 25 tahun), seperti bangunan industri yang dibuat untuk sementara waktu.

Fungsi dari bangunan tersebut kemudian dikorelasikan dengan kondisi kontrol yang terdapat pada proyek:

- a. *Good control* meliputi kondisi bawah tanah relatif seragam dan telah diteliti melalui beberapa program eksplorasi tanah, keberadaan data uji pembebanan tersedia. Kontrol yang baik juga meliputi monitoring konstruksi, Case Method and wave equation analysis dari tiang.

- b. Normal control memiliki kondisi yang hampir sama dengan kondisi good control namun disini tidak tersedia data uji pembebanan dan kondisi bawah tanah tidak terlalu seragam. Disini engineer penggunaan case method analysis disarankan untuk digunakan.
- c. Poor control meliputi kondisi dimana tidak tersedia data uji pembebanan dan kondisi lapisan tanah cukup beragam. Pada kondisi ini terdapat data mengenai eksplorasi tanah.
- d. Very poor control meliputi kondisi tanah yang sangat beragam dan sulit untuk dianalisa sedangkan eksplorasi dan uji tanah sangat terbatas.

Tabel 3.3 memberi gambaran nilai angka keamanan yang dapat digunakan. Angka yang terdapat pada tabel tersebut tidak mutlak namun dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam menentukan nilai angka keamanan. Setiap engineer bebas untuk melakukan perubahan terhadap angka keamanan sesuai dengan pertimbangan masing-masing.

Classification of Structure	Acceptable Probability of Failure	Design Factor of Safety (SF)			
		Good	Normal	Poor	Very Poor
Monumental	10E-5.	2,3	3	3,5	4
Permanent	10E-4.	2	2,5	2,8	3,4
Temporary	10E-3.	1,4	2	2,3	2,8

Tabel 3.3 Nilai angka keamanan yang disarankan (Reese dan O'neill 1989)

Jembatan Suramadu merupakan jembatan yang tergolong sangat besar dan memiliki umur rencana 100 tahun sehingga jembatan ini bisa digolongkan dalam tipe bangunan monumental (*monumental buildings*). Pada proyek ini terdapat uji pembebanan menggunakan metode Osterberg Cell maupun penyelidikan tanah yang dilakukan menggunakan uji SPT (*Standard Penetration Test*) dimana dalam test ini bisa didapat contoh tanah disturbed. Kondisi tanahnya tergolong relatif beragam. Dari penjabaran kondisi tersebut dalam melakukan perhitungan daya dukung aksial pada Jembatan utama Suramadu akan digunakan angka keamanan sebesar 2,5.

3.4.1. Tanah Pasir.

a. Daya dukung ujung.

Persamaan daya dukung ujung secara empiris untuk daya dukung ujung pada tanah pasir bisa didapatkan dari persamaan yang dikemukakan Reese and O'Neill (1989):

$$q'_e = 0,6\sigma_r N_{60} \leq 90.000 \text{ lb/ft}^2 \text{ (4500 kPa)} \dots \dots \dots (3. 7)$$

Dimana : σ_r = Reference Stress = $2000 \text{ lb/ft}^2 = 100 \text{ kPa}$

N_{60} = Nilai N terkoreksi rata-rata dari dasar pondasi hingga 2 kali diameter pondasi. Nilai koreksi overburden diabaikan;

q'_e = Daya dukung ujung.

b. Tahanan gesek

a. Metode β

$$f_s = \beta \cdot \sigma_v' \dots \dots \dots (3. 8)$$

$$\beta = K \tan \Phi_s \dots \dots \dots (3. 9)$$

K merupakan tekanan lateral bumi dan Φ_s merupakan sudut geser antara tanah dan tiang. Kedua nilai tersebut pada pondasi bored pile akan mengalami koreksi. Nilai Φ_s akan meningkat karena sisi tanah menjadi kasar sebagai akibat dari pengeboran sedangkan nilai tegangan lateral akan berkurang sebagai akibat dari pengeboran. Nilai Φ_s bisa didapat dari nilai sudut geser tanah dan tabel 3.3 sedangkan nilai K bisa didapatkan dari koefisien tekanan lateral bumi K_0 dan tabel 3.4. Namun nilai K_0 disini sulit untuk didapatkan sehingga Reese dan O'Neill's (1989) mengemukakan rumus empiris yang didasarkan pada 41 uji pembebanan sebagai berikut:

$$\beta = 1,5 - 0,135 \sqrt{\frac{z}{B_r}} \dots \dots \dots (3. 10)$$

$$\sigma_v' = \gamma \cdot z \dots \dots \dots (3. 11)$$

$$Q_s = \sum A_s \cdot f_s \dots \dots \dots (3. 12)$$

- dimana : f_s = tahanan gesek;
 σ'_v = tegangan vertikal efektif pada pertengahan lapisan tanah;
 z = kedalaman dari permukaan tanah hingga pertengahan lapisan tanah;
 γ = berat jenis tanah kN/m^3 ;
 h = kedalaman lapisan tanah m;
 B_r = reference width = 1 ft = 12 in = 0.3 m = 300 mm;
 A_s = luas selimut (m^2).

Korelasi antara nilai γ dengan tipe tanah bisa didapatkan secara empiris melalui tabel 3.5.

Construction Method	Φ_s/Φ
Open hole or temporary casing	1
Slurry method-minimal slurry cake	1
slurry method-heavy slurry cake	0,8
Permanent casing	0,7

Tabel 3.4. Nilai Φ_s/Φ untuk pondasi tiang bor (Kulhawy, 1991)

Construction Method	K/ K_o
Dry construction with minimal sidewall disturbance and prompt concreting	1
Slurry method-good workmanship	1
slurry method-poor workmanship	2/3.
Casing under water	5/6.

Tabel 3.5. Nilai K/ K_o untuk disain pondasi tiang bor (Kulhawy, 1991 dan Stas dan Kulhawy, 1984)

Soil Type	Typical Unit Weight (γ)			
	Above Ground Water Table		Below Ground Water Table	
	(lb/ft3)	(kN/m3)	(lb/ft3)	(kN/m3)
GP - Poorly graded gravel	110-130	17,5-20,5	125-140	19,5-22
GW - Well Graded Gravel	110-140	17,5-22	125-150	19,5-23,5
GM - Silty Gravel	100-130	16-20,5	125-140	19,5-22
GC - Clayey Gravel	100-130	16-20,6	125-140	19,5-22
SP - Poorly Graded Sand	95-125	15-19,5	125-135	19-21
SW - Well Graded Sand	95-135	15-21	120-145	19-23
SM - Silty Sand	80-135	12,5-21	110-140	17,5-22
SC - Clayey Sand	85-130	13,5-20,5	110-135	17,5-21
ML - Low Plasticity Silt	75-110	11,5-17,5	80-130	12,5-20,5
MH - High Plasticity Silt	75-110	11,5-17,5	75-130	11,5-20,5
CL - Low Plasticity Clay	80-110	12,5-17,5	75-130	11,5-20,5
CH - High Plasticity Clay	80-110	12,5-17,5	70-125	11-19,5

Tabel 3.6. Korelasi nilai γ dan tipe tanah (Coduto, 1994)

b. Meyerhof (1976)

Meyerhof menuliskan rumus empiris daya dukung friksi dengan N-SPT sebagai berikut:

$$q_s = 0.96 \times N_{SPT} (kN / m^2) \dots\dots\dots (3. 13)$$

c. Quiros and Resse (1976)..... (3. 14)

Rumus empiris daya dukung friksi dengan N-SPT sebagai berikut:

$$q_s = 2.5 \times N_{SPT} (kN / m^2) < 192(kN / m^2) \dots\dots\dots (3. 15)$$

d. Resse and Wright (1977)

Rumus empiris daya dukung friksi dengan N-SPT sebagai berikut:

$$q_s = 2.82 \times N_{SPT} (kN / m^2), \text{ untuk } N - SPT \leq 53 \dots\dots\dots (3. 16)$$

$$q_s = 96 \times \left(\frac{N_{SPT} - 53}{100} \right) (kN / m^2), \text{ untuk } 53 < N - SPT < 100 \dots\dots\dots (3. 17)$$

3.4.1. Tanah Lempung.

a. Daya dukung ujung

$$q'_e = N_c^* C_u \leq 80.000 \text{ lb/ft}^2 (4000 \text{ kPa}) \dots\dots\dots (3. 18)$$

$$N_c^* = 6 [1 + 0,2 (D/B_b)] \leq 9 \dots\dots\dots (3. 19)$$

$$Q_b = q'_e B_b \dots\dots\dots (3. 20)$$

Dimana : N_c^* = faktor daya dukung;

D = kedalaman hingga dasar pondasi;

B_b = diameter dasar pondasi;

s_u = kuat geser tanah pada kondisi undrained dari dasar pondasi hingga jarak $2B_b$ dibawah dasar pondasi.

b. Tahanan Geser

Analisis berdasarkan kondisi undrained shear strength atau metode α merupakan metode paling umum dalam menghitung tahanan geser pada tanah lempung.

$$F_s = \alpha . C_u \dots\dots\dots (3. 21)$$

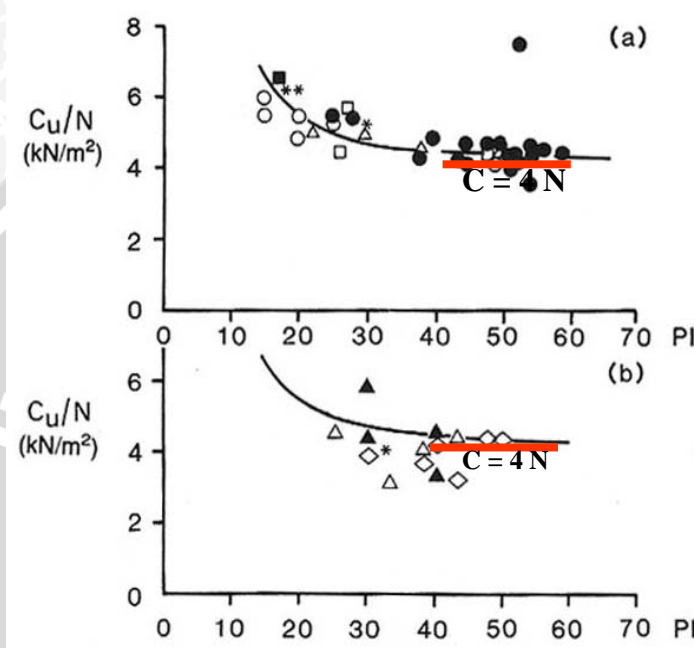
$$Q_s = \sum A_s . f_s \dots\dots\dots (3. 22)$$

Dimana : α = faktor adhesi;

C_u = kuat geser tanah sepanjang pondasi (gambar 3.2);

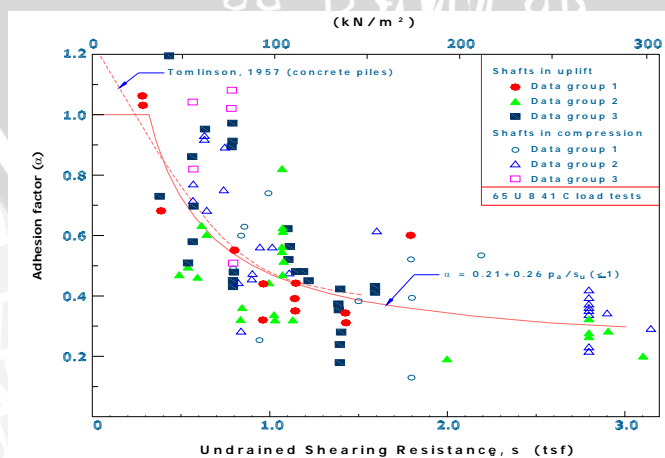
A_s = luas selimut (m^2).

Nilai C_u bisa didapatkan dari hubungan C_u dan N-SPT pada kondisi undrained seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Korelasi nilai C_u dan N-SPT pada kondisi undrained (Stroud, 1974)

Nilai α bisa didapatkan dari korelasi antara C_u dan α seperti pada gambar 3.3.



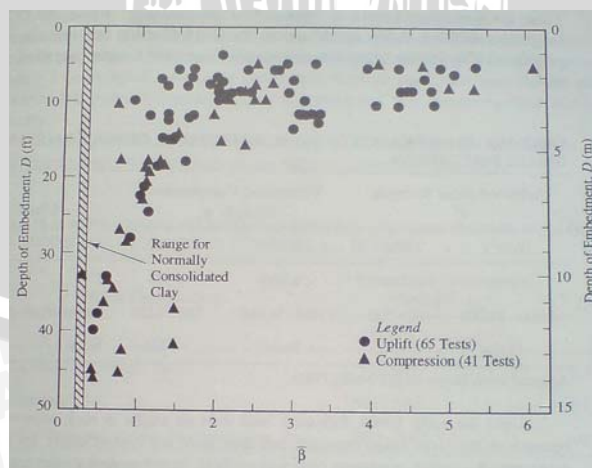
Gambar 3.3. Korelasi nilai S_u dan α (Coduto, 1994)

Analisis pada tanah lempung berdasarkan kondisi drained shear strength atau menggunakan metode β juga bisa dilakukan. Metode analisis menggunakan metode β sama persis ketika kita menghitung tahanan gesek pada tanah pasir. Nilai β pada umumnya akan memiliki nilai yang lebih besar pada lapisan tanah yang dangkal karena kondisi overconsolidation yang lebih besar, nilai ini akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman hingga mencapai nilai yang konstan. Kulhawy dan Jackson (1989) membuat plot nilai β rata-rata (β) dengan kedalaman D pada pondasi tiang bor yang didasarkan pada 106 uji pembebanan (gambar 3.4). Uji tersebut sebagian besar dilakukan pada tanah yang relatif keras dengan kuat geser lebih dari 50 kPa sehingga data tidak bisa digunakan untuk melakukan analisa pada tanah yang lunak. Selain itu uji hanya dilakukan pada kedalaman hingga 15m sehingga untuk menghitung tahanan gesek pondasi tiang bor yang terdapat pada jembatan utama Suramadu yang kedalamannya mencapai lebih dari 80m data tersebut tidak dapat digunakan.

$$f_s = \beta \cdot \sigma'_v \dots \dots \dots (3.23)$$

Dimana: f_s = nilai rata-rata tahanan gesek;

σ'_v = tegangan vertikal efektif rata-rata pada pertengahan lapisan tanah.



Gambar 3.4. Hubungan β dengan panjang pondasi tiang bor pada tanah lempung (Kulhawy dan Jackson, 1989; dengan ijin dari ASCE)

Analisa menggunakan metode λ dikemukakan oleh Vijayvergiya dan Focht (1972) untuk pondasi tiang pancang. Stas dan Kulhawy menemukan bahwa untuk pondasi tiang bor terdapat nilai perbedaan yang jauh apabila digunakan rumus λ oleh Vijayvergiya dan Focht (1972) dan rumus λ yang baru tidak mungkin dibuat untuk pondasi tiang bor.

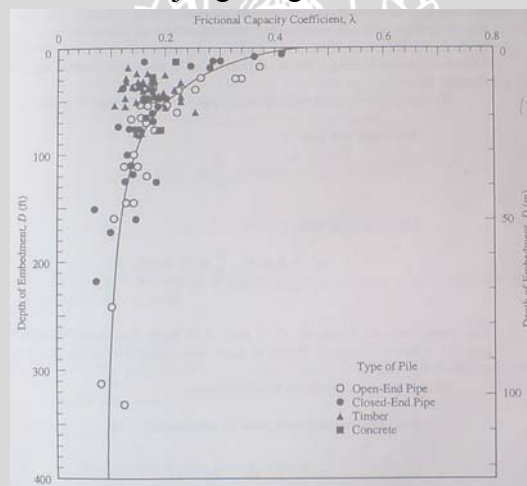
$$f_s = \lambda (\sigma_{v'} + 2Su) \dots \dots \dots (3. 24)$$

Dimana : f_s = Nilai tahanan gesek rata-rata;

λ = Koefisien kapasitas gesek;

$\sigma_{v'}$ = Tegangan vertikal efektif rata-rata antara permukaan tanah dan ujung tiang;

S_u = Nilai undrained shear strength rata-rata antara permukaan tanah dan ujung tiang.

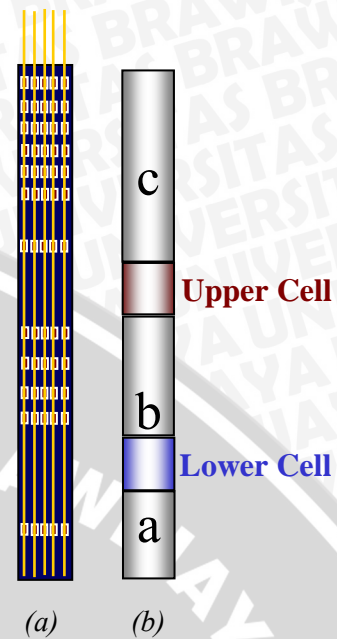


Gambar 3.5 Koefisien kapasitas gesek λ (Vijayvergiya dan Fochts, 1972 dan Kraft, Focht, dan Amerasinghe, 1981 : Digunakan dengan izin ASCE dan The Offshore Technology Conference)

3.5. Analisa Perhitungan Dengan Menggunakan Data O-cell.

Pada proyek jembatan Suramadu masing-masing tiang pondasi diberi 2 load cell yang dilengkapi dengan electronic displacement transducer yang pemasangannya bisa dilihat pada gambar 3.6(b). Masing-masing tiang juga dilengkapi dengan alat pengukur regangan atau strain gauge seperti pada gambar 3.6(a).

Besarnya daya dukung aksial yang mampu diberikan bisa diukur menggunakan kedua alat tersebut dengan menggabungkannya dengan parameter-parameter lainnya.



Gambar 3.6. (a) Skema pemasangan strain gauge, (b) Skema pemasangan load cell

3.5.1 Pengamatan Electronic Displacement Transducer.

Pada pengamatan ini, data yang akan digunakan adalah besarnya displacement yang terjadi dengan tekanan yang diberikan pada load cell. Langkah-langkah pengolahan data berdasarkan bacaan electronic displacement transducer adalah sebagai berikut:

- Melakukan rekapitulasi bacaan dengan mengambil daya dukung ultimit pada masing-masing tahapan pembebanan berdasarkan displacement yang terjadi (lihat bab 2.7.3. poin nomor 6 tentang pemberhentian pembebanan).
- Membuat grafik hubungan Q(Pembebanan)-s(displacement).
- Membuat diagram displacement pada tiang pondasi pada saat pembebanan upper cell maupun lower cell, demikian pula pada saat pelepasan pembebanan.
- Membuat kesimpulan hasil pengujian dan menentukan besarnya daya dukung ujung dan gesek.
- Menghitung daya dukung ultimit dengan rumus dibawah ini :

$$Q_u = \frac{Q_a - W}{\mu} + Q_b + Q_c \dots \dots \dots (3. 25)$$

- Dimana:
- Q_u : Daya dukung ultimit;
 - Q_a : Daya dukung ultimit pada segmen a;
 - Q_b : Daya dukung ultimit pada segmen b;
 - Q_c : Daya dukung ultimit pada segmen c;
 - W : Berat sendiri pondasi bagian atas;
 - μ : Koefisien tahanan geser dari pondasi bagian atas.

Dari perhitungan tersebut maka daya dukung ujung maupun geser bisa didapatkan. Rumus diatas dikalkulasikan berdasarkan "Technical Spesification for Construction of Highway and Culvert" (JTJ041-2000) dan "Technical Code for Load Cell Method for Testing Bearing Capacity of Pile" (DB32/T91-1999)

3.5.2 Pengamatan Strain Gauge.

Hasil output akhir dari pengolahan data ini digunakan untuk mendapatkan nilai daya dukung geser.

Data bacaan pada strain gauge dikalibrasikan untuk menghasilkan nilai regangan pada titik pemasangan. Rumus untuk mendapatkan nilai regangan pada masing-masing titik adalah sebagai berikut:

$$\epsilon_s = K\epsilon_R + B \dots \dots \dots (3. 26)$$

- Dimana:
- ϵ_s : Nilai regangan pada masing-masing titik;
 - K : Koefisien untuk strain gauge;
 - ϵ_R : Pembacaan numeris pada strain gauge di titik masing-masing;
 - B : Nilai koreksi untuk penghitungan regangan.

Pada tingkat pembebanan yang sama, nilai regangan pada beton dianggap sama dengan nilai regangan pada tulangan pondasi. Sehingga bisa diturunkan rumus sebagai berikut:

$$\epsilon_s = \epsilon_c \dots \dots \dots (3. 27)$$

$$\sigma_c = \epsilon_c + E_c \dots \dots \dots (3. 28)$$

$$\sigma_s = \epsilon_s + E_s \dots \dots \dots (3. 29)$$

Sehingga besarnya gaya aksial pada masing-masing kedalaman di tahapan pembebanan (P_z) bisa dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_z = \sigma_s A_s + v \sigma_c A_c \dots \dots \dots (3. 30)$$

- Dimana:
- ϵ_c : Nilai regangan pada beton;
 - ϵ_s : Nilai regangan pada tulangan;
 - σ_c : Nilai tegangan pada beton (kN/m^2);
 - σ_s : Nilai tegangan pada tulangan (kN/m^2);
 - v : Koefisien plastis beton;
 - E_c : Modulus young untuk beton (kN/m^2);
 - E_s : Modulus young untuk tulangan (kN/m^2);
 - A_c : Luas netto beton pada masing-masing section (m^2);
 - A_s : Luas total tulangan kearah longitudinal (m^2).

Setelah data diolah menjadi gaya aksial maka langkah-langkah yang dilakukan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- (1) Menghitung tahanan friksi. Tahanan friksi pada masing-masing lapisan tanah bisa didapatkan sesuai dengan rumus berikut:

$$q_s = \frac{\Delta P_z}{\Delta F} \dots\dots\dots (3. 31)$$

- Dimana:
- q_s : Tahanan friksi dari tiap lapisan tanah (kN/m^2);
 - ΔP_z : Selisih gaya aksial pada dua section tiang (kN);
 - ΔF : Keliling permukaan diantara dua section tiang (m^2).

- (2) Perhitungan section displacement. Hasil dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui besarnya displacement pada kedalaman yang berbeda. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$S_i = S_{i+1} - \Delta_i \dots\dots\dots (3. 32)$$

- Dimana:
- S_i : Displacement pada section i (mm) ;
 - S_{i+1} : Displacement pada section i+1
 - Δ_i : Deformasi pada pondasi tiang antara section I dan i+1 (mm), yang bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta_i = \frac{(P_{z,i} + P_{z,i+1})L_i}{(2A_n E_c)} \dots\dots\dots (3. 33)$$

- Dimana :
- $P_{z,i}$: Gaya aksial pada section i (kN);
 - $P_{z,i+1}$: Gaya aksial pada section i+1 (kN);

L_i : Panjang tiang pondasi antara section i dan i+1;

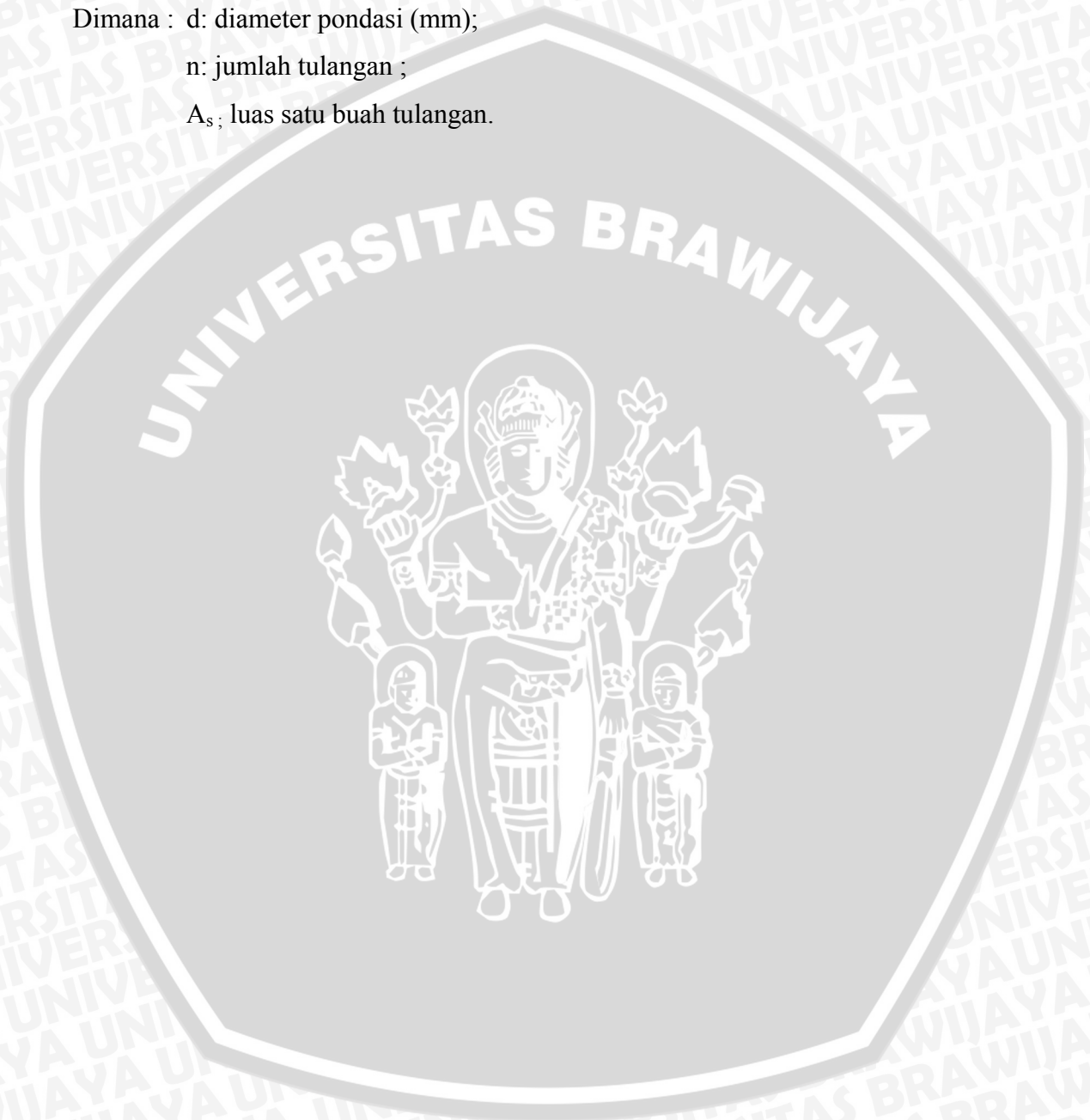
A_n : Luas daerah netto yang bisa didapatkan dengan rumus:

$$\frac{\pi}{4}d^2 + nA_s \left(\frac{E_s}{E_c} - 1 \right) \dots\dots\dots (3. 34)$$

Dimana : d: diameter pondasi (mm);

n: jumlah tulangan ;

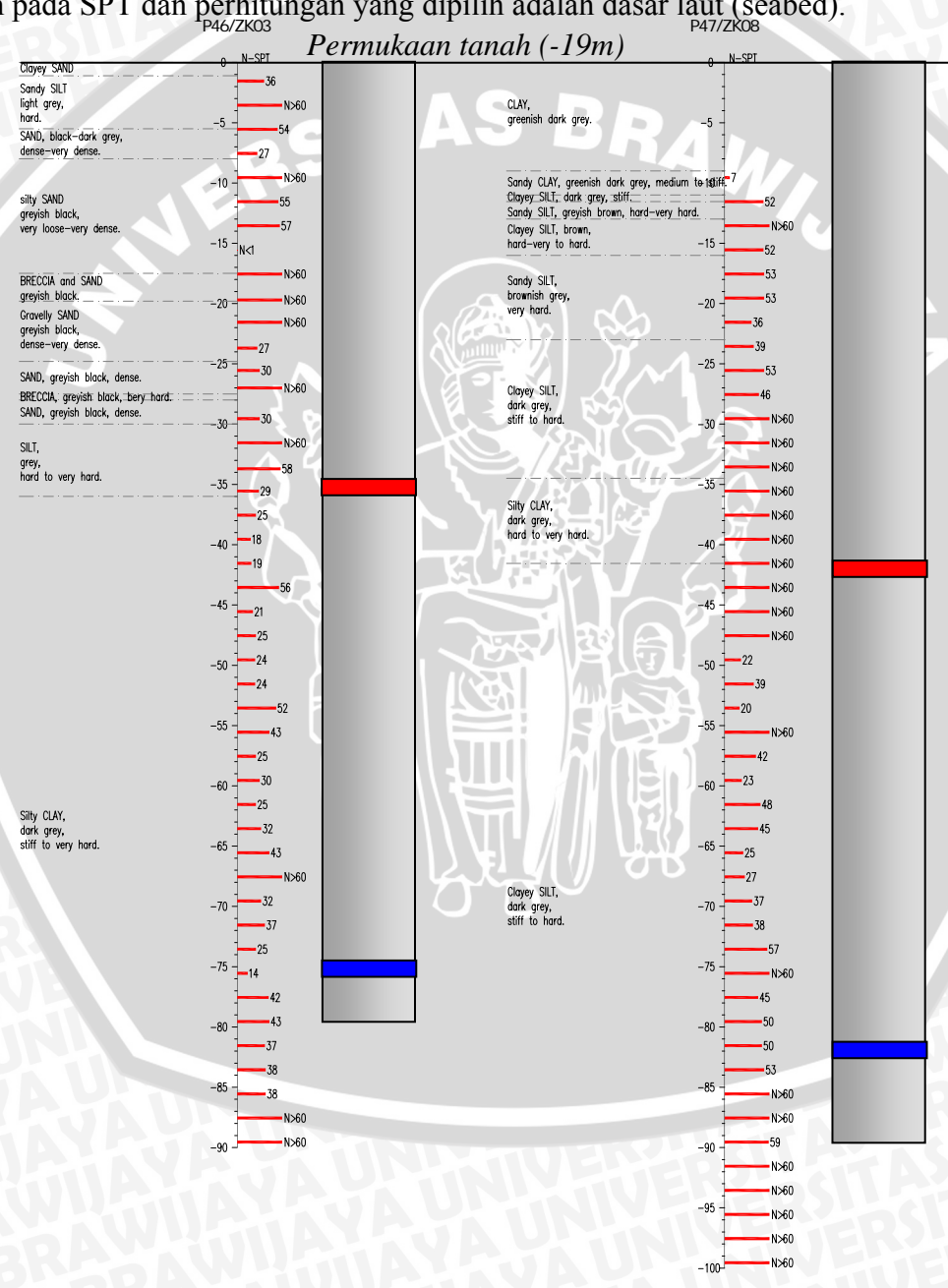
A_s : luas satu buah tulangan.



BAB IV ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL

4.1. Perhitungan Daya Dukung Teoritis Berdasarkan Data N-SPT.

Dari data N-SPT yang ditampilkan pada Gambar 4.1, besarnya daya dukung aksial bisa dihitung dengan menggunakan rumus-rumus yang ada pada Bab 3.4. Datum kedalaman pada SPT dan perhitungan yang dipilih adalah dasar laut (seabed).



Gambar 4. 1. N-SPT jembatan utama Suramadu P46 dan P47, Jawa Timur (Dok. PT. LAPI ITB).

4.1.1. Perhitungan Pada Tiang P46.

4.1.1.1. Tahanan Friksi Pada Tiang P46.

Untuk menghitung besarnya tahanan friksi maka diperlukan data parameter tanah yang terdapat pada lokasi pondasi. Untuk mendapatkannya bisa dilakukan pengujian di laboratorium ataupun berdasarkan korelasi dari data-data yang telah tersedia. Untuk keperluan tersebut maka pada tabel 4.1 disajikan parameter tanah yang ada pada tiang P46.

Kedalaman (m)		Lapisan Tanah	N-SPT Rata-Rata	γ (kN/m ³)	z (m)	σ_v (kPa)
19	- 24.5	Sand	50	13.6	2.8	37.4
24.5	- 30.5	Sand	47	20	8.5	170.0
30.5	- 34	Sand	57	19	13.3	251.8
34	- 36	Sand	1	13.6	16.0	217.6
36	- 49	Sand	47	21	23.5	493.5
49	- 51.59	Sand	60	13.6	31.3	425.6
51.59	- 53.99	Sand	58	13.6	33.8	459.5
53.99	- 55	Sand	29	13.6	35.5	482.7
55	- 62.99	Clay	30	13.6	40.0	
62.99	- 72.99	Clay	29	13.6	49.0	
72.99	- 82.99	Clay	31	13.6	59.0	
82.99	- 91.59	Clay	34	13.6	68.3	
91.59	- 97.99	Clay	31	13.6	75.8	

Tabel 4. 1. Parameter tanah pada tiang P46.

a. Hasil perhitungan tahanan friksi pada tiang P46 tanah pasir dapat dilihat pada tabel 4.2.

Kedalaman (m)		Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	N-SPT Corrected	qs (kPa) Quiros and Reese (1977)	qs (kPa) Reese and Wright (1977)	qs (kPa) Reese and O'Neill (1988)	qs (kPa) Meyerhoff (1976).	qs (kPa) Rata-rata
19	- 24.5	Sand	50	60	150	169	41	58	104
24.5	- 30.5	Sand	47	35	88	99	133	34	88
30.5	- 34	Sand	57	32	81	92	151	31	89
34	- 36	Sand	1	1	2	2	2	1	1
36	- 49	Sand	47	16	39	44	151	15	62
49	- 51.59	Sand	60	23	57	64	52	22	49
51.59	- 53.99	Sand	58	21	52	58	31	20	40
53.99	- 55	Sand	29	10	25	28	15	10	19
55	- 62.99	Clay	30						
62.99	- 72.99	Clay	29						
72.99	- 82.99	Clay	31						
82.99	- 91.59	Clay	34						
91.59	- 97.99	Clay	31						

Tabel 4. 2. Perhitungan tahanan friksi tiang P46 pada tanah pasir.

Pada tanah lempung hasil perhitungannya adalah seperti tabel 4.3.

Kedalaman (m)		Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	Cu (kPa)	α Kulhawy (1984)	qs (kPa) $q_s = \alpha \times C_u$
19	- 24.5	Sand	50			
24.5	- 30.5	Sand	47			
30.5	- 34	Sand	57			
34	- 36	Sand	1			
36	- 49	Sand	47			
49	- 51.59	Sand	60			
51.59	- 53.99	Sand	58			
53.99	- 55	Sand	29			
55	- 62.99	Clay	30	118	0.43	51
62.99	- 72.99	Clay	29	116.8	0.43	50
72.99	- 82.99	Clay	31	124	0.41	51
82.99	- 91.59	Clay	34	137.6	0.4	55
91.59	- 97.99	Clay	31	124	0.41	51

Tabel 4. 3. Perhitungan tahanan friksi tiang P46 pada tanah lempung.

Dari hasil tahanan friksi pada tanah lempung dan pasir di atas maka pada tabel 4.4 tahanan friksi secara keseluruhan pada tiang P46 bisa didapatkan.

Kedalaman (m)		Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	qs (kPa)
19	- 24.5	Sand	60	104
24.5	- 30.5	Sand	35	88
30.5	- 34	Sand	32	89
34	- 36	Sand	1	29
36	- 49	Sand	16	62
49	- 51.59	Sand	23	49
51.59	- 53.99	Sand	21	40
53.99	- 55	Sand	10	19
55	- 62.99	Clay	30	51
62.99	- 72.99	Clay	29	50
72.99	- 82.99	Clay	31	51
82.99	- 91.59	Clay	34	55
91.59	- 97.99	Clay	31	51

Tabel 4. 4. Perhitungan tahanan friksi total pada tiang P46.

4.1.1.2. Tahanan Ujung Pada Tiang P46.

Besarnya zona diagram longsor pada pondasi dalam tersebar 4 kali diameter pondasi ke bawah dan 10 kali diameter pondasi ke atas sehingga dalam menentukan besarnya daya dukung ujung diambil nilai SPT rata-rata dari sepanjang 4D dan 10D. Tabel 4.5 menampilkan nilai N-SPT dan nilai Cu rata-rat, dimana nilai $Cu = 4 \times N\text{-SPT}$ (Stroud, 1974).

P46			
N-SPT 10D-diatas dasar pondasi	Cu (kPa)	N-SPT 4D-dibawah dasar pondasi	Cu (kPa)
25	150	37	222
30	180	38	228
25	150	38	228
32	192	60	360
43	258	60	360
60	360		
32	192		
37	222		
25	150		
14	84		
42	252		
43	258		
34	204	47	280

Tabel 4. 5. Tabel N-SPT dan Cu rata-rata sebaran tahanan ujung tiang P46.

Nilai Cu untuk perhitungan diambil rata-rata antara Cu pada kedalaman 4D di bawah dasar pondasi dan 10D diatas dasar pondasi sehingga $Cu = \frac{204 + 280}{2} = 242$.

Perhitungan daya dukung ujung pada tiang P46 bisa digunakan rumus (Meyerhof 1976) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_e &= 9 \times Cu \\
 &= 9 \times 242 \\
 &= 2178 \text{ kPa} .
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 Q_e &= q_e \times \Pi \times 1.2^2 \\
 &= 2178 \times \Pi \times 1.2^2 \\
 &= 2178 \times \Pi \times 1.2^2 \\
 &= 9848 \text{ kN} .
 \end{aligned}$$

4.1.2. Perhitungan Pada Tiang P47.

4.1.2.1. Tahanan Friksi Pada Tiang P47.

Tabel 4.6 menunjukkan data parameter tanah pada tiang P47 berdasarkan korelasi dari data-data yang telah ada.

Kedalaman (m)	Lapisan Tanah	N-SPT Rata-Rata	γ (kN/m ³)	z (m)	σ_v (kPa)
15.33 - 21.49	Clay	0	13.6	2.8	
21.49 - 26.68	Clay	7	13.6	5.1	
26.68 - 28.5	Clay	52	18	8.6	
28.5 - 31.5	Clay	56	19	11.0	
31.5 - 33.1	Sand	53	19	13.3	252.7
33.1 - 38.5	Sand	45	19	16.8	319.2
38.5 - 50	Sand	53	19	25.3	479.8
50 - 57.05	Clay	60	19	34.5	
57.05 - 60.99	Clay	60	19	40.0	
60.99 - 62.9	Clay	60	19	42.9	
62.9 - 72.99	Clay	37	19	48.9	
72.99 - 80.99	Clay	35	19	58.0	
80.99 - 90.95	Clay	44	19	67.0	
90.95 - 98.59	Clay	48	19	75.77	
98.59 - 104.99	Clay	58	19	82.79	

Tabel 4. 6. Parameter tanah pada tiang P47.

a. Hasil perhitungan tahanan friksi pada tiang P47 tanah pasir dapat dilihat pada tabel 4.7.

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	N-SPT Corrected	qs (kPa) Quiros and Reese (1977)	qs (kPa) Reese and Wright (1977)	qs (kPa) Reese and O'Neill (1988)	qs (kPa) Meyerhoff (1976).	qs (kPa) Rata-rata
15.33 - 21.49	Clay	0	0					
21.49 - 26.68	Clay	7	7					
26.68 - 28.5	Clay	52	52					
28.5 - 31.5	Clay	56	56					
31.5 - 33.1	Sand	53	30	75	85	152	29	85
33.1 - 38.5	Sand	45	21	53	60	157	20	72
38.5 - 50	Sand	53	18	46	52	125	18	60
50 - 57.05	Clay	60	60					
57.05 - 60.99	Clay	60	60					
60.99 - 62.9	Clay	60	60					
62.9 - 72.99	Clay	37	37					
72.99 - 80.99	Clay	35	35					
80.99 - 90.95	Clay	44	44					
90.95 - 98.59	Clay	48	48					
98.59 - 104.99	Clay	58	58					

Tabel 4. 7. Perhitungan tahanan friksi tiang P47 pada tanah pasir.

Pada tanah lempung hasil perhitungannya tersaji pada tabel 4.8.

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	Cu (kPa)	α Kulhawy (1984)	qs (kPa)
					$qs = \alpha \times Cu$
15.33 - 21.49	Clay	0	0	1	0
21.49 - 26.68	Clay	7	28	1	28
26.68 - 28.5	Clay	52	208	0.32	67
28.5 - 31.5	Clay	56	224	0.31	69
31.5 - 33.1	Sand	53	212		
33.1 - 38.5	Sand	45	178		
38.5 - 50	Sand	53	212		
50 - 57.05	Clay	60	240	0.31	74
57.05 - 60.99	Clay	60	240	0.31	74
60.99 - 62.9	Clay	60	240	0.31	74
62.9 - 72.99	Clay	37	146	0.4	59
72.99 - 80.99	Clay	35	141	0.4	56
80.99 - 90.95	Clay	44	175	0.36	63
90.95 - 98.59	Clay	48	193	0.33	64
98.59 - 104.99	Clay	58	232	0.31	72

Tabel 4. 8. Perhitungan tahanan friksi tiang P47 pada tanah lempung.

Dari hasil tahanan friksi pada tanah lempung dan pasir di atas maka dari tabel 4.9 bisa disimpulkan tahanan friksi secara keseluruhan pada tiang P47.

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	qs (kPa)
15.33 - 21.49	Clay	0	0
21.49 - 26.68	Clay	7	28
26.68 - 28.5	Clay	52	67
28.5 - 31.5	Clay	56	69
31.5 - 33.1	Sand	53	85
33.1 - 38.5	Sand	45	72
38.5 - 50	Sand	53	60
50 - 57.05	Clay	60	74
57.05 - 60.99	Clay	60	74
60.99 - 62.9	Clay	60	74
62.9 - 72.99	Clay	37	59
72.99 - 80.99	Clay	35	56
80.99 - 90.95	Clay	44	63
90.95 - 98.59	Clay	48	64
98.59 - 104.99	Clay	58	72

Tabel 4. 9. Perhitungan tahanan friksi total pada tiang P47.

4.1.2.2. Tahanan Ujung Pada Tiang P47.

Besarnya zona diagram longsor pada pondasi dalam tersebar 4 kali diameter pondasi ke bawah dan 10 kali diameter pondasi ke atas sehingga dalam menentukan besarnya daya dukung ujung diambil nilai SPT rata-rata dari sepanjang 4D dan 10D. Tabel 4.10 menampilkan nilai N-SPT dan nilai Cu rata-rata. Dimana nilai $Cu = 4 \times N-SPT$ (Stroud, 1974).

P47			
N-SPT 10D-diatas dasar pondasi		N-SPT 4D-dibawah dasar pondasi	Cu
27	162	60	360
37	222	60	360
38	228	60	360
57	342	60	360
60	360	60	360
45	270		
50	300		
50	300		
53	318		
60	360		
60	360		
59	354		
50	298	60	360

Tabel 4. 10. N-SPT dan Cu rata-rata sebaran tahanan ujung tiang P47.

Nilai Cu untuk perhitungan diambil rata-rata antara Cu pada kedalaman 4D di bawah dasar pondasi dan 10D diatas dasar pondasi sehingga $Cu = \frac{298 + 360}{2} = 329..$

Perhitungan daya dukung ujung pada tiang P46 bisa digunakan rumus (Meyerhof 1976) sebagai berikut:

$$= 9 \times 329$$

$$= 2961 \text{ kPa} .$$

Maka:

$$Q_e = q_e \times \Pi \times 1.2^2$$

$$= 2961 \times \Pi \times 1.2^2$$

$$= 2961 \times \Pi \times 1.2^2$$

$$= 13388 \text{ kN} .$$

4.2. Perhitungan Daya Dukung Ultimit Uji Pembebanan Osteberg Cell Sebelum dan Sesudah Grouting.

Dari uji pembebanan yang dilakukan maka bisa didapatkan data yang menghubungkan besarnya perpindahan dengan pembebanan yang diberikan seperti, hubungan tersebut pada tiang P46 dan P47 bisa dilihat pada tabel 4.11 sampai dengan tabel 4.14. Data yang didapat kemudian dapat diplot dalam grafik hubungan Q-s (gambar 4.2 dan gambar 4.5). Dalam satu grafik akan terdapat tiga kurva yang masing-masing kurva merupakan hubungan antara pembebanan dengan perpindahan yang terjadi ke arah bawah, atas, maupun yang terjadi pada ujung bagian atas tiang.



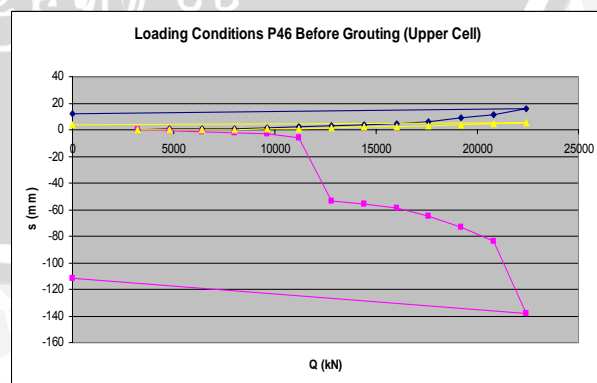
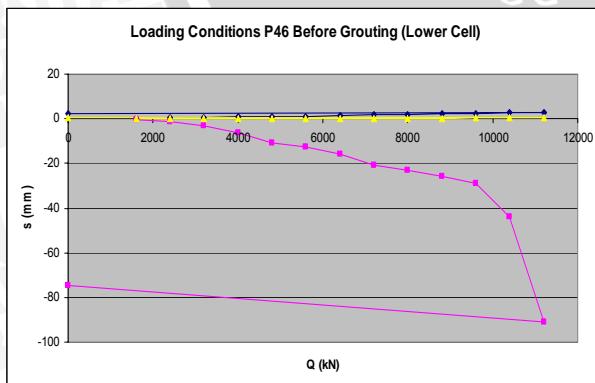
a. Uji Pembebanan Sebelum Grouting Pada Tiang P46 bisa dilihat di bawah ini:

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2x1600	180	180	0.14	0.14	-0.2	-0.2	0	0
2	2x2400	240	390	0.2	0.34	-0.93	-1.13	0	0
3	2x3200	240	630	0.29	0.63	-2.2	-3.32	0	0
4	2x4000	120	750	0.17	0.8	-3.07	-6.39	0	0
5	2x4800	330	1080	0.15	0.95	-4.55	-10.95	0	0
6	2x5600	180	1260	0.18	1.13	-1.65	-12.6	0	0
7	2x6400	120	1380	0.31	1.44	-3.22	-15.82	0	0
8	2x7200	210	1590	0.32	1.76	-5.07	-20.89	0.07	0.07
9	2x8000	210	1800	0.22	1.98	-2	-22.89	0.08	0.15
10	2x8800	210	2010	0.3	2.28	-2.88	-25.77	0.13	0.28
11	2x9600	180	2190	0.16	2.44	-3.07	-28.83	0.04	0.32
12	2x10400	270	2460	0.25	2.69	-14.89	-43.72	0.26	0.58
13	2x11200	210	2670	0.25	2.94	-47.38	-91.1	0.17	0.75
14	2x0	180	2850	-0.7	2.24	16.44	-74.66	-0.44	0.31

Tabel 4. 11. Uji pembebanan sebelum grouting P46 bagian lower cell.

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2x3200	120	120	0.22	0.22	-0.33	-0.33	0.09	0.09
2	2x4800	120	240	0.17	0.39	-0.34	-0.67	0.05	0.14
3	2x6400	150	390	0.3	0.69	-0.79	-1.46	0.05	0.19
4	2x8000	120	510	0.19	0.87	-0.5	-1.96	0.09	0.28
5	2x9600	180	690	0.48	1.35	-1.34	-3.3	0.24	0.52
6	2x11200	300	990	1.23	2.58	-2.53	-5.82	0.52	1.04
7	2x12800	150	1140	0.67	3.25	-48.06	-53.88	0.42	1.45
8	2x14400	120	1260	0.51	3.75	-2.17	-56.04	0.5	1.95
9	2x16000	120	1380	1.01	4.77	-3.05	-59.1	0.42	2.37
10	2x17600	180	1560	1.5	6.26	-5.57	-64.67	0.47	2.84
11	2x19200	120	1680	3.02	9.28	-8.46	-73.12	0.6	3.44
12	2x20800	120	1800	1.97	11.25	-10.39	-83.51	0.81	4.25
13	2x22400	120	1920	4.96	16.22	-54.3	-137.8	1.04	5.29
14	2x0	180	2100	-3.79	12.43	26.25	-111.55	-1.57	3.72

Tabel 4. 12. Uji pembebanan sebelum grouting P46 bagian upper cell.



Gambar 4. 2. Grafik uji pembebanan P46 sebelum grouting.

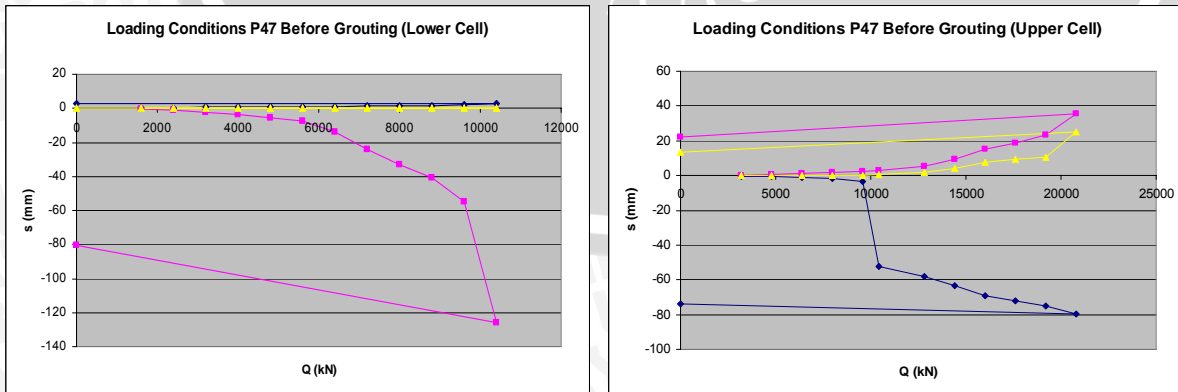
b. Uji Pembebanan Sebelum Grouting Pada Tiang P47 bisa dilihat di bawah ini:

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2 x 1600	180	180	0.32	0.32	-0.22	-0.22	0	0
2	2 x 2400	210	390	0.12	0.44	-0.59	-0.81	0	0
3	2 x 3200	120	510	0.11	0.55	-1.56	-2.38	0	0
4	2 x 4000	150	660	0.07	0.62	-1.45	-3.83	0	0
5	2 x 4800	120	780	0.14	0.76	-1.49	-5.32	0	0
6	2 x 5600	150	930	0.09	0.84	-1.9	-7.21	0	0
7	2 x 6400	150	1080	0.11	0.96	-6.81	-14.02	0	0
8	2 x 7200	300	1380	0.21	1.17	-10	-24.02	0.02	0.02
9	2 x 8000	210	1590	0.12	1.29	-9.08	-33.1	0.02	0.04
10	2 x 8800	180	1770	0.29	1.59	-7.97	-41.07	0.02	0.06
11	2 x 9600	150	1920	0.37	1.95	-13.85	-54.93	0.04	0.1
12	2 x 10400	150	2070	1.07	3.03	-70.97	-125.89	0.03	0.13
13	2 x 0	180	2250	-0.45	2.58	45	-80.46	-0.05	0.08

Tabel 4. 13. Uji pembebanan sebelum grouting P47 bagian lower cell.

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2x3200	210	210	0.22	0.22	-0.43	-0.43	0.01	0.01
2	2x4800	180	390	0.59	0.81	-0.24	-0.67	0.03	0.04
3	2x6400	120	510	0.41	1.22	-0.46	-1.13	0.12	0.15
4	2x8000	120	630	0.35	1.57	-0.63	-1.76	0.06	0.21
5	2x9600	120	750	0.57	2.14	-1.5	-3.27	0.04	0.25
6	2x11200	120	870	2.09	3.23	-49.12	-52.38	0.14	0.39
7	2x12800	120	990	2.02	5.25	-5.85	-58.24	1.52	1.9
8	2x14400	120	1110	4	9.25	-5	-63.24	2.5	4.4
9	2x16000	120	1230	5.75	15	-5.89	-69.12	3	7.4
10	2x17600	150	1380	3.5	18.5	-3	-72.12	2	9.4
11	2x19200	120	1500	4.98	23.48	-3.1	-75.22	1.35	10.75
12	2x20800	15	1515	17.08	35.58	-7.77	-79.89	15.72	25.12
13	2x0	180	1695	-13.35	22.23	6.16	-73.74	-11.72	13.4

Tabel 4. 14. Uji pembebanan sebelum grouting P47 bagian upper cell.



Gambar 4. 3. Grafik uji pembebanan P47 sebelum grouting.

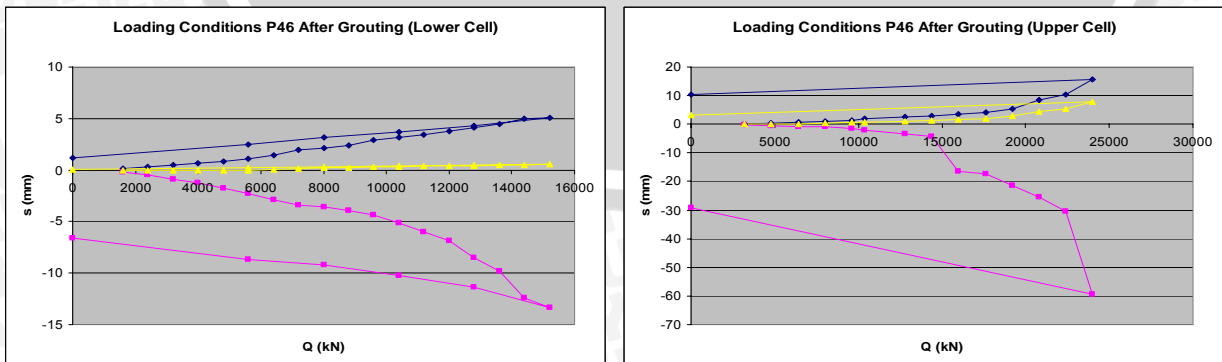
c. Uji Pembebanan Setelah Grouting Pada Tiang P46 adalah sebagai berikut:

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2 X 1600	240	240	0.16	0.16	-0.18	-0.18	0	0
2	2 X 2400	210	450	0.19	0.35	-0.28	-0.46	0	0
3	2 X 3200	120	570	0.14	0.5	-0.46	-0.92	0	0
4	2 X 4000	120	690	0.15	0.65	-0.34	-1.26	0	0
5	2 X 4800	120	810	0.19	0.84	-0.5	-1.76	0	0
6	2 X 5600	120	930	0.21	1.05	-0.53	-2.3	0	0
7	2 X 6400	240	1170	0.4	1.45	-0.62	-2.91	0.06	0.06
8	2 X 7200	270	1440	0.51	1.96	-0.48	-3.39	0.06	0.12
9	2 X 8000	120	1560	0.19	2.15	-0.18	-3.58	0.07	0.19
10	2 X 8800	180	1740	0.28	2.43	-0.4	-3.97	0.05	0.24
11	2 X 9600	120	1860	0.44	2.87	-0.39	-4.36	0.06	0.29
12	2 X 10400	150	2010	0.29	3.16	-0.82	-5.18	0.04	0.33
13	2 X 11200	150	2160	0.29	3.45	-0.84	-6.02	0.03	0.36
14	2 X 12000	180	2340	0.3	3.75	-0.89	-6.9	0.04	0.39
15	2 X 12800	180	2520	0.34	4.09	-1.58	-8.48	0.04	0.43
16	2 X 13600	180	2700	0.4	4.49	-1.36	-9.85	0.03	0.46
17	2 X 14400	210	2910	0.45	4.94	-2.52	-12.37	0.03	0.49
18	2 X 15200	210	3120	0.15	5.09	-1.1	-13.37	0.04	0.53
19	2 X 12800	60	3180	-0.82	4.27	2.07	-11.4	-0.09	0.45
20	2 X 10400	60	3240	-0.6	3.67	1.13	-10.28	-0.06	0.39
21	2 X 8000	60	3300	-0.53	3.14	1.08	-9.2	-0.07	0.32
22	2 X 5600	60	3360	-0.69	2.46	0.52	-8.68	-0.09	0.23
23	2 X 0	180	3540	-1.29	1.17	2.12	-6.57	-0.17	0.06

Tabel 4. 15. Uji pembebanan setelah grouting P46 bagian lower cell.

No.	Load (kN)	Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
		Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
1	2 X 3200	120	120	0.21	0.21	-0.39	-0.39	0.07	0.07
2	2 X 4800	120	240	0.19	0.4	-0.15	-0.55	0.02	0.09
3	2 x 6400	150	390	0.31	0.71	-0.17	-0.71	0.03	0.12
4	2 X 8000	120	510	0.17	0.88	-0.17	-0.88	0.14	0.26
5	2 X 9600	180	690	0.49	1.38	-0.46	-1.34	0.3	0.57
6	2X 11200	300	990	0.67	2.04	-0.79	-2.13	0.19	0.76
7	2X 12800	150	1140	0.44	2.48	-1.3	-3.43	0.23	0.99
8	2 X 14400	120	1260	0.49	2.97	-0.8	-4.23	0.33	1.32
9	2 X 16000	180	1440	0.64	3.62	-12.07	-16.3	0.36	1.68
10	2 X 17600	120	1560	0.62	4.24	-1.02	-17.31	0.41	2.09
11	2 X 19200	120	1680	1.21	5.44	-4.06	-21.38	0.83	2.92
12	2 X 20800	150	1830	3.01	8.46	-4	-25.38	1.4	4.32
13	2 X 22400	180	2010	1.99	10.44	-5	-30.38	1.1	5.42
14	2 X 24000	120	2130	5.26	15.7	-29	-59.38	2.35	7.77
15	2 X 0	180	2310	-5.23	10.47	30.17	-29.21	-4.63	3.14

Tabel 4. 16. Uji pembebanan setelah grouting P46 bagian upper cell.



Gambar 4. 4. Grafik uji pembebanan P46 setelah grouting.

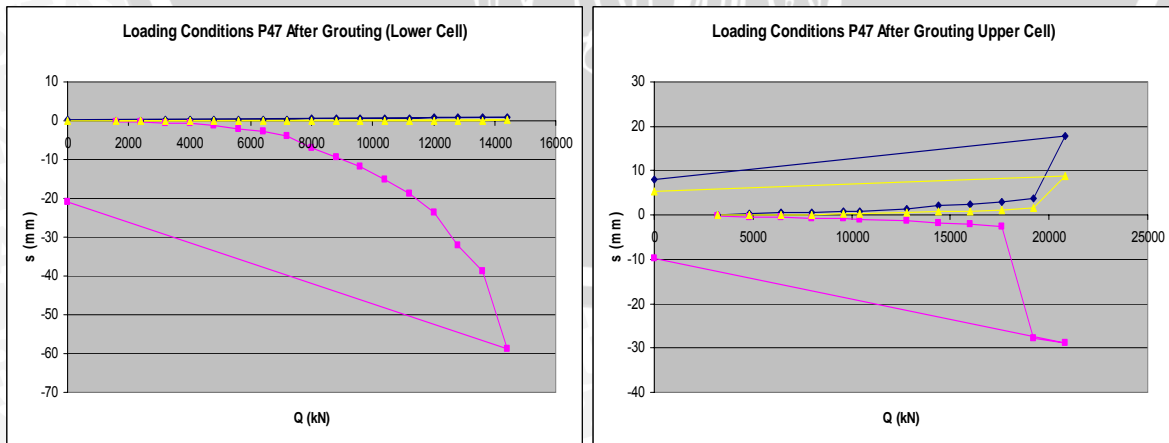
d. Uji Pembebanan Setelah Grouting Pada Tiang P47 adalah sebagai berikut:

Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
120	120	0.1	0.1	-0.21	-0.21	0	0
120	240	0.05	0.15	-0.18	-0.39	0	0
120	360	0.04	0.19	-0.14	-0.54	0	0
120	480	0.04	0.24	-0.08	-0.62	0	0
180	660	0.05	0.29	-0.67	-1.28	0	0
180	840	0.05	0.34	-0.78	-2.06	0	0
120	960	0.03	0.37	-0.67	-2.73	0	0
120	1080	0.07	0.44	-1.29	-4.03	0	0
330	1410	0.07	0.52	-2.83	-6.86	0	0
270	1680	0.06	0.58	-2.53	-9.39	0	0
210	1890	0.05	0.63	-2.31	-11.7	0	0
270	2160	0.05	0.67	-3.61	-15.3	0	0
240	2400	0.06	0.73	-3.51	-18.81	0	0
330	2730	0.06	0.79	-4.87	-23.68	0.06	0.06
210	2940	0.05	0.84	-8.55	-32.23	0.03	0.09
180	3120	0.05	0.89	-6.42	-38.64	0.05	0.13
30	3150	0.06	0.95	-20.26	-58.9	0.04	0.17
180	3330	-0.74	0.21	38.07	-20.83	-0.17	0.01

Tabel 4. 17. Uji pembebanan setelah grouting P47 bagian lower cell.

Duration of Loading (minute)		Upward displacement (mm)		Downward displacement (mm)		Displacement of pile top (mm)	
Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total	Current Grade	Progressive Total
120	120	0.15	0.15	-0.23	-0.23	0	0
120	240	0.21	0.36	-0.2	-0.43	0.05	0.05
120	360	0.19	0.55	-0.15	-0.58	0.03	0.08
120	480	0.12	0.67	-0.08	-0.66	0.08	0.16
120	600	0.14	0.81	-0.19	-0.85	0.11	0.27
120	720	0.13	0.94	-0.18	-1.03	0.07	0.34
120	840	0.55	1.49	-0.34	-1.37	0.24	0.58
180	1020	0.54	2.03	-0.58	-1.95	0.2	0.78
120	1140	0.29	2.32	-0.17	-2.12	0.15	0.93
120	1260	0.51	2.83	-0.52	-2.64	0.26	1.19
300	1560	0.86	3.69	-25.24	-27.88	0.44	1.63
300	1860	14.09	17.78	-1	-28.88	7.29	8.92
180	2040	-9.85	7.93	19.13	-9.75	-3.45	5.47

Tabel 4. 18. Uji pembebanan setelah grouting P47 bagian upper cell.



Gambar 4. 5. Grafik uji pembebanan P47 setelah grouting.

Daya dukung ujung maupun geser bisa didapatkan berdasarkan "Technical Specification for Construction of Highway and Culvert" (JTJ041-2000) dan "Technical Code for Load Cell Method for Testing Bearing Capacity of Pile" (DB32/T91-1999) dengan menggunakan rumus 3.21. Sehingga hasilnya bisa dilihat pada table 4.19.

Tiang	Kondisi	Tahanan Gesek		Tahanan Ujung(*)	Qu (kN)
		Qu _c (kN)	Qu _b (kN)	Qu _a (kN)	
P46	Sebelum grouting	19553.75	11200	10200	40953.75
	Sesudah grouting	19553.75	14400	15200	49153.75
P47	Sebelum grouting	14511.25	9600	8750	32861.25
	Sesudah grouting	14511.25	17600	13600	45711.25

(*) Termasuk tahanan gesek sepanjang 4m dari ujung bawah.

Tabel 4. 19. Daya dukung aksial berdasar grafik Q-s.

Hasil perhitungan diatas mampu memberikan gambaran mengenai kondisi daya dukung aksial secara umum. Namun hasil tersebut tidak dapat menggambarkan kondisi tanah yang ada di bawah permukaan per masing-masing bagian. Perhitungan yang lebih terperinci menggunakan hasil pencatatan dari strain gauge yang terpasang pada tiang pondasi mampu memberikan gambaran yang lebih akurat dan teliti mengenai hasil perhitungan daya dukung aksial pada tiap lapisan tanah.

4.3. Perhitungan Tahanan Friksi dan Ujung Pada Uji Pembebanan Osterberg Cell Sebelum dan Sesudah Grouting.

4.3.1. Perhitungan Sebelum Grouting.

4.3.1.1. Perhitungan Tahanan Friksi.

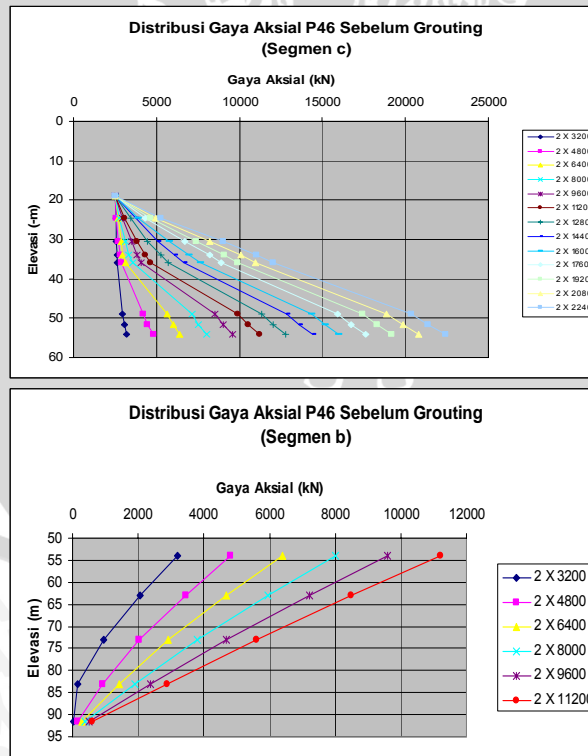
Dari pengamatan strain gauge maka bisa dicari besarnya distribusi gaya aksial yang bekerja pada kedalaman tanah tertentu seperti tercantum pada bab 3.5.2. Hasil dari perhitungan gaya aksial yang terdapat pada tiang P46 dan P47 sebelum dilakukan grouting terdapat pada tabel 20 sampai dengan tabel 23. Sedangkan hasil plot grafiknya bisa dilihat pada gambar 46 dan gambar 47.

Grade	Section1 (-19.0m)	Section2 (-24.5m)	Section3 (-30.5m)	Section4 (-34.0m)	Section5 (-36.0m)	Section6 (-49.0m)	Section7 (-51.59m)	Upper load Cell (-53.99m)
1	2525	2565	2586	2624	2653	2965	3063	3200
2	2526	2588	2699	2791	2871	4183	4463	4800
3	2525	2669	2852	2963	3140	5616	5984	6400
4	2525	2786	3132	3323	3554	7152	7513	8000
5	2525	2943	3498	3820	4084	8518	9012	9600
6	2524	3098	3813	4318	4629	9878	10509	11200
7	2524	3440	4458	5253	5696	11333	12044	12800
8	2525	3732	5106	6085	6635	12868	13618	14400
9	2525	3911	5739	6954	7614	14362	15173	16000
10	2525	4302	6683	8187	8904	15887	16736	17600
11	2525	4630	7367	9081	9908	17425	18313	19200
12	2524	4951	8187	10058	10963	18864	19833	20800
13	2525	5274	9009	11037	12053	20340	21371	22400

Tabel 4. 20. Gaya aksial pada P46 lower cell sebelum grouting.

Grade	Upper load Cell (-53.99m)	Section8 (-62.99m)	Section9 (-72.99m)	Section10 (-82.99m)	Section11 (-91.59m)
1	3200	2046	957	163	33
2	4800	3442	2011	926	161
3	6400	4699	2906	1412	275
4	8000	5957	3800	1897	389
5	9600	7214	4695	2382	503
6	11200	8472	5590	2867	617

Tabel 4. 21. Gaya aksial pada P46 upper cell sebelum grouting.



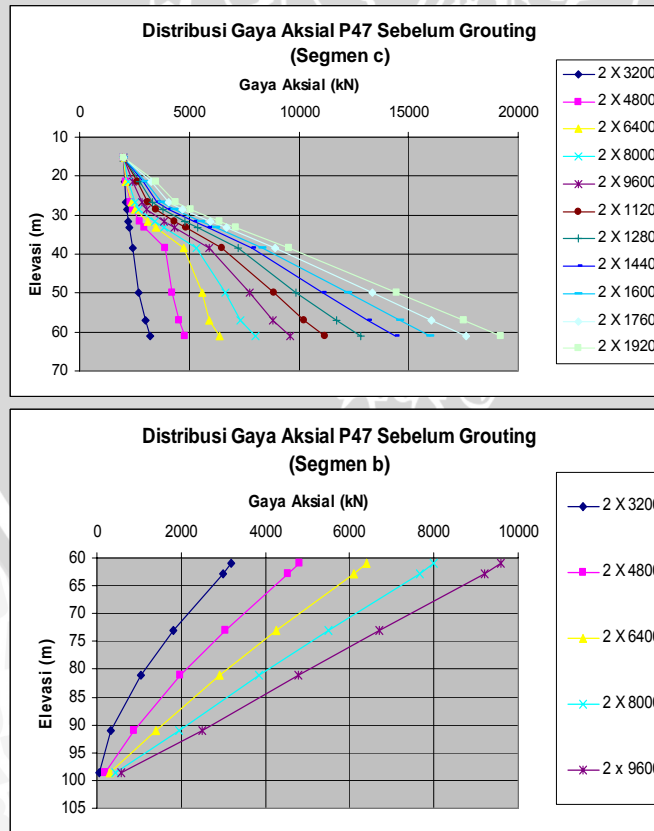
Gambar 4. 6. Gaya aksial pada P46 sebelum grouting.

Grade	Section1 (-15.33m)	Section2 (- 21.49m)	Section3 (-26. 68m)	Section4 (- 28.5m)	Section5 (-31.5m)	Section6 (-33.1m)	Section7 (-38.5m)	Section8 (-50.0m)	Section9 (-57.05m)	Upper load cell (-60.99m)
1	2010	2064	2103	2142	2226	2278	2440	2711	3013	3200
2	2011	2093	2313	2417	2718	2972	3887	4200	4515	4800
3	2011	2117	2401	2515	3109	3501	4766	5568	5931	6400
4	2012	2198	2553	2713	3415	3851	5313	6655	7351	8000
5	2010	2421	2850	3043	3842	4323	5915	7772	8801	9600
6	2011	2628	3101	3459	4350	4875	6517	8889	10250	11200
7	2011	2739	3326	3802	4805	5374	7228	9846	11700	12800
8	2011	2896	3553	4086	5229	5857	7841	11069	13150	14400
9	2012	3021	3754	4342	5549	6208	8323	12239	14600	16000
10	2011	3255	4061	4705	5976	6679	8925	13356	16050	17600
11	2011	3488	4367	5067	6403	7150	9527	14473	17500	19200

Tabel 4. 22. Gaya aksial pada P47 lower cell sebelum grouting.

Grade	Upper load cell (-60.99m)	Section10 (-62.9m)	Section10 (-72.99m)	Section11 (-80. 99m)	Section12 (-90.95m)	Section13 (-98.59m)
1	3200	2988	1817	1031	326	50
2	4800	4542	3040	1970	870	179
3	6400	6097	4262	2909	1413	308
4	8000	7652	5485	3848	1956	437
5	9600	9206	6708	4787	2499	566

Tabel 4. 23. Gaya aksial pada P47 upper cell sebelum grouting.



Gambar 4. 7. Gaya aksial pada P47 sebelum grouting.

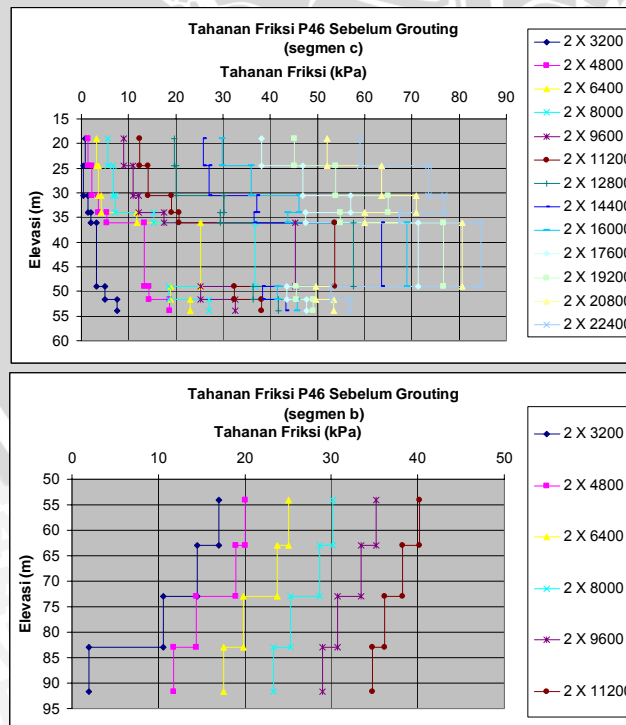
Dari perhitungan gaya aksial bisa dicari besarnya tahanan friksi dengan menggunakan rumus 3.27. Besarnya tahanan friksi sebelum dilakukan grouting terdapat pada tabel 4.24 hingga tabel 4.27 sedangkan plot grafiknya terdapat pada gambar 48 dan gambar 49.

Grade	(-19.0m) (-24.5m)	(-24.5m) (-30.5m)	(-30.5m) (-34.0m)	(-34.0m) (-36.0m)	(-36.0m) (-49.0m)	(-49.0m) (-51.59m)	(-51.59m) (-53.99m)
1	0.858	0.413	1.441	1.924	3.185	5.021	7.575
2	1.330	2.182	3.488	5.308	13.392	14.346	18.633
3	3.088	3.598	4.208	11.744	25.274	18.854	23.001
4	5.597	6.802	7.241	15.326	36.726	18.496	26.926
5	8.964	10.911	12.208	17.516	45.260	25.310	32.511
6	12.310	14.056	19.146	20.634	53.579	32.329	38.206
7	19.644	20.013	30.141	29.392	57.539	36.427	41.799
8	25.885	27.011	37.117	36.492	63.623	38.426	43.237
9	29.724	35.936	46.065	43.790	68.880	41.551	45.725
10	38.109	46.807	57.022	47.572	71.278	43.498	47.771
11	45.144	53.806	64.983	54.870	76.729	45.496	49.042
12	52.049	63.616	70.936	60.045	80.649	49.646	53.466
13	58.955	73.425	76.888	67.410	84.589	52.822	56.894

Tabel 4. 24. Tahanan friksi pada P46 lower cell sebelum grouting.

Grade	(-53.99m) (-62.99m)	(-62.99m) (-72.99m)	(-72.99m) (-82.99m)	(-82.99m) (-91.59m)
1	17.015	14.451	10.536	2.006
2	20.022	18.989	14.398	11.804
3	25.080	23.792	19.825	17.544
4	30.122	28.623	25.252	23.268
5	35.179	33.426	30.693	28.993
6	40.222	38.243	36.133	34.717

Tabel 4. 25. Tahanan friksi pada P46 upper cell sebelum grouting.



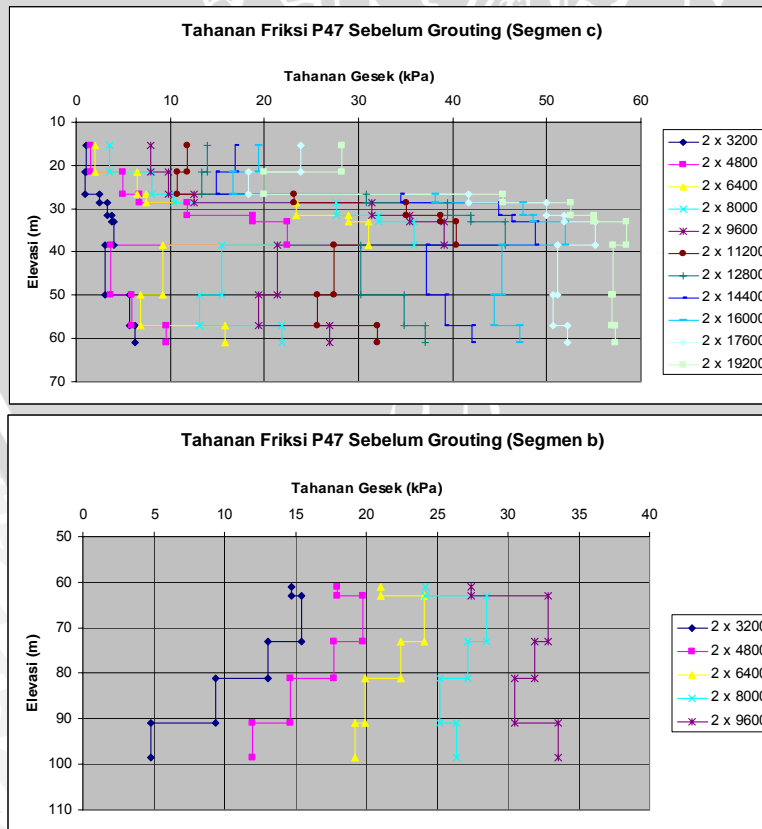
Gambar 4. 8. Tahanan friksi pada P46 sebelum grouting.

Grade	(-15.33m)	(-21.49m)	(-26.68m)	(-28.5m)	(-31.5m)	(-33.1m)	(-38.5m)	(-50.0m)	(-57.05m)
	(-21.49m)	(-26.68m)	(-28.5m)	(-31.5m)	(-33.1m)	(-38.5m)	(-50.0m)	(-57.05m)	(-60.99m)
1	1.034	0.886	2.528	3.303	3.833	3.981	3.127	5.684	6.298
2	1.570	5.000	6.740	11.835	18.725	22.485	3.612	5.929	9.599
3	2.030	6.454	7.388	23.355	28.898	31.085	9.254	6.832	15.796
4	3.562	8.068	10.369	27.601	32.142	35.926	15.485	13.100	21.858
5	7.870	9.750	12.508	31.415	35.459	39.121	21.428	19.368	26.910
6	11.814	10.750	23.202	35.032	38.703	40.350	27.370	25.617	31.995
7	13.940	13.341	30.849	39.435	41.947	45.559	30.209	34.896	37.047
8	16.946	14.932	34.543	44.940	46.296	48.754	37.247	39.169	42.099
9	19.320	16.659	38.108	47.456	48.582	51.973	45.186	44.439	47.151
10	23.820	18.318	41.737	49.972	51.825	55.192	51.128	50.707	52.203
11	28.282	19.977	45.366	52.528	55.069	58.411	57.071	56.975	57.255

Tabel 4. 26. Tahanan friksi pada P47 lower cell sebelum grouting.

Grade	(-60.99m)	(-62.9m)	(-72.99m)	(-80.99m)	(-90.95m)
	(-62.9m)	(-72.99m)	(-80.99m)	(-90.95m)	(-98.59m)
1	14.729	15.400	13.037	9.393	4.794
2	17.924	19.753	17.748	14.655	12.002
3	21.051	24.133	22.442	19.931	19.192
4	24.177	28.499	27.153	25.207	26.383
5	27.373	32.852	31.864	30.483	33.574

Tabel 4. 27. Tahanan friksi pada P47 upper cell sebelum grouting.



Gambar 4. 9. Tahanan friksi pada P47 sebelum grouting.

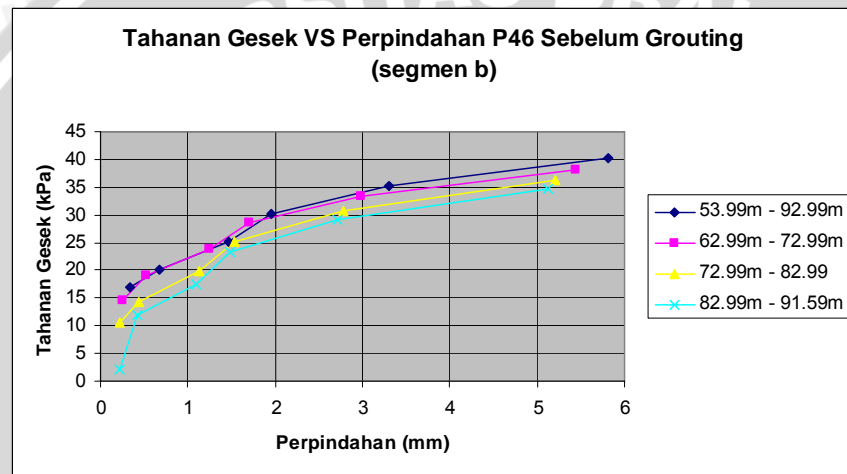
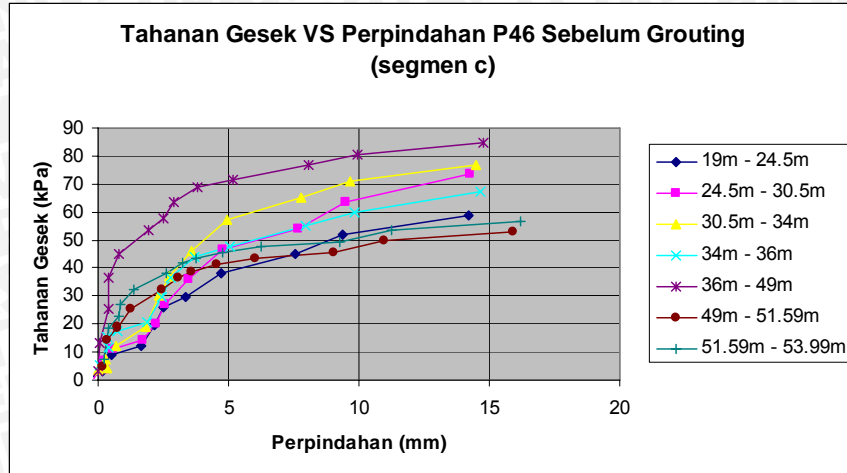
Dari perhitungan tahanan gesek tersebut maka korelasi besarnya perpindahan terhadap tahanan gesek pada masing-masing kedalaman bisa didapatkan menggunakan rumus 3.28 – 3.30. Hasil perhitungannya terdapat pada tabel 4.28 hingga tabel 4.31 sedangkan plot grafiknya terdapat pada gambar 4.10 dan 4.11.

Grade	(-19.0m)	(-24.5m)	(-24.5m)	(-30.5m)	(-30.5m)	(-34.0m)	(-34.0m)	(-36.0m)	(-36.0m)	(-49.0m)	(-49.0m)	(-51.59m)	(-51.59m)	(-53.99m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	-0.231	0.858	-0.168	0.413	-0.099	1.441	-0.049	1.924	-0.021	3.185	0.178	5.021	0.22	7.575
2	-0.137	1.330	-0.074	2.182	-0.002	3.488	0.050	5.308	0.080	13.392	0.329	14.346	0.39	18.633
3	0.193	3.088	0.257	3.598	0.331	4.208	0.387	11.744	0.420	25.274	0.728	18.854	0.81	23.001
4	0.145	5.597	0.211	6.802	0.291	7.241	0.352	15.326	0.389	36.726	0.767	18.496	0.87	26.926
5	0.516	8.964	0.583	10.911	0.670	12.208	0.739	17.516	0.782	45.260	1.227	25.310	1.35	32.511
6	1.647	12.310	1.716	14.056	1.809	19.146	1.887	20.634	1.935	53.579	2.447	32.329	2.59	38.206
7	2.153	19.644	2.227	20.013	2.333	30.141	2.426	29.392	2.485	57.539	3.086	36.427	3.25	41.799
8	2.504	25.885	2.582	27.011	2.701	37.117	2.807	36.492	2.876	63.623	3.564	38.426	3.75	43.237
9	3.378	29.724	3.458	35.936	3.588	46.065	3.708	43.790	3.787	68.880	4.562	41.551	4.77	45.725
10	4.690	38.109	4.774	46.807	4.922	57.022	5.064	47.572	5.156	71.278	6.031	43.498	6.26	47.771
11	7.555	45.144	7.644	53.806	7.806	64.983	7.962	54.870	8.065	76.729	9.029	45.496	9.28	49.042
12	9.369	52.049	9.462	63.616	9.639	70.936	9.812	60.045	9.926	80.649	10.978	49.646	11.25	53.466
13	14.180	58.955	14.276	73.425	14.469	76.888	14.659	67.410	14.784	84.589	15.927	52.822	16.22	56.894

Tabel 4. 28. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 lower cell sebelum grouting.

Grade	(-53.99m)	(-62.99m)	(-62.99m)	(-72.99m)	(-72.99m)	(-82.99m)	(-82.99m)	(-91.59m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	0.33	17.015	0.249	14.451	0.218	10.536	0.214	2.006
2	0.67	20.022	0.522	18.989	0.442	14.398	0.417	11.804
3	1.46	25.080	1.254	23.792	1.137	19.825	1.097	17.544
4	1.96	30.122	1.695	28.623	1.541	25.252	1.487	23.268
5	3.3	35.179	2.977	33.426	2.785	30.693	2.718	28.993
6	5.82	40.222	5.438	38.243	5.209	36.133	5.128	34.717

Tabel 4. 29. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 upper cell sebelum grouting.



Gambar 4. 10. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 sebelum grouting.

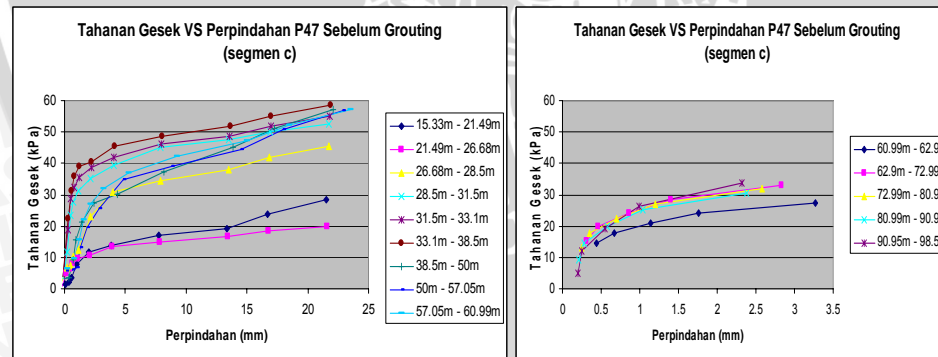


Grade	(-15.33m)	(-21.49m)	(-21.49m)	(-26.68m)	(-26.68m)	(-28.5m)	(-28.5m)	(-31.5m)	(-31.5m)	(-33.1m)	(-33.1m)	(-38.5m)	(-38.5m)	(-50.0m)	(-50.0m)	(-57.05m)	(-57.05m)	(-60.99m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	-0.290	1.034	-0.233	0.886	-0.184	2.528	-0.167	3.303	-0.137	3.833	-0.121	3.981	-0.051	3.127	0.110	5.684	0.220	6.298
2	0.105	1.570	0.162	5.000	0.213	6.740	0.233	11.835	0.267	18.725	0.288	22.485	0.389	3.612	0.643	5.929	0.810	9.599
3	0.361	2.030	0.418	6.454	0.471	7.388	0.491	23.355	0.530	28.898	0.553	31.085	0.675	9.254	0.999	6.832	1.220	15.796
4	0.587	3.562	0.646	8.068	0.701	10.369	0.723	27.601	0.765	32.142	0.791	35.926	0.926	15.485	1.301	13.100	1.570	21.858
5	1.018	7.870	1.080	9.750	1.141	12.508	1.166	31.415	1.212	35.459	1.242	39.121	1.392	21.428	1.822	19.368	2.140	26.910
6	1.967	11.814	2.031	10.750	2.098	23.202	2.125	35.032	2.178	38.703	2.212	40.350	2.379	27.370	2.862	25.617	3.230	31.995
7	3.854	13.940	3.920	13.341	3.991	30.849	4.020	39.435	4.078	41.947	4.115	45.559	4.301	30.209	4.836	34.896	5.250	37.047
8	7.712	16.946	7.780	14.932	7.856	34.543	7.887	44.940	7.950	46.296	7.990	48.754	8.192	37.247	8.785	39.169	9.250	42.099
9	13.334	19.320	13.404	16.659	13.483	38.108	13.516	47.456	13.583	48.582	13.626	51.973	13.840	45.186	14.484	44.439	15.000	47.151
10	16.694	23.820	16.767	18.318	16.853	41.737	16.889	49.972	16.961	51.825	17.007	55.192	17.236	51.128	17.935	50.707	18.500	52.203
11	21.534	28.282	21.610	19.977	21.702	45.366	21.741	52.528	21.819	55.069	21.868	58.411	22.113	57.071	22.866	56.975	23.480	57.255

Tabel 4. 30. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 lower cell sebelum grouting.

Grade	(-60.99m)	(-62.9m)	(-62.9m)	(-72.99m)	(-72.99m)	(-80.99m)	(-80.99m)	(-90.95m)	(-90.95m)	(-98.59m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	0.44	14.729	0.308	15.400	0.246	13.037	0.209	9.393	0.201	4.794
2	0.67	17.924	0.461	19.753	0.352	17.748	0.275	14.655	0.253	12.002
3	1.14	21.051	0.855	24.133	0.699	22.442	0.581	19.931	0.546	19.192
4	1.76	24.177	1.399	28.499	1.195	27.153	1.038	25.207	0.988	26.383
5	3.27	27.373	2.832	32.852	2.582	31.864	2.384	30.483	2.320	33.574

Tabel 4. 31. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 upper cell sebelum grouting.



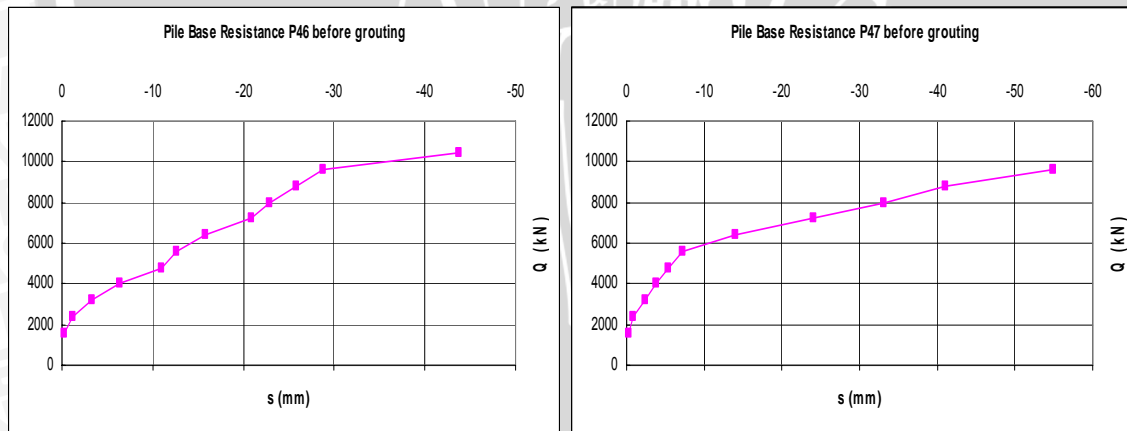
Gambar 4. 11. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 sebelum grouting.

4.3.1.2. Perhitungan Tahanan Ujung.

Nilai daya dukung ujung bisa didapatkan dari pergerakan kebawah kurva hubungan Q-s bagian lower cell seperti pada tabel 4.32 dan plot pada grafiknya terdapat pada gambar 4.12.

P46		P47	
Tahanan ujung (kN)	Displacement (mm)	Tahanan ujung (kN)	Displacement (mm)
0	0	0	0
1600	-0.2	1600	-0.22
2400	-1.13	2400	-0.81
3200	-3.32	3200	-2.38
4000	-6.39	4000	-3.83
4800	-10.95	4800	-5.32
5600	-12.6	5600	-7.21
6400	-15.82	6400	-14.02
7200	-20.89	7200	-24.02
8000	-22.89	8000	-33.1
8800	-25.77	8750	-40
9600	-28.83		
10200	-40		

Tabel 4. 32. Tahanan ujung P46 dan P47 sebelum grouting.



Gambar 4. 12. Tahanan ujung P46 dan P47 sebelum grouting.

4.3.2. Perhitungan Setelah Grouting.

4.3.2.1. Perhitungan Tahanan Friksi.

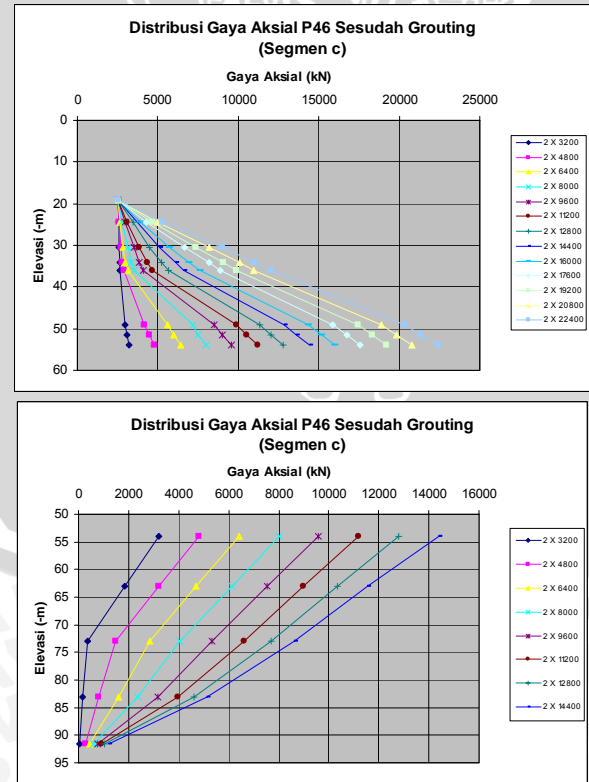
Hasil dari perhitungan pembacaan strain gauge menjadi gaya aksial terdapat pada tabel 4.33 hingga tabel 4.36, sedangkan plot grafiknya terdapat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.

Grade	Section1 (-19.0m)	Section2 (-24.5m)	Section3 (-30.5m)	Section4 (-34.0m)	Section5 (-36.0m)	Section6 (-49.0m)	Section7 (-51.59m)	Upper load Cell (-53.99m)
1	2525	2565	2586	2624	2653	2965	3063	3200
2	2526	2588	2699	2791	2871	4183	4463	4800
3	2525	2669	2852	2963	3140	5616	5984	6400
4	2525	2786	3132	3323	3554	7152	7513	8000
5	2525	2943	3498	3820	4084	8518	9012	9600
6	2524	3098	3813	4318	4629	9878	10509	11200
7	2524	3440	4458	5253	5696	11333	12044	12800
8	2525	3732	5106	6085	6635	12868	13618	14400
9	2525	3911	5739	6954	7614	14362	15173	16000
10	2525	4302	6683	8187	8904	15887	16736	17600
11	2525	4630	7367	9081	9908	17425	18313	19200
12	2524	4951	8187	10058	10963	18864	19833	20800
13	2525	5274	9009	11037	12053	20340	21371	22400

Tabel 4. 33. Gaya aksial pada P46 lower cell setelah grouting.

Grade	Upper load Cell (-53.99m)	Section8 (-62.99m)	Section9 (-72.99m)	Section10 (-82.99m)	Section11 (-91.59m)
1	3200	1842	347	155	25
2	4800	3202	1488	797	294
3	6400	4698	2841	1589	455
4	8000	6126	4051	2381	615
5	9600	7554	5336	3174	776
6	11200	8981	6621	3966	936
7	12800	10341	7687	4608	1062
8	14400	11565	8620	5139	1207

Tabel 4. 34. Gaya aksial pada P46 upper cell setelah grouting.



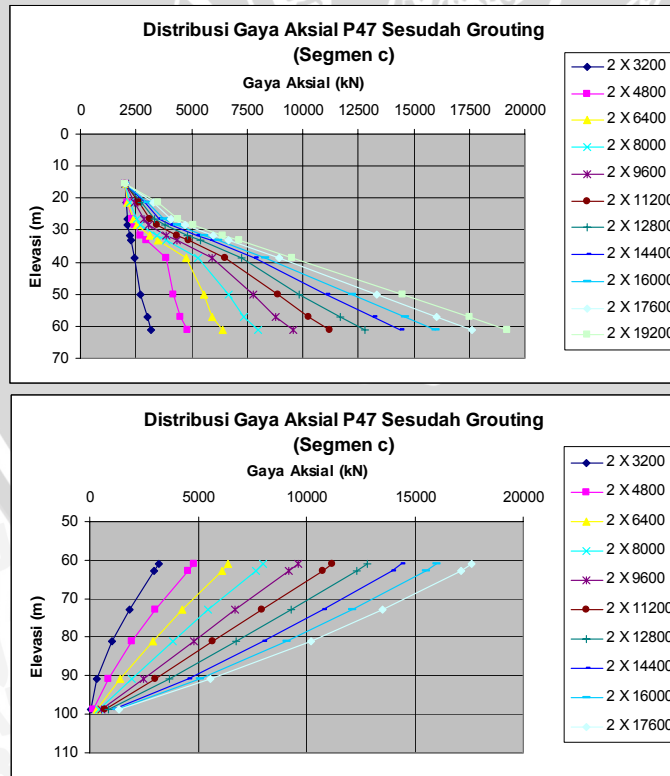
Gambar 4. 13. Gaya aksial pada P46 setelah grouting.

Grade	Section1 (-15.33m)	Section2 (- 21.49m)	Section3 (-26. 68m)	Section4 (- 28.5m)	Section5 (-31.5m)	Section6 (-33.1m)	Section7 (-38.5m)	Section8 (-50.0m)	Section9 (-57.05m)	Upper load cell (-60.99m)
1	2010	2064	2103	2142	2226	2278	2440	2711	3013	3200
2	2011	2093	2313	2417	2718	2972	3887	4200	4515	4800
3	2011	2117	2401	2515	3109	3501	4766	5568	5931	6400
4	2012	2198	2553	2713	3415	3851	5313	6655	7351	8000
5	2010	2421	2850	3043	3842	4323	5915	7772	8801	9600
6	2011	2628	3101	3459	4350	4875	6517	8889	10250	11200
7	2011	2739	3326	3802	4805	5374	7228	9846	11700	12800
8	2011	2896	3553	4086	5229	5857	7841	11069	13150	14400
9	2012	3021	3754	4342	5549	6208	8323	12239	14600	16000
10	2011	3255	4061	4705	5976	6679	8925	13356	16050	17600
11	2011	3488	4367	5067	6403	7150	9527	14473	17500	19200

Tabel 4. 35. Gaya aksial pada P47 lower cell setelah grouting.

Grade	Upper load cell (-60.99m)	Section10 (-62.9m)	Section10 (-72.99m)	Section11 (-80. 99m)	Section12 (-90.95m)	Section13 (-98.59m)
1	3200	2988	1817	1031	326	50
2	4800	4542	3040	1970	870	179
3	6400	6097	4262	2909	1413	308
4	8000	7652	5485	3848	1956	437
5	9600	9206	6708	4787	2499	566
6	11200	10761	7930	5685	3003	696
7	12800	12349	9299	6751	3650	883
8	14400	13938	10731	7989	4537	1064
9	16000	15527	12133	9101	5081	1241
10	17600	17114	13532	10193	5590	1372

Tabel 4. 36. Gaya aksial pada P47 upper cell setelah grouting.



Gambar 4. 14. Gaya aksial pada P47 setelah grouting.

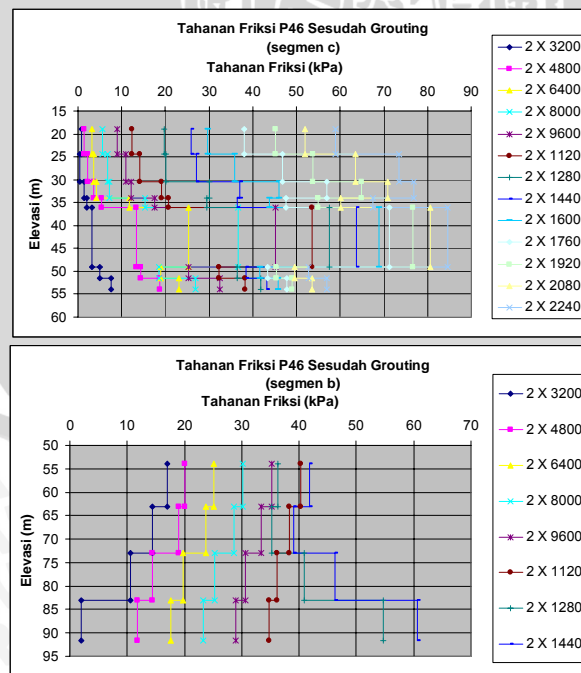
Dari perhitungan gaya aksial bisa dicari besarnya tahanan friksi dengan menggunakan rumus 3.27. Dari perhitungan tersebut terdapat pada tabel 4.37 hingga tabel 4.40, sedangkan plot grafiknya terdapat pada gambar 4.15 dan gambar 4.16.

Grade	(-19.0m)	(-24. 5m)	(-30.5m)	(-34.0m)	(-36.0m)	(-49.0m)	(-51.59m)
	(-24. 5m)	(-30.5m)	(-34.0m)	(-36.0m)	(-49.0m)	(-51.59m)	(-53.99m)
1	0.858	0.413	1.441	1.924	3.185	5.021	7.575
2	1.330	2.182	3.488	5.308	13.392	14.346	18.633
3	3.088	3.598	4.208	11.744	25.274	18.854	23.001
4	5.597	6.802	7.241	15.326	36.726	18.496	26.926
5	8.964	10.911	12.208	17.516	45.260	25.310	32.511
6	12.310	14.056	19.146	20.634	53.579	32.329	38.206
7	19.644	20.013	30.141	29.392	57.539	36.427	41.799
8	25.885	27.011	37.117	36.492	63.623	38.426	43.237
9	29.724	35.936	46.065	43.790	68.880	41.551	45.725
10	38.109	46.807	57.022	47.572	71.278	43.498	47.771
11	45.144	53.806	64.983	54.870	76.729	45.496	49.042
12	52.049	63.616	70.936	60.045	80.649	49.646	53.466
13	58.955	73.425	76.888	67.410	84.589	52.822	56.894

Tabel 4. 37. Tahanan friksi pada P46 lower cell setelah grouting.

Grade	(-53.99m)	(-62.99m)	(-72.99m)	(-82.99m)
	(-62.99m)	(-72.99m)	(-82.99m)	(-91.59m)
1	20.022	19.838	2.548	2.006
2	23.561	22.744	9.169	7.761
3	25.094	24.642	16.614	17.497
4	27.630	27.535	22.160	27.249
5	30.166	29.432	28.689	37.001
6	32.717	31.316	35.231	46.752
7	36.256	35.218	40.857	54.714
8	41.799	39.079	46.192	60.670

Tabel 4. 38. Tahanan friksi pada P46 upper cell setelah grouting.



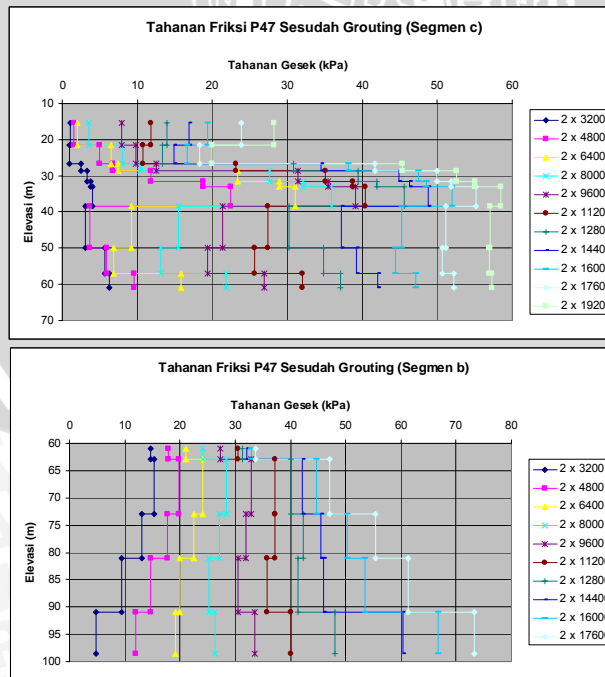
Gambar 4. 15. Tahanan friksi pada P46 setelah grouting.

Grade	(-15.33m)	(-21.49m)	(-26.68m)	(-28.5m)	(-31.5m)	(-33.1m)	(-38.5m)	(-50.0m)	(-57.05m)
	(-21.49m)	(-26.68m)	(-28.5m)	(-31.5m)	(-33.1m)	(-38.5m)	(-50.0m)	(-57.05m)	(-60.99m)
1	1.034	0.886	2.528	3.303	3.833	3.981	3.127	5.684	6.298
2	1.570	5.000	6.740	11.835	18.725	22.485	3.612	5.929	9.599
3	2.030	6.454	7.388	23.355	28.898	31.085	9.254	6.832	15.796
4	3.562	8.068	10.369	27.601	32.142	35.926	15.485	13.100	21.858
5	7.870	9.750	12.508	31.415	35.459	39.121	21.428	19.368	26.910
6	11.814	10.750	23.202	35.032	38.703	40.350	27.370	25.617	31.995
7	13.940	13.341	30.849	39.435	41.947	45.559	30.209	34.896	37.047
8	16.946	14.932	34.543	44.940	46.296	48.754	37.247	39.169	42.099
9	19.320	16.659	38.108	47.456	48.582	51.973	45.186	44.439	47.151
10	23.820	18.318	41.737	49.972	51.825	55.192	51.128	50.707	52.203
11	28.282	19.977	45.366	52.528	55.069	58.411	57.071	56.975	57.255

Tabel 4. 39. Tahanan friksi pada P47 lower cell setelah grouting.

Grade	(-60.99m)	(-62.9m)	(-72.99m)	(-80.99m)	(-90.95m)
	(-62.9m)	(-72.99m)	(-80.99m)	(-90.95m)	(-98.59m)
1	14.729	15.400	13.037	9.393	4.794
2	17.924	19.753	17.748	14.655	12.002
3	21.051	24.133	22.442	19.931	19.192
4	24.177	28.499	27.153	25.207	26.383
5	27.373	32.852	31.864	30.483	33.574
6	30.499	37.231	37.238	35.732	40.069
7	31.333	40.111	42.264	41.314	48.059
8	32.097	42.176	45.482	45.991	60.321
9	32.861	44.635	50.292	53.558	66.696
10	33.765	47.108	55.384	61.325	73.261

Tabel 4. 40. Tahanan friksi pada P47 upper cell setelah grouting.



Gambar 4. 16. Tahanan friksi pada P47 setelah grouting.



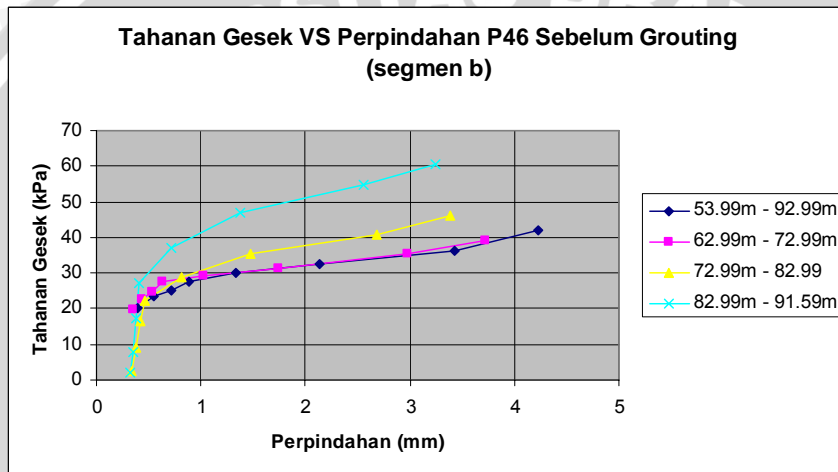
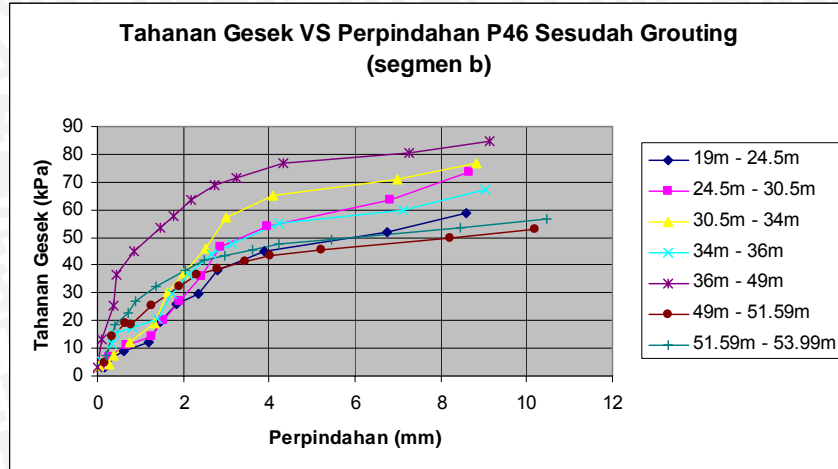
Dari perhitungan tahanan gesek tersebut maka korelasi besarnya perpindahan terhadap tahanan gesek pada masing-masing kedalaman bisa didapatkan menggunakan rumus 3.28 – 3.30. Hasil perhitungannya terdapat pada tabel 4.41 hingga tabel 4.44 sedangkan grafiknya terdapat pada gambar 4.17 dan gambar 4.18.

Grade	(-19.0m)	(-24.5m)	(-24.5m)	(-30.5m)	(-30.5m)	(-34.0m)	(-34.0m)	(-36.0m)	(-36.0m)	(-49.0m)	(-49.0m)	(-51.59m)	(-51.59m)	(-53.99m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	-0.193	0.858	-0.135	0.413	-0.072	1.441	-0.027	1.924	-0.001	3.185	0.181	5.021	0.22	7.575
2	-0.082	1.330	-0.025	2.182	0.040	3.488	0.088	5.308	0.116	13.392	0.344	14.346	0.4	18.633
3	0.155	3.088	0.213	3.598	0.281	4.208	0.332	11.744	0.362	25.274	0.645	18.854	0.72	23.001
4	0.226	5.597	0.286	6.802	0.359	7.241	0.415	15.326	0.449	36.726	0.796	18.496	0.89	26.926
5	0.616	8.964	0.677	10.911	0.756	12.208	0.820	17.516	0.860	45.260	1.267	25.310	1.38	32.511
6	1.186	12.310	1.249	14.056	1.334	19.146	1.405	20.634	1.450	53.579	1.919	32.329	2.05	38.206
7	1.475	19.644	1.543	20.013	1.640	30.141	1.724	29.392	1.779	57.539	2.329	36.427	2.48	41.799
8	1.829	25.885	1.899	27.011	2.008	37.117	2.105	36.492	2.169	63.623	2.799	38.426	2.97	43.237
9	2.345	29.724	2.417	35.936	2.536	46.065	2.647	43.790	2.719	68.880	3.430	41.551	3.62	45.725
10	2.802	38.109	2.879	46.807	3.014	57.022	3.143	47.572	3.228	71.278	4.030	43.498	4.24	47.771
11	3.870	45.144	3.951	53.806	4.098	64.983	4.241	54.870	4.336	76.729	5.220	45.496	5.45	49.042
12	6.737	52.049	6.821	63.616	6.983	70.936	7.142	60.045	7.246	80.649	8.211	49.646	8.46	53.466
13	8.581	58.955	8.669	73.425	8.844	76.888	9.019	67.410	9.134	84.589	10.181	52.822	10.45	56.894

Tabel 4. 41. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 lower cell setelah grouting.

Grade	(-53.99m)	(-62.99m)	(-62.99m)	(-72.99m)	(-72.99m)	(-82.99m)	(-82.99m)	(-91.59m)
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	0.4	20.022	0.346	19.838	0.333	2.548	0.329	2.006
2	0.55	23.561	0.433	22.744	0.376	9.169	0.353	7.761
3	0.72	25.094	0.532	24.642	0.422	16.614	0.379	17.497
4	0.88	27.630	0.627	27.535	0.467	22.160	0.403	27.249
5	1.34	30.166	1.019	29.432	0.808	28.689	0.723	37.001
6	2.13	32.717	1.742	31.316	1.479	35.231	1.374	46.752
7	3.43	36.256	2.982	35.21762	2.676	40.857	2.554	54.714
8	4.23	41.799	3.728	39.07909	3.386	46.192	3.250	60.670

Tabel 4. 42. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 upper cell setelah grouting.



Gambar 4. 17. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P46 setelah grouting.

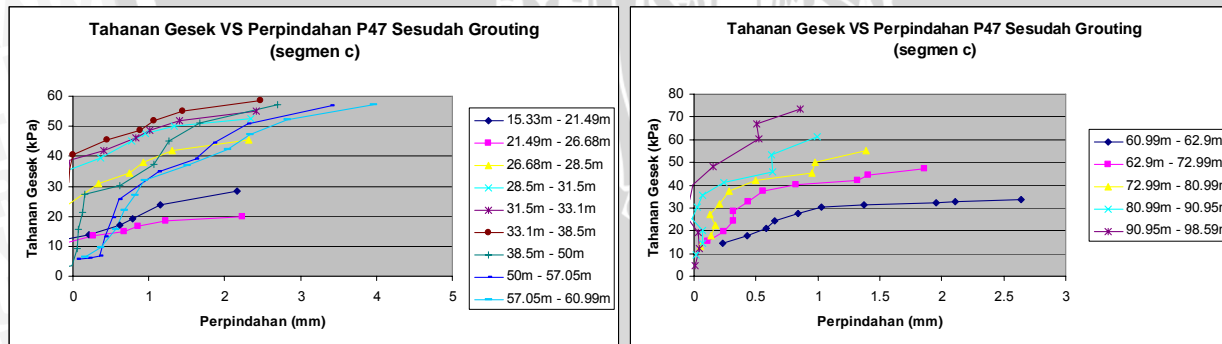


Grade	(-15.33m) (- 21.49m)		(- 21.49m) (-26. 68m)		(-26. 68m) (- 28.5m)		(- 28.5m) (-31.5m)		(-31.5m) (-33.1m)		(-33.1m) (-38.5m)		(-38.5m) (-50.0m)		(-50.0m) (-57.05m)		(-57.05m) (-60.99m)	
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	-0.313	1.034	-0.261	0.886	-0.216	2.528	-0.200	3.303	-0.173	3.833	-0.154	3.981	-0.090	3.127	0.059	5.684	0.160	6.298
2	-0.284	1.570	-0.232	5.000	-0.184	6.740	-0.166	11.835	-0.134	18.725	-0.111	22.485	-0.018	3.612	0.216	5.929	0.370	9.599
3	-0.236	2.030	-0.184	6.454	-0.135	7.388	-0.116	23.355	-0.081	28.898	-0.055	31.085	0.057	9.254	0.356	6.832	0.560	15.796
4	-0.241	3.562	-0.187	8.068	-0.136	10.369	-0.116	27.601	-0.078	32.142	-0.049	35.926	0.076	15.485	0.422	13.100	0.670	21.858
5	-0.230	7.870	-0.173	9.750	-0.116	12.508	-0.094	31.415	-0.051	35.459	-0.019	39.121	0.120	21.428	0.516	19.368	0.810	26.910
6	-0.231	11.814	-0.171	10.750	-0.110	23.202	-0.085	35.032	-0.037	38.703	0.001	40.350	0.155	27.370	0.601	25.617	0.940	31.995
7	0.206	13.940	0.267	13.341	0.332	30.849	0.359	39.435	0.412	41.947	0.453	45.559	0.624	30.209	1.118	34.896	1.500	37.047
8	0.614	16.946	0.677	14.932	0.747	34.543	0.775	44.940	0.833	46.296	0.878	48.754	1.064	37.247	1.611	39.169	2.040	42.099
9	0.786	19.320	0.850	16.659	0.923	38.108	0.954	47.456	1.015	48.582	1.062	51.973	1.260	45.186	1.854	44.439	2.330	47.151
10	1.156	23.820	1.223	18.318	1.302	41.737	1.335	49.972	1.402	51.825	1.453	55.192	1.664	51.128	2.309	50.707	2.830	52.203
11	2.157	28.282	2.227	19.977	2.311	45.366	2.347	52.528	2.418	55.069	2.473	58.411	2.699	57.071	3.393	56.975	3.960	57.255

Tabel 4. 43. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 lower cell setelah grouting.

Grade	(-60.99m) (-62.9m)		(-62.9m) (-72.99m)		(-72.99m) (-80. 99m)		(-80. 99m) (-90.95m)		(-90.95m) (-98.59m)	
	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance	Displacement	Frictional Resistance
1	0.23	14.729	0.108	15.400	0.051	13.037	0.017	9.393	0.010	4.794
2	0.43	17.924	0.238	19.753	0.137	17.748	0.066	14.655	0.046	12.002
3	0.58	21.051	0.317	24.133	0.173	22.442	0.065	19.931	0.032	19.192
4	0.65	24.177	0.317	28.499	0.129	27.153	-0.016	25.207	-0.062	26.383
5	0.84	27.373	0.436	32.852	0.205	31.864	0.023	30.483	-0.036	33.574
6	1.03	30.49933	0.556	37.231	0.282	37.238	0.064	35.7321	-0.007	40.06945
7	1.37	31.33302	0.821	40.111	0.498	42.264	0.237	41.31441	0.150	48.05902
8	1.95	32.09724	1.324	42.176	0.948	45.482	0.634	45.99076	0.526	60.32128

Tabel 4. 44. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 upper cell setelah grouting.



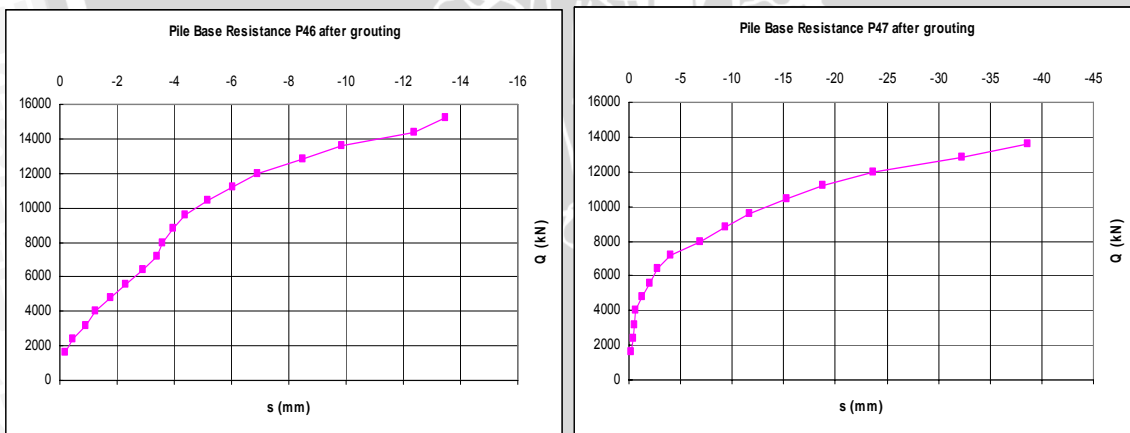
Gambar 4. 18. Hubungan tahanan friksi dan displacement pada P47 setelah grouting.

4.3.2.2. Perhitungan Tahanan Ujung.

Nilai daya dukung ujung bisa didapatkan dari pergerakan kebawah kurva hubungan Q-s bagian lower cell yang hasilnya terdapat pada tabel 4.45, sedangkan grafiknya terdapat pada gambar 4.19.

P46		P47	
Tahanan ujung (kN)	Displacement (mm)	Tahanan ujung (kN)	Displacement (mm)
1600	-0.18	1600	-0.21
2400	-0.46	2400	-0.39
3200	-0.92	3200	-0.54
4000	-1.26	4000	-0.62
4800	-1.76	4800	-1.28
5600	-2.3	5600	-2.06
6400	-2.91	6400	-2.73
7200	-3.39	7200	-4.03
8000	-3.58	8000	-6.86
8800	-3.97	8800	-9.39
9600	-4.36	9600	-11.7
10400	-5.18	10400	-15.3
11200	-6.02	11200	-18.81
12000	-6.9	12000	-23.68
12800	-8.48	12800	-32.23
13600	-9.85	13600	-38.64
14400	-12.37		
15200	-13.47		

Tabel 4. 45. Tahanan ujung P46 dan P47 setelah grouting.

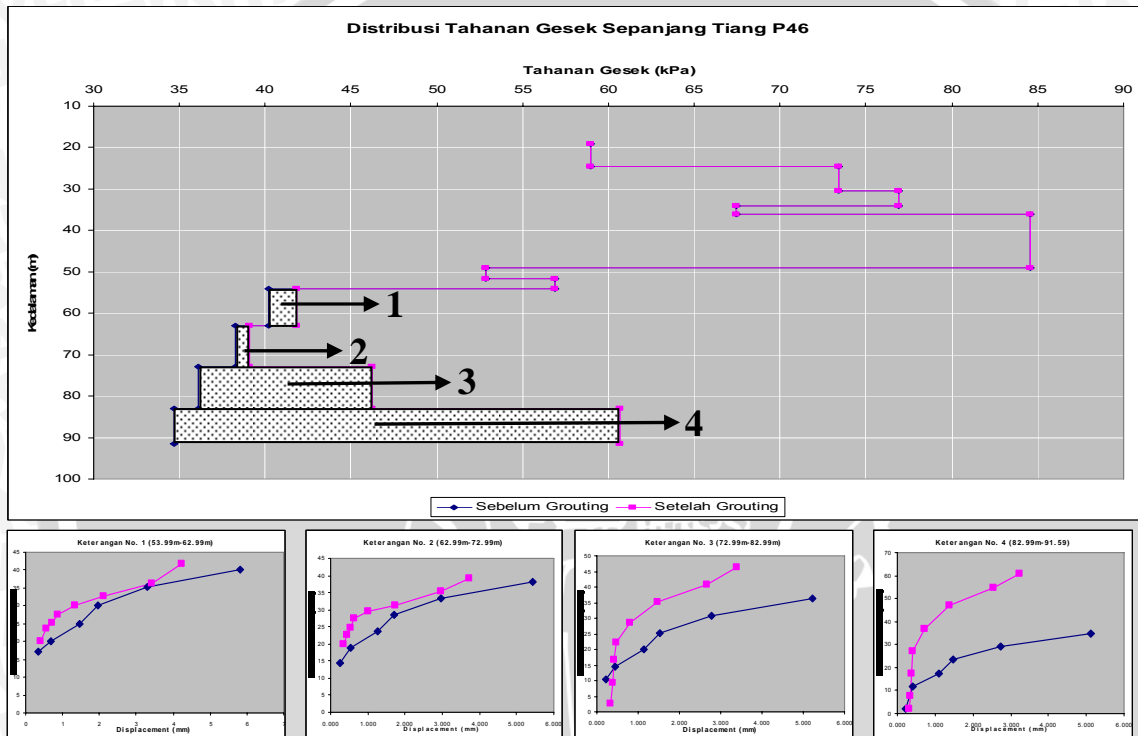


Gambar 4. 19. Tahanan ujung P46 dan P47 setelah grouting.

4.4. Perbandingan Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Grouting.

4.4.1. Tahanan Friksi.

Dari gambar 4.20 dan tabel 4.46 bisa dilihat bahwa tahanan friksi pada tiang P46 memiliki nilai yang sama besarnya dari kedalaman 19m hingga 53.99m, sedangkan pada kedalaman 53.99m hingga 91.59m terjadi peningkatan sebesar 38.425 kPa. Pada gambar 4.20 juga bisa dilihat bahwa displacement yang terjadi untuk memobilisasi tahanan gesek berkurang.

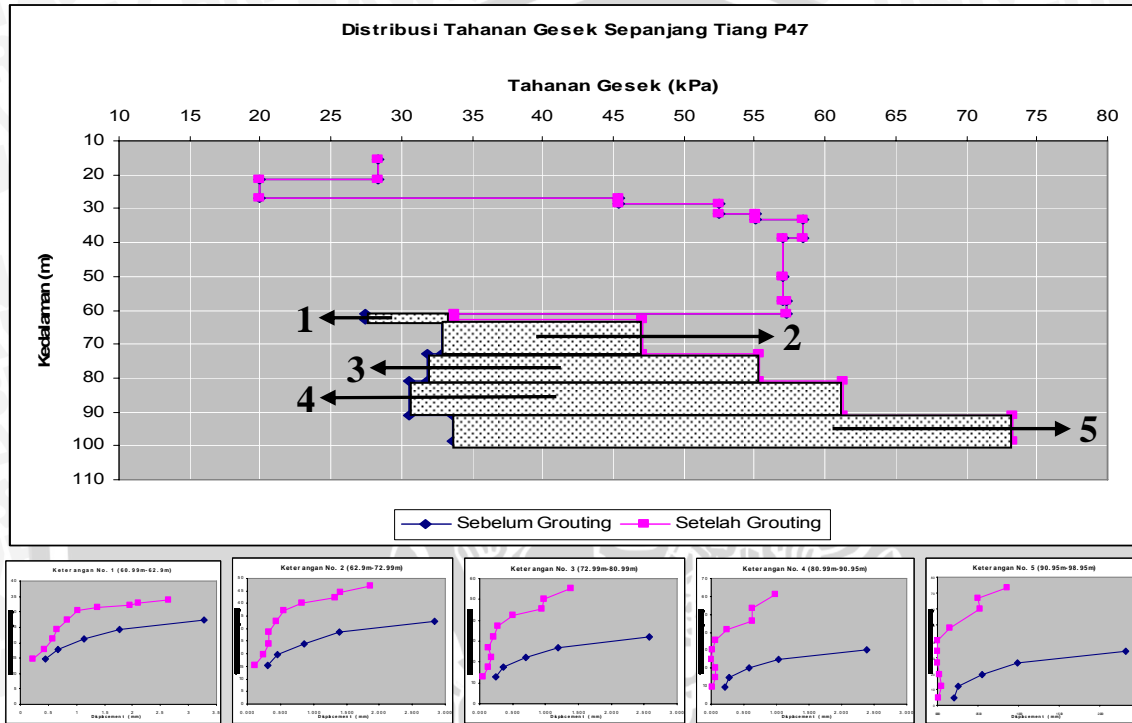


Gambar 4. 20. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P46.

Kedalaman	Tahanan Gesek sebelum grouting (kPa)	Tahanan Gesek sesudah grouting (kPa)	Selisih Tahanan Gesek (kPa)
(-19.0m) s/d (-24.5m)	59	59	0
(-24.5m) s/d (-30.5m)	73	73	0
(-30.5m) s/d (-34.0m)	77	77	0
(-34.0m) s/d (-36.0m)	67	67	0
(-36.0m) s/d (-49.0m)	85	85	0
(-49.0m) s/d (-51.59m)	53	53	0
(-51.59m) s/d (-53.99m)	57	57	0
(-53.99m) s/d (-62.99m)	40	42	2
(-62.99m) s/d (-72.99m)	38	39	1
(-72.99m) s/d (-82.99m)	36	46	10
(-82.99m) s/d (-91.59m)	35	61	26
Σ	620	659	38

Tabel 4. 46. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P46.

Dari gambar 4.21 dan tabel 4.47 bisa dilihat bahwa tahanan friksi pada tiang P47 memiliki nilai yang sama besarnya dari kedalaman 15.33m hingga 60.99m, sedangkan pada kedalaman 60.99m hingga 98.59m terjadi peningkatan sebesar 114.698 kPa. Pada gambar 4.21 juga bisa dilihat bahwa displacement yang terjadi untuk memobilisasi tahanan gesek berkurang.

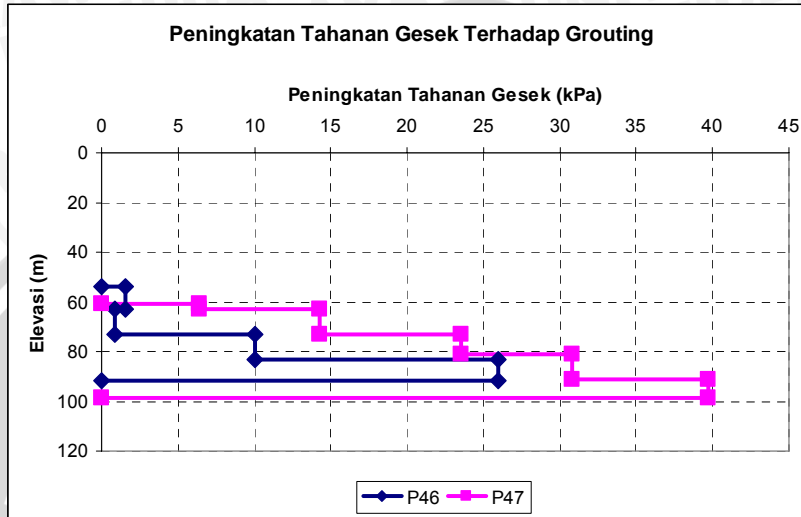


Gambar 4. 21. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P47.

Kedalaman	Tahanan Gesek sebelum grouting (kPa)	Tahanan Gesek sesudah grouting (kPa)	Selisih Tahanan Gesek (kPa)
(-15.33m) s/d (- 21.49m)	28	28	0
(- 21.49m) s/d (-26. 68m)	20	20	0
(-26. 68m) s/d (- 28.5m)	45	45	0
(- 28.5m) s/d (-31.5m)	53	53	0
(-31.5m) s/d (-33.1m)	55	55	0
(-33.1m) s/d (-38.5m)	58	58	0
(-38.5m) s/d (-50.0m)	57	57	0
(-50.0m) s/d (-57.05m)	57	57	0
(-57.05m) s/d (-60.99m)	57	57	0
(-60.99m) s/d (-62.9m)	27	34	6
(-62.9m) s/d (-72.99m)	33	47	14
(-72.99m) s/d (-80. 99m)	32	55	24
(-80. 99m) s/d (-90.95m)	30	61	31
(-90.95m) s/d (-98.59m)	34	73	40
Σ	587	702	115

Tabel 4. 47. Distribusi tahanan gesek sepanjang tiang pada P47.

Untuk mengetahui kondisi tanah yang ada di bawah permukaan dan seberapa jauh grouting berpengaruh terhadap tahanan gesek maka bisa dibuat grafik perbandingan tahanan friksi pada tiang P46 dan P47. Hasil perbandingannya bisa dilihat pada gambar 4.22.



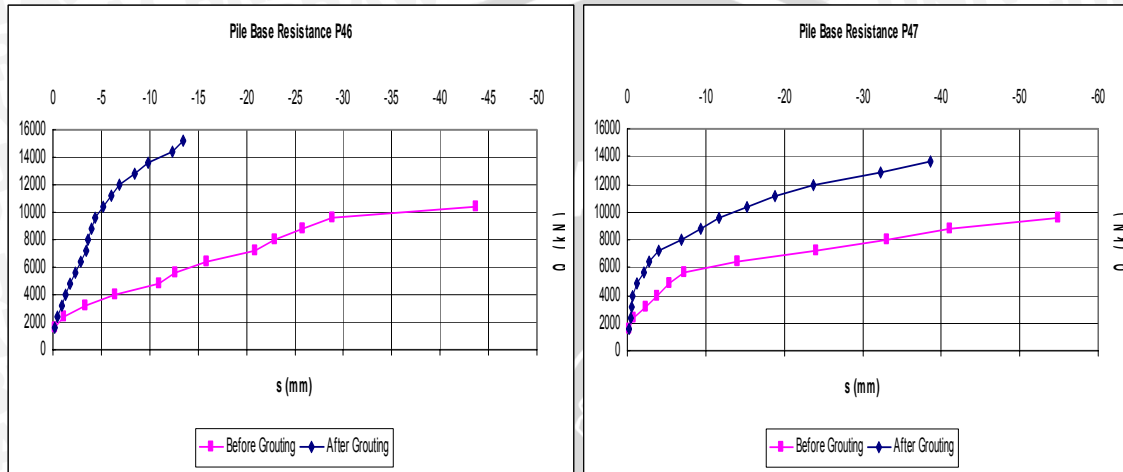
Gambar 4. 22. Peningkatan Tahanan Gesek Sebelum dan Sesudah Grouting.

Dari gambar 4.22 bisa kita lihat sebaran shale mineral yang terdapat pada tanah. Pada tiang P46, tanah ekspansif tersebar sepanjang 37.6m dari kedalaman 53.99m hingga 91.59m. Sedangkan pada tiang P47, tanah ekspansif tersebar sepanjang 37.6m dari kedalaman 60.99m hingga 98.59m. Hal tersebut bisa diindikasikan dari adanya peningkatan tahanan gesek sepanjang lapisan tanah tersebut setelah dilakukan grouting.

Meskipun panjang tiang yang terpengaruh oleh grouting sama namun jumlah peningkatan pada P47 lebih besar daripada P46, hal ini mengindikasikan bahwa material shale mineral pada P47 lebih ekspansif jika dibandingkan dengan material yang terdapat pada P46.

4.4.2. Tahanan Ujung.

Grouting mampu memberikan peningkatan kekuatan daya dukung ujung. Pada gambar di bawah ini akan disajikan perbandingan daya dukung ujung sebelum dan setelah grouting pada tiang pondasi P46 maupun P47. Hasil perbandingannya terdapat pada gambar 4.23.



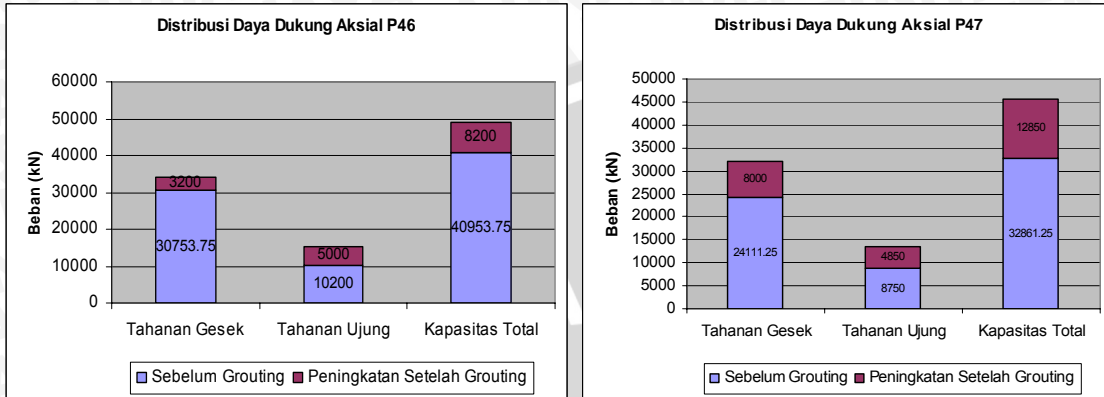
Gambar 4. 23. Perbandingan daya dukung ujung pada P46 dan P47.

Pada grafik 4.23 bisa kita lihat setelah dilakukan grouting daya dukung ujung meningkat dan displacement yang terjadi untuk memobilisasi tahanan ujung berkurang. Pada P46 daya dukung ujung meningkat sebesar 5000kN dari 10200kN menjadi 15200kN. Disamping peningkatan tersebut displacement yang terjadi untuk memobilisasi tahanan ujung berkurang sebesar 26.53mm dari 40mm menjadi 13.47mm.

Pada P47 daya dukung ujung meningkat sebesar 4850kN dari 13600kN menjadi 8750kN. Disamping peningkatan tersebut displacement yang terjadi untuk memobilisasi tahanan ujung berkurang sebesar 1.36mm dari 40mm menjadi 38.64mm.

4.4.3. Kapasitas Total.

Kontribusi daya dukung ujung maupun daya dukung gesek terhadap kapasitas total baik sebelum maupun sesudah grouting bisa dilihat pada grafik 4.24.



Gambar 4. 24. Distribusi daya dukung aksial pada P46 dan P47.

Dari grafik 4.24 bisa kita simpulkan bahwa peningkatan total daya dukung friksi pada tiang P46 dan P47 setelah dilakukan grouting lebih besar daripada daya dukung ujung. Pada daya dukung friksi peningkatan yang terjadi adalah sebesar 11200 kN sedangkan peningkatan daya dukung ujung pada tiang P46 dan P47 setelah dilakukan grouting adalah sebesar 8800kN.

Peningkatan lebih besar terjadi pada tahanan friksi karena daya dukung friksi hanya mengandalkan lekatan antara tanah dan dinding tiang sehingga adanya material ekspansif pada tanah akan menyebabkan retak-retak pada tanah ketika dilakukan pengeboran. Pada akhirnya tanah yang retak akan mengurangi gesekan antara tanah dan tiang sehingga berujung pada kehilangan gesekan antara tanah dan tiang secara signifikan.

Dengan dilakukannya grouting maka retak-retak yang ada di dalam tanah akan terisi oleh material grouting yang akan menutup retakan-retakan tadi dan memperbesar lekatan antara tanah dan dinding tiang yang sebelumnya hilang.

Sebaliknya daya dukung ujung memiliki daerah zona sebaran yang luas sehingga adanya grouting hanya memperbaiki material tanahnya saja. Oleh karena itu jumlah peningkatan daya dukung ujung tidak signifikan bila dibandingkan dengan daya dukung friksi.

4.5. Perbandingan Perhitungan Berdasarkan N-SPT dan Osterberg Cell.

4.5.1. Tahanan Friksi.

Besarnya tahanan friksi pada tiap lapisan antara perhitungan teoritis dan uji pembebanan baik sebelum grouting maupun setelah grouting bisa dibandingkan. Pada tabel 4.48 bisa dilihat perbandingan pada tiang P46.

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	qs (kPa) (teoritis)	qs (kPa) load test		qs/N (teoritis)	qs/N load test	
				sebelum grouting	sesudah grouting		sebelum grouting	sesudah grouting
19 - 24.5	Sand	60	104	59	59	1.73	0.98	0.98
24.5 - 30.5	Sand	35	88	73	73	2.51	2.10	2.10
30.5 - 34	Sand	32	89	77	77	2.78	2.40	2.40
34 - 36	Sand	1	29	67	67	29.00	67.41	67.41
36 - 49	Sand	16	62	85	85	3.88	5.29	5.29
49 - 51.59	Sand	23	49	53	53	2.13	2.30	2.30
51.59 - 53.99	Sand	21	40	57	57	1.90	2.71	2.71
53.99 - 55	Sand	10	19	40	42	1.90	4.02	4.18
55 - 62.99	Clay	30	51	40	42	1.72	1.36	1.42
62.99 - 72.99	Clay	29	50	38	39	1.72	1.31	1.34
72.99 - 82.99	Clay	31	51	36	46	1.64	1.17	1.49
82.99 - 91.59	Clay	34	55	35	61	1.60	1.01	1.76

Tabel 4. 48. Perbandingan perhitungan tahanan friksi teoritis dan uji pembebanan pada tiang P46.

Dari data tersebut terlihat perbedaan yang cukup besar pada perhitungan tahanan friksi baik itu dari perhitungan teoritis maupun uji pembebanan sebelum dan sesudah grouting. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat nilai rata-rata dari qs/N-SPT pada tiang P46 dapat dilihat pada tabel 4.49.

	qs/N (teoritis)	qs/N load test	
		sebelum grouting	sesudah grouting
Pasir	2.41	2.83	2.85
Lempung	1.67	1.21	1.50

Tabel 4. 49. Perbandingan qs/N-SPT pada tiang P46.

Pada tiang P47 perbandingan antara perhitungan teoritis dan uji pembebanan baik sebelum grouting maupun setelah grouting disajikan pada tabel 4.50.

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT Rata-Rata	qs (kPa) (teoritis)	qs (kPa)	qs (kPa)	qs/N (teoritis)	qs/N	qs/N	
				load test	load test		load test	load test	
				sebelum grouting	sesudah grouting				
15.33 - 21.49	Clay	0	0	28	28	0.0	0.0	0.0	
21.49 - 26.68	Clay	7	28	20	20	4.0	2.9	2.9	
26.68 - 28.5	Clay	52	67	45	45	1.3	0.9	0.9	
28.5 - 31.5	Clay	56	69	53	53	1.2	0.9	0.9	
31.5 - 33.1	Sand	30	85	55	55	2.8	1.8	1.8	
33.1 - 38.5	Sand	21	72	58	58	3.4	2.8	2.8	
38.5 - 50	Sand	18	60	57	57	3.3	3.2	3.2	
50 - 57.05	Clay	60	74	57	57	1.2	0.9	0.9	
57.05 - 60.99	Clay	60	74	57	57	1.2	1.0	1.0	
60.99 - 62.9	Clay	60	74	27	34	1.2	0.5	0.6	
62.9 - 72.99	Clay	37	59	33	47	1.6	0.9	1.3	
72.99 - 80.99	Clay	35	56	32	55	1.6	0.9	1.6	
80.99 - 90.95	Clay	44	63	30	61	1.4	0.7	1.4	
90.95 - 98.59	Clay	48	64	34	73	1.3	0.7	1.5	

Tabel 4. 50. Perbandingan perhitungan tahanan friksi teoritis dan uji pembebanan P47.

Sedangkan nilai rata-rata dari qs/N-SPT pada tiang P47 disajikan pada tabel 4.51.

	qs/N (teoritis)	qs/N load test	qs/N load test
		sebelum grouting	sesudah grouting
Pasir	3.20	2.60	2.60
Lempung	1.38	0.79	1.18

Tabel 4. 51. Perbandingan qs/N-SPT pada tiang P47.

Mengacu pada tabel 4.48 dan tabel 4.50 maka perhitungan daya dukung aksial menggunakan rumus statis pada tanah shale harus diberi reduksi yang salah satu bahan referensinya bisa digunakan tabel 4.49 dan tabel 4.51.

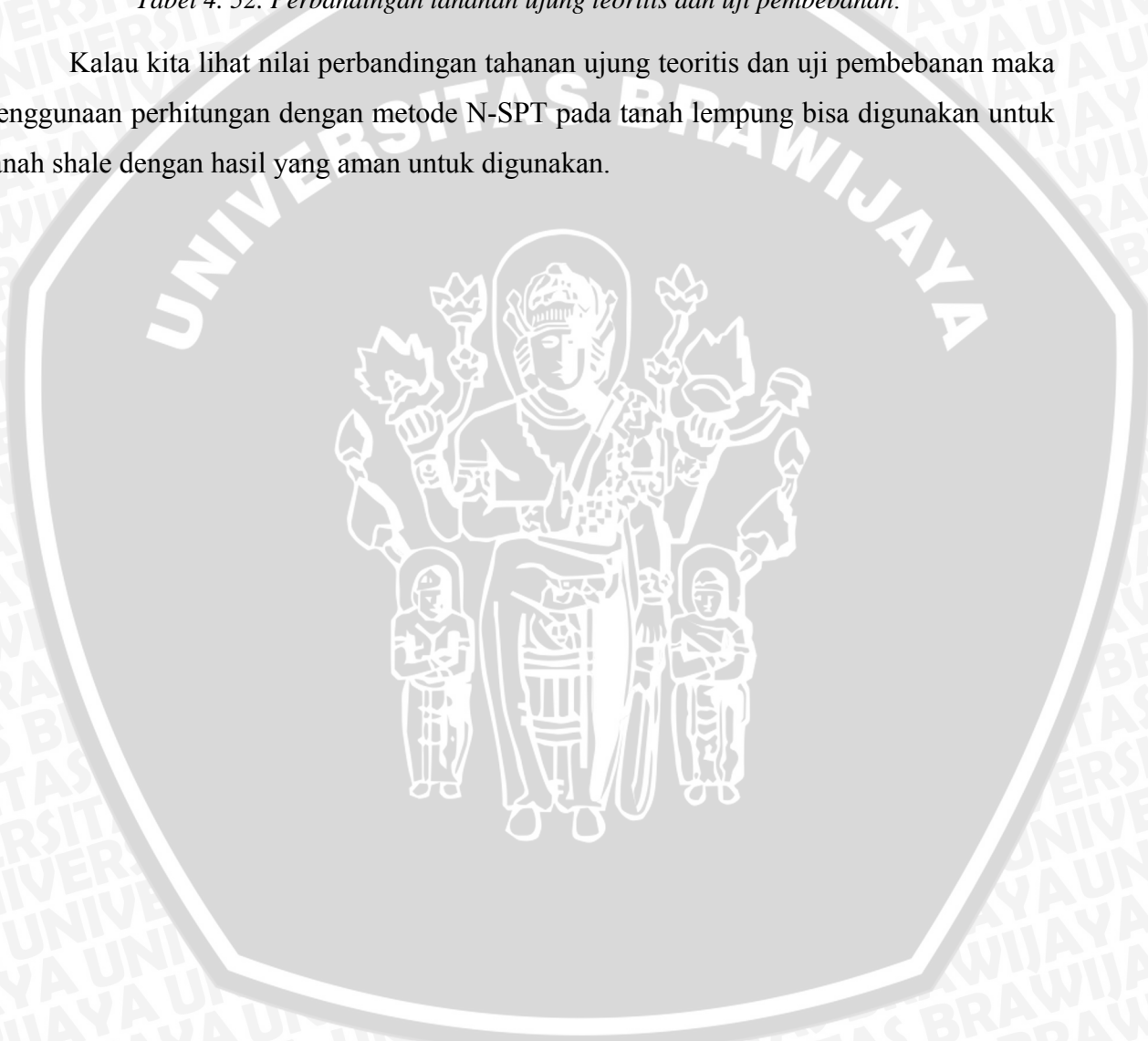
4.5.2. Tahanan Ujung.

Pada tabel 4.52 bisa dilihat besarnya tahanan ujung antara teoritis dan uji pembebanan.

Tiang	Qb (kN) (teoritis)	Qb (kN) load test sebelum grouting	Qb (kN) load test sesudah grouting
P46	9848	10200	15200
P47	13388	8750	13600

Tabel 4. 52. Perbandingan tahanan ujung teoritis dan uji pembebanan.

Kalau kita lihat nilai perbandingan tahanan ujung teoritis dan uji pembebanan maka penggunaan perhitungan dengan metode N-SPT pada tanah lempung bisa digunakan untuk tanah shale dengan hasil yang aman untuk digunakan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V. 1. Kesimpulan

Dari hasil analisis studi daya dukung aksial Jembatan Utama Suramadu dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pondasi bore pile yang terdapat lapisan shale, reduksi kekuatan akan terjadi cukup signifikan terutama pada tahanan friksi. Grouting mampu memberikan peningkatan daya dukung aksial dengan peningkatan terbesar pada tahanan friksinya. Lapisan yang terpengaruh oleh grouting kalau dicermati hanya terdapat pada lapisan berjenis lempung dan bukan pasir hal ini membuktikan bahwa reduksi tahanan gesek terpengaruh oleh material shale.
2. Penggunaan grouting mampu meningkatkan daya dukung aksial sekaligus memperkecil perpindahan untuk memobilisasi tahanan ujung dan friksi. Pada tiang P46 dan P47 mampu mempengaruhi tahanan friksi sepanjang 37.6m dari dasar pondasi.
3. Pada perbandingan perhitungan N-SPT dan uji pembebanan O-Cell terdapat perbedaan yang cukup signifikan terutama pada hasil tahanan friksi, meskipun tanah telah diberi grouting peningkatan kekuatan pada tahanan friksi belum mencapai nilai teoritis meskipun nilainya sudah mendekati. Untuk perhitungan tahanan ujung, perhitungan teoritis pada lempung sudah bisa digunakan digunakan pada tanah yang mengandung material shale dan bisa memberikan prediksi daya dukung yang aman.

V. 2. Saran

1. Untuk menghitung daya dukung aksial pondasi pada tanah shale keberadaan uji pembebanan sangat diperlukan karena hasil perhitungan secara teoritis bisa memiliki angka variasi yang jauh berbeda dengan hasil uji pembebanan.

2. Perlu diadakan penelitian yang lebih banyak lagi mengenai penggunaan N-SPT sebagai metode untuk prediksi daya dukung aksial pondasi bore pile pada tanah yang mengandung material shale sehingga bisa didapatkan angka reduksi atau korelasi yang tepat.



DAFTAR PUSTAKA

Bazant, Zdenek. 1979. *Methods Of Foundation Engineering*. Elsevier Scientific Publishing Company.

Carroll L. Crowther, P.E. *Load Testing of Deep Foundation*. Wiley-Interscience.

Coduto, Donald P. 1994. *Foundation Design*. Prentice-Hall, Inc.

Greer, David M. 1972. *Drilled Pier Foundations*. McGraw Hill Book Company.

Guoliang, Dai. 2006. *Suramadu Bridge, Main Bridge Pile Load Test (OC Test), Stage II*. College of Civil Engineering, Southeast University.

Irsyam, Masyhur; Sahadewa, Andhika. *Bearing Capacity of Grouted Bored Piles in Clay Shales of the Suramadu Bridge*. PT. LAPI ITB.

John D. Nelson; Debora J. Miller. 1992. *Expansive Soils Problems and Practice In Foundation and Pavement Engineering*. John Willey & Sons, Inc.

Jovce, Michael D. 1982. *Site Investigation Practice*. J.W. Arrowsmith Ltd, Brisol.

McVay, Ellis, M. Kim, J Villegas, S-H. Kim, dan S. 2003. *Static and Dynamic Field Testing of Drilled Shafts: Suggested Guidelines on Their Use for FDOT Structures*". University of Florida.

Moseley, M.P. 1996. *Ground Improvement*. Blackie Academic & Professional.

Yonekura, Kyozo; Terashi, Masaaki; Shibazaki, Mitsuhiro. 1996. *Grouting and Deep Mixing*. A.A Balkema/Rotterdam/Brookfield.