

TUGAS AKHIR
ANALISA PENURUNAN PONDASI RAKIT PADA
TANAH LUNAK

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**



Disusun oleh :

Nama : Soeragil Poedji Goesworo
No. Mhs. : 92 310 199
Nirm : 920051013114120199

Nama : Muh Erry Sugiharto
No. Mhs. : 93 310 103
Nirm : 930051013114120100

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999

TUGAS AKHIR
ANALISA PENURUNAN PONDASI RAKIT PADA
TANAH LUNAK

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun oleh :

Nama	: Soeragil Poedji Goesworo	Nama	: Muh Erry Sugiharto
No. Mhs.	: 92 310 199	No. Mhs.	: 93 310 103
Nirm	: 920051013114120199	Nirm	: 930051013114120100

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999

TUGAS AKHIR
ANALISA PENURUNAN PONDASI RAKIT PADA
TANAH LUNAK

Disusun oleh :

Nama	: Soeragil Poedji Goesworo	Nama	: Muh Erry Sugiharto
No. Mhs.	: 92 310 199	No. Mhs.	: 93 310 103
Nirm	: 920051013114120199	Nirm	: 930051013114120100

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DR. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA.

Dosen Pembimbing I

Ir. Akhmad Marzuko, MT.

Dosen Pembimbing II



[Signature]
Tanggal: 1-Mei-1999

[Signature]
Tanggal: 1-Mei-1999

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur kepada Allah SWT, penyusun panjatkan atas rahmat-Nya sehingga pembuatan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat akademis program S1 pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tugas akhir ini disusun berdasarkan studi literatur yang merupakan kajian terhadap teori-teori bidang mekanika tanah. Untuk mengkaji teori-teori bidang keilmuan tersebut disajikan analisis dan contoh perhitungan dari beberapa keadaan dan bentuk yang berbeda dan dianggap mewakili kondisi yang lazim terjadi.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Adapun pihak-pihak tersebut adalah :

1. Bapak DR. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA., sebagai dosen pembimbing pertama Tugas Akhir.

2. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT., sebagai dosen pembimbing kedua Tugas Akhir.
 3. Bapak Ir. Harbi Hadi, MT., sebagai dosen penguji Tugas Akhir.
 4. Bapak Ir. Widodo MSCE, Ph.D., sebagai Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
 5. Bapak Ir. H. Tajuddin BM Aris, MS., sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
 6. Bapak, Ibu, Kakak dan adik-adik yang telah memberikan dorongan moril hingga terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini.
 7. Rekan-rekan yang telah membantu terselesainya Tugas Akhir ini.
- Besar harapan penyusun, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.
- Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, April 1999

Penyusun

HALAM
LEMBAR
KATA I
DAFTAR
DAFTAR
DAFTAR
DAFTAR
ABSTRAK
BAB I

BAB II
BAB III

III.1. Tanah.....	10
III.1.1. Pengertian.....	10
III.1.2. Klasifikasi Tanah.....	11
III.1.3. Sifat-sifat Elastis Tanah.....	15
III.1.4. Analisis Tegangan Tanah Untuk M Boissinesg.....	19
III.2. Pondasi.....	25
III.2.1. Pondasi Dangkal.....	25
III.3. Teori Konsolidasi.....	27
III.3.1. Umum.....	27
III.3.2. Percobaan Konsolidasi.....	29
III.3.3. Grafik Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan.....	32
III.4. Pondasi Rakit.....	39
III.4.1. Pengertian.....	39
III.4.2. Jenis-jenis Pondasi Rakit.....	39
III.4.3. Penurunan.....	40
III.5. Penurunan Segera.....	41
III.5.1. Umum.....	45
III.5.2. Teori Thimoshenko – Goodier.....	46
III.5.3. Teori Janbu.....	48
III.6. Teoti Penurunan Konsolidasi.....	50

III.6.1. Teori Konsolidasi Primer Satu Dimensi	
Terzaghi.....	50
III.6.2. Teori Pkonselidasi Metode Skempton –	
Bjerrum.....	
III.7. Penurunan Konsolidasi Sekunder.....	56
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN.....	60
IV.1. Uraian Umum.....	63
IV.2. Analisa Penurunan Segera.....	63
IV.2.1. Data Lokasi BH-1.....	65
IV.2.2. Data Lokasi BH-2.....	65
IV.2.3. Data Lokasi BH-3.....	77
IV.3. Penurunan Konsolidasi Primer.....	88
IV. 3.1. Metode Terzaghi.....	101
IV.3.2. Metode Skempton – Bjrrum.....	101
IV.4. Penurunan Konsolidasi Primer.....	131
IV.4.1. Titik BH-1.....	147
IV.4.2. Titik BH-2.....	148
IV.4.3. Titik BH-3.....	154
BAB V PEMBAHASAN.....	160
V.1. Umum.....	182
V.2. Penurunan Segera.....	182

V.3. Penurunan Konsolidasi Primer.....	182
V.4. Penurunan Konsolidasi Sekunder.....	185
BAB VI Kesimpulan dan Saran.....	186
VI.1. Kesimpulan.....	187
VI.2. Saran.....	189

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Bagan Tahapan Penyelesaian Tugas Akhir.....	4
Gambar 3.1. Rentang (range) Dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) Untuk Tanah.....	12
Gambar 3.2. Grafik Tegangan Regangan Untuk Semua Jenis Tanah.....	15
Gambar 3.3. Angka Poisson (μ).....	18
Gambar 3.4. Tegangan Vertikal Di Bawah Luasan Lentur Yang Memenuhi Beban Merata.....	20
Gambar 3.5. Variasi Harga I_2 Terhadap Nilai m dan n.....	23
Gambar 3.6. Kenaikan Tegangan Pada Segala Titik Di Bawah Luasan lentur Persegi Panjang Dengan Beban Merata.....	24
Gambar 3.7. Jenis Pondasi Telapak.....	26
Gambar 3.8. Proses Konsolidasi.....	28
Gambar 3.9. Proses Over Konsolidasi.....	29
Gambar 3.10. Konsolidometer.....	30
Gambar 3.11. Gambar Waktu – Pemampatan.....	31
Gambar 3.12. Perubahan Tinggi Contoh Tanah Pada Uji Konsolidasi Satu Dimensi.....	33

Gambar 3.13. Bentuk Khar Grafik e vesur p.....	34
Gambar 3.14. Prosedur Penentuan Pc Secara Grafis.....	36
Gambar 3.15. Karakteristik Konsolidasi Lempung Yang Terkonsolidasi Manual Dengan Derajat Sensitivitas Rendah Sampai Sedang.....	37
Gambar 3.16. Karakteristik Konsolidasi Lempung Yang Terkonsolidasi Lebih Dengan Derajat Sensitivitas Rendah Sampai Sedang.....	38
Gambar 3.17. Jenis-jenis Pondasi Rakit.....	40
Gambar 3.18. Perletakan Pondasi Rakit.....	42
Gambar 3.19. Penurunan Pada Pondasi Rakit.....	43
Gambar 3.20. Hubungan Antara Lebar Pondasi Bujur Sangkar Dan Penurunan Pada Beban Persatuan Luas Yang Sama.....	44
Gambar 3.21. Distribusi Perpindahan Vertikal Lempung.....	45
Gambar 3.22. Koefisien Perpindahan Vertikal Janbu.....	49
Gambar 3.23. Penurunan Yang Disebabkan Oleh Konsolidasi Satu Dimensi.....	53
Gambar 3.24. Prosedur Menentukan Cc dan Cs.....	55
Gambar 3.25. Koreksi Penurunan Konsolidasi β	57
Gambar 4.1. Dimensi Dan Formasi Pondasi Rakit.....	64

Gambar 4.2. Susunan Tanah BH-1.....	66
Gambar 4.3. Bentuk dan Ukuran Pondasi.....	68
Gambar 4.4. Letak Resultan Gaya Terhadap Pusat.....	69
Gambar 4.5. Luasan Pondasi Dibagi Dalam Empat Bagian Yang Sama.....	72
Gambar 4.6. Susunan Tanah BH-2.....	78
Gambar 4.7. Bentuk dan Ukuran Pondasi (1).....	79
Gambar 4.8. Letak Resultan Gaya Terhadap Pusat.....	80
Gambar 4.9. Luasan Pondasi Dibagi Dalam Empat Bagian Yang Sama.....	83
Gambar 4.10. Susunan Tanah BH-3.....	89
Gambar 4.11. Bentuk dan Ukuran Pondasi (1).....	91
Gambar 4.12. Letak Resultan Gaya Terhadap Pusat.....	92
Gambar 4.13. Luasan Pondasi Dibagi Dalam Empat Bagian Yang Sama.....	95
Gambar 4.14. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (1) di Titik BH-1.....	167
Gambar 4.15. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (2) di Titik BH-1.....	167
Gambar 4.16. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (3) di Titik BH-1.....	168

Gambar 4.17. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (1) di Titik BH-2.....	168
Gambar 4.18. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (2) di Titik BH-2.....	169
Gambar 4.19. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (3) di Titik BH-2.....	169
Gambar 4.20. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (1) di Titik BH-3.....	170
Gambar 4.21. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (2) di Titik BH-3.....	170
Gambar 4.22. Grafik Besar Penurunan Segera Untuk Formasi Pondasi (3) di Titik BH-3.....	170
Gambar 4.23. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-1.....	172
Gambar 4.24. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-1.....	172
Gambar 4.25. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-1.....	173
Gambar 4.26. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-2.....	173

Gambar 4.27. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer	
Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-2.....	174
Gambar 4.28. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer	
Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-2.....	174
Gambar 4.29. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer	
Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-3.....	175
Gambar 4.30. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer	
Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-3.....	175
Gambar 4.31. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Primer	
Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-3.....	176
Gambar 4.32. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-1.....	177
Gambar 4.33. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-1.....	177
Gambar 4.34. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-1.....	178
Gambar 4.35. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-2.....	178
Gambar 4.36. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-2.....	179

Gambar 4.37. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-2.....	179
Gambar 4.38. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-3.....	180
Gambar 4.39. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-3.....	180
Gambar 4.40. Grafik Besar Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-3.....	181

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Klarifikasi Tanah Sistem Unified.....	14
Tabel 3.2. Jangkauan Nilai Modulus Tegangan Regangan Statik .	17
Tabel 3.3. Jangkauan Nilai Banding Poisson (μ).....	18
Tabel 3.4. Faktor Pengaruh Untuk Pondasi.....	47
Tabel 3.5. Hubungan Untuk Indeks Pemampatan.....	54
Tabel 3.6. Nilai Parameter A.....	58
Tabel 3.7. Nilai Parameter B.....	59
Tabel 3.8. Perkiraan Nilai α Untuk Koreksi Penurunan Konsolidasi.....	59
Tabel 3.9. Nilai Kooefisien Kompresibilitas Volume Untuk Beberapa Jenis Lempung.....	59
Tabel 4.1. Harga q_c dan Σ tiap lapisan berdasarkan nilai CPT-1..	67
Tabel 4.2. Hara q_n untuk beberapa D_f	71
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Timoshenko – Goodier Untuk Formulasi (1) Pada BH-1 dengan $D_f =$ 1,75m.....	73
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Metoda Janbu Untuk Formulasi pondasi (1) pada BH-1 dengan $D_f =$	

1,75m.....	75
Tabel 4.5. Hasil Penurunan Segera Total Untuk Formulasi Pondasi (1) Di Titik BH-1.....	76
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Tolak Untuk Formulasi Pondasi (2) Di Titik BH-1.....	76
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formulasi Pondasi 3 Di Titik BH-1.....	77
Tabel 4.8. Harga q_c dan Σ Tiap Lapisan Berdasarkan Data CPT-2.....	78
Tabel 4.9. Harga q_n Untuk Beberapa Nilai D_f	82
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Timoshenko- Goodier Untuk Formulasi (1) Pada BH-2 dengan $D_f =$ 1,5 m.....	85
Tabe 4.11. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Metode Janbu Untuk Formulasi Pondasi (1) Pada BH-2 dengan $D_f =$ 1,5 m.....	86
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-2.....	87
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-2.....	87

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-2.....	88
Tabel 4. 15. Harga qc dan Σ Tiap Lapisan Berdasarkan Data CPT – 4.....	90
Tabel 4. 16. Harga qn Untuk Beberapa Nilai Df.....	94
Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Timoshenko – Goodier Untuk Formasi (1) Pada BH-3 dengan Df = 1,75 m.....	97
Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Metode Janbu Total Untuk Formasi Pondasi (1) Pada BH-3 Dengan Df = 1,75 m.....	99
Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (1) Di Titik BH-3.....	99
Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (2) Di Titik BH-3.....	100
Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Total Untuk Formasi Pondasi (3) Di Titik BH-3.....	100
Tabel 4.22. Data Tanah BH-1.....	102
Tabel 4.23. Hasil Perhitungan PO1 & PΔI Tiap Lapisan Dengan Df=1,75 m Pada BH-1 Untuk Formasi (1).....	106

Tabel 4.24. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,75 m Pada BH-1.....	107
Tabel 4.25. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2 m Pada BH-1.....	108
Tabel 4.26. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2,24 m Pada BH-1.....	108
Tabel 4.27. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,75 m Pada BH-1.....	109
Tabel 4.28. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2 m Pada BH-1.....	109
Tabel 4.29. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2,24 m Pada BH-1.....	109
Tabel 4.30. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,75 m Pada BH-1.....	110

Tabel 4.31. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan $D_f = 2$ m Pada BH-1.....	110
Tabel 4.32. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan $D_f =$ 2,25 m Pada BH-1.....	110
Tabel 4.33. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan $D_f =$ 2,30 m Pada BH-1.....	111
Tabel 4.34. Data Tabnah BH-2.....	111
Tabel 4.35. Hasil Perhitungan PO_1 & $P_{\Delta I}$ Tiap Lapisan Dengan $D_f = 1,5$ m Pada BH-2 Untuk Formasi (1).....	116
Tabel 4.36. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan $D_f =$ 1,5m Pada BH-2.....	117
Tabel 4.37. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan $D_f =$ 1,75m Pada BH-2.....	118
Tabel 4.38. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan $D_f =$ 1,90m Pada BH-2.....	118

Tabel 4.39. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	119
Tabel 4.40. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2.....	119
Tabel 4.41. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,95m Pada BH-2.....	119
Tabel 4.42. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	120
Tabel 4.43. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	120
Tabel 4.44. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2.....	120
Tabel 4.45. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	121

Tabel 4.46. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,10m Pada BH-2.....	121
Tabel 4.47. Data Tanah BH-3.....	121
Tabel 4.48. Hasil Perhitungan PO1 & PΔI Tiap Lapisan Dengan Df=1,75 m Pada BH-3 Untuk Formasi (1).....	126
Tabel 4.50. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	128
Tabel 4.51. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3.....	128
Tabel 4.52. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	129
Tabel 4.53. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3.....	129
Tabel 4.54. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2,30m Pada BH-3.....	129

Tabel 4.55. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	130
Tabel 4.56. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3.....	130
Tabel 4.57. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,3m Pada BH-3.....	130
Tabel 4.58. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Terzaghi Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,45m Pada BH-3.....	131
Tabel 4.59. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,75m Pada BH-1.....	134
Tabel 4.60. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2m Pada BH-1.....	135
Tabel 4.61. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2,24m Pada BH-1.....	135

Tabel 4.62. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-1.....	135
Tabel 4.63. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-1.....	136
Tabel 4.64. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-1.....	136
Tabel 4.65. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	136
Tabel 4.66. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2,25m Pada BH-1.....	137
Tabel 4.67. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2,30m Pada BH-1.....	137
Tabel 4.68. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	139

Tabel 4.69. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-2.....	140
Tabel 4.70. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 1,90m Pada BH-2.....	140
Tabel 4.71. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	140
Tabel 4.72. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-2.....	141
Tabel 4.73. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 1,95m Pada BH-2.....	141
Tabel 4.74. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	141
Tabel 4.75. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	142

Tabel 4.76. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-2.....	142
Tabel 4.77. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	142
Tabel 4.78. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 1,75m Pada BH-3.....	145
Tabel 4.79. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	145
Tabel 4.80. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (1)	
Dengan Df = 2,23m Pada BH-3.....	145
Tabel 4.81. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	146
Tabel 4.82. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (2)	
Dengan Df = 2,25m Pada BH-3.....	146

Tabel 4.83. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	146
Tabel 4.84. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2,25m Pada BH-3.....	147
Tabel 4.85. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	
Metode Skempton – Bjerrum Untuk Formasi (3)	
Dengan Df = 2,30m Pada BH-3.....	147
Tabel 4.86. Harga Cu Tiap Lapisan Tanah.....	149
Tabel 4.87. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,75m Pada BH-1....	151
Tabel 4.88. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2m Pada BH-1.....	152
Tabel 4.89. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2,24m Pada BH-1....	152
Tabel 4.90. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,75m Pada BH-1....	152
Tabel 4.91. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2m Pada BH-1.....	153

Tabel 4.92. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,75m Pada BH-1....	153
Tabel 4.93. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2m Pada BH-1.....	153
Tabel 4.94. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,25m Pada BH-1....	153
Tabel 4.95. Harga Cu Untuk Tiap Lapisan Tanah.....	154
Tabel 4.96. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	157
Tabel 4.97. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2....	157
Tabel 4.98. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,5m Pada BH-2.....	157
Tabel 4.99. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2....	158
Tabel 4.100. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2...	158
Tabel 4.101. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	158
Tabel 4.102. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,5m Pada BH-2....	159

Tabel 4.103. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (3) Dengan Df = 1,75m Pada BH-2...	159
Tabel 4.104. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2m Pada BH-2.....	159
Tabel 4.105. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,10m Pada BH-2..	160
Tabel.4.106. Harga Cv Tiap Lapisan Tanah.....	160
Tabel 4.107. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (1) Dengan Df = 1,75m Pada BH-3...	163
Tabel 4.108. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	164
Tabel 4.109. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (1) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3...	164
Tabel 4.110. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	164
Tabel 4.111. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3...	164
Tabel 4.112. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (2) Dengan Df = 2,3m Pada BH-3....	165
Tabel 4.113. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2m Pada BH-3.....	165

Tabel 4.114. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,25m Pada BH-3...	165
Tabel 4.115. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,30m Pada BH-3..	165
Tabel 4.116. Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder	
Untuk Formasi (3) Dengan Df = 2,45m Pada BH-3...	165

DAFTAR NOTASI

A_1	Koefisien tekanan air pori oleh Skemton – Bjerrum
A	Luas alas pondasi rakit (m^2)
B	Lebar alas pondasi rakit (m)
$BH_{1,2,3}$	Titik pengeboran tanah pada lokasi 1, 2, 3
C_c	Koefisien pemampatan konsolidasi primer
C_s	Koefisien pemuai konsolidasi primer
C_α	Koefisien konsolidasi sekunder
C_v	Koefisien konsolidasi ($cm^2/menit$)
$CPT_{1,2,3}$	Titik penyondiran pada lokasi 1,2,3
D_f	Kedalaman dasar pondasi (m)
E	Modulus elastisitas tanah (kg/cm^2)
E_c	Modulus elastisitas tanah berdasar nilai CPT (kg/cm^2)
e	Angka pori tanah
e_0	Angka pori awal
e_p	Angka pori akhir konsolidasi
Δe	Perubahan angka pori
G_s	Berat jenis tanah
H	Tebal lapisan tanah (m)
H_s	Tinggi butiran tanah (cm)
H_l	Sepanjang lintasan drainasi air contoh tanah pada uji konsolidasi di laboratorium (cm)
H_v	Tinggi ruang pori tanah
I_2	Faktor panjang penurunan pondasi menurut Bousinesq
I_w	Faktor pengaruh bentuk pondasi pada penurunan segera
I_x	Momen Inersia searah sumbu X (m^4)

I_y	Momen Inersia searah sumbu Y (m_4)
LL	Batas cair tanah
L	Panjang alas pondasi (m)
m	Perbandingan antara lebar terhadap kedalaman titik tinjauan dalam lapisan tanah
mv	Koefisien perubahan volume (cm^2/kg)
OCR	Perbandingan antara tekanna pra konsolidasi dengan tekanan efektif overbuden tanah dilapangan
P	Beban vertikal kolom yang bekerja diatas pondasi rakit (kg)
P'_c	Tekanan prakonsolidasi di laboratorium (kg/cm^2)
P_o	Tekanan efektif awal akibat berat tanah diatasnya (kg/cm^2)
Δp	Tambahan tekanan vertikal pada titik tengah lapisan tanah lempung
q_o	Tekanan pada dasr pondasi akibat tanah yang dipindahkan (kg/cm^2)
q_d	Tekanan pada dasar pondasi yang merupakan jumlah q_v dan q_p (kg/cm^2)
q_p	Tekanan pada dasar pondasi akibat beban merata plat (kg/cm^2)
q_v	Tekanan pada dasr pondasi akibat beban vertikal pada kolom (kg/cm^2)
q_n	Tekanan netto/bersih pada dasar pondasi yang merupakan selisih antara q_d dan q_o (kg/cm^2)
S_i	Penurunan segera tiap lapisan tanah (cm)
$S_i \text{ tot}$	Jumlah penurunan konsolidasi dari tiap-tiap lapisan tanah (cm)
T_v	Faktor waktu konsolidasi
$t_1 = t_{90}$	Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi 90% (tahun)
t_2	Waktu setelah konsolidasi primer berhenti (tahun)
V	Volume total tanah (cm^3)
V_o	Volume awal total tanah (cm^3)
V_v	Volume pori tanah (cm^3)
V_s	Volume butiran tanah (cm^3)
V_1	Volume akhir contoh tanah (cm^3)
V_{vo}	Volume awal pori (cm^3)
V_{vl}	Volume akhir pori (cm^3)

ΔV_v	Perubahan volume pori (cm^3)
W	Berat total tanah (kg)
W_s	Berat butiran tanah (kg)
W_w	Berat air (kg)
w	Kadar air tanah (%)
X	Sumbu horisontal
\bar{X}	Jarak momen statis searah sumbu X (m)
Y	Sumbu vertikal
\bar{Y}	Jarak momen statis searah sumbu Y (m)
Z	Kedalaman titik tinjau pada lapisan tanah dibawah dasar pondasi (m)
α	Koreksi penurunan konsolidasi dari Skempton Bjerrum yang dipengaruhi bentuk pondasi dan koefisien tekanan air (A_1)
β	Koreksi terhadap penurunan berdasarkan uji konsolidasi di laboratorium dari Skempton Bjerrum
γ	Berat volume tanah (t/m^3)
γ'	Berat volume tanah terendam air (t/m^3)
γ_d	Berat volume kering tanah (t/m^3)
γ_s	Berat volume basah tanah (t/m^3)
γ_{sat}	Berat volume jenuh (t/m^3)
γ_w	Berat volume air (t/m^3)
μ	Angka poisson (perbandingan antara ϵ_3 / ϵ_1)
σ_1	Tegangan vertikal /aksial (kg/cm^2)
σ_3	Tegangan horisontal/lateral (kg/cm^2)
ϵ_1	Regangan vertikal/aksial
ϵ_3	Regangan horisontal/lateral

ABSTRAKSI

Pondasi dapat didefinisikan sebagai struktur bawah yang berfungsi untuk meneruskan berat bangunan struktur atas ke tanah pendukung dimana bangunan tersebut didirikan. Pada umumnya tanah pendukung mempunyai struktur lapisan yang berbeda-beda. Dalam ilmu pondasi, adanya kriteria tanah yang sesuai dengan kemampuan dalam menerima beban di atasnya disebut tanah baik. Tanah ini mempunyai daya dukung tinggi dan sebagai akibatnya penurunan yang terjadi adalah kecil. Jenis tanah ini umumnya merupakan jenis tanah pampat dan bersifat keras. Sedangkan tanah yang tidak mencukupi kemampuannya dalam menerima dan meneruskan beban di atasnya disebut sebagai tanah lunak atau tanah jelek. Salah satu alternatif dalam pemilihan pondasi jika dihadapkan pada permasalahan tanah lempung atau tanah lunak adalah digunakannya jenis pondasi dangkal yaitu pondasi rakit. Permasalahan utama yang timbul adalah mengenai daya dukung dan penurunan ("settlement").

Besar penurunan konsolidasi total lebih besar dibandingkan dengan penurunan segera. Hal ini diakibatkan oleh sifat tanah yang berupa tanah lempung berplastisitas cukup tinggi yang sukar pampat. Sehingga proses konsolidasi yang merupakan proses keluarnya air dari tanah akibat pembebanan berlangsung cukup lama. Sedangkan pada penurunan segera terjadi sesaat setelah pembebanan, sehingga besar penurunannya relatif kecil. Pada intensitas beban dan bentuk plat pondasi yang sama besar, penurunan bertambah bila lebar pondasi bertambah. Sebaliknya bila kedalaman dasar pondasi dari muka tanah bertambah besar, maka besar penurunan akan berkurang.

Pondasi rakit dapat digunakan sebagai alternatif untuk pondasi bangunan tempat tinggal sederhana atau bangunan infrastuktur dengan beban terbatas. Pondasi ini juga dapat digunakan untuk mengantisipasi bahaya penurunan struktur di atas tanah lunak dengan melakukan kontrol metoda apung yaitu membuat sama besar tekanan akibat beban yang terjadi dengan besar tekanan akibat tanah yang dipindahkan. Untuk besar pembebanan yang lebih besar, maka penggunaan pondasi rakit tidak ekonomis lagi. Sehingga disarankan untuk menggunakan pondasi dalam (tiang pancang, bor pile dll).

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konstruksi atau struktur bangunan terdiri dari dua bagian yaitu struktur bangunan yang terletak di atas muka tanah ("super structure") dan struktur bangunan yang terletak di bawah muka tanah ("sub structure"). Pondasi dapat didefinisikan sebagai struktur bawah yang berfungsi untuk meneruskan berat bangunan struktur atas ke tanah pendukung dimana bangunan tersebut didirikan.

Pada umumnya tanah pendukung mempunyai struktur lapisan yang berbeda - beda tergantung dari lokasi dimana bangunan didirikan. Perbedaan dapat berarah vertikal yang merupakan lapisan - lapisan tanah dari hasil sedimentasi maupun horisontal yang berupa patahan - patahan. Dalam ilmu pondasi, adanya kriteria tanah yang sesuai dengan kemampuan dalam menerima beban di atasnya disebut sebagai tanah baik. Tanah ini mempunyai kuat dukung tinggi dan sebagai akibatnya penurunan yang terjadi adalah kecil. Jenis tanah ini, umumnya merupakan jenis tidak

pampat dan bersifat keras. Sedangkan tanah yang tidak mencukupi kemampuannya dalam menerima dan meneruskan beban di atasnya disebut sebagai tanah lunak atau tanah jelek. Jenis tanah ini merupakan jenis tanah yang sangat pampat ("kompresibel"), mempunyai kuat dukung rendah dan kadangkala masih mengalami proses pelapukan serta penurunan yang cukup besar. Umumnya tanah tersebut berupa tanah organik (humus/gambut) atau tanah lempung.

Indonesia mempunyai tingkat pertumbuhan penduduk yang cukup besar terutama di daerah – daerah perkotaan. Oleh karena itu pada masa yang akan datang diperlukan bangunan – bangunan tempat tinggal dan fasilitas permukiman lainnya terutama di kota besar, sedangkan lahan yang tersedia sangat terbatas. Dengan kondisi alam Indonesia dimana pada daerah – daerah tertentu banyak dijumpai tanah lunak, maka tidak ada alternatif lain bangunan harus didirikan di atas tanah lunak.

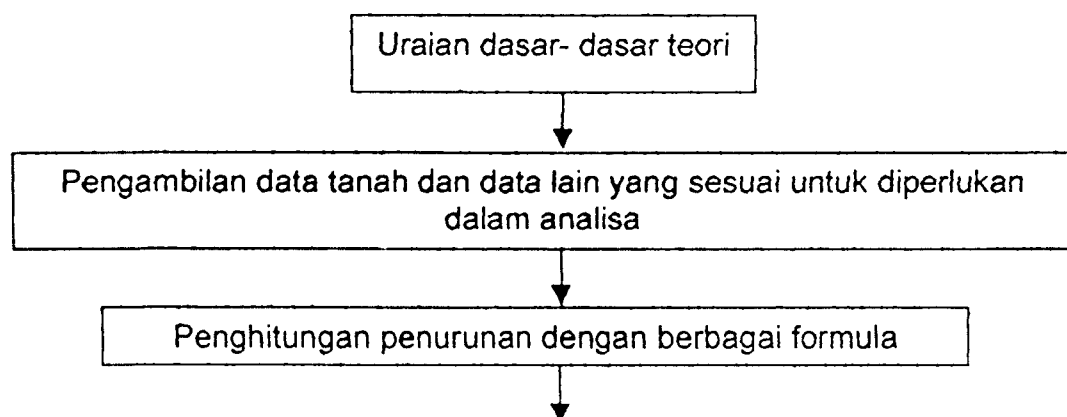
Salah satu alternatif dalam pemilihan pondasi jika dihadapkan pada permasalahan tanah lempung / lunak adalah digunakannya jenis pondasi dangkal yaitu pondasi rakit. Permasalahan utama yang timbul adalah mengenai daya dukung dan penurunan ("settlement"). Dalam studi literatur penyusunan tugas akhir ini kami sebagai penyusun mencoba untuk menganalisa masalah penurunan pondasi rakit diatas tanah lunak dengan pembebanan statis.

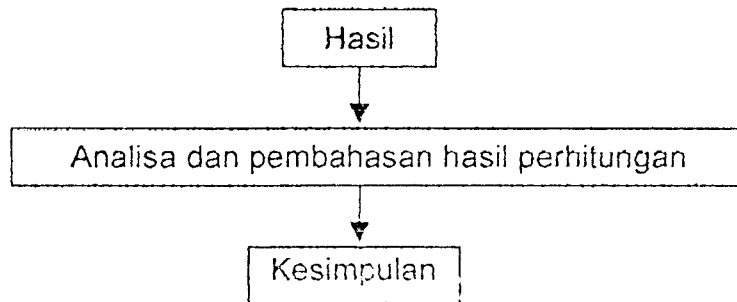
1.2. Maksud dan Tujuan

Adapun maksud serta tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari lebih dalam lagi sifat - sifat penurunan pada pondasi rakit yang terjadi di atas tanah lunak. Sehingga akan diperoleh pengetahuan yang cukup yang pada akhirnya kita dapat memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi berdasarkan data dari lapangan dengan menggunakan beberapa formula. Kemudian menganalisa untuk mendapatkan perbandingan dari formula tersebut.

1.3. Metode Penyelesaian

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penyusun menggunakan konsep studi literatur. Dimana kajian ilmiah didasarkan pada teori serta formula yang ada. Pengembangan dari konsep tersebut, penyusun membuat beberapa tahap penyelesaian yang dituangkan dalam bagan berikut ini :





Gambar 1.1 Bagan tahapan penyelesaian tugas akhir

Diharapkan dengan metode ini susunan tugas akhir ini dapat terbentuk secara sistematis sehingga mudah untuk dipahami.

I.4. Batasan Masalah

Penurunan yang terjadi pada pondasi rakit di atas tanah lunak sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, jenis tanah dan mekanisme yang terjadi, sehingga kami memberikan batasan – batasan. Adapun batasan yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Penurunan yang dianalisa adalah jenis penurunan segera, penurunan konsolidasi primer dalam satu dimensi dan penurunan konsolidasi sekunder.
2. Untuk analisa penurunan segera dipakai teori Thimoshenko - Goodier dan Janbu. Sedangkan untuk analisa penurunan konsolidasi primer dipakai teori Terzaghi dan Skempton - Bjerrum.

Secara umum, penurunan yang terjadi dikelompokkan dalam dua kategori besar. Yaitu penurunan segera ("immediate settlement") dan penurunan konsolidasi ("consolidation settlement"). Penurunan segera terjadi akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air, menurut Braja M. Das (1988). Jenis – jenis tanah dimana penurunan ini umum terjadi adalah ; pasir, kerikil berpasir, pasir berlanau dan tanah berbutir halus. Untuk tanah berbutir halus umumnya mengandung derajat kejenuhan kurang dari 90 %, sedangkan untuk jenis tanah berbutir kasar mempunyai permeabilitas yang besar, menurut J.E. Bowles (1986). Semua tanah non kohesif juga termasuk jenis tanah yang mengalami penurunan segera. Sifat dari penurunan segera ini terjadi secara cepat dan berlangsung dengan segera setelah gaya – gaya luar bekerja. Kira – kira sesudah 0 sampai 7 hari usia beban kerja, menurut J.E. Bowles (1986).

Jenis penurunan lain yang terjadi adalah penurunan konsolidasi ("consolidation settlement"). Penurunan ini merupakan jenis penurunan yang tergantung pada waktu . Terjadi pada tanah berbutir halus jenuh atau jenuh sebagian dan mempunyai koefisien permeabilitas relatif rendah, menurut Terzaghi & Peck. Penurunan tersebut disebabkan oleh proses konsolidasi, yaitu berkurangnya volume tanah atau rongga pori oleh pembebanan yang terjadi. Prosesnya berlangsung lama, karena berhubungan langsung dengan proses keluarnya air dari pori – pori tanah yang dipengaruhi oleh kecepatan

keluarnya air pori, besarnya pembebanan dan permeabilitas tanah , menurut Braja M. Das (1988).

3. Tinjauan penurunan hanya pada pondasi rakit dengan spesifikasi yang ditentukan sebagai berikut :
 - a. Pondasi rakit jenis plat rata dengan ketebalan 35 cm.
 - b. Kedalaman bervariasi yaitu antara 1,5 m sampai dengan 2,5 m dari muka tanah.
 - c. Beban yang dipikul oleh kolom sebesar $P = 4500$ kg, sudah termasuk berat kuda – kuda, berat dinding, berat sloof dan berat struktur kolom itu sendiri.
 - d. Struktur dianggap stabil tanpa memperhitungkan besarnya daya dukung tanah.
 - e. Jarak as - as kolom 3 m dan jarak as kolom ke tepi pondasi adalah 75 cm.
 - f. Lebar dan panjang plat merupakan acuan dari hasil perhitungan yang didapat dari tugas akhir mahasiswa jurusan teknik sipil FTSP UII (Dody Irawan dan Mulyati Tanda, 1997)
 - g. Hubungan antara kolom dengan pondasi adalah terjepit sempurna.
 - h. Gaya horisontal tidak diperhitungkan.
4. Hitungan penurunan didasarkan pada data hasil pengujian di lapangan dan laboratorium. Data di ambil dari proyek "Holding Pond Dams & Administration Building Musi Pulp Mill " Prabumulih, Palembang Utara - Sumatera Selatan.

5. Analisa hanya ditekankan pada masalah penurunan / "se tanah lunak lempung.

1.5. Hipotesa

Besarnya penurunan konsolidasi total lebih besar dibandingkan dengan penurunan segera. Ini diakibatkan sifat tanah di daerah Prabumulih, Palembang Utara berupa tanah lempung berplastisitas cukup tinggi yang sukar pampat. Sehingga proses konsolidasi yang merupakan proses keluarnya air dari pori tanah akibat pembebanan berlangsung lama. Sedangkan pada penurunan segera terjadi sesaat setelah pembebanan sehingga besar penurunan lebih kecil.

Besarnya intensitas beban yang bekerja pada pondasi rakit akan berpengaruh terhadap besar penurunannya. Dan bila kedalaman dasar pondasi dari muka tanah bertambah maka besar penurunan akan berkurang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Setiap bangunan yang didirikan di atas suatu lapisan tanah akan selalu terjadi penurunan baik besar maupun kecil. Penurunan menunjukkan gerakan titik – titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap, menurut Hardiyatmo C.H.(1996).

Semua tanah yang mengalami tegangan akan mendapat regangan di dalam kerangka tanah tersebut. Regangan ini disebabkan oleh gulingan, geseran atau menggelincir dan terkadang juga kehancuran partikel – partikel tanah pada titik – titik kontak serta distorsi elastis. Akumulasi statistik dari deformasi pada arah yang ditinjau adalah merupakan suatu regangan. Integrasi dari regangan (deformasi per satuan panjang) sepanjang kedalaman yang mengalami tegangan disebut "penurunan", menurut J.E.Bowles (1986).

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya akan mengalami pemampatan / "penurunan". Penurunan tersebut diakibatkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan sebab – sebab lain, menurut Braja M. Das (1988).

BAB III

LANDASAN TEORI

III.1. Tanah

III.1.1. Pengertian

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan - endapan yang relatif lepas ("loose"), yang terletak di atas batuan dasar ("bedrock") (Hardiyatmo, C.H., Mekanika Tanah I, 992). Proses pembentukan tanah dari batuan dapat terjadi secara fisik maupun kimia. Proses fisik dapat disebabkan oleh pemuaian dan penyusutan batuan akibat perubahan panas dan dingin yang terjadi secara terus menerus yang akhirnya dapat menyebabkan hancurnya batuan. Tanah yang terjadi akibat penghancuran tersebut tetap mempunyai komposisi yang sama dengan batuan asalnya tanpa terjadi perubahan dalam komposisi kimia dari mineral batuan tersebut. Tanah ini mempunyai ukuran partikel yang hampir sama rata dan dideskripsikan berbentuk utuh ("bulky"), yaitu berbentuk sudut atau bulai.

Pada proses pembentukan tanah secara kimia, mineral batuan diubah menjadi mineral - mineral baru melalui berbagai macam reaksi kimia. Reaksi tersebut umumnya terjadi akibat adanya pengaruh oksigen, karbondioksida

dan air yang mengandung asam atau alkali. Tanah jenis ini mengalami perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Proses ini akan menghasilkan pembentukan kelompok - kelompok partikel kristal berukuran koloid (< 0.002 mm) yang dikenal sebagai mineral lempung ("clay mineral"). Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbedaan antara luas permukaan dengan massa) yang tinggi. Akibatnya sifat - sifat partikel ini sangat dipengaruhi oleh gaya - gaya permukaan.

Hasil -hasil dari pelapukan baik secara fisik maupun kimia dapat tetap tinggal ditempat asalnya atau terbawa ke tempat lain oleh unsur - unsur pembawa seperti es, air, angin dan gravitasi. Tanah yang terjadi akibat hasil dari proses pelapukan yang masih berada di tempat asalnya disebut sebagai tanah residual ("residual soil"). Sedangkan tanah yang telah berpindah disebut sebagai tanah terangkut ("transported soil").

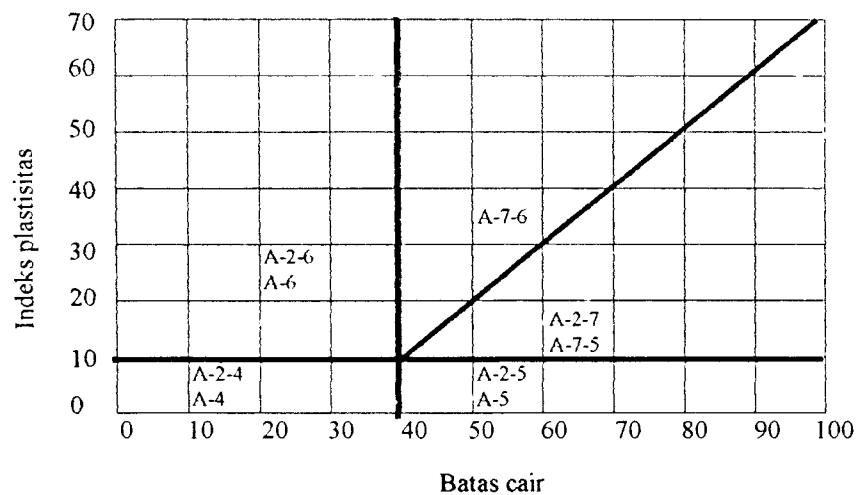
III.1.2. Klasifikasi tanah

Sistem klasifikasi adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda - beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok - kelompok dan sub kelompok - sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Braja M.,Das, Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip rekayasa geoteknis) jilid I 1988). Umumnya sistem klasifikasi tanah yang ada

didasarkan pada sifat - sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran yang diperoleh dari analisa saringan dan percobaan sedimentasi serta sifat plastisitasnya. Sistem klasifikasi tanah yang umum dipakai adalah Sistem Klasifikasi AASHTO dan UNIFIED.

1. Sistem klasifikasi AASHTO

Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok besar, yaitu A-1 --- A-7. Klasifikasi A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Sedangkan klasifikasi A-4, A-5, A-6, dan A-7 adalah tanah berbutir dimana lebih dari 35 % butirannya lolos ayakan no. 200.



Gambar 3.1 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah (sumber Braja M Das)

2. Sistem klasifikasi Unified

Dibuat oleh Cassagrande tahun 1942. Sistem ini mengelompokkan tanah dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (coarse - grained - soil)

Yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol kelompok ini diawali huruf G atau S. G adalah kerikil (gravel) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (sand) atau tanah berpasir.

2. Tanah berbutir halus (fine - grained - soil)

Yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dimulai dengan huruf M untuk lanau (silt) anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT untuk tanah gambut (peat), muck, dan tanah - tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Simbol - simbol lain yang digunakan adalah :

W = Well graded (tanah dengan gradasi baik)

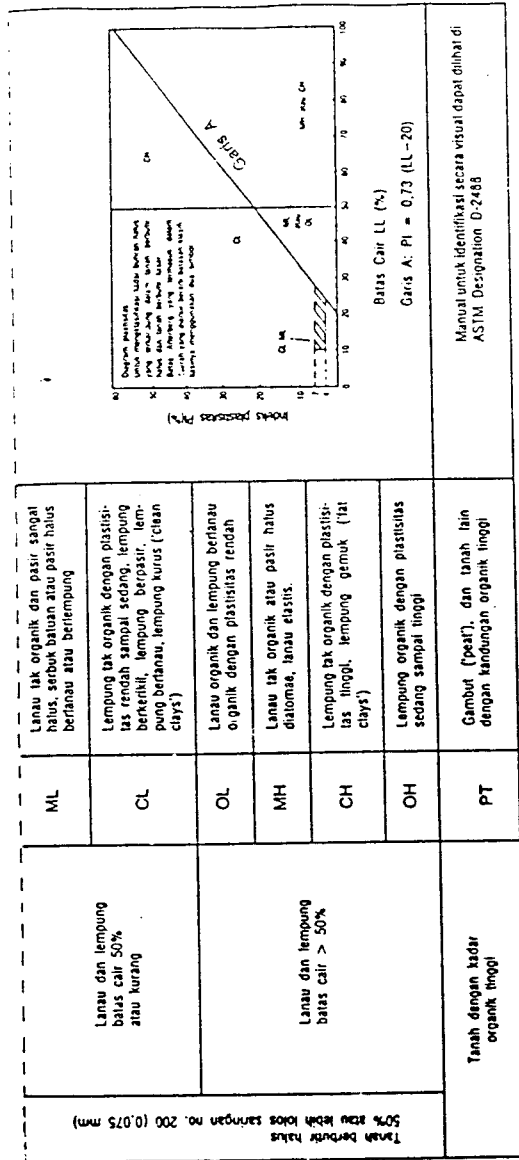
P = Poorly graded (tanah dengan gradasi buruk)

L = Low plasticity (plastisitas rendah) → $LL < 50$

H = High plasticity (plastisitas tinggi) → $LL > 50$

Tabel 3. 1. Klasifikasi Tanah Sistim Unified (Sumber C.H. Hardyanto, T. Pondasi I)

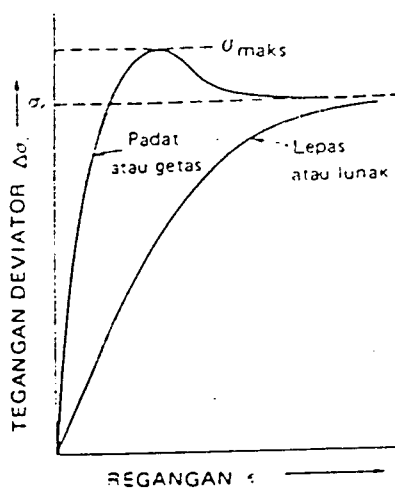
Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar 50% butir terahan saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		GP	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
Pasir lebih dari 50% terahan kasar saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4
		GC	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7
Pasir lebih dari 50% terahan kasar saringan no. 4 (4.75 mm)	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		SP	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
Tanah berbutir halus 50% butir terahan saringan no. 200 (0.075 mm)	Pasir banyak kandungan butiran halus	SM	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4
		SC	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7



III.1.3. Sifat - sifat elastis dari tanah

Sifat - sifat elastik utama yang banyak diperhatikan adalah modulus tegangan regangan, ("modulus elastisitas") dan angka Poisson. Modulus tegangan regangan atau modulus elastisitas (E_s) dan angka pori (μ) digunakan dalam perhitungan penurunan pondasi ("settlement foundation").

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dengan regangan yang didasarkan pada grafik tegangan regangan hasil percobaan tekan bebas ("Unconfined Compression Test") dan percobaan triaksial. Hasil dari percobaan tersebut dituangkan dalam bentuk grafik berikut :



Gambar 3.2 Grafik tegangan regangan untuk semua jenis tanah (J.E. Bowles)

Umumnya, modulus elastis tanah bertambah bila kedalamannya bertambah karena modulus elastis sangat sensitif terhadap tekanan keliling ("confining pressure").

Modulus elastisitas (E_s) juga dapat dihitung dari hasil percobaan beban plat ("plate load test") dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$E_s = E_p (B/B_p) [(B + B_p) / 2B] \quad (3.1)$$

Dimana ;

E_p = Modulus elastisitas dari hasil percobaan beban plat dengan lebar B_p ,
(Kg / cm^2)

E_s = Modulus elastisitas yang digunakan untuk pondasi dengan lebar B , (Kg / cm^2)

Beberapa rumus empiris berikut ini dapat digunakan untuk menaksir harga E_s untuk tanah kohesif :

Dengan S_u = Kekuatan geser tanah (Kg / cm^2)

Secara umum jangkauan nilai E_s untuk beberapa jenis tanah ditunjukkan dalam tabel berikut :

Lempung lunak : $E_s \cong 100$ sampai $750 S_u$ (3.2)

Lempung kaku : $E_s \cong 750$ sampai $1500 S_u$ (3.3)

Menurut data sondir : $E_s \cong 6$ sampai $8 q_c$ (3.4)

Dengan,

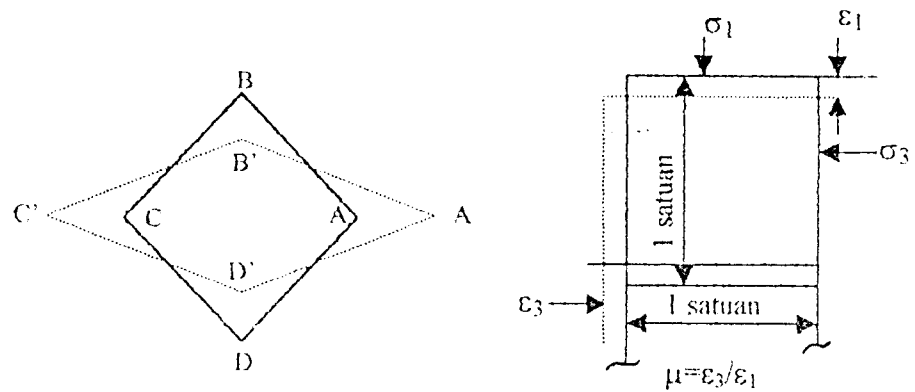
S_u = Kekuatan geser tanah (Kg / cm^2)

q_c = Tahanan ujung Dutch Cone (sondir)

Tabel 3.2 Jangkauan nilai modulus tegangan regangan statik E_s (Sumber J.E. Bowles, 1986)

Tanah	E_s (kg/cm^2)
Lempung	
Sangat lunak	3 - 30
Lunak	20 - 40
Sedang	45 - 90
Keras	70 - 200
Berpasi	300 - 425
Pasir	
Berlanau	50 - 200
Lepas	100 - 250
Padat	500 - 1000
Pasir dan kerikil	
Padat	800 - 2000
Tidak padat	500 - 1400
Lanau	20 - 200
Loess	150 - 600
Serpih	1400 - 14000

Nilai banding poisson (μ) didefinisikan sebagai perbandingan lateral ϵ_3 dengan regangan longitudinal ϵ_1 bila tegangan yang bekerja adalah Uniaksial (satu sumbu), seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Angka poisson (μ) (Sumber J.E. Bowless, 1986)

Jangkauan angka poisson diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.3 Jangkauan nilai banding poisson (μ) (Sumber J.E. Bowles, 1986)

Jenis tanah	μ
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir (padat)	0,2 - 0,4
Kasar (angka pori = 0,4 - 0,7)	0,15
Berbutir halus (angka pori = 0,4 - 0,7)	0,25
Batuan	0,1 - 0,4
Tanah lus	0,2 - 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

III.1.4. Analisa tegangan tanah menurut M. Boissinesq

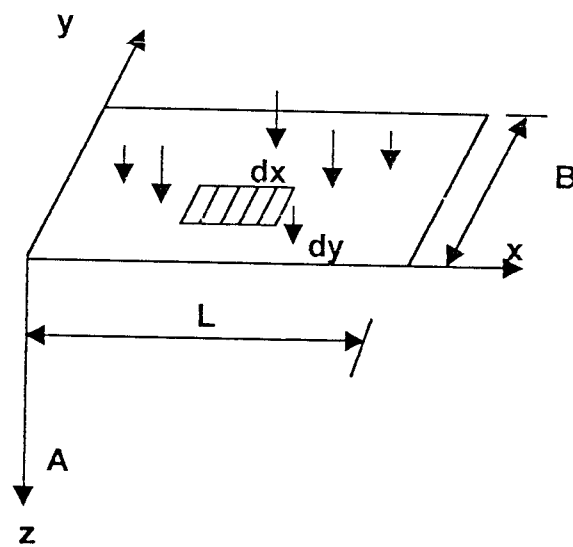
Pada tanah yang harus mendukung pondasi dengan berbagai macam bentuk umumnya terjadi kenaikan tegangan. Kenaikan tegangan pada tanah tersebut tergantung pada beban per satuan luas dimana pondasi berada, kedalaman tanah di bawah pondasi dimana tegangan tersebut ditinjau dan faktor - faktor lainnya. Besarnya kenaikan tegangan vertikal yang terjadi pada tanah akibat beban pondasi perlu sekali dihitung agar besarnya penurunan tanah yang akan terjadi dapat diperkirakan.

Analisa elastis sederhana dari pembagian tegangan mengasumsikan bahwa tanah merupakan bahan yang homogen, elastis dan isotropis. Walaupun sebenarnya kondisi dilapangan tidaklah sedemikian. Namun perhitungan berdasarkan asumsi tersebut umumnya memberi hasil yang cukup baik untuk maksud-maksud praktis dilapangan.

Dalam analisisnya, Boussinesq (1883) telah memecahkan masalah yang berhubungan dengan penentuan tegangan - tegangan pada sembarang titik pada sebuah medium yang homogen, isotropis, dan elastis dimana medium tersebut adalah berupa ruang yang luas tak terhingga dan pada permukaannya bekerja sebuah beban terpusat. Meskipun sebuah beban terpusat tidak mungkin bekerja pada suatu pondasi, namun teori pembagian tekanan di bawah suatu beban terpusat adalah dasar untuk pengembangan cara - cara yang berhubungan dengan beban terbagi dengan cara

pengintegralan . Pengintegralan tersebut di luar cakupan tugas akhir ini karena akan melibatkan persamaan - persamaan matematika yang rumit dan memerlukan waktu serta tempat tersendiri dalam penjelasannya.

Dalam uraian berikut penyusun meninjau beban berbentuk empat persegi panjang . Hal ini dikarenakan tinjauan pondasi rakit yang dianalisa berupa plat rata . Untuk menghitung penambahan tegangan vertikal di bawah beban lentur berbentuk empat persegi panjang , Boussinesq mengilustrasikan dalam bentuk gambar sebagai berikut :



Gambar 3.4 Tegangan vertikal di bawah luasan lentur yang menerima beban merata (sumber Braja M. Das)

Beban merata pada luasan tersebut persatuan luas adalah q . Untuk menaikkan tegangan vertikal (Δp) pada titik A yang terletak pada kedalaman Z di bawah salah satu titik sudut dari luasan segi empat tersebut, maka harus ditinjau suatu elemen luasan kecil yaitu dx , dy dari segi empat tersebut sebagaimana terlihat dalam gambar. Beban pada elemen luasan ini adalah :

$$dq = q \, dx \, dy \quad (3.5)$$

kenaikan tegangan (dp) pada titik A akibat beban dq dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$dp = \frac{3q \, dx \, dy \, z^3}{2\pi (x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (3.6)$$

kenaikan tegangan Δp pada titik A yang disebabkan oleh seluruh beban pada luasan segi empat tersebut dapat diperoleh dengan cara pengintegralan persamaan diatas :

$$\Delta p = \int dp = \int_{y=0}^B \int_{x=0}^L \frac{3q Z^3 (dx \, dy)}{2\pi (X^2 + Y^2 + Z^2)^{5/2}} = q I_2 \quad (3.7)$$

Dimana :

$$I_2 = \frac{1}{4\pi} \left\{ \frac{2mn \sqrt{(m^2 + n^2 + 1)}}{m^2 + n^2 + m^2 n^2 + 1} \left[\frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{2mn \sqrt{(m^2 + n^2 + 1)}}{m^2 + n^2 - m^2 n^2 + 1} \right] \right\}$$

(3.8)

$$m = \frac{B}{Z} \quad (3.9)$$

$$n = \frac{L}{Z} \quad (3.10)$$

Keterangan :

Δp = Penambahan tegangan vertikal , (kg/cm²)

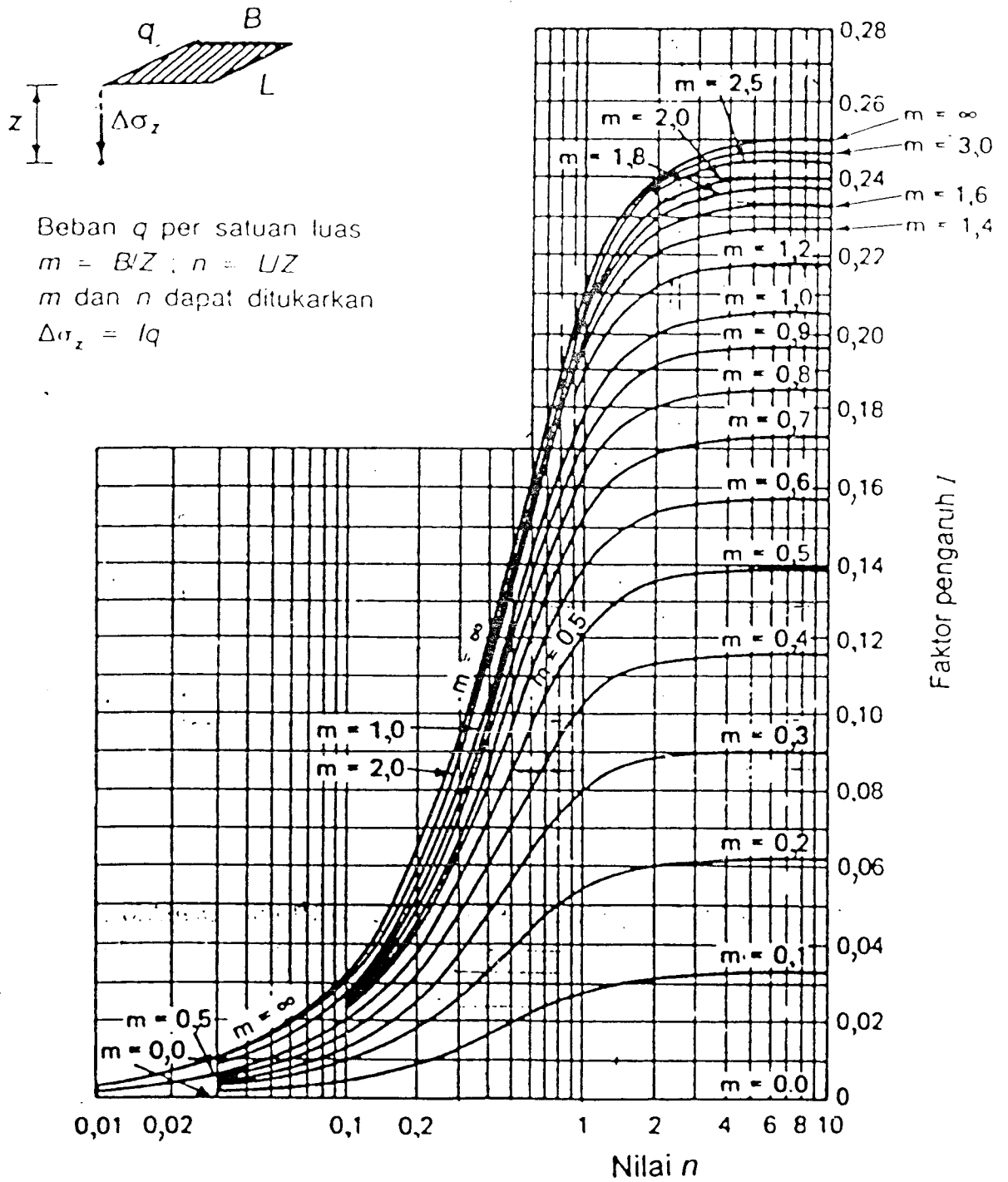
q = Beban merata yang bekerja pada suatu luasan , (kg/cm²)

m = Ratio perbandingan antara lebar luasan beban terhadap kedalaman titik tinjauan

n = Ratio perbandingan antara panjang luasan beban terhadap kedalaman titik tinjauan

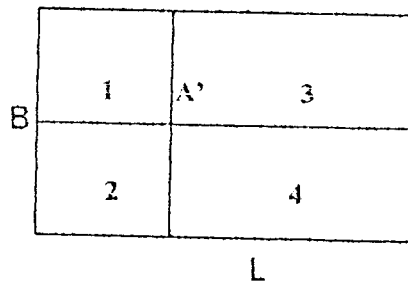
I_2 = Faktor pengaruh terhadap harga m dan n

Variasi harga I_2 terhadap m dan n dapat dilihat pada gambar berikut (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Variasi harga I_2 terhadap nilai m dan n (Sumber Braja M Das)

Sebagai tambahan penjelasan, berikut diberikan suatu gambar yang menunjukkan ada kenaikan tegangan vertikal di bawah suatu luasan beban :



Gambar 3.6 Kenaikan tegangan pada segala titik di bawah luasan lentur persegi panjang dengan beban merata (Sumber Braja M.Das)

Kita mencoba menentukan tegangan pada sebuah titik di bawah titik A, yang mempunyai kedalaman Z. Luasan beban tersebut dapat dibagi menjadi empat buah segi empat. Kenaikan tegangan pada kedalaman Z di bawah titik A, akibat beban segi empat dapat dicari dengan persamaan di atas. Sehingga kenaikan tegangan vertikal total akibat seluruh beban pada luasan tersebut adalah :

$$\Delta p = q [I_{2(1)} + I_{2(2)} + I_{2(3)} + I_{2(4)}] \quad (3.11)$$

Dimana $I_{2(1)}$, $I_{2(2)}$, $I_{2(3)}$, $I_{2(4)}$ merupakan harga - harga I_2 untuk masing - masing empat persegi panjang 1, 2, 3 dan 4.

III.2. Pondasi

Struktur bangunan pondasi umumnya berfungsi untuk menempatkan bangunan di atas tanah dan meneruskan gaya - gaya yang bekerja ke tanah.

Secara umum pondasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

III.2.1. Pondasi dangkal

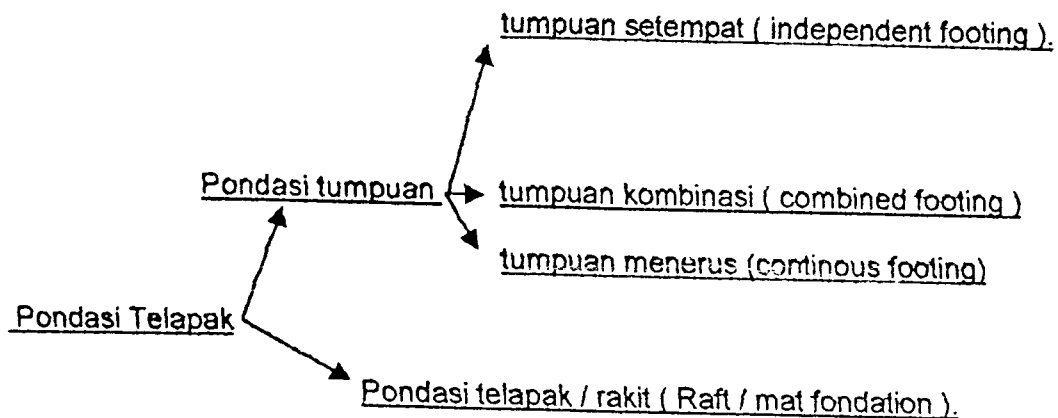
Suatu jenis pondasi yang mendukung bangunan secara langsung, bilamana terdapat suatu lapisan tanah yang cukup kuat dan tebal dengan kualitas yang baik dan mampu mendukung bangunan pada permukaan tanah atau sedikit di bawah permukaan tanah (Kazuto).

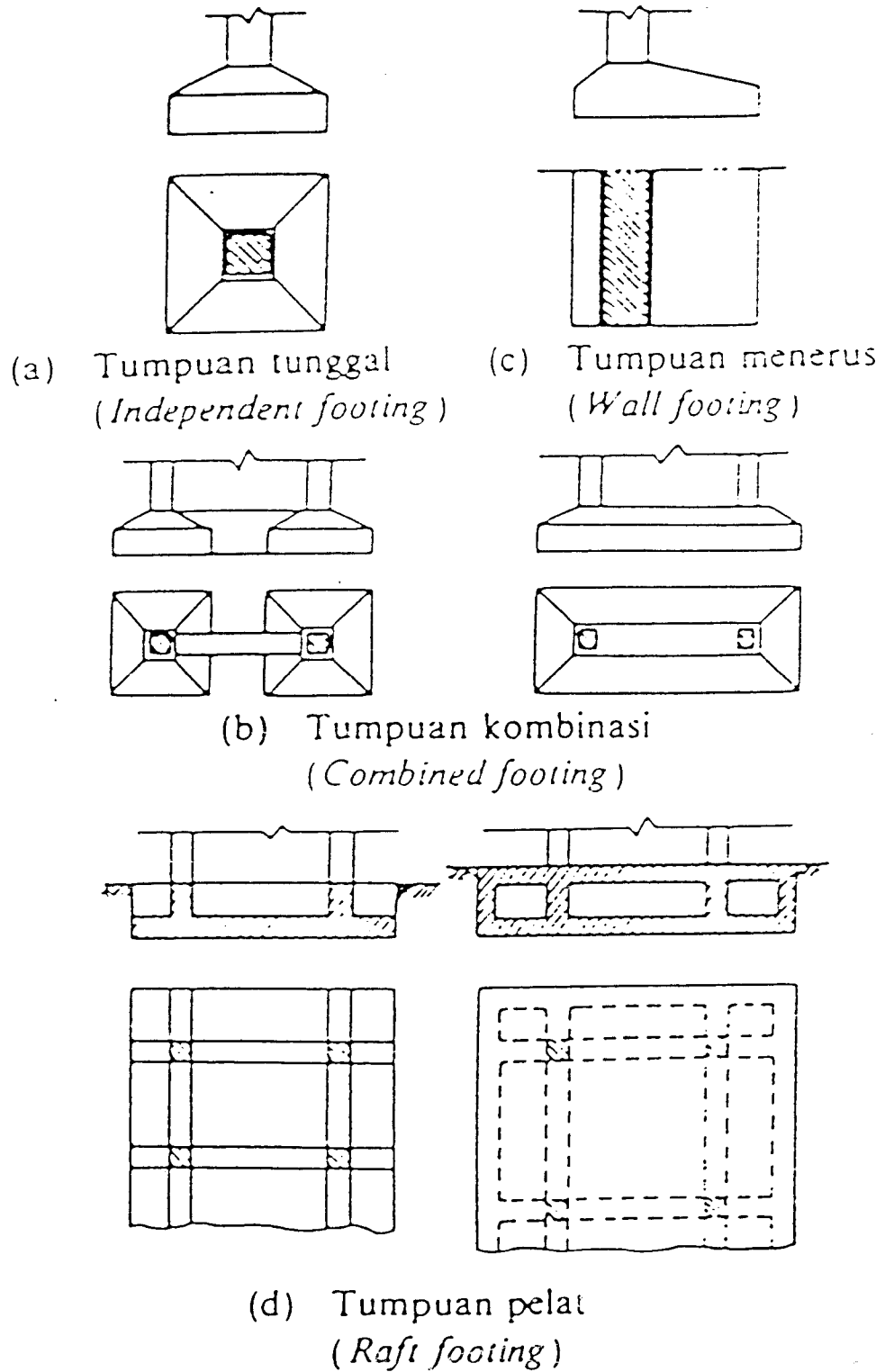
Biasanya digunakan persyaratan : $Df/B < 4$

Dengan Df = kedalaman dasar pondasi (0,8 - 2 m).

B = lebar tersempit dasar pondasi.

Pondasi ini biasa disebut sebagai pondasi telapak, menurut Kazuto pondasi ini diklasifikasikan sebagai berikut:





Gambar 3.7 Jenis pondasi telapak (Sumber Suyono S. & Kazuto Nakazawa)

Pondasi tumpuan setempat adalah pondasi telapak yang menopang sebuah kolom, sedangkan pondasi tumpuan kombinasi adalah pondasi telapak yang mendukung sekelompok kolom, dan pondasi tumpuan menerus adalah pondasi telapak yang mendukung dinding bangunan.

Selanjutnya yang disebut sebagai pondasi mat atau pondasi rakit adalah jenis pondasi dangkal yang berupa plat tunggal yang menutupi lapisan pendukung di bawah seluruh luas bangunan atas (lihat gambar 3.7.d).

III.3. Teori Konsolidasi

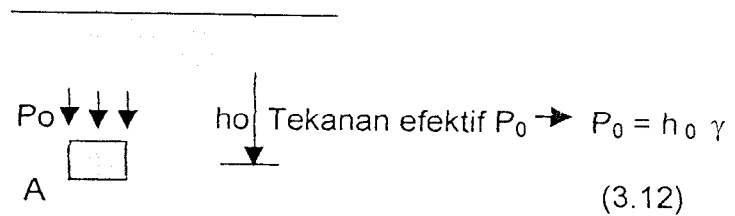
III.3.1. Umum

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume tanah atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh yang kompresibel dan berpemebialitas rendah secara perlahan akibat pengaliran sebagian air pori oleh adanya pembebanan. Proses tersebut berlangsung lama dan terus menerus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total benar - benar hilang.

Pada umumnya proses konsolidasi berlangsung dalam satu jurusan saja yaitu jurusan vertikal. Karena lapisan yang dikenai pembebanan ditahan oleh tanah sekelilingnya sehingga tidak dapat bergerak dalam jurusan horisontal. Ada dua istilah penting yang dipakai untuk menggambarkan suatu sifat yang penting dari lapisan lempung endapan ("sedimentary clays"), yaitu :

1. Konsolidasi normal (normally consolidated)

Suatu proses konsolidasi pada lapisan tanah yang telah mengalami tegangan efektif maksimum akibat berat tanah di atasnya (maximum effective overburden pressure) dalam sejarah geologisnya. Dapat dijelaskan dengan gambar berikut :



Gambar 3.8

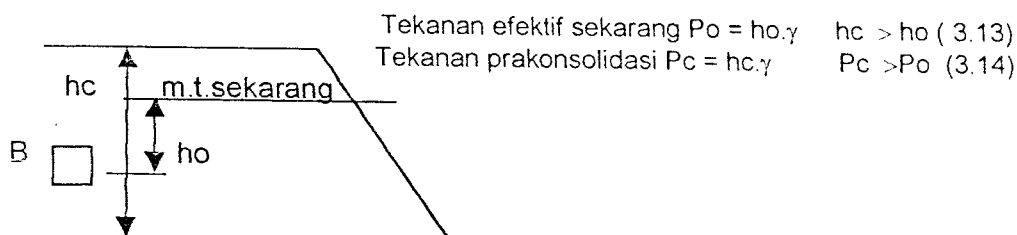
Bagian tanah di A yang ada pada kedalaman h , yang telah berpuluh - puluh tahun memikul beban berat sendiri tanah yang ada di atasnya.

2. Konsolidasi secara berlebihan (over consolidated)

Suatu proses konsolidasi pada lapisan tanah dimana tekanan efektif overburden maksimum pernah dialami sebelumnya dan disebut "tekanan prakonsolidasi" (preconsolidation pressure).

Kejadian ini misalnya :

Di suatu tempat dulu kala terdapat bukit , kemudian terjadi longsor atau erosi. Tanah di B yang sekarang ada pada kedalaman h_o , ternyata dahulu kala selama ribuan tahun yang tidak diketahui pernah mengalami konsolidasi dengan beban yang lebih besar dari pada tekanan efektif sekarang.

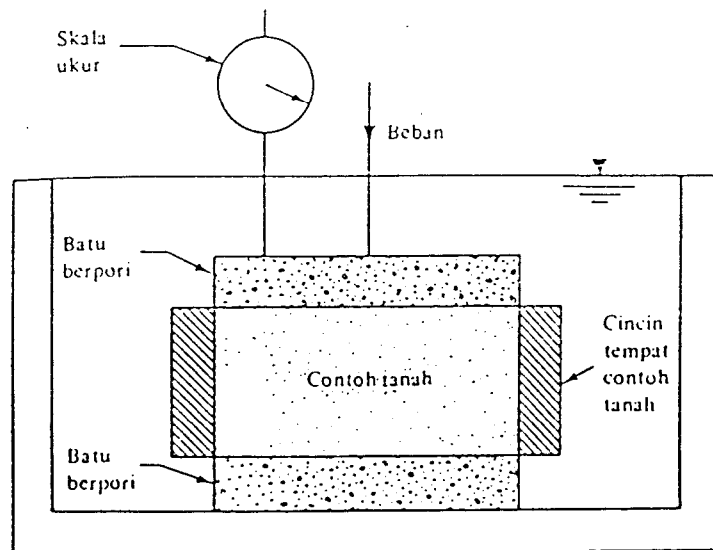


Gambar 3.9

III.3.2. Percobaan Konsolidasi

Percobaan untuk, melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi dengan menggunakan sebuah alat yang disebut konsolidometer ("oedometer"). Skema Konsolidometer dapat dilihat pada Gambar 3.10. Contoh tanah diletakkan dalam cincin dengan dua buah batu berpori yang diletakkan di atas dan di bawah contoh tanah tersebut. Ukuran contoh tanah yang digunakan biasanya adalah diameter 2,5 inci dan tebal 1,0 inci. Pembebanan pada contoh tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar dan pemampatan ("compression")

contoh tanah diukur dengan menggunakan skala ukur mikrometer. Contoh tanah selalu direndam dalam air selama percobaan. Setiap beban biasanya diberikan selama 24 jam dan setelah itu beban dinaikkan dua kali lipat beban sebelumnya dan pengukuran dilanjutkan. Pada saat percobaan selesai, berat kering dari contoh tanah diukur.

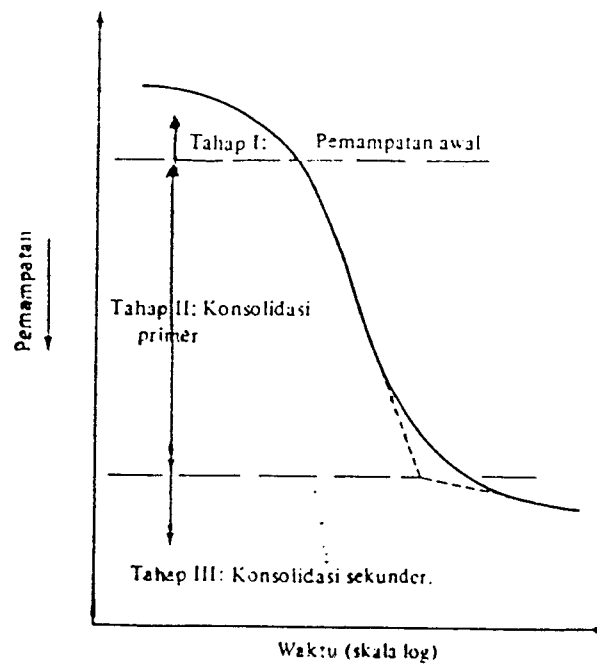


Gambar 3.10 Konsolidometer

Pada umumnya bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda sebagai berikut :

- tahap I pemampatan awal,
- tahap II konsolidasi primer yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah,
- tahap III konsolidasi sekunder yaitu terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya.



Gambar 3.11 Grafik waktu - pemampatan (Sumber Braja M. Das)

III.3.3. Grafik Hubungan Antara Angka Pori dan Tekanan

Penting bagi kita mempelajari perubahan angka pori terhadap tekanan.

Berikut akan diuraikan prosedur pengerjaannya (Braja M. Das).

- 1). Hitung tinggi butiran padat dari contoh tanah H_s

$$\frac{W_s}{H_s} = A \cdot G_s \cdot \gamma_w \quad (3.15)$$

dengan :

W_s = berat kering contoh tanah, kg

A = luas penampang contoh tanah, m^2

G_s = berat spesifik contoh tanah, tanpa satuan

γ_w = berat volume air, t/m^3

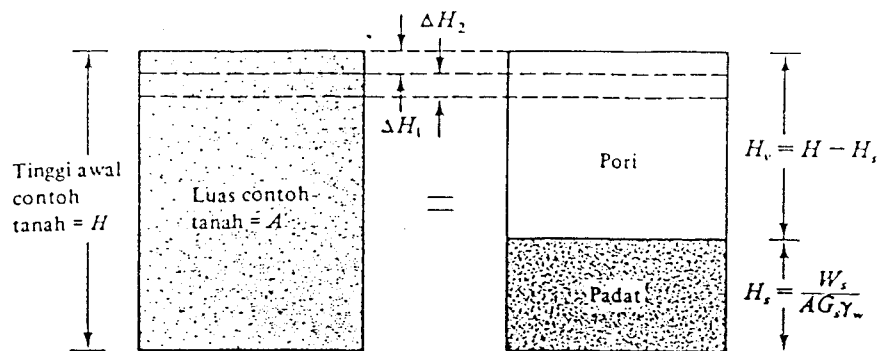
- 2). Hitung tinggi awal ruang pori dari contoh tanah H_v .

$$H_v = H - H_s \quad (3.16)$$

dengan H adalah tinggi awal dari contoh tanah, meter.

- 3). Hitung angka pori awal dari contoh tanah e_0 .

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v \times A}{H_s \times A} = \frac{H_v}{H_s} \quad (3.17)$$



Gambar 3.12 Perubahan tinggi contoh tanah pada uji konsolidasi satu Dimensi (Sumber Braja M. Das)

- 4). Untuk penambahan beban pertama P_1 , yang menyebabkan penurunan ΔH_1 , hitung perubahan angka pori Δe_1 .

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \quad (3.18)$$

dengan ;

ΔH_1 = diperoleh dari pembacaan awal dan akhir pada skala ukur untuk beban sebesar P_1

P_1 = beban total/luas penampang contoh tanah, kg/m^2

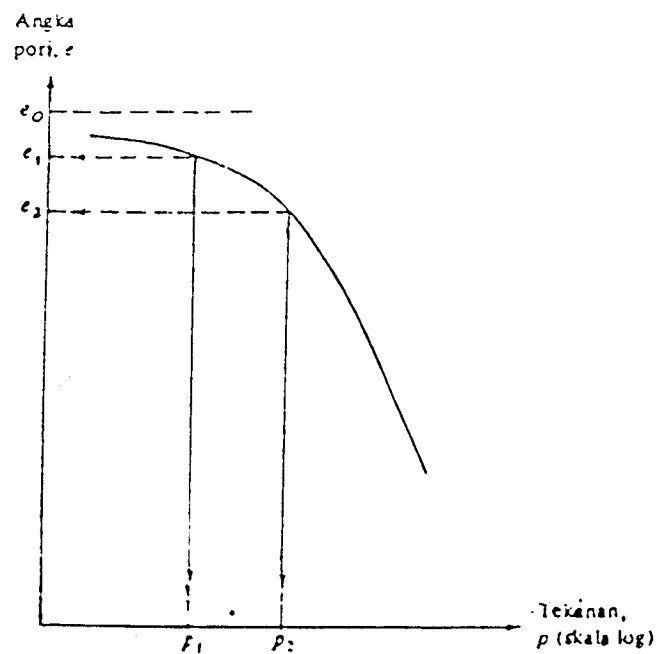
- 5). Hitung angka pori yang baru e_1 , setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan P_1 .

$$e_1 = e_0 - \Delta e_1 \quad (3.19a)$$

Untuk beban selanjutnya yaitu P_2 (beban kumulatif per satuan luas contoh tanah) yang menyebabkan penambahan pemampatan sebesar ΔH_2 , angka pori e_2 pada saat akhir konsolidasi dapat dihitung sebagai berikut .

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \quad (3.19b)$$

Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh. Bentuk umum dari grafik e versus $\log p$ adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.13 Bentuk khas grafik e versus $\log p$ (Sumber Braja M. Das)

Dari grafik e versus $\log p$ yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium, Cassagrande (1936) menyarankan suatu cara yang mudah untuk menentukan nilai tekanan prakonsolidasi p_c . Prosedurnya adalah sebagai berikut (lihat gambar 3.14).

- Dengan melakukan pengamatan secara visual, tentukan titik a dimana grafik e versus $\log p$ mempunyai jari-jari yang paling minimum.
- Gambar garis datar $a - b$.
- Gambar garis singgung pada titik a
- Gambar garis $a - d$ yang merupakan garis bagi sudut $b - a - c$.
- Perpanjang bagian grafik e versus $\log p$ yang merupakan garis lurus sehingga memotong garis $a - d$ dititik f dan absis dari titik f adalah nilai tekanan prakonsolidasi .

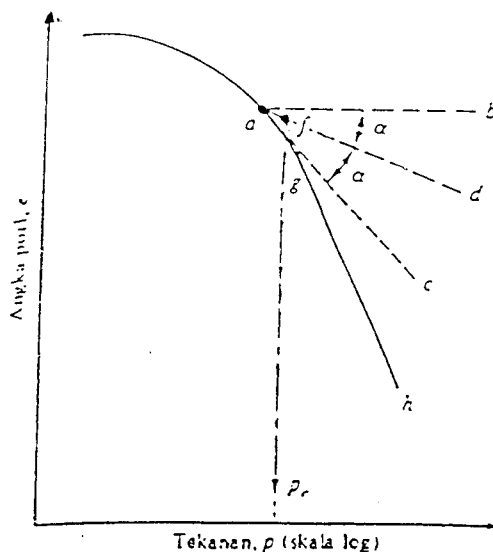
"Overconsolidation ratio" (OCR) untuk suatu tanah dapat didefinisikan sebagai (Braja M. Das):

$$OCR = \frac{P_c}{p} \quad (3.20)$$

Dengan :

P_c = Tekanan prakonsolidasi , (Kg / cm^2)

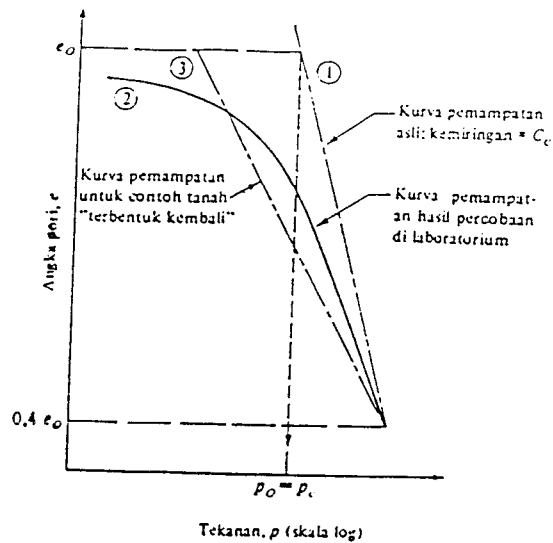
p = Tekanan vertikal efektif pada saat tanah itu diselidiki , (Kg / cm^2)



Gambar 3.14 Prosedur penentuan P_c secara grafis (Sumber Braja M.Das)

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang dengan angka pori e_0 dan tekanan efektif overburden P_o , perubahan angka pori sebagai akibat dari penambahan tegangan di lapangan, secara kasar dapat ditunjukkan seperti kurva 1 pada gambar 3.15. Kurva yang hampir merupakan garis lurus apabila digambar pada kertas semi logaritma tersebut dinamakan sebagai kurva pemampatan asli ("virgin compression curve"). Kurva hasil uji konsolidasi di laboratorium untuk contoh tanah undisturb dari tanah yang sama adalah

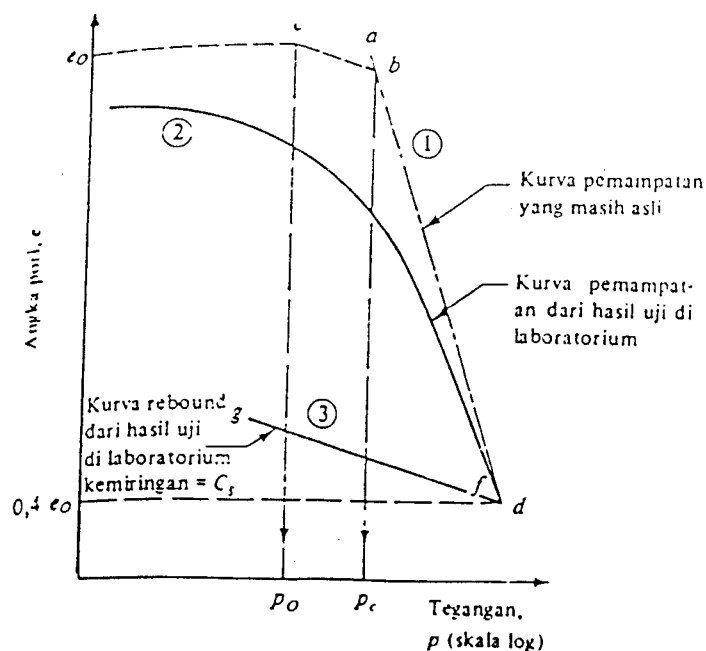
kurva 2 yang terletak di sebelah kiri kurva 1. Bila struktur contoh tanah benar - benar rusak dan kemudian dibentuk kembali (remolded) , maka letak grafik e versus $\log p$ umumnya seperti kurva 3. Kurva - kurva 1,2, dan 3 akan berpotongan kira - kira pada angka pori $e = 0,4 e_0$ (Terzaghi&Peck, 1967, 8).



Gambar 3.15 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi normal dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang (Sumber Braja M. Das)

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi secara berlebihan dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang adalah seperti yang ditunjukkan oleh garis c - b - d pada gambar 3.16 . Dapat dilihat bahwa garis b - d adalah bagian dari kurva pemampatan asli . Hasil uji konsolidasi di laboratorium untuk contoh tanah yang sedang mengalami tekanan prakonsolidasi P_c

dengan angka pori e_0 serta tekanan efektif overburden P_0 , kurva konsolidasi lapangan dan tingkat kerusakan strukturnya tidak terlalu besar adalah seperti yang ditunjukkan oleh kurva 2. Schertman (1935) menyimpulkan bahwa kemiringan garis $c - b$, yang merupakan garis pemampatan ulang ("recompression") lapangan, mempunyai kemiringan yang hampir sama dengan kurva pantul ("rebound curve") $f - g$ dari hasil uji konsolidasi di laboratorium (B. K. Ramiah & L. S. Chikanagappa, 1982, 7)



Gambar 3.16 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi lebih dengan derajat sensitivitas rendah sampai sedang (Sumber Braja M. Das)

III.4. Pondasi Rakit

III.4.1. Pengertian

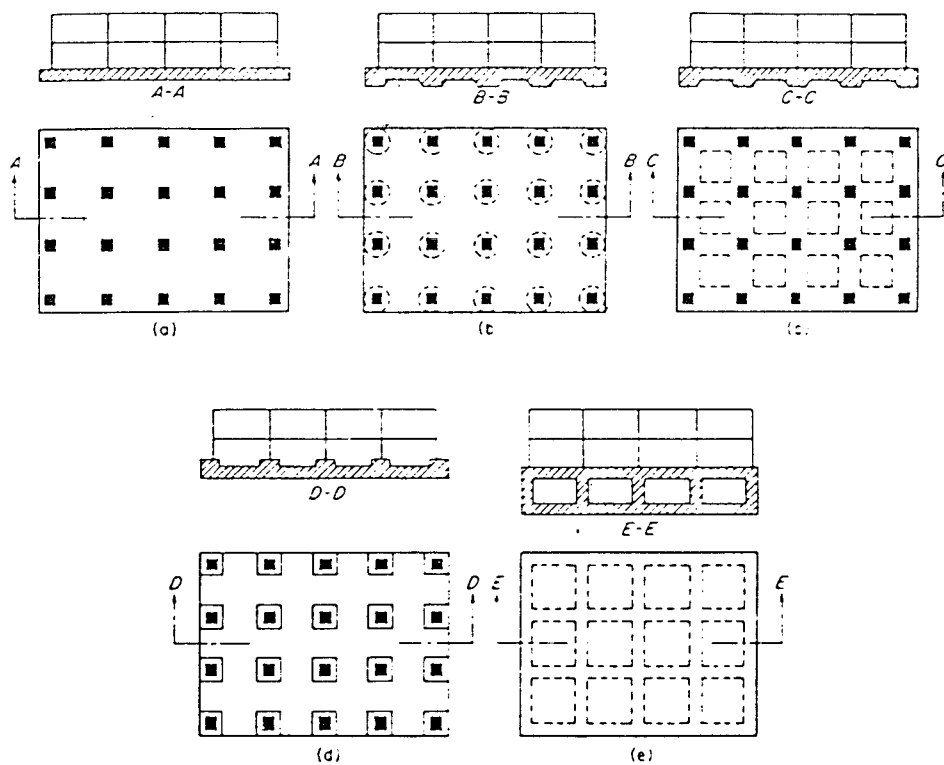
Pondasi rakit didefinisikan sebagai pelat beton yang besar yang digunakan untuk mengantarai permukaan ("interface") dari satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis ("jalur") dengan tanah dasar (Bowles, 1986, I). Pondasi tersebut dapat meliputi seluruh atau hanya sebagian dari daerah pondasi .

Pondasi rakit dapat digunakan dimana tanah dasar mempunyai daya dukung rendah dan atau penurunan merupakan suatu masalah, misalnya pada tempat yang mengandung bahan kompresibel. Sehingga lebih dari 50 % luas bangunan tersebut tertutup oleh luasan pondasi (Terzaghi & Peck, 1948). Pondasi semacam ini sebenarnya sama seperti pondasi telapak sebar yang besar . Sehingga cara perencanaannyapun sama seperti pada pondasi dangkal jenis telapak .

Menurut Bowles, pondasi rakit bisa ditopang oleh beberapa tiang pancang apabila dalam keadaan seperti adanya air tanah yang tinggi sebagai pengontrol gaya apung atau dimana tanah dasar mudah terpengaruh oleh nilai penurunan yang cukup besar.

III.4.2. Jenis - jenis pondasi rakit

Mengenai beberapa jenis pondasi, di bawah ini menggambarkan konfigurasi pondasi rakit yang lazim dibuat.



Gambar 3.17 Jenis - jenis pondasi rakit. (a) pelat rata ; (b) pelat yang ditebalkan di bawah kolom ; (c) balok & pelat ; (d) pelat dengan kaki tiang ; (e) dinding ruangan bawah tanah sebagai bagian pondasi telapak (Sumber J.E. Bowles)

III.4.3. Penurunan

Umumnya penurunan yang terjadi dikontrol dengan cara efek apung. Yaitu berat bangunan diatur supaya kurang lebih sama dengan berat tanah yang digali. Secara teoritis jika berat penggalian sama dengan berat kombinasi antara konstruksi atas dan pondasi rakit, maka akan terjadi proses mengapung dalam massa tanah dan hampir tidak ada penurunan yang terjadi. Atau penurunan relatif mendekati nol.

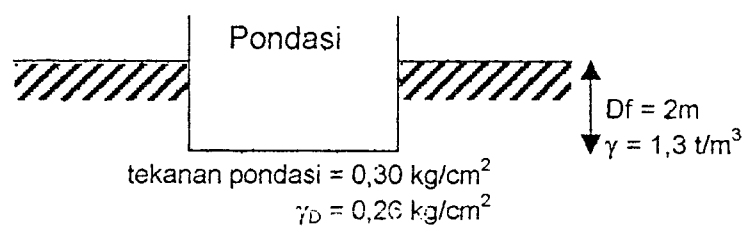
Prinsip mengapung dapat diperlihatkan dengan gambar 3.18. Suatu bangunan dengan basement menimbulkan tekanan pada pondasinya sebesar $0,3 \text{ Kg / cm}^2$. Kedalaman pondasi diatur sedemikian rupa sehingga berat tanah yang digali sama dengan tekanan sebesar $0,26 \text{ Kg/ cm}^2$. Dengan tambahan tekanan sedikit saja maka penurunan yang terjadi dapat diharapkan tidak terlalu besar. Tambahan tekanan tersebut dapat dilakukan dengan memberikan tekanan sekeliling yaitu pemadatan atau pemberian tekanan lateral.

Selain karena efek apung, beberapa faktor lain yang menyebabkan bangunan di atas pondasi rakit lebih aman walaupun mengalami penurunan yang besar dari pada bangunan tersebut berada di atas pondasi telapak biasa adalah (Wesley, 1977):

- a. Luas pondasi rakit yang cukup besar dibandingkan dengan pondasi telapak biasa sehingga ketidakseragaman tanah di bawahnya tidak

akan menyebabkan perbedaan penurunan ("differential settlement") yang besar seperti terjadi pada pondasi telapak biasa.

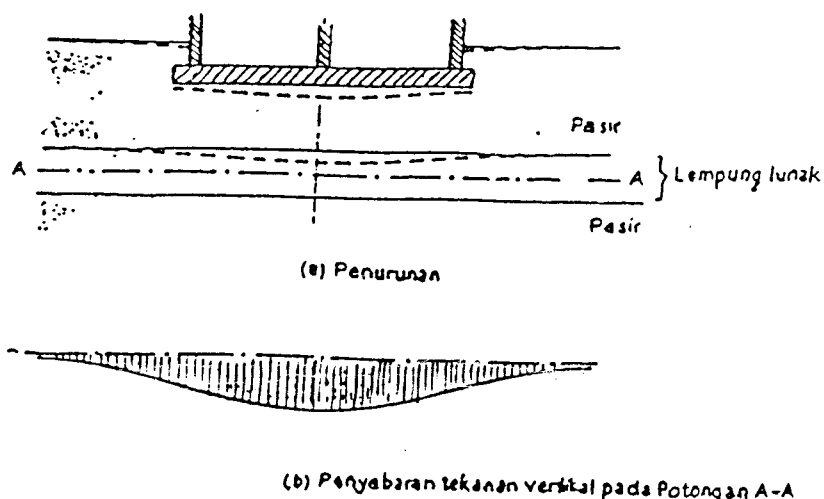
- b. Bangunan di atas pondasi rakit lebih kaku dibandingkan dengan bangunan pondasi telapak biasa sehingga dapat lebih bertahan terhadap kemungkinan perbedaan penurunan.



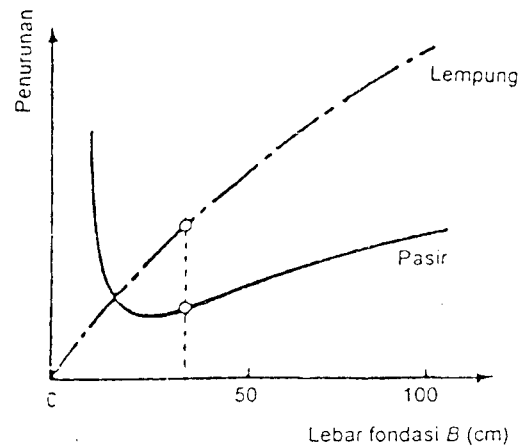
Gambar 3.18

Penurunan pondasi rakit pada tanah lempung atau lunak yang jenuh merupakan jumlah total dari penurunan segera dan konsolidasi. Penurunan konsolidasi dilakukan dari interpretasi hasil pengujian konsolidasi. Pada gambar 3.18 ditunjukkan sebuah pondasi rakit dari beton yang mendukung bangunannya. Lapisan tanah di dasar pondasi berupa pasir yang terletak di

atas lapisan lempung jenuh setebal $2H$. Di bawah lapisan ini, terletak lapisan pasir. Berat bangunan dianggap disebarkan merata sama sama ke seluruh luasan pelatnya. Pada lapisan pasir, penurunan yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan lapisan lempungnya. Penurunan di beberapa titik di sepanjang pelat pondasi akan menunjukkan pelengkungan tanah di dasar pondasi. Untuk hitungan penurunan, perlu dilakukan hitungan penyebaran beban pada tanah di bawah pondasi, dan kemudian dilakukan hitungan penurunan total. Nilai - nilai penurunan yang diperoleh, tidak hanya menyatakan penurunan tanah, namun juga menyatakan besar penurunan pelatnya. Pada intensitas beban yang sama, penurunan pondasi pada tanah lempung yang bentuknya sama, akan bertambah bila lebar pondasi bertambah (gambar 3.20). Besarnya penurunan lebih besar daripada pondasi yang terletak pada tanah pasir.



Gambar 3.19 Penurunan pada pondasi rakit (Sumber Terzaghi & Peck)



Gambar. 3.20 Hubungan antara lebar pondasi bujur sangkar dan penurunan, pada beban persatuan luas yang sama (Koezler, 1933)

Dalam perhitungan, dipakai metoda konvensional yang menganggap bahwa pondasi rakit adalah kaku. Sehingga diagram tekanan linear dan dihitung sebagai (J.E.Bowles, 1986).

$$q = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum P \cdot e_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{\sum P \cdot e_y \cdot x}{I_y} \quad (3.21)$$

$$= \frac{\sum P}{A} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (3.22)$$

Dimana :

$\sum P$ = Jumlah beban vertikal total

A = Luas rencana pondasi rakit

I_x, I_y = Momen inersia terhadap sumbu x dan y

$e_x, e_y =$ Eksentrisitas dari ΣP terhadap sumbu x dan y

$M_x, M_y =$ Momen terhadap sumbu x dan y

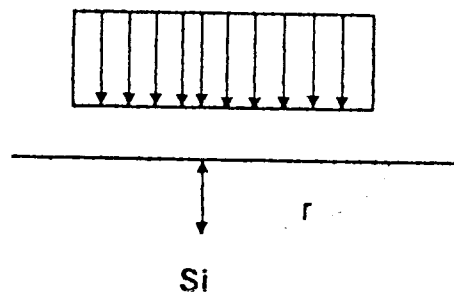
$X, y =$ Titik - titik koordinat dimana tekanan tanah akan dihitung.

III.5. Penurunan Segera

III.5.1. Umum

Penurunan segera suatu pondasi terjadi dengan segera sesudah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air. Pada kasus dimana terjadinya regangan lateral dapat menimbulkan penurunan segera sebagai akibat deformasi tanah pada kondisi tak terdrainasi.

Distribusi perpindahan vertikal pada lempung jenuh yang homogen adalah dalam bentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.21. Hal ini cukup beralasan karena diasumsikan bahwa E_s konstan diseluruh lapisan tersebut.



Gambar 3.21 Distribusi perpindahan vertikal lempung (Sumber Braja M. Das)



III.5.2. Teori Thimoshenko - Goodier

Didasarkan pada teori elastisitas, dimana lapisan tanah dianggap sebagai bahan yang homogen, elastis, isotropis dan pada ketebalan semi tak terhingga / semi infinite. Apabila gaya – gaya luar menghasilkan “perubahan bentuk” (“deformation”) tidak melebihi batas tertentu, maka perubahan bentuk tersebut akan hilang sesudah gaya dilepas.

Lapisan tersebut umumnya dijumpai pada tanah lempung / lunak jenuh. Pada jenis tanah ini penurunan yang terjadi dalam arah lateral atau horisontal bernilai lebih kecil dari pada penurunan totalnya.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penurunan segera dengan menggunakan prinsip dasar teori elastis adalah :

$$S_i = q B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_w \quad (3.23)$$

Dengan ;

q = Tekanan pada pondasi, (kg / cm²)

B = Lebar pondasi, (m)

μ = Angka Poisson, (tanpa satuan)

E_s = Modulus elastisitas, Mpa

I_w = Faktor pengaruh, (tanpa satuan)

Untuk pondasi fleksibel, Terzaghi (1943) menyarankan nilai l_w untuk menghitung penurunan pada sudut luasan empat persegi panjang, sebagai berikut :

$$l_w = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{L}{B} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(L/B)^2 + 1}}{L/B} \right] + \ln \left[\frac{L}{B} + \sqrt{(L/B)^2 + 1} \right] \right\} \quad (3.24)$$

Dengan L dan B adalah panjang dan lebar pondasi.

Sedangkan Schleicher (1925) memberikan nilai l_w untuk pondasi kaku, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor pengaruh bentuk pondasi (Sumber H. Christady)

Bentuk	Fleksibel (l_w)			Kaku	
	Pusat	Sudut	Rata - rata	l_p	l_m
Lingkaran	1,00	0,64	0,85	0,88*	
Bujur sangkar	1,12	0,56	0,95	0,82	3,70
Empat persegi panjang : L/B = 1,5 2,0 5,0 10,0 100,0					
	1,36	0,68	1,20	1,06	4,12
	1,53	0,77	1,31	1,20	4,38
	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
	2,52	1,26	2,25	2,10	4,93
	3,38	1,69	2,96	3,40	5,06

Perlu diperhatikan bahwa persamaan (3.23) didasarkan pada asumsi bahwa tekanan q di letakkan di atas tanah. Didalam praktek, pondasi selalu diletakkan pada kedalaman tertentu di bawah permukaan tanah. Dan kedalaman berkecenderungan mengurangi besarnya penurunan karena semakin besarnya E_s sehingga menambah besarnya tekanan keliling (confining pressure).

III.5.3. Teori Janbu

Prinsip teori ini sama dengan yang dikemukakan oleh Thimoshenko – Goodier yang berlandaskan pada elastisitas. Namun Janbu memperhitungkan faktor kedalaman pondasi dan faktor ketebalan lapisan tanah dalam analisa penurunannya. Adapun persamaan yang dipakai adalah :

$$S_i = \mu_0 \mu_1 \frac{q B}{E_s} \quad (3.25)$$

Dengan ;

S_i = Penurunan segera rata – rata (cm)

μ_1 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan ketebalan terbatas H

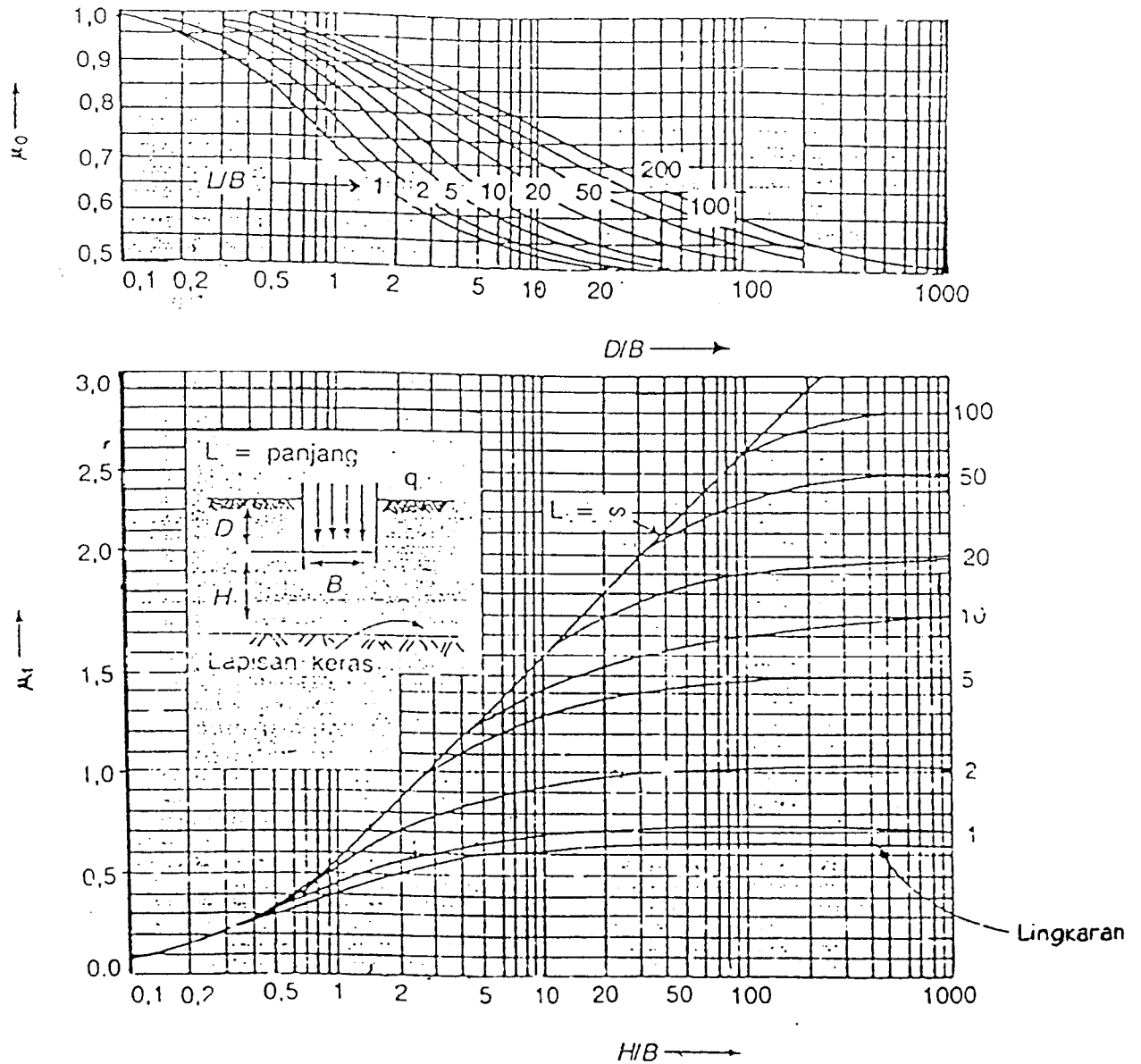
μ_0 = Faktor koreksi untuk kedalaman pondasi D_f

B = Lebar pondasi (m)

q = Tekanan pondasi netto (kg/cm^2)

E = Modulus elastisitas tanah (kg/cm_2)

Diagram pada gambar 3.21 dapat digunakan untuk modulus elastisitas yang bervariasi dengan kedalamannya. Hitungan penurunan dilakukan dengan membagi tanah ke dalam beberapa lapisan yang terbatas.



Gambar 3.22 Koefisien perpindahan vertikal Janbu (Sumber Janbu, Bjerrum & Kjaemslie (1956))

III.6. Teori Penurunan Konsolidasi

III.6.1 Teori konsolidasi primer satu dimensi Terzaghi

Kita mencoba untuk meninjau lapisan lempung jenuh dengan tebal H , luas penampang melintang A , dan tekanan sebesar Δp , dan menganggap penurunan konsolidasi primer yang terjadi sebesar S . Perubahan volume yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = V_0 - V_1 = H \times A - (H - S) \times A = S \times A \quad (3.26)$$

Dengan ;

V_0 = Volume awal contoh tanah (m^3)

V_1 = Volume akhir contoh tanah (m^3)

Perubahan volume total adalah sama dengan perubahan volume pori (ΔV_v), jadi:

$$\Delta V = S \times A = V_{v0} - V_{v1} = \Delta V_v \quad (3.27)$$

Dengan ;

V_{v0} = Volume awal pori (m^3)

V_{v1} = Volume akhir pori (m^3)

Dari definisi angka pori akan diperoleh :

$$\Delta V_v = \Delta e \times V_s \quad (3.28)$$

Dengan ;

ΔV_v = Perubahan volume pori

Δe = perubahan angka pori

Volume butir tanah didefinisikan sebagai :

$$V_s = \frac{V_o}{1 + e_o} = \frac{A \times H}{1 + e_o} \quad (3.29)$$

Dengan ;

e_o = Angka pori awal pada saat volume tanah sama dengan

V_o

Dari persamaan - persamaan tersebut di atas dapat diperoleh

rumusan sebagai berikut :

$$\Delta V_v = S \times A = \Delta e \times V_s = \Delta e \times \frac{A \times H}{1 + e} \quad \text{atau}$$

$$\Delta V_v = S = H \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad (3.30)$$

Untuk lempung yang terkonsolidasi secara normal di mana grafik e versus $\log p$ merupakan garis lurus (gambar 3.15), maka :

$$\Delta e = C_c [\log (P_o + \Delta P) - \log P_o] \quad (3.31)$$

Dengan :

C_c = Kemiringan grafik e versus $\log p$ dan didefinisikan sebagai Indeks Kompresi ("compression index").

masukkan persamaan tersebut ke persamaan (3.30), sehingga akan diperoleh persamaan baru:

$$S = \frac{C_c}{(1 + e_0)} H \log \frac{(P_0 + \Delta P)}{P_0} \quad (3.32)$$

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi lebih (gambar 3.16). Maka, apabila $(P_0 + \Delta P) \leq P_c$ lapangan, variasi e versus $\log p$ terletak di sepanjang garis $c - b$ dengan kemiringan yang hampir sama dengan kemiringan kurva pantul yang diperoleh dari uji konsolidasi di laboratorium. Kemiringan kurva pantul C_s disebut sebagai Indeks Pemuaian ("swelling index"), jadi :

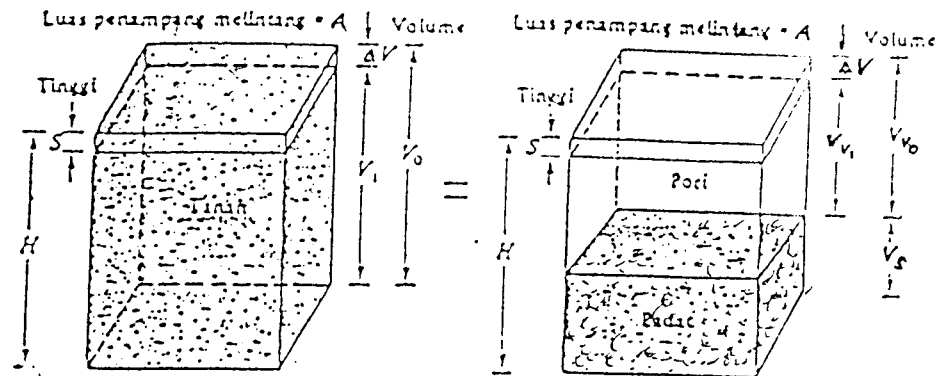
$$\Delta e = C_s [\log (P_0 + \Delta P) - \log P_0] \quad (3.33)$$

Dari persamaan 3.8 dan 3.11 akan diperoleh :

$$S = \frac{C_s}{1 + e_0} H \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \quad (3.34)$$

Apabila $(P_0 + \Delta P) > P_c$, maka :

$$S = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_c} \right) \quad (3.35)$$



Gambar 3.23 Penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi satu dimensi (Sumber Braja M. Das)

Indeks pemampatan yang digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang diperoleh dari hasil uji konsolidasi.

Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan pemakaian rumus empiris berikut ini, untuk menghitung C_c :

a. Untuk lempung Undisturb

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (3.36a)$$

b. Untuk lempung yang terbentuk kembali (remolded)

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \quad (3.36b)$$

Dengan LL = Batas cair (%)

Tersedia banyak rumusan - rumusan untuk menghitung indeks pemampatan . Semua itu telah dikembangkan dengan cara menguji bermacam - macam jenis tanah lempung . Sebagian dari hubungan tersebut diberikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 3.5 Hubungan untuk Indeks Pemampatan C_c (Sumber Braja M. Das)

Persamaan	Acuan	Daerah Pemakaian
$C_c = 0,007 (LL - 7)$	Skempton	Lempung remolded
$C_c = 1,15 (e_o - 0,27)$	Nishida	Semua lempung
$C_c = 0,30 (e_o - 0,27)$	Hough	Tanah kohesif anorganik : lanau, lempung berlanau & lempung
$C_c = 0,0115 W_n$		Tanah organik, gambut, lanau organik & lempung
$C_c = 0,75 (e_o - 0,5)$		Lanau dengan plastisitas rendah
$C_c = 0,156 e_o + 0,0107$		Semua lempung

Keterangan :

e_0 = Angka pori di lapangan

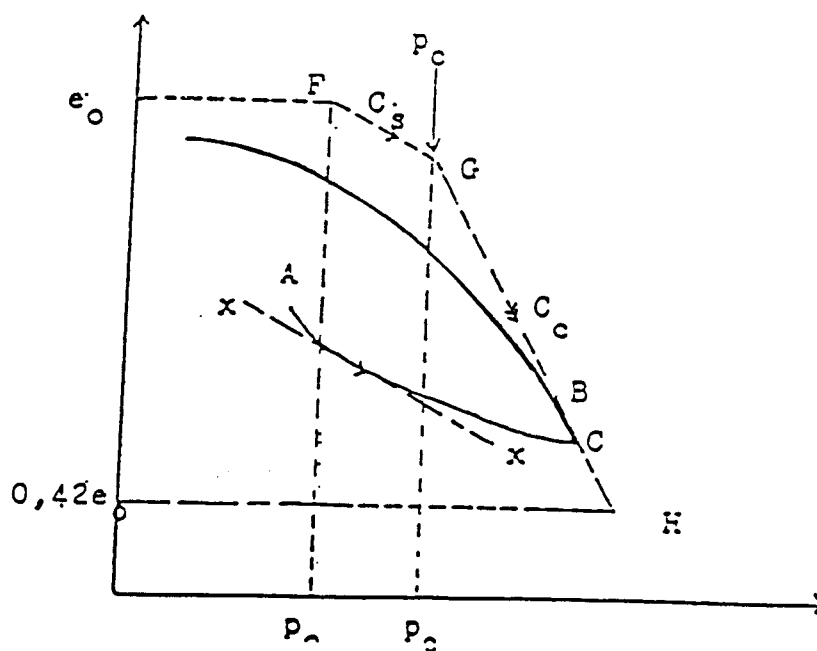
W_n = Kadar air tanah di lapangan %

Indeks pemuai C_s adalah lebih kecil dari pada indeks pemampatan .

Pada umumnya nilai C_s dihitung sebagai (Braja M. Das, 1988, 3)

$$C_s = \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} C_c \quad (3.37)$$

Prosedur menentukan nilai C_c dan C_s diperlihatkan dengan gambar (3.24) (J. E. Bowles, 1979, 2)



Gambar 3.24 Prosedur menentukan nilai C_c dan C_s (Sumber J.E. Bowles)

Keterangan :

- a. Tarik garis datar melalui e_0 dan garis vertikal melalui P_0 , kedua garis tersebut berpotongan dititik F.
- b. Tarik garis datar melalui $0,42 e_0$ sehingga memotong perpanjangan garis B - c di titik H.
- c. Dari titik F tarik garis sejajar dengan kemiringan kurva pantul (garis x - x) dan memotong P_c di titik G, maka kemiringan garis F - G merupakan nilai C_s .
- d. Hubungkan titik G dan H, maka kemiringan garis G - H merupakan nilai C_c .

III.6.2. Teori penurunan konsolidasi Metoda Skempton - Bjerrum

Akibat beban pondasi , lapisan tanah lempung akan mengalami deformasi lateral, dan kelebihan tekanan air pori yang timbul akan berkurang akibat bebannya. Pada kondisi ini , tekana air pori bergantung pada koefisien tekanan air pori A.

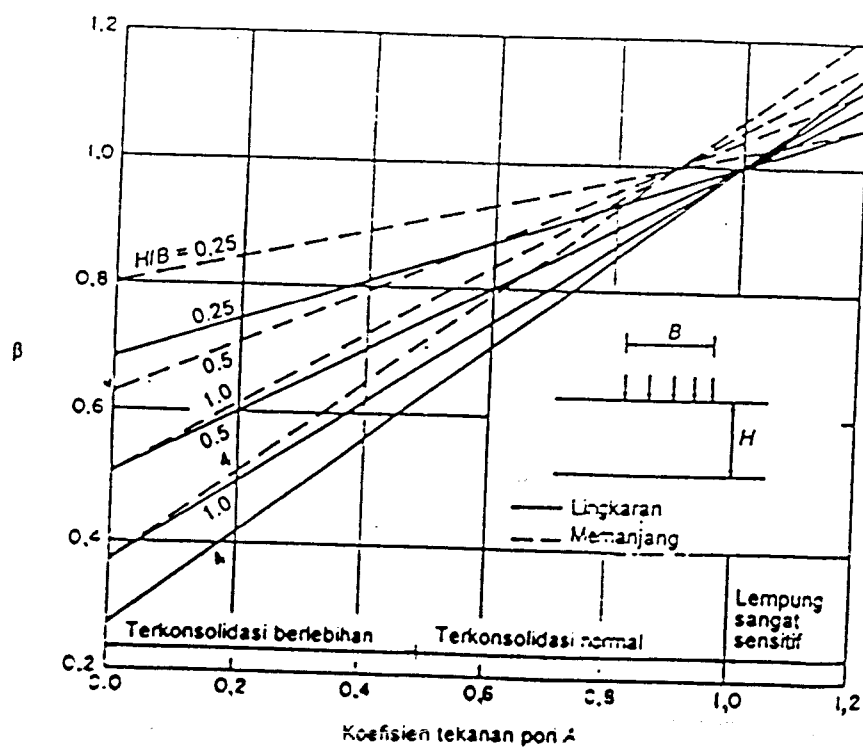
Pada metode ini pengaruh adanya regangan lateral diperhitungkan dalam bentuk koreksi penurunan Skempton - Bjerrum (β). Sehingga penurunan konsolidasi primer yang terjadi di lapangan dinyatakan dalam bentuk :

$$S_c = \beta \cdot S_{oed} \quad (3.38)$$

β adalah nilai koreksi penurunan dari Skempton – Bjerrum , dengan :

$$\beta_c = A + (1 - A) \alpha \quad (3.39)$$

Nilai α tergantung dari bentuk pondasi dan koefisien tekanan pori (A). Variasi α yang diberikan Skempton – Bjerrum untuk angka Poisson tanah jenuh $\mu = 0,5$, disajikan dalam tabel (3.8). Nilai koreksi β yang diberikan dalam bentuk grafik, ditunjukkan dalam gambar 3.24, dengan H adalah tebal lapisan lempung dan B adalah lebar atau diameter pondasi. Untuk maksud praktis, perkiraan nilai β pada tabel (3.7) dapat digunakan.



Gambar 3.25 Koreksi penurunan konsolidasi β (Skempton – Bjerrum, 1957)

Penurunan berdasarkan uji oedometer diberikan sebagai berikut :

$$S_{oed} = \int_0^H m_v \Delta P dz \quad (3.40)$$

Koefisien kompresibilitas volume m_v didefinisikan sebagai perubahan volume per satuan kenaikan tegangan efektif (cm^2 / kg). Perubahan volume dapat dinyatakan dalam angka pori maupun tebal contoh tanah. Bila untuk tekanan dari P_0 ke P_1 maka untuk angka pori akan turun dari e_0 ke e_1 .

$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \left[\frac{e_0 - e_1}{P_1 - P_0} \right] \quad (3.41)$$

$$= \frac{1}{H_0} \left[\frac{H_0 - H_1}{P_1 - P_0} \right] \quad (3.42)$$

Penambahan tekanan vertikal ΔP dihitung dengan metode Boussinesq.

Tabel 3.6 Nilai parameter A (Skempton - Bjerrum) (Sumber B.K.Ramiah &Chickanagappa)

Material	Nilai A
Lempung lunak , sangat sensitif	$\geq 1,00$
Lemp[ung terkonsolidasi normal	0,5 – 1,00
Lempung terkonsolidasi berlebihan	0,25 – 0,5
Lempung terkonsolidasi sangat berlebihan	0 – 0,25
Tanah loose	minus 0,5

Tabel 3.7 Nilai parameter β (Skempton - Bjerrum) (Sumber B.K. Ramiah & Chickanagappa)

Material	Nilai β
Lempung lunak , sangat sensitif	1,0 – 1,2
Lempung terkonsolidasi normal	0,7 – 1,0
Lempung terkonsolidasi berlebihan	0,5 – 0,7
Lempung terkonsolidasi sangat berlebihan	0,2 – 0,5

Tabel 3.8 Perkiraan nilai α untuk koreksi penurunan konsolidasi (Sumber Skempton – Bjerrum, 1957)

H/B	α	
	Pondasi lingkaran	Pondasi memanjang
0	1,00	1,00
0,25	0,67	0,80
0,50	0,50	0,63
1,00	0,38	0,53
2,00	0,30	0,45
4,00	0,28	0,38
10,00	0,26	0,36
∞	0,25	0,25

Tabel 3.9 Nilai koefisien kompressibilitas volume untuk beberapa jenis lempung (Sumber M.J. Tomlinson)

Type	Keterangan	m_v ($m^2 / k N$)
Lempung terkonsolidasi berlebihan	Kompressibilitas sangat rendah	$< 0,005$
Butir lempung	Kompressibilitas rendah	$0,05 - 0,10$
Lempung terkonsolidasi normal	Kompressibilitas sedang	$0,10 - 0,30$
Endapan lempung terkonsolidasi normal	Kompressibilitas tinggi	$0,30 - 1,50$
Endapan lempung organik	Kompressibilitas sangat tinggi	$> 1,00$

III.7. Penurunan Konsolidasi Sekunder

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi primer berhenti. Dalam hal ini tegangan efektif bekerja secara konstan. Besar penurunannya merupakan fungsi dari waktu (t) dan kemiringan kurva indeks pemantapan sekunder (C_α). Persamaan untuk C_α oleh C.H. Hardiyatmo (T. Pondasi I) adalah :

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} \quad (3.43)$$

Sedangkan besar penurunan akibat konsolidasi sekunder, dihitung dengan persamaan (3.44).

$$S_s = \frac{C\alpha}{1 + e_p} H \log \frac{t_2}{t_1} \quad (3.44)$$

Dimana :

S_s : Penurunan konsolidasi sekunder

H : Tebal benda uji awal atau tebal lapisan lempung

e_p : Angka pori saat akhir konsolidasi primer

t_2 : $t_1 + \Delta t$

t_1 : Saat waktu setelah konsolidasi primer berhenti

Nilai $C\alpha$ diperoleh dari grafik hubungan angka pori terhadap waktu. Ada dua faktor yang mempengaruhi terjadinya konsolidasi sekunder. Pertama, pengurangan volume tanah pada tegangan efektif konstan. Dan kedua, regangan vertikal akibat gerakan tanah secara lateral di bawah strukturnya.

Untuk menghitung penurunan konsolidasi pada waktu tertentu digunakan persamaan :

$$t = \frac{T_v H_t^2}{C_v} \quad (3.45)$$

Dimana,

T_v = faktor waktu

H_t = Panjang lintasan drainasi ($H_t = H/2$, untuk drainasi dobel dan $H_t = H$, untuk drainasi tunggal)

H = tebal lapisan lempung yang mampat

C_v = koefisien konsolidasi pada interval tertentu

Metode Casagrade dan Fadum digunakan untuk menghitung C_v dengan derajat konsolidasi $U = 50\%$.

$$C_v = \frac{0,197 H_t^2}{t_{50}} \quad (3.46)$$

Metode Taylor digunakan untuk nilai C_v dengan $U = 90\%$.

$$C_v = \frac{0,848 H_t^2}{t_{50}} \quad (3.47)$$

Untuk harga Δe pada kondisi "over consolidated" dipakai :

$$\Delta e = Cr \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (3.48)$$

BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

IV.1 Uraian Umum

Dalam perhitungan penurunan , dimensi pondasi rakit yang dipakai merupakan acuan dari hasil perhitungan yang didapat dari tugas akhir mahasiswa jurusan teknik sipil (FTSP) UII (Dody Irawan & Mulyati Tanda, 1997) yang berjudul " Analisa Pondasi Rakit Pada Tanah Lempung Lunak Dengan Pembebanan Statis ". Sedangkan data – data tanah diambil dari lapangan yang berbeda, yaitu pada proyek "Holding Pond Dams & Administration Building Musi Pulp Mill" di daerah Palembang Sumatera Selatan. Data – data diproses dan dibuat oleh P.T. Engitama Nusa Geotestindo yang berkedudukan di Jakarta.

Ada beberapa ketentuan – ketentuan yang dipakai dalam perhitungan ini , yaitu :

1. Pondasi rakit jenis plat rata dengan ketebalan 35 cm.
2. Beban bekerja secara statis dan sentris terhadap titik berat pondasi dengan beban (P) = 4500 kg (termasuk berat atap, dinding, sloof dan struktur kolom sendiri).

IV.2. Analisis penurunan segera

Dalam perhitungan penurunan segera ini, parameter - parameter tanah diambil berdasarkan data lapangan dan data laboratorium dari laporan penyelidikan tanah (Lampiran data tanah). Perhitungan dilakukan pada tiap lokasi sesuai titik - titik pengeboran yaitu BH-1, BH-2 dan BH-3 (lihat lampiran pada figure 2 dan 3). Selanjutnya susunan tanah dibagi dalam empat lapisan dengan interval 4 m tiap lapisannya.

IV.2.1. Data lokasi BH – 1

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada tanah lokasi BH-1, didapat (lihat lampiran data tanah "summary of laboratory test result" pada halaman 1): $e = 0,94$ (angka pori pada lapisan 1 (0 - 4)m)

$$G_s = 2.60 \text{ (diambil berat jenis tanah pada kedalaman 2 m)}$$

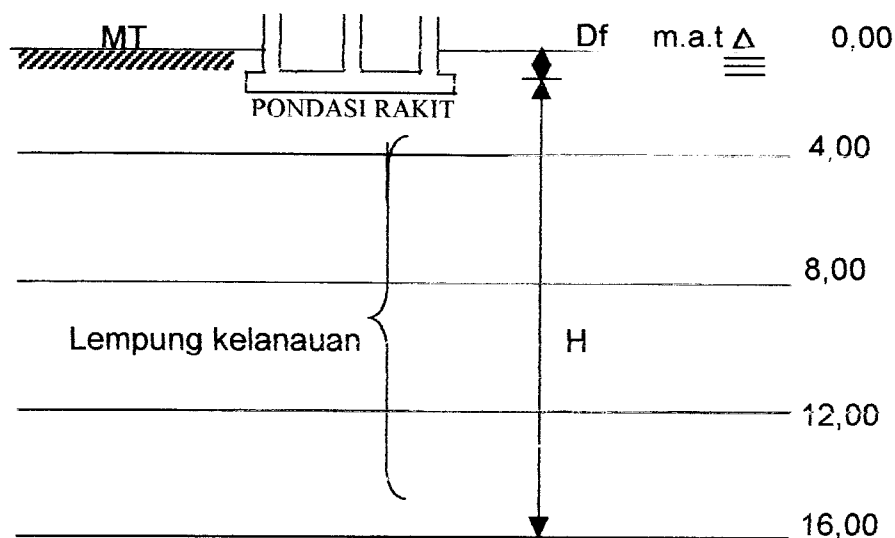
Angka atau rasio poisson diambil berdasarkan tabel (3.3), yaitu :

$$\mu = 0,5 \text{ (untuk lempung jenuh)}$$

Harga E (modulus elastisitas) diambil berdasarkan harga q_c rata - rata tiap lapisan dengan interval kedalaman 4 m yang diperoleh dari data CPT - 1 (lihat lampiran data tanah "Mechanical Dutch Cone Penetration Test Holding Pond Dams" pada halaman 4) . Dipilih CPT - 1 karena lokasi titiknya dekat dengan titik BH - 1, sehingga bisa mewakili sifat tanah pada BH - 1. Selanjutnya, E dihitung berdasarkan persamaan (3.4) dan diambil :

$$E = E_c = 7q_c$$

Setelah mendapatkan data - data tanah maka susunan tanah pada titik BH - 1 dideskripsikan dalam gambar (4.2) dengan pembagian lapisan tanahnya, berikut ini :



Gambar 4.2 Susunan tanah BH - 1

Dari pengambilan harga q_c lapisan kedalaman tanah, maka dilakukan perhitungan rata - rata untuk mendapatkan harga q_c rata -rata. Yang selanjutnya didapat harga E tiap lapisannya. Hasil tersebut diberikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.1 Harga qc dan E tiap lapisan berdasarkan data CPT – 1

Lapisan	qc rata – rata (kg/cm ²)	Ec = 7 qc (kg/cm ²)
1 (0 – 4)m	12,2	85,40
2 (4 – 8)m	14,6	102,20
3 (8 – 12)m	31,7	221,90
4 (12-16)m	63,15	442,05

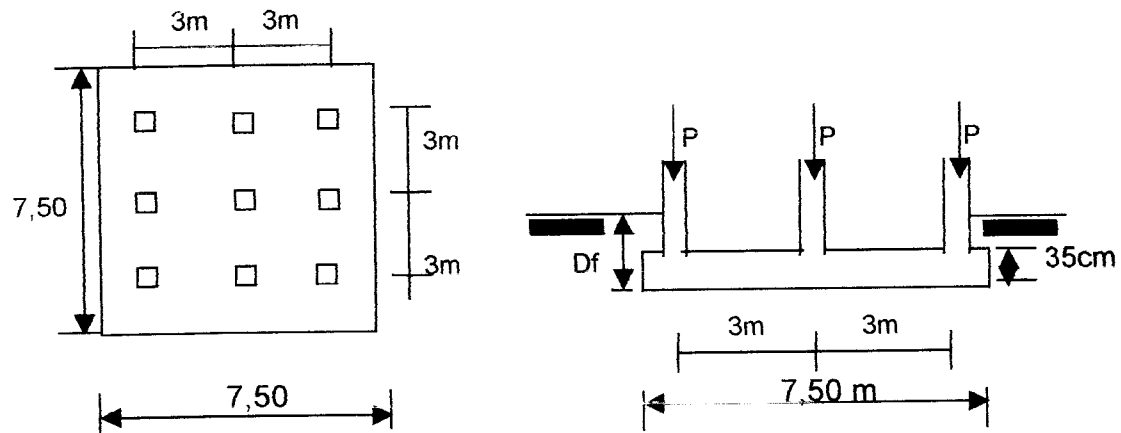
Karena air terletak pada permukaan, maka berat volume tanah yang digunakan adalah berat volume tanah terendam air (γ').

$$\begin{aligned}\gamma' &= \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{(2,60 - 1) 1}{1 + 0,94} \\ &= 0,8247 \text{ t / m}^3\end{aligned}$$

Harga P belum termasuk berat sendiri plat pondasi. Sehingga perlu dilakukan penghitungan besar beban sendiri plat (q_p kg/cm²). Dengan berat volume beton ($\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$) yang diambil berdasarkan " Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983 " dan ketebalannya 35 cm, maka beban sendiri plat adalah :

$$q_p = 0,35 \cdot 2400 = 840 \text{ kg/m}^2 = 0,084 \text{ kg/cm}^2.$$

Formasi pondasi (1)



Gambar 4.3 Bentuk dan ukuran pondasi (1)

- Menghitung letak resultan gaya dan eksentrisitas

$$\Sigma P = 9 \times 4500 \text{ kg} = 40500 \text{ kg}$$

Momen statis terhadap baris kolom paling kiri dalam arah sumbu x

$$\bar{X} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu x

$$e_x = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{X} = 3 - 3 = 0$$

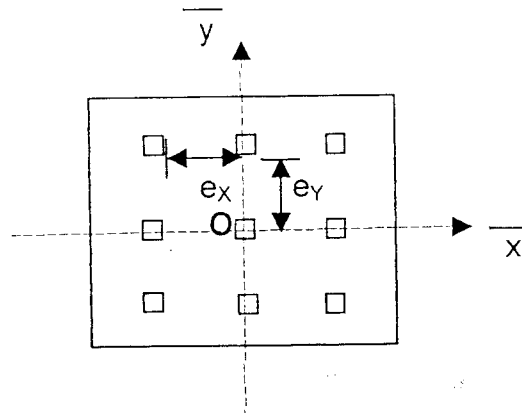
Momen statis terhadap baris kolom paling atas dalam arah sumbu y

$$\bar{Y} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu y

$$e_y = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{Y} = 3 - 3 = 0$$

Karena eksentrisitas baik arah x maupun y adalah nol, maka letak resultan gaya berada di pusat titik luasan pelat pondasi rakit.



Gambar 4.4 Letak resultan gaya terhadap pusat

- Menghitung tekanan netto (qn)

Sesuai persamaan (3.21) dan (3.22) maka penyebaran tekanan pada dasar pondasi akibat beban vertikal adalah :

$$q = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum P e_x y}{I_x} \pm \frac{\sum P e_y x}{I_y}$$

Dimana :

$$I_y = I_x = \frac{1}{12} \cdot 750 \cdot 750^3 = 2.6367 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

maka :

$$q_v = \frac{40500}{750.750} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot y}{2,6367 \cdot 10^{10}} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot x}{2,6367 \cdot 10^{10}}$$

$$= 0,072 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga besar tekanan pada dasar pondasi akibat beban yang bekerja (q_d)

adalah :

$$q_d = q_v \text{ (akibat beban vertikal)} + q_p \text{ (akibat beban merata plat)}$$

$$= 0,072 + 0,084 = 0,156 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk mereduksi penurunan, maka dicoba menggunakan efek apung. Yaitu dengan prinsip tekanan pada pondasi dibuat sama dengan galian tanah yang dipindahkan (L.D.Wesley, 1973, 11). Diharapkan dapat menghasilkan tekanan netto cukup kecil sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu besar.

Besar tekanan akibat tanah yang dipindahkan (q_o) :

$$q_o = (D_f - \text{tebal plat}) \cdot \gamma' = (D_f - 35) \cdot \gamma'$$

Dengan efek apung akan diperoleh:

$$q_o = q_d$$

$$(D_f - 35) \cdot \gamma' = 0,156$$

$$D_f = (0,156 / \gamma') + 35$$

$$D_f = (0,156 / 0,8247 \cdot 10^{-3}) + 35 = 224,1597 \text{ cm} \cong 2,24 \text{ m}$$

Sehingga besar tekanan netto (q_n) adalah :

$$q_n = q_d - q_o$$

$$= 0,156 - (224 - 35) \cdot 0,8247 \cdot 10^{-3}$$

$$q_n = 0,0001317 \text{ kg/cm}^2$$

Nilai $D_f = 2,24$ m, merupakan nilai kedalaman pondasi yang maksimum dimana nilai tersebut akan menghasilkan besar penurunan yang paling kecil. Namun untuk membuktikan adanya reduksi penurunan akibat faktor kedalaman, dicoba dengan nilai D_f yang lebih kecil dibanding nilai $D_f=2,24$ m. Untuk lebih memudahkan maka harga q_n untuk beberapa kedalaman dimasukkan dalam tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Harga q_n untuk beberapa nilai D_f

D_f (m)	Q_n (kg/cm ²)
1,75	0,0405
2	0,0199
2,24	0,0001317
2,25	- 0,000693

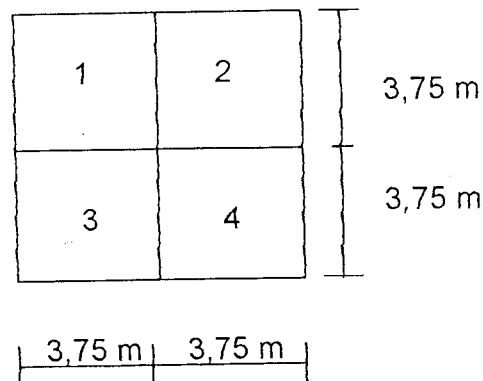
Karena menghasilkan nilai q_n yang negatif, maka $D_f = 2,25$ m tidak menghasilkan penurunan. Karena tekanan yang terjadi pada dasar pondasi lebih kecil dibanding tekanan ke atas oleh tanah dasar.

A. Penurunan segera menurut Timoshenko – Goodier (1951)

Dalam bukunya " Analisa & Disain Pondasi, 1986 ", J.E. Bowles menerangkan bahwa penurunan segera secara elastis dihitung berdasarkan rumus yang dibuat oleh Timoshenko - Goodier, sesuai persamaan (3.23).

$$S_i = q B \frac{(1 - \mu^2)}{E} l_w$$

Pondasi kita asumsikan sebagai pondasi fleksibel, sehingga harga l_w dapat diperoleh melalui tabel (3.4) atau persamaan (3.24). Untuk lebih memudahkan, maka luasan pondasi dibagi menjadi empat luasan yang sama.



Gambar 4.5 Luasan pondasi dibagi dalam empat bagian yang sama

$$\frac{L_1}{B_1} = \frac{L_2}{B_2} = \frac{L_3}{B_3} = \frac{L_4}{B_4} = \frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Karena $L/B = 1$, maka bentuk plat dapat dianggap sebagai plat bujur sangkar. Dari tabel (3.4) untuk pondasi fleksibel berbentuk bujur sangkar, maka harga l_w untuk daerah sudut diperoleh sebesar 0,56. Atau dapat dicari melalui persamaan (3.24) berikut,

$$\begin{aligned} l_w &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{L}{B} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(L/B)^2 + 1}}{L/B} \right] + \ln \left[\frac{L}{B} + \sqrt{(L/B)^2 + 1} \right] \right\} \\ &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{3,75}{3,75} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(3,75/3,75)^2 + 1}}{3,75/3,75} \right] + \ln \left[\frac{3,75}{3,75} + \sqrt{(3,75/3,75)^2 + 1} \right] \right\} \\ &= 0,56 \end{aligned}$$

Dengan membagi luasan pondasi dalam empat bagian yang sama, maka harga lw yang diperoleh merupakan kontribusi empat titik sudut terhadap titik pusat pondasi (Steinbrenner, 1934). Sesuai persamaan (3.23), besar penurunan segera menurut Timoshenko - Goodier pada lapisan 1 dengan $D_f = 1,75$ m adalah:

$$\begin{aligned} S_i &= q_n \times B \times \frac{(1 - \mu^2)}{E} \times lw \\ &= 0,0405 \times 375 \times \frac{(1 - 0,5^2)}{85,40} \times 4 \times 0,56 \\ &= 0,2988 \text{ cm} \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan metode analogis, dapat dihitung besar penurunan segera yang terjadi pada lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dibuatkan dalam tabel (4.3).

Tabel 4.3 Hasil perhitungan penurunan segera Timoshenko - Goodier untuk formasi (1) pada BH-1 dengan $D_f = 1,75$ m

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1 (0 - 4) m	85,40	0,2988	0,7212
2 (4 - 8) m	102,20	0,2497	
3 (8 - 12) m	221,90	0,1150	
4 (12 - 16) m	442,05	0,0577	

B. Penurunan segera menurut Janbu (1956)

Dalam buku "T. Pondasi, C.H. Hardiyatmo, 1996" diterangkan bahwa penurunan segera menurut Janbu dihitung dengan rumus sesuai persamaan (3.25)

$$S_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \frac{q_n \cdot B}{E}$$

Harga μ_0 dan μ_1 didapat dengan menggunakan grafik pada gambar (3.32). Harga μ_0 didapatkan dengan memplotkan harga D_f/B dan L/B pada grafik. Sedangkan harga μ_1 diperoleh dengan memplotkan harga H/B dan L/B . Dimana H adalah kedalaman tanah dari dasar pondasi. Jika harga D_f/B terlalu kecil, bisa digunakan harga L dan B dari hasil pembagian plat pondasi dalam empat bagian yang sama. Untuk kedalaman $D_f = 1,75$ m, harga $D_f/B = 1,75/7,5 = 0,2333$ terlalu kecil sehingga perlu dirubah. Dari hasil pembagian luasan, didapat $L = B = 3,75$ m.

$$\frac{D_f}{B} = \frac{1,75}{3,75} = 0,47$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_0 = 0,86$

$$\frac{H}{B} = \frac{14,25}{3,75} = 3,8$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_1 = 0,63$

Maka, besar penurunan segera menurut Janbu pada lapisan 1 dengan $D_f = 1,75$ adalah :

$$S_i = 4 \times 0,86 \times 0,63 \times \frac{0,0405 \times 375}{85,4} = 0,3854 \text{ cm}$$

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung penurunan segera menurut Janbu untuk lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dimasukkan dalam tabel (4.4).

Tablei 4.4 Hasil perhitungan penurunan segera metoda Janbu untuk formasi pondasi (1) pada BH - 1 dengan $D_f = 1,75$ m.

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1	85,40	0,3854	0,9303
2	102,20	0,3221	
3	221,90	0,1483	
4	442,05	0,0745	

Untuk menghitung besarnya penurunan segera (S_i) baik dengan metoda Timoshenko - Goodier (T - G) maupun Janbu pada formasi pondasi

(2) dan (3), digunakanlah metoda analogis. Untuk lebih jelasnya hasil - hasil perhitungan dipresentasikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 1 di titik BH – 1

Df (m)	1,75	2	2,24	2,25
Eksentrisitas	0	0	0	0
ΣP (kg)	40500	40500	40500	40500
q_d (kg/cm ²)	0,156	0,156	0,156	0,156
q_o (kg/cm ²)	0,1155	0,1361	0,1559	0,1567
q_n (kg/cm ²)	0,0405	0,0199	0,0001317	- 0,000693
l_w	0,56	0,56	0,56	-
S_i (T-G)cm	0,7212	0,3544	0,0023	-
μ_o	0,86	0,85	0,82	-
μ_1	0,63	0,63	0,61	-
S_i (Janbu)cm	0,9303	0,5450	0,00284	-

Tabel 4.6 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 2 di titik BH - 1

Df (m)	1,75	2	2,25	2,30	2,35
Eksentrisitas	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	27000	27000	27000	27000	27000
q_d (kg/cm ²)	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164
q_o (kg/cm ²)	0,1155	0,1361	0,1567	0,1608	0,1649
q_n (kg/cm ²)	0,0485	0,0279	0,0073	0,0032	- 0,0009
l_w	0,71	0,71	0,71	0,71	-
S_i (T-G)cm	0,3285	0,1889	0,0495	0,0217	-
μ_o	0,8	0,75	0,77	0,77	-
μ_1	0,8	0,8	0,8	0,8	-
S_i (Janbu)cm	0,7895	0,4258	0,1115	0,0502	-

Tabel 4.7 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 3
Di titik BH - 1

Df (m)	1,75	2	2,25	2,30	2,45
Eksentrisitas	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	18000	18000	18000	18000	18000
q_d (kg/cm ²)	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
q_o (kg/cm ²)	0,1155	0,1361	0,1567	0,1608	0,173
q_n (kg/cm ²)	0,0575	0,0369	0,0163	0,0122	0
l_w	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
S_i (T-G)cm	0,6143	0,3943	0,1741	0,1303	-
μ_o	0,787	0,75	0,73	0,73	-
μ_1	0,68	0,68	0,68	0,68	-
S_i (Janbu)cm	0,7657	0,4786	0,2059	0,1540	-

IV.2.2. Data lokasi BH – 2

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada tanah lokasi BH-2, didapat (lihat lampiran data tanah "summary of laboratory result" pada halaman 2) : $e = 0,57$ (angka pori pada lapisan 1 (0 - 4)m)

$G_s = 2,54$ (diambil berat jenis tanah pada kedalaman 2m)

Angka atau rasio poisson diambil berdasarkan tabel (3.3), yaitu :

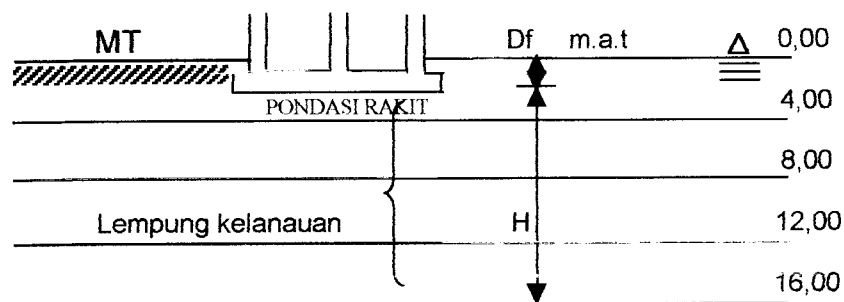
$\mu = 0,5$ (untuk lempung jenuh)

Harga E (modulus elastisitas) diambil berdasarkan harga q_c rata – rata tiap lapisan dengan interval kedalaman 4 m yang diperoleh dari data CPT – 2 (lihat lampiran data tanah "Mechanical Dutch Cone Penetration Test

“Holding Pond Dams” pada halaman 7). Dipilih CPT - 2 karena lokasi titiknya dekat dengan titik BH - 2, sehingga bisa mewakili sifat tanah pada BH - 2. Selanjutnya, E dihitung berdasarkan persamaan (3.4) dan diambil :

$$E = E_c = 7q_c$$

Setelah mendapatkan data - data tanah maka susunan tanah pada titik BH-2 dideskripsikan dalam gambar (4.6) dengan pembagian lapisan tanahnya, berikut ini :



Gambar 4.6 Susunan tanah BH – 2

Dari pengambilan harga q_c lapisan kedalaman tanah, maka dilakukan perhitungan rata - rata untuk mendapatkan harga q_c rata -rata. Yang selanjutnya didapat harga E tiap lapisannya. Hasil tersebut diberikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.8 Harga q_c dan E tiap lapisan berdasarkan data CPT – 2

Lapisan	q_c rata - rata (kg/cm^2)	$E_c = 7 q_c$ (kg/cm^2)
1 (0 – 4)m	12	84
2 (4 – 8)m	13,1	91,7
3 (8 – 12)m	22,1	154,7
4 (12-16)m	101	707

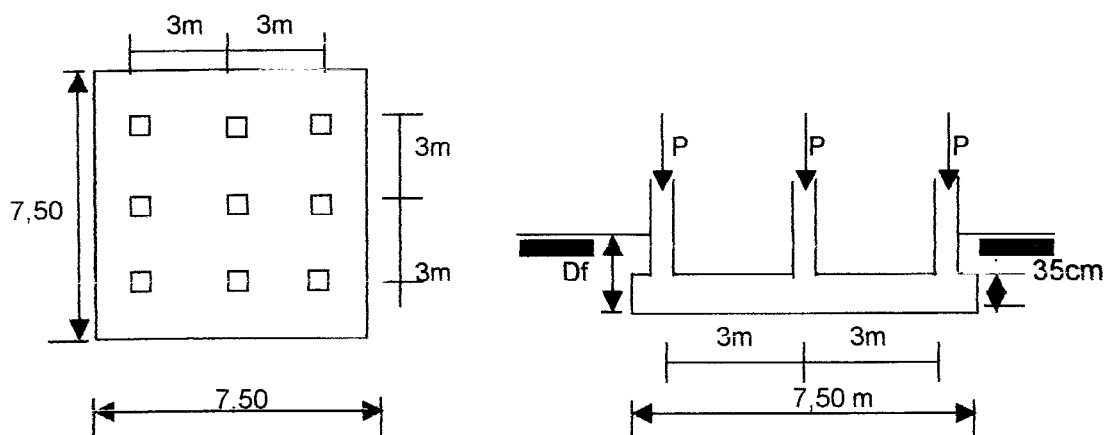
Karena air terletak pada permukaan, maka berat volume tanah yang digunakan adalah berat volume tanah terendam air (γ')

$$\begin{aligned}\gamma' &= \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{(2,54 - 1) 1}{1 + 0,57} \\ &= 0,9809 \text{ t / m}^3\end{aligned}$$

Harga P belum termasuk berat sendiri plat pondasi. Sehingga perlu dilakukan penghitungan besar beban sendiri plat (q_p kg/cm²). Dengan berat volume beton ($\gamma = 2400$ kg/m³) yang diambil berdasarkan " Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983 " dan ketebalannya 35 cm, maka beban sendiri plat adalah :

$$q_p = 0,35 \cdot 2400 = 840 \text{ kg/m}^2 = 0,084 \text{ kg/cm}^2.$$

Formasi pondasi (1)



Gambar 4.7 Bentuk dan ukuran pondasi (1)

- Menghitung letak resultan gaya dan eksentrisitas

$$\sum P = 9 \times 4500 \text{ kg} = 40500 \text{ kg}$$

Momen statis terhadap baris kolom paling kiri dalam arah sumbu x

$$\bar{X} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu x

$$e_x = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{X} = 3 - 3 = 0$$

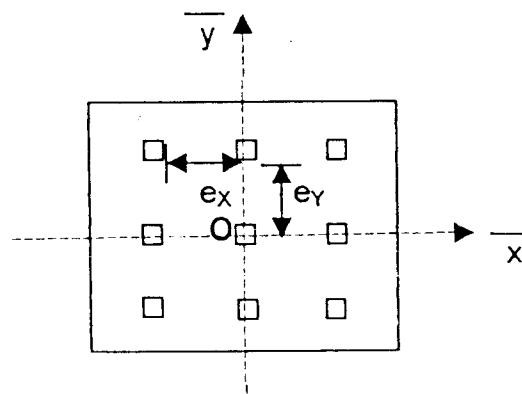
Momen statis terhadap baris kolom paling atas dalam arah sumbu y

$$\bar{Y} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu y

$$e_y = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{Y} = 3 - 3 = 0$$

Karena eksentrisitas baik arah x maupun y adalah nol, maka letak resultan gaya berada di pusat titik luasan pelat pondasi rakit.



Gambar 4.8 Letak resultan gaya terhadap pusat

- Menghitung tekanan netto (q_n)

Sesuai persamaan (3.21) dan (3.22) maka penyebaran tekanan pada dasar pondasi akibat beban vertikal adalah :

$$q = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum P e_x y}{I_x} \pm \frac{\sum P e_y x}{I_y}$$

Dimana :

$$I_y = I_x = \frac{1}{12} \cdot 750 \cdot 750^3 = 2.6367 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

maka :

$$\begin{aligned} q_v &= \frac{40500}{750 \cdot 750} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot y}{2,6367 \cdot 10^{10}} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot x}{2,6367 \cdot 10^{10}} \\ &= 0,072 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga besar tekanan pada dasar pondasi akibat beban yang bekerja (q_d) adalah :

$$\begin{aligned} q_d &= q_v (\text{akibat beban vertikal}) + q_p (\text{akibat beban merata plat}) \\ &= 0,072 + 0,084 = 0,156 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk mereduksi penurunan, maka dicoba menggunakan efek apung. Yaitu dengan prinsip tekanan pada pondasi dibuat sama dengan galian tanah yang dipindahkan (L.D.Wesley, 1973, 11). Diharapkan dapat menghasilkan tekanan netto cukup kecil sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu besar.

Besar tekanan akibat tanah yang dipindahkan (q_0) :

$$q_0 = (Df - \text{tebal plat}) \cdot \gamma' = (Df - 35) \cdot \gamma'$$

Dengan efek apung akan diperoleh:

$$q_0 = q_d$$

$$(Df - 35) \cdot \gamma' = 0,156$$

$$Df = (0,156 / \gamma') + 35$$

$$Df = (0,156 / 0,9809 \cdot 10^{-3}) + 35 = 194,0376 \text{ cm} \cong 1,9 \text{ m}$$

Sehingga besar tekanan netto (q_n) adalah :

$$q_n = q_d - q_0$$

$$= 0,156 - (190 - 35) \cdot 0,9809 \cdot 10^{-3}$$

$$q_n = 0,00396 \text{ kg/cm}^2$$

Nilai $Df = 1,9 \text{ m}$, merupakan nilai kedalaman pondasi yang maksimum dimana nilai tersebut akan menghasilkan besar penurunan yang paling kecil.

Namun untuk membuktikan adanya reduksi penurunan akibat faktor kedalaman, dicoba dengan nilai Df yang lebih kecil dibanding nilai $Df=1,9 \text{ m}$.

Tabel 4.9 Harga q_n untuk beberapa nilai Df

$Df \text{ (m)}$	$Q_n \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
1,5	0,0432
1,75	0,0187
1,90	0,0040
1,95	-0,000944

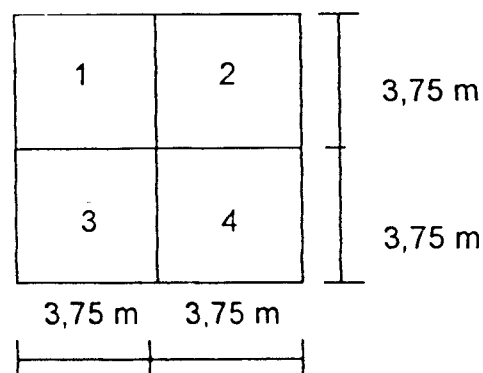
Karena menghasilkan nilai q_n yang negatif, maka $D_f = 1,95$ m tidak menghasilkan penurunan. Karena tekanan yang terjadi pada dasar pondasi lebih kecil dibanding tekanan ke atas oleh tanah dasar.

A. Penurunan segera menurut Timoshenko – Goodier (1951)

Dalam bukunya " Analisa & Disain Pondasi, 1986 ", J.E. Bowles menerangkan bahwa penurunan segera secara elastis dihitung berdasarkan rumus yang dibuat oleh Timoshenko - Goodier, sesuai persamaan (3.23).

$$S_i = \frac{q B (1 - \mu^2)}{E} I_w$$

Pondasi kita asumsikan sebagai pondasi fleksibel, sehingga harga I_w dapat diperoleh melalui tabel (3.4) atau persamaan (3.24). Untuk lebih memudahkan, maka luasan pondasi dibagi menjadi empat luasan yang sama.



Gambar 4.9 Luasan pondasi dibagi dalam empat bagian yang sama

$$\frac{L_1}{B_1} = \frac{L_2}{B_2} = \frac{L_3}{B_3} = \frac{L_4}{B_4} = \frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Karena $L/B = 1$, maka bentuk plat dapat dianggap sebagai plat bujur sangkar. Dari tabel (3.4) untuk pondasi fleksibel berbentuk bujur sangkar, maka harga lw untuk daerah sudut diperoleh sebesar 0,56. Atau dapat dicari melalui persamaan (3.24) berikut,

$$\begin{aligned}
 lw &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{L}{B} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(L/B)^2 + 1}}{L/B} \right] + \ln \left[\frac{L}{B} + \sqrt{(L/B)^2 + 1} \right] \right\} \\
 &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{3.75}{3.75} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(3.75/3.75)^2 + 1}}{3.75/3.75} \right] + \ln \left[\frac{3.75}{3.75} + \sqrt{(3.75/3.75)^2 + 1} \right] \right\} \\
 &= 0.56
 \end{aligned}$$

Dengan membagi luasan pondasi dalam empat bagian yang sama, maka harga lw yang diperoleh merupakan kontribusi empat titik sudut terhadap titik pusat pondasi (Steinbrenner, 1934). Sesuai persamaan (3.23), besar penurunan segera menurut Timoshenko - Goodier pada lapisan 1 dengan $D_f = 1,5$ di titik BH-2 adalah:

$$\begin{aligned}
 Si &= qn \times B \times \frac{(1 - \mu^2)}{E} \times lw \\
 &= 0,0432 \times 375 \times \frac{(1 - 0,5^2)}{84} \times 4 \times 0,56 \\
 &= 0,32 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan metode analogis, dapat dihitung besar penurunan segera yang terjadi pada lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dibuatkan dalam tabel (4.10).

Tabel 4.10 Hasil perhitungan penurunan segera Timoshenko - Goodier untuk formasi (1) pada BH-2 dengan $D_f = 1,5$ m

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1 (0 - 4) m	84	0,3240	0,8352
2 (4 - 8) m	91,7	0,2968	
3 (8 - 12) m	154,7	0,1759	
4 (12 - 16) m	707	0,0385	

B. Penurunan segera menurut Janbu (1956)

Dalam buku "T. Pondasi, C.H. Hardiyatmo, 1996" diterangkan bahwa penurunan segera menurut Janbu dihitung dengan rumus sesuai persamaan (3.25).

$$S_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \frac{q_n \cdot B}{E}$$

Harga μ_0 dan μ_1 didapat dengan menggunakan grafik pada gambar (3.32).

Harga μ_0 didapatkan dengan memplotkan harga D_f/B dan L/B pada grafik.

Sedangkan harga μ_1 diperoleh dengan memplotkan harga H/B dan L/B .

Dimana H adalah kedalaman tanah dari dasar pondasi. Jika harga D_f/B terlalu kecil, bisa digunakan harga L dan B dari hasil pembagian plat pondasi dalam empat bagian yang sama. Untuk kedalaman $D_f = 1,5$ m, harga $D_f/B =$

$1,5/7,5 = 0,2$ terlalu kecil sehingga perlu dirubah. Dari hasil pembagian luasan, didapat $L = B = 3,75$ m.

$$\frac{Df}{B} = \frac{1,5}{3,75} = 0,4$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_0 = 0,88$

$$\frac{H}{B} = \frac{14,5}{3,75} = 3,87$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_1 = 0,64$

Maka, besar penurunan segera menurut Janbu pada lapisan 1 adalah :

$$Si = 4 \times 0,88 \times 0,64 \times \frac{0,0432 \times 375}{84} = 0,4345 \text{ cm}$$

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung penurunan segera menurut Janbu untuk lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dimasukkan dalam tabel (4.11).

Tabel 4.11 Hasil perhitungan penurunan segera metoda Janbu untuk formasi pondasi (1) pada BH - 2 dengan $Df = 1,5$ m.

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1	84	0,4345	1,1200
2	91,7	0,3980	
3	154,7	0,2359	
4	707	0,0516	

Untuk menghitung besarnya penurunan segera (S_i) baik dengan metoda Timoshenko - Goodier (T - G) maupun Janbu pada formasi pondasi (2) dan (3), digunakanlah metoda analogis. Untuk lebih jelasnya hasil - hasil perhitungan dipresentasikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.12 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 1 di titik BH - 2

Df (m)	1,5	1,75	1,9	1,95
Eksentrisitas	0	0	0	0
ΣP (kg)	40500	40500	40500	40500
q_d (kg/cm ²)	0,156	0,156	0,156	0,156
q_o (kg/cm ²)	0,1128	0,1373	0,1520	0,1569
q_n (kg/cm ²)	0,0432	0,0187	0,0040	- 0,000944
l_w	0,56	0,56	0,56	0,56
S_i (T-G)cm	0,6352	0,3617	0,0774	-
μ_o	0,88	0,86	0,85	-
μ_1	0,64	0,63	0,63	-
S_i (Janbu)cm	1,12	0,4663	0,0986	-

Tabel 4.13 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 2 di titik BH - 2

Df (m)	1,5	1,75	1,95	2	2,15
Eksentrisitas	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	27000	27000	27000	27000	27000
q_d (kg/cm ²)	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164
q_o (kg/cm ²)	0,1128	0,1373	0,1569	0,1618	0,1766
q_n (kg/cm ²)	0,0512	0,0267	0,00706	0,0022	- 0,0126
l_w	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
S_i (T-G)cm	0,3766	0,1965	0,0518	0,0161	-

μ_0	0,84	0,8	0,78	0,75	-
μ_1	0,8	0,8	0,8	0,8	-
S_i (Janbu)cm	0,9503	0,4713	0,1216	0,0365	-

Tabel 4.14 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 3 di titik BH - 2

Df (m)	1,5	1,75	2	2,10	2,15
Eksentrisitas	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	18000	18000	18000	18000	18000
q_d (kg/cm ²)	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
q_0 (kg/cm ²)	0,1128	0,1373	0,1618	0,1717	0,1766
q_n (kg/cm ²)	0,0602	0,0357	0,0112	0,0013	- 0,0036
l_w	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
S_i (T-G)cm	0,6984	0,4142	0,1300	0,0152	-
μ_0	0,8	0,77	0,75	0,74	-
μ_1	0,68	0,68	0,68	0,68	-
S_i (Janbu)cm	0,9045	0,5163	0,1578	0,0180	-

IV.2.3. Data lokasi BH – 3

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada tanah lokasi BH-3, didapat (lihat lampiran data tanah "summary of laboratory result" pada halaman 3) : $e = 0,99$ (angka pori pada lapisan 1 (0 - 4)m)

$G_s = 2.63$ (diambil berat jenis tanah pada kedalaman 2 m)

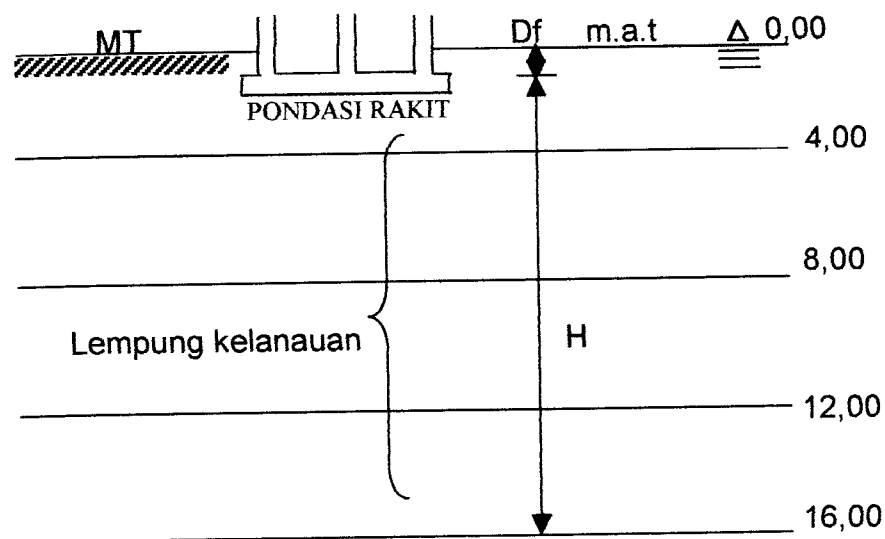
Angka atau rasio poisson diambil berdasarkan tabel (3.3), yaitu :

$\mu = 0,5$ (untuk lempung jenuh)

Harga E (modulus elastisitas) diambil berdasarkan harga q_c rata - rata tiap lapisan dengan interval kedalaman 4 m yang diperoleh dari data CPT- 4 (lihat lampiran data tanah "Mechanical Dutch Cone Penetration Test Holding Pond Dams" pada halaman 12). Dipilih CPT-4 karena lokasi titiknya dekat dengan titik BH-3, sehingga bisa mewakili sifat tanah pada BH-3. Selanjutnya, E dihitung berdasarkan persamaan (3.4) dan diambil :

$$E = E_c = 7q_c$$

Setelah mendapatkan data - data tanah maka susunan tanah pada titik BH-3 dideskripsikan dalam gambar (4.10) dengan pembagian lapisan tanahnya, berikut ini :



Gambar 4.10 Susunan tanah BH - 3

Dari pengambilan harga q_c lapisan kedalaman tanah, maka dilakukan perhitungan rata - rata untuk mendapatkan harga q_c rata -rata. Yang

selanjutnya didapat harga E tiap lapisannya. Hasil tersebut diberikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.15 Harga qc dan E tiap lapisan berdasarkan data CPT – 4

Lapisan	qc rata – rata (kg/cm ²)	Ec = 7 qc (kg/cm ²)
1 (0 – 4)m	10,215	71,75
2 (4 – 8)m	10,30	71,4
3 (8 – 12)m	51,10	357,7
4 (12-16)m	76	532

Karena air terletak pada permukaan, maka berat volume tanah yang digunakan adalah berat volume tanah terendam air (γ').

$$\begin{aligned}\gamma' &= \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{(2,63 - 1) 1}{1 + 0,99} \\ &= 0,8191 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

Maka dapat dihitung tekanan tanah akibat penggalian sesuai kedalaman pondasi. Untuk kedalaman 0,5 m besar tekanan tanah akibat penggalian sebesar :

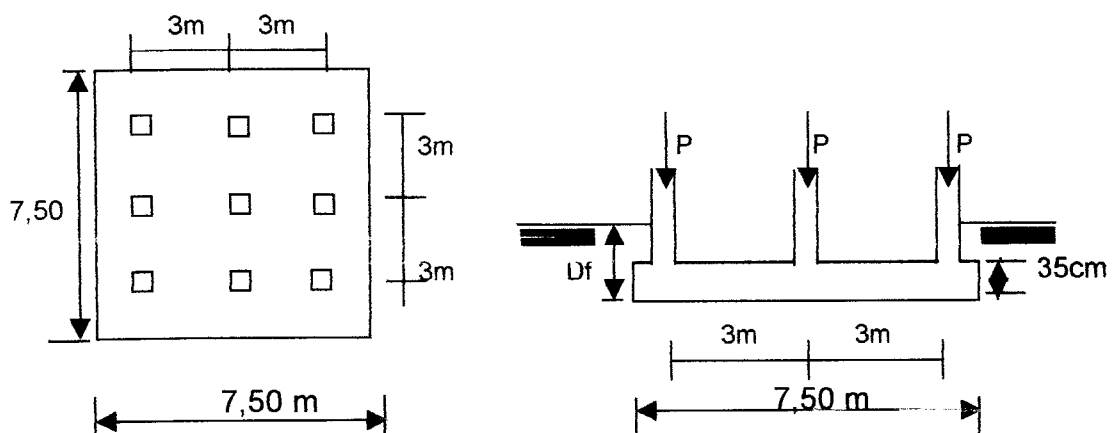
$$\begin{aligned}P_o &= D_f \cdot \gamma' \\ &= 0,5\text{m} \cdot 1,0510 \text{ t/m}^3\end{aligned}$$

$$= 0,5255 \text{ t/m}^2 = 0,05255 \text{ kg/cm}^2$$

Harga P belum termasuk berat sendiri plat pondasi. Sehingga perlu dilakukan penghitungan besar beban sendiri plat (q_p kg/cm^2). Dengan berat volume beton ($\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$) yang diambil berdasarkan " Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983 " dan ketebalannya 35 cm, maka beban sendiri plat adalah :

$$q_p = 0,35 \cdot 2400 = 840 \text{ kg/m}^2 = 0,084 \text{ kg/cm}^2.$$

Formasi pondasi (1)



Gambar 4.11 Bentuk dan ukuran pondasi (1)

- Menghitung letak resultan gaya dan eksentrisitas

$$\sum P = 9 \times 4500 \text{ kg} = 40500 \text{ kg}$$

Momen statis terhadap baris kolom paling kiri dalam arah sumbu x

$$\bar{X} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu x

$$e_x = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{X} = 3 - 3 = 0$$

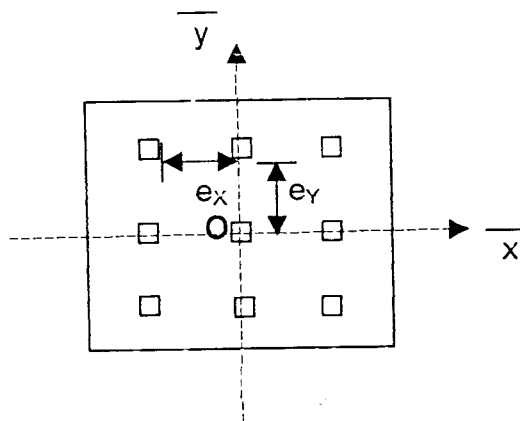
Momen statis terhadap baris kolom paling atas dalam arah sumbu y

$$\bar{Y} = \frac{(3 \times 4500 \text{ kg}) \times 6 \text{ m} + (3 \times 4500 \text{ kg}) \times 3 \text{ m}}{40500 \text{ kg}} = 3 \text{ m}$$

Letak resultan beban terhadap titik pusat luasan plat dalam sumbu y

$$e_y = \frac{6 \text{ m}}{2} - \bar{Y} = 3 - 3 = 0$$

Karena eksentrisitas baik arah x maupun y adalah nol, maka letak resultan gaya berada di pusat titik luasan pelat pondasi rakit.



Gambar 4.12 Letak resultan gaya terhadap pusat

- Menghitung tekanan netto (q_n)

Sesuai persamaan (3.21) dan (3.22) maka penyebaran tekanan pada dasar pondasi akibat beban vertikal adalah :

$$q = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum P e_x y}{I_x} \pm \frac{\sum P e_y x}{I_y}$$

Dimana :

$$I_y = I_x = \frac{1}{12} \cdot 750 \cdot 750^3 = 2.6367 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

maka :

$$q_v = \frac{40500}{750 \cdot 750} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot y}{2.6367 \cdot 10^{10}} \pm \frac{40500 \cdot 0 \cdot x}{2.6367 \cdot 10^{10}} = 0,072 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga besar tekanan pada dasar pondasi akibat beban yang bekerja (q_d) adalah :

$$q_d = q_v \text{ (akibat beban vertikal)} + q_p \text{ (akibat beban merata plat)}$$

Untuk mereduksi penurunan yang terjadi, maka dicoba dengan menggunakan efek apung. Yaitu dengan prinsip tekanan pada pondasi dibuat sama dengan galian tanah yang dipindahkan (L.D. Wealey, 1973,11). Diharapkan dapat menghasilkan tekanan netto yang kecil sehingga penurunan yang terjadipun tidak terlalu besar.

Tekanan akibat tanah yang dipindahkan (q_0) adalah :

$$q_0 = (D_f - \text{tebal plat}) \cdot \gamma' = (D_f - 35) \cdot \gamma'$$

Dengan efek apung diperoleh :

$$q_0 = q_d$$

$$(D_f - 35) \cdot \gamma' = 0,156$$

$$D_f = (0,156 / 0,8191 \cdot 10^{-3}) + 35 = 225,4529 \text{ cm} \cong 2,25 \text{ m}$$

Sehingga besar tekanan netto (q_n) adalah :

$$\begin{aligned} q_n &= q_d \text{ (akibat beban yang bekerja) - } q_0 \text{ (akibat beban merata} \\ &\quad \text{tanah yang dipindahkan)} \\ &= 0,156 - (225 - 35) \cdot 0,8191 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,000371 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Nilai $D_f = 2,25$ m merupakan nilai kedalaman pondasi yang maksimum dimana nilai tersebut menghasilkan besar penurunan yang paling kecil. Namun untuk membuktikan adanya reduksi penurunan akibat faktor kedalaman, dicoba dengan nilai D_f yang lebih kecil dibandingkan dengan $D_f = 2,25$ m. Untuk lebih memudahkan maka harga q_n untuk beberapa kedalaman dimasukkan dalam tabel (4.16) berikut :

Tabel 4.16 Harga q_n untuk beberapa nilai D_f

D_f (m)	Q_n (kg/cm ²)
1,75	0,0413
2	0,0208
2,25	0,000371
2,30	- 0,00372

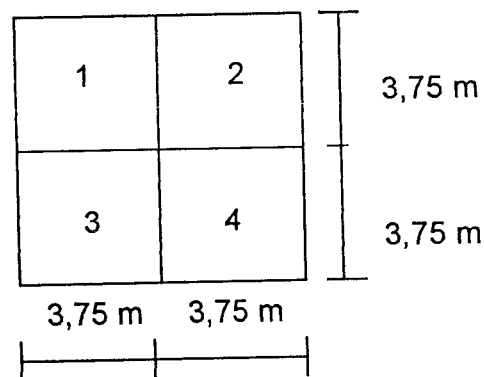
Karena menghasilkan nilai q_n yang negatif, maka $D_f = 2,30$ m tidak menghasilkan penurunan. Karena tekanan yang terjadi pada dasar pondasi lebih kecil dibanding tekanan ke atas oleh tanah dasar.

A. Penurunan segera menurut Timoshenko – Goodier (1951)

Dalam bukunya " Analisa & Disain Pondasi, 1986 ", J.E. Bowles menerangkan bahwa penurunan segera secara elastis dihitung berdasarkan rumus yang dibuat oleh Timoshenko - Goodier, sesuai persamaan (3.23).

$$S_i = \frac{q B (1 - \mu^2)}{E} l_w$$

Pondasi kita asumsikan sebagai pondasi fleksibel, sehingga harga l_w dapat diperoleh melalui tabel (3.4) atau persamaan (3.24). Untuk lebih memudahkan, maka luasan pondasi dibagi menjadi empat luasan yang sama.



Gambar 4.13 Luasan pondasi dibagi dalam empat bagian yang sama

$$\frac{L_1}{B_1} = \frac{L_2}{B_2} = \frac{L_3}{B_3} = \frac{L_4}{B_4} = \frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Karena $L/B = 1$, maka bentuk plat dapat dianggap sebagai plat bujur sangkar.

Dari tabel (3.4) untuk pondasi fleksibel berbentuk bujur sangkar, maka harga

l_w untuk daerah sudut diperoleh sebesar 0,56. Atau dapat dicari melalui persamaan (3.24) berikut,

$$\begin{aligned}
 l_w &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{L}{B} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(L/B)^2 + 1}}{L/B} \right] + \ln \left[\frac{L}{B} + \sqrt{(L/B)^2 + 1} \right] \right\} \\
 &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{3.75}{3.75} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{(3.75/3.75)^2 + 1}}{3.75/3.75} \right] + \ln \left[\frac{3.75}{3.75} + \sqrt{(3.75/3.75)^2 + 1} \right] \right\} \\
 &= 0.56
 \end{aligned}$$

Dengan membagi luasan pondasi dalam empat bagian yang sama, maka harga l_w yang diperoleh merupakan kontribusi empat titik sudut terhadap titik pusat pondasi (Steinbrenner, 1934). Sesuai persamaan (3.23), besar penurunan segera menurut Timoshenko - Goddier pada lapisan 1 dengan $D_f = 1,75$ m adalah:

$$\begin{aligned}
 S_i &= q_n \times B \times \frac{(1 - \mu^2)}{E} \times l_w \\
 &= 0,0413 \times 375 \times \frac{(1 - 0,5^2)}{71,75} \times 4 \times 0,56 \\
 &= 0,3626 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan metode analogis, dapat dihitung besar penurunan segera yang terjadi pada lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dibuatkan dalam tabel (4.17).

Tabel 4.17 Hasil perhitungan penurunan segera Timoshenko - Goodier untuk formasi (1) pada BH-3 dengan $D_f = 1,75$ m

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1 (0 - 4) m	71,75	0,3626	0,8486
2 (4 - 8) m	71,4	0,3644	
3 (8 - 12) m	357,7	0,0727	
4 (12 - 16) m	532	0,0489	

B. Penurunan segera menurut Janbu (1956)

Dalam buku "T. Pondasi, C.H. Hardiyatmo, 1996" diterangkan bahwa penurunan segera menurut Janbu dihitung dengan rumus sesuai persamaan (3.25)

$$S_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \frac{q_n \cdot B}{E}$$

Harga μ_0 dan μ_1 didapat dengan menggunakan grafik pada gambar (3.32). Harga μ_0 didapatkan dengan memplotkan harga D_f/B dan L/B pada grafik. Sedangkan harga μ_1 diperoleh dengan memplotkan harga H/B dan L/B . Dimana H adalah kedalaman tanah dari dasar pondasi. Jika harga D_f/B terlalu kecil, bisa digunakan harga L dan B dari hasil pembagian plat pondasi

dalam empat bagian yang sama. Untuk kedalaman $D_f = 1,75$ m, harga $D_f/B = 1,75/7,5 = 0,23$ terlalu kecil sehingga perlu dirubah. Dari hasil pembagian luasan, didapat $L = B = 3,75$ m.

$$\frac{D_f}{B} = \frac{1,75}{3,75} = 0,47$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_0 = 0,86$

$$\frac{H}{B} = \frac{14,25}{3,75} = 3,8$$

$$\frac{L}{B} = \frac{3,75}{3,75} = 1$$

Dari grafik gambar (3.22) didapat $\mu_1 = 0,63$

Maka, besar penurunan segera menurut Janbu pada lapisan 1 adalah :

$$S_i = 4 \times 0,86 \times 0,63 \times \frac{0,0413 \times 375}{71,75} = 0,4648 \text{ cm}$$

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung penurunan segera menurut Janbu untuk lapisan 2, 3 dan 4. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan dimasukkan dalam tabel (4.18).

Tabel 4.18 Hasil perhitungan penurunan segera metoda Janbu untuk formasi pondasi (1) pada BH - 3 dengan $D_f = 1,75$ m.

Lapisan	E (kg/cm ²)	Si (cm)	Si total (cm)
1	71,75	0,4678	1,0948
2	71,4	0,4701	
3	357,7	0,0938	
4	532	0,0631	

Untuk menghitung besarnya penurunan segera (Si) baik dengan metoda Timoshenko - Goodier (T - G) maupun Janbu pada formasi pondasi (2) dan (3), digunakanlah metoda analogis. Untuk lebih jelasnya hasil - hasil perhitungan dipresentasikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.19 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi 1dititik BH - 3

Df (m)	1,75	2	2,25	2,30
Eksentrisitas	0	0	0	0
ΣP (kg)	40500	40500	40500	40500
q_d (kg/cm ²)	0,156	0,156	0,156	0,156
q_o (kg/cm ²)	0,11466	0,1352	0,1556	0,1597
q_n (kg/cm ²)	0,0413	0,0208	0,000371	- 0,00372
l_w	0,56	0,56	0,56	0,56
S_i (T-G)cm	1,0948	0,4273	0,00769	-
μ_o	0,86	0,85	0,82	-
μ_1	0,63	0,63	0,61	-
S_i (Janbu)cm	1,0948	0,5450	0,0091	-

Tabel 4.20 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi
2 di titik BH – 3

Df (m)	2	2,25	2,30	2,35	2,40
Eksentrisitas	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	27000	27000	27000	27000	27000
q_d (kg/cm ²)	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164
q_o (kg/cm ²)	0,1352	0,1556	0,1597	0,1638	0,1679
q_n (kg/cm ²)	0,0298	0,0084	0,0043	0,0002	- 0,0039
l_w	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
S_t (T-G)cm	0,2252	0,0657	0,0336	0,00156	-
μ_o	0,75	0,77	0,77	0,77	-
μ_1	0,8	0,8	0,8	0,78	-
S_t (Janbu)cm	0,5073	0,1519	0,0778	0,0035	-

Tabel 4.21 Hasil perhitungan penurunan segera total untuk formasi pondasi
3 di titik BH - 3

Df (m)	1,75	2	2,25	2,30	2,45	2,50
Eksentrisitas	0	0	0	0	0	0
ΣP (kg)	18000	18000	18000	18000	18000	18000
q_d (kg/cm ²)	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
q_o (kg/cm ²)	0,1147	0,1352	0,1556	0,1597	0,1720	0,176
q_n (kg/cm ²)	0,0583	0,0378	0,0174	0,0133	0,001	- 0,003
l_w	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
S_t (T-G)cm	0,7187	0,4660	0,2146	0,07641	0,0018	-
μ_o	0,787	0,75	0,73	0,73	0,73	-
μ_1	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	-
S_t (Janbu)cm	0,8961	0,5659	0,2535	0,1938	0,0014	-

IV.3 Penurunan Konsolidasi Primer

Data–data tanah yang diperlukan untuk perhitungan konsolidasi primer lebih banyak dibandingkan dengan penurunan segera. Hal ini dikarenakan ada tambahan data tanah hasil uji konsolidasi di laboratorium. Berdasarkan batasan – batasan masalah maka dalam perhitungan konsolidasi primer dipakai rumusan metode Terzaghi dan Skempton – Bjerrum.

IV.3.1 Metode Terzaghi

Yang perlu diperhatikan dalam analisis menurut metoda ini adalah kondisi tanah lempung tempat pondasi diletakkan. Yaitu dalam kondisi terkonsolidasi berlebihan (“over consolidated”) atau terkonsolidasi secara normal (“normal consolidated”). Pengertian terkonsolidasi normal dan berlebihan telah dibahas di muka.

Seperti pada penurunnan segera, analisis perhitungan konsolidasi dilakukan dengan membagi tanah dalam empat lapisan.

A. Data tanah BH – 1

Berdasarkan data tanah hasil uji di laboratorium berupa indeks properties dan konsolidasi (lihat lampiran data tanah “summary of laboratory test result” pada halaman 1), didapat parameter–parameter yang dimasukkan dalam tabel (4.22).

Tabel 4.22 Data tanah BH -1

Lapisan	Gs	E ₀	Cc	Cr	P'ci (kg/cm ²)
1 (0 - 4) m	2,64	0,94	0,36	0,08	1,70
2 (4 - 8) m	2,60	1,17	0,60	0,19	3,50
3 (8 - 12) m	2,61	1,07	0,74	0,14	1,25
4 (12 - 16) m	2,61	1,07	0,36	0,09	1,70

Untuk kedalaman awal diambil Df = 1,75 m pada semua formasi pondasi.

Selanjutnya dilakukan beberapa tahap perhitungan, yaitu :

1. Menghitung tekanan efektif mula - mula (P₀)

Karena muka air tanah terletak di permukaan, maka berat volume dipakai berat volume tanah terendam air.

Dan hitungan dilakukan pada tiap tengah - tengah lapisan tanah.

- Lapisan tanah 1

$$\gamma_1' = \frac{(2,64 - 1)1}{1 + 0,94} = 0,8454 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{01} &= \gamma_1' \times (2,25/2) \\ &= 0,8454 \times 1,125 \\ &= 0,9511 \text{ t/m}^2 = 0,0951 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,70 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 2

$$\gamma_2' = \frac{(2,60 - 1)1}{1 + 1,17} = 0,7373 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 P_{O_2} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times (4/2)) \\
 &= (0,8454 \times 4) + (0,7373 \times 2) \\
 &= 4,8563 \text{ t/m}^2 = 0,4856 \text{ kg/cm}^2 < P'_{c_1} = 3,50 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 3

$$\gamma_3' = \frac{(2,61 - 1)1}{1 + 1,07} = 0,7778 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 P_{O_3} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times (4/2)) \\
 &= (0,8454 \times 4) + (0,7373 \times 4) + (0,7778 \times 2) \\
 &= 7,8864 \text{ t/m}^2 = 0,7886 \text{ kg/cm}^2 < P'_{c_1} = 1,25 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 4

$$\gamma_4' = \frac{(2,61 - 1)1}{1 + 1,07} = 0,7778 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 P_{O_4} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times 4) + (\gamma_4' \times (4/2)) \\
 &= (0,8454 \times 4) + (0,7373 \times 4) + (0,7778 \times 4) + (0,7778 \times 2) \\
 &= 10,9976 \text{ t/m}^2 = 1,0998 \text{ kg/cm}^2 < P'_{c_1} = 1,70 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Karena $P_{oi} < P'_{ci}$, maka semua lapisan tanah lempung tersebut pada BH - 1 terkonsolidasi secara berlebihan ("Over Consolidated").

2. Menghitung tambahan tegangan (ΔP)

Nilai (ΔP) dihitung pada pertengahan masing – masing lapisan dan di bawah titik tengah pondasi rakit . Sesuai persamaan (3.7), ΔP dihitung sebagai :

$$\Delta P = q_n \cdot I_2$$

Harga q_n (tekanan netto) telah didapat dari awal perhitungan penurunan segera. Sedangkan untuk menentukan harga l_2 yang merupakan faktor pengaruh terhadap pengaruh terhadap m dan n , dipakai grafik pada gambar (3.5). Dari grafik tersebut kita dapat menentukan besarnya tegangan vertikal di bawah sudut suatu luasan pondasi.

Formasi pondasi (1)

Luasan pondasi dibagi menjadi empat bagian yang sama sehingga pada tiap bagiannya akan didapat $B = 3,75$ m, $L = 3,75$ m. Harga $q_n = 0,0405$ kg/cm² (didapat pada hasil perhitungan awal penurunan segera untuk kedalaman awal $D_f = 1,75$ m).

- Lapisan tanah I

$$Z = 1,125 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 1)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{1,125} = 3,33$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{1,125} = 3,33$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,245$

Untuk seperempat luasan pondasi :

$$P = q_n \cdot l_2 = 0,0405 \times 0,245 = 0,0099 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk seluruh luasan pondasi :

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0397 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 2

$Z = 4,25$ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 2)

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{4,25} = 0,88$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{4,25} = 0,88$$

Dari grafik gambar (3.5) diperoleh $I_2 = 0,158$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot I_2 = 0,0256 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 3

$Z = 8,25$ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 3)

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{8,25} = 0,45$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{8,25} = 0,45$$

Dari grafik gambar (3.5) diperoleh $I_2 = 0,07$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot I_2 = 0,0113 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 4

$Z = 12,25$ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 4)

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{12,25} = 0,28$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{12,25} = 0,28$$

Dari grafik gambar (3.5) diperoleh $I_2 = 0,038$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0147 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hitungan tekanan efektif mula-mula dan tambahan tegangan, hasil-hasil yang diperoleh untuk tiap-tiap lapisan tanah dimasukkan dalam tabel (4.23).

Tabel 4.23 Hasil perhitungan P_{oi} dan ΔP_i tiap lapisan dengan $D_f = 1,75 \text{ m}$ pada BH-1 untuk formasi (1)

Lapisan	$P_{oi} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\Delta P_i \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$P_{oi} + \Delta P_i$	$P'_{ci} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
1	0,0951	0,0397	0,1348	1,70
2	0,4856	0,0256	0,5112	3,50
3	0,7886	0,0276	0,8162	1,25
4	1,0998	0,0062	1,1060	1,70

Dari tabel (4.23) tersebut dapat dilihat bahwa nilai $(P_{oi} + \Delta P_i) < P'_{ci}$. Oleh karena itu sesuai dengan teori di muka, maka rumus penurunan Terzaghi yang dipergunakan adalah persamaan (3.34).

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_o} H \log \frac{(P_o + \Delta P)}{P_o}$$

Dalam lampiran data tanah, C_s (Indeks pemampatan kembali / "Swell Index") ditulis C_r ("recompression Index"). Sedangkan H adalah tebal tiap lapisan tanah lempung yang ditinjau. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan

penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-1 dimasukkan dalam tabel (4.24).

Tabel 4.24 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH –1

Lapisan	Cr	H (cm)	e_o	P_o (kg/cm ²)	ΔP (kg/cm ²)	Sci (cm)
1	0,08	225	0,94	0,0951	0,0397	1,4058
2	0,19	400	1,17	0,4856	0,0256	0,7814
3	0,14	400	1,07	0,7886	0,0276	0,4042
4	0,09	400	1,07	1,0998	0,0062	0,0425

Maka diperoleh besar penurunan konsolidasi primer total Terzaghi untuk $D_f = 1,75$ m :

$$\begin{aligned}
 S_c \text{ total} &= S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} + S_{c4} \\
 &= 1,4058 + 0,7814 + 0,4042 + 0,0425 = 2,6339 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Karena kedalaman pondasi bervariasi, maka dengan metoda analogis dapat pula dihitung besar penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk nilai D_f lainnya. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga – harga Cr, H, e_o dan P'_{ci} sama untuk tinjauan D_f yang sama.

Tabel 4.25 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,0845	0,000068	0,0846	0,0042	0,5371
2	400	0,4856	0,0138	0,4994	0,4262	
3	400	0,7886	0,0058	0,7944	0,0861	
4	400	1,0998	0,0030	1,1028	0,0206	

Tabel 4.26 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 2,24\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	176	0,0744	0,00013	0,0745	0,0042	0,0035
2	400	0,4856	0,000095	0,4857	0,0031	
3	400	0,7886	0,00004	0,7886	0	
4	400	1,0998	0,00002	1,0998	0	

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung besar penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi pondasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga q_n tergantung dari jenis formasi pondasi dan kedalamannya. Untuk harga Poi sama untuk tinjauan kedalaman pondasi yang sama pula. Sedangkan harga ΔP_i berbeda sesuai dengan bentuk dan ukuran pondasi. Harga C_r dan e_o juga sama, karena tinjuannya terletak pada lokasi titik yang sama yaitu BH-1.

Tabel 4.27 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	225	0,0386	0,0386	0,1337	1,3727	2,0912
2	400	0,4856	0,0186	0,5042	0,5717	
3	400	0,7886	0,0081	0,7967	0,1201	
4	400	1,0998	0,0039	1,1037	0,0267	

Tabel 4.28 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,0845	0,0191	0,1036	0,7300	1,0153
2	400	0,4856	0,0068	0,4924	0,2115	
3	400	0,7886	0,0040	0,7926	0,0594	
4	400	1,0998	0,021	1,1019	0,0144	

Tabel 4.29 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2,24\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	176	0,0744	0,00013	0,0745	0,0043	0,0074
2	400	0,4856	0,000074	0,4857	0,0031	
3	400	0,7886	0,000037	0,7886	0	
4	400	1,0998	0,000013	1,0998	0	

Tabel 4.30 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	225	0,0951	0,0541	0,1492	1,8147	0,5429
2	400	0,4856	0,0196	0,5052	0,6019	
3	400	0,7886	0,0069	0,7955	0,1023	
4	400	1,0998	0,0035	1,1033	0,0240	

Tabel 4.31 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,0845	0,0347	0,1192	1,2323	1,7574
2	400	0,4856	0,0140	0,4996	0,4323	
3	400	0,7886	0,0049	0,7935	0,0728	
4	400	1,0998	0,0029	1,1027	0,0200	

Tabel 4.32 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,25\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	175	0,0744	0,0158	0,0902	0,6035	0,8750
2	400	0,4856	0,0072	0,4928	0,2239	
3	400	0,7886	0,0026	0,7912	0,0387	
4	400	1,0998	0,0013	1,1011	0,0089	

Tabel 4.33 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,30\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	170	0,0719	0,0119	0,0838	0,4663	0,6501
2	400	0,4856	0,0054	0,4910	0,1682	
3	400	0,7886	0,0010	0,7896	0,0149	
4	400	1,0998	0,0010	1,0999	0,0007	

B. Data tanah BH – 2

Berdasarkan data tanah hasil uji di laboratorium berupa indeks properties dan konsolidasi, didapat parameter-parameter yang dimasukkan dalam tabel (4.34).

Tabel 4.34 Data tanah BH – 2

Lapisan	Gs	e_0	Cc	Cr	P'ci (kg/cm ²)
1 (0 – 4) m	2,65	0,57	0,20	0,06	1,25
2 (4 – 8) m	2,63	0,87	0,16	0,09	5,50
3 (8 – 12) m	2,59	0,13	0,66	0,16	4
4 (12 – 16) m	2,55	1,44	0,79	0,18	1,40

Untuk kedalaman awal diambil $D_f = 1,75\text{ m}$ pada semua formasi pondasi.

Selanjutnya dilakukan beberapa tahap perhitungan, yaitu :

1. Menghitung tekanan efektif mula – mula (P_0)

Karena muka air tanah terletak di permukaan, maka berat volume dipakai berat volume tanah terendam air.

Dan hitungan dilakukan pada tiap tengah – tengah lapisan tanah.

• Lapisan tanah 1

$$\gamma_1' = \frac{(2,65 - 1)1}{1 + 0,57} = 1,0510 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{01} &= \gamma_1' \times (2,5/2) \\ &= 1,0510 \times 1,25 \\ &= 1,3138 \text{ t/m}^2 = 0,1314 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,70 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

• Lapisan tanah 2

$$\gamma_2' = \frac{(2,63 - 1)1}{1 + 0,87} = 0,8717 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{02} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times (4/2)) \\ &= (1,0510 \times 4) + (0,8717 \times 2) \\ &= 5,9474 \text{ t/m}^2 = 0,5947 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 3,50 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

• Lapisan tanah 3

$$\gamma_3' = \frac{(2,59 - 1)1}{1 + 0,13} = 1,4071 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{03} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times (4/2)) \\ &= (1,0510 \times 4) + (0,8717 \times 4) + (1,4071 \times 2) \\ &= 10,5050 \text{ t/m}^2 = 1,0505 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,25 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 4

$$\gamma_4' = \frac{(2,55 - 1)1}{1 + 1,44} = 0,6352 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{o4} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times 4) + (\gamma_4' \times (4/2)) \\ &= (1,0510 \times 4) + (0,8717 \times 4) + (1,4071 \times 4) + (0,6352 \times 2) \\ &= 14,5896 \text{ t/m}^2 = 1,4590 \text{ kg/cm}^2 < P'_{c1} = 1,70 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Karena $P_{oi} < P'_{ci}$, maka semua lapisan tanah lempung tersebut pada BH – 2 terkonsolidasi secara berlebihan (Over Consolidated).

2. Menghitung tambahan tegangan (ΔP)

Nilai (ΔP) dihitung pada pertengahan masing – masing lapisan dan di bawah titik tengah pondasi rakit . Sesuai persamaan (3.7), ΔP dihitung sebagai :

$$\Delta P = q_n \cdot I_2$$

Harga q_n (tekanan netto) telah didapat dari awal perhitungan penurunan segera. Sedangkan untuk menentukan harga I_2 yang merupakan faktor pengaruh terhadap pengaruh terhadap m dan n , dipakai grafik pada gambar (3.5). Dari grafik tersebut kita dapat menentukan besarnya tegangan vertikal di bawah sudut suatu luasan pondasi.

Formasi pondasi (1)

Luasan pondasi dibagi menjadi empat bagian yang sama sehingga pada tiap bagiannya akan didapat $B = 3,75$ m, $L = 3,75$ m. Harga $q_n = 0,0432$ kg/cm² (didapat pada hasil perhitungan awal penurunan segera untuk kedalaman awal $D_f = 1,5$ m).

- Lapisan tanah 1

$$Z = 1,25 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 1)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{1,25} = 3$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{1,25} = 3$$

Dari grafik gambar (3.5)

diperoleh $I_2 = 0,244$

Untuk seperempat luasan pondasi :

$$P = q_n \cdot I_2 = 0,0432 \times 0,244 = 0,0105 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk seluruh luasan pondasi :

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot I_2 = 0,0422 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 2

$$Z = 4,5 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 2)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{4,5} = 0,83$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{4,5} = 0,8$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $I_2 = 0,15$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0259 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 3

$$Z = 8,5 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 3)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{8,5} = 0,44$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{8,5} = 0,44$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,07$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0113 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 4

$$Z = 12,5 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 4)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{12,5} = 0,3$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{12,5} = 0,3$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,04$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0069 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hitungan tekanan efektif mula-mula dan tambahan tegangan, hasil-hasil yang diperoleh untuk tiap-tiap lapisan tanah dimasukkan dalam tabel (4.35).

Tabel 4.35 Hasil perhitungan P_{oi} dan ΔP_i tiap lapisan dengan $D_f = 1,5$ m pada BH-2 untuk formasi (1)

Lapisan	P_{oi} (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	$P_{oi} + \Delta P_i$	P'_{ci} (kg/cm ²)
1	0,1314	0,0422	0,1736	1,25
2	0,5947	0,0259	0,6206	5,50
3	1,0505	0,0121	1,0626	4
4	1,4590	0,0069	1,4659	1,40

Dari tabel (4.35) tersebut dapat dilihat bahwa nilai $(P_{oi} + \Delta P_i) < P'_{ci}$. Oleh karena itu sesuai dengan teori di muka, maka rumus penurunan Terzaghi yang dipergunakan adalah persamaan (3.34).

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_o} H \log \frac{(P_o + \Delta P)}{P_o}$$

Dalam lampiran data tanah, C_s (Indeks pemampatan kembali / "Swell Index") ditulis C_r ("recompression Index"). Sedangkan H adalah tebal tiap lapisan tanah lempung yang ditinjau. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,5$ m pada BH-2 dimasukkan dalam tabel (4.36).

Tabel 4.36 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk formasi (1) dengan Df = 1,5 m pada BH -2

Lapisan	Cr	H (cm)	e _o	P _o (kg/cm ²)	ΔP (kg/cm ²)	Sci (cm)
1	0,06	250	0,57	0,1314	0,0422	1,1556
2	0,09	400	0,87	0,5947	0,0259	0,3564
3	0,16	400	0,13	1,0505	0,0121	0,2817
4	0,18	400	1,44	1,4590	0,0069	0,0605

Maka diperoleh besar penurunan konsolidasi primer total Terzaghi untuk Df = 1,5 m :

$$\begin{aligned}
 S_c \text{ total} &= S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} + S_{c4} \\
 &= 1,1556 + 0,3564 + 0,2817 + 0,0605 = 1,8542 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Karena kedalaman pondasi bervariasi, maka dengan metoda analogis dapat pula dihitung besar penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk nilai Df lainnya. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga – harga Cr, H, e_o dan P'ci sama untuk tinjauan Df yang sama.

Tabel 4.37 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	225	0,1182	0,0183	0,1365	0,5376	0,8617
2	400	0,5947	0,0120	0,6067	0,1670	
3	400	1,0505	0,0056	1,0561	0,1308	
4	400	1,4590	0,0030	1,4620	0,0263	

Tabel 4.38 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,90\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	210	0,1104	0,0039	0,1143	0,1210	0,1923
2	400	0,5947	0,0027	0,5974	0,0379	
3	400	1,0505	0,0012	1,0517	0,0281	
4	400	1,4590	0,0006	1,4596	0,0053	

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung besar penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi pondasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga q_n tergantung dari jenis formasi pondasi dan kedalamannya. Untuk harga Poi sama untuk tinjauan kedalaman pondasi yang sama pula. Sedangkan harga ΔP_i berbeda sesuai dengan bentuk dan ukuran pondasi. Harga C_r dan e_0 juga sama, karena tinjauannya terletak pada lokasi titik yang sama yaitu BH-2.

Tabel 4.39 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,5\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	250	0,1314	0,0479	0,1793	1,2897	1,8559
2	400	0,5947	0,0225	0,6172	0,3105	
3	400	1,0505	0,0092	1,0597	0,2145	
4	400	1,4590	0,0047	1,4637	0,0412	

Tabel 4.40 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	225	0,1182	0,0254	0,1436	0,7269	1,0447
2	400	0,5947	0,0123	0,6070	0,1712	
3	400	1,0505	0,0053	1,0558	0,1238	
4	400	1,4590	0,0026	1,4616	0,0228	

Tabel 4.41 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,95\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	205	0,1077	0,0074	0,1151	0,2261	0,3252
2	400	0,5947	0,0040	0,5987	0,0561	
3	400	1,0505	0,0015	1,0520	0,0351	
4	400	1,4590	0,0009	1,4599	0,0079	

Tabel 4.42 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,1051	0,0021	0,1072	0,0657	0,0924
2	400	0,5947	0,0011	0,5958	0,0155	
3	400	1,0505	0,0004	1,0509	0,0094	
4	400	1,4590	0,0002	1,4592	0,0078	

Tabel 4.43 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 1,5\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	250	0,1314	0,0549	0,1863	1,4486	2,1808
2	400	0,5947	0,0205	0,6152	0,2833	
3	400	1,0505	0,0157	1,0662	0,3649	
4	400	1,4590	0,0096	1,4686	0,0840	

Tabel 4.44 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi ,(3) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	225	0,1182	0,0336	0,1518	0,9343	1,2216
2	400	0,5947	0,0121	0,6068	0,1684	
3	400	1,0505	0,0043	1,0548	0,1005	
4	400	1,4590	0,0021	1,4511	0,0184	

Tabel 4.45 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,1051	0,0105	0,1156	0,3161	0,4193
2	400	0,5947	0,0043	0,5090	0,0602	
3	400	1,0505	0,0015	1,0520	0,0351	
4	400	1,4590	0,0009	1,4599	0,0079	

Tabel 4.46 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,10\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	190	0,0998	0,0012	0,1010	0,0377	0,0503
2	400	0,5947	0,0005	0,5952	0,0070	
3	400	1,0505	0,0002	1,0507	0,0047	
4	400	1,4590	0,0001	1,4591	0,0009	

C. Data tanah BH – 3

Berdasarkan data tanah hasil uji di laboratorium berupa indeks properties dan konsolidasi, didapat parameter-parameter yang dimasukkan dalam tabel (4.47).

Tabel 4.47 Data tanah BH-3

Lapisan	Gs	e_0	Cc	Cr	P'ci (kg/cm ²)
1 (0 – 4) m	2,60	0,99	0,54	0,15	1,40
2 (4 – 8) m	2,60	1,44	0,66	0,17	1,60
3 (8 – 12) m	2,61	1,48	0,47	0,13	4,50
4 (12 – 16) m	2,62	1,17	0,38	0,16	2,50

Untuk kedalaman awal diambil $D_f = 1,75$ m pada semua formasi pondasi.

Selanjutnya dilakukan beberapa tahap perhitungan, yaitu :

1. Menghitung tekanan efektif mula – mula (P_o)

Karena muka air tanah terletak di permukaan, maka berat volume dipakai berat volume tanah terendam air.

Dan hitungan dilakukan pada tiap tengah – tengah lapisan tanah.

- Lapisan tanah 1

$$\gamma_1' = \frac{(2,60 - 1)1}{1 + 0,99} = 0,8040 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{o1} &= \gamma_1' \times (2,25/2) \\ &= 0,8040 \times 1,125 \\ &= 0,9050 \text{ t/m}^2 = 0,0905 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,70 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 2

$$\gamma_2' = \frac{(2,60 - 1)1}{1 + 1,44} = 0,6557 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_{o2} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times (4/2)) \\ &= (0,8040 \times 4) + (0,6557 \times 2) \\ &= 1,8742 \text{ t/m}^2 = 0,1874 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 3,50 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 3

$$\gamma_3' = \frac{(2,61 - 1)1}{1 + 1,48} = 0,6492 \text{ t/m}^3$$

$$P_{o3} = (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times (4/2))$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,8454 \times 4) + (0,6557 \times 4) + (0,6492 \times 2) \\
 &= 4,84 \text{ t/m}^2 = 0,4840 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,25 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Lapisan tanah 4

$$\gamma_4' = \frac{(2,6 - 1)1}{1 + 1,17} = 0,7373 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 P_{o4} &= (\gamma_1' \times 4) + (\gamma_2' \times 4) + (\gamma_3' \times 4) + (\gamma_4' \times (4/2)) \\
 &= (0,8454 \times 4) + (0,6557 \times 4) + (0,6492 \times 4) + (0,7373 \times 2) \\
 &= 7,257 \text{ t/m}^2 = 0,7257 \text{ kg/cm}^2 < P'c_1 = 1,70 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Karena $P_{oi} < P'c_i$, maka semua lapisan tanah lempung tersebut pada BH – 3 terkonsolidasi secara berlebihan (Over Consolidated).

2. Menghitung tambahan tegangan (ΔP)

Nilai (ΔP) dihitung pada pertengahan masing – masing lapisan dan di bawah titik tengah pondasi rakit . Sesuai persamaan (3.7), ΔP dihitung sebagai :

$$\Delta P = q_n \cdot I_2$$

Harga q_n (tekanan netto) telah didapat dari awal perhitungan penurunan segera. Sedangkan untuk menentukan harga I_2 yang merupakan faktor pengaruh terhadap pengaruh terhadap m dan n , dipakai grafik pada gambar (3.5). Dari grafik tersebut kita dapat menentukan besarnya tegangan vertikal di bawah sudut suatu luasan pondasi.

Formasi pondasi (1)

Luasan pondasi dibagi menjadi empat bagian yang sama sehingga pada tiap bagiannya akan didapat $B = 3,75$ m, $L = 3,75$ m. Harga $q_n = 0,0413$ kg/cm² (didapat pada hasil perhitungan awal penurunan segera untuk kedalaman awal $D_f = 1,75$ m).

- Lapisan tanah 1

$$Z = 1,125 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 1)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{1,125} = 3,33$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{1,125} = 3,33$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,245$

Untuk seperempat luasan pondasi :

$$P = q_n \cdot l_2 = 0,0413 \times 0,245 = 0,0101 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk seluruh luasan pondasi :

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0403 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 2

$$Z = 4,25 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 2)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{4,25} = 0,88$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{4,25} = 0,88$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,158$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0264 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 3

$$Z = 8,25 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 3)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{8,25} = 0,45$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{8,25} = 0,45$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,07$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0124 \text{ kg/cm}^2$$

- Lapisan tanah 4

$$Z = 12,25 \text{ m (jarak dari dasar pondasi ke tengah lapisan tanah 4)}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{3,75}{12,25} = 0,28$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{3,75}{12,25} = 0,28$$

Dari grafik gambar (3.5)
diperoleh $l_2 = 0,038$

$$\Delta P = 4 \cdot q_n \cdot l_2 = 0,0066 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hitungan tekanan efektif mula-mula dan tambahan tegangan, hasil-hasil yang diperoleh untuk tiap-tiap lapisan tanah dimasukkan dalam tabel (4.48) berikut ini :

Tabel 4.48 Hasil perhitungan P_{oi} dan ΔP_i tiap lapisan dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-3 untuk formasi (1)

Lapisan	P_{oi} (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	$P_{oi} + \Delta P_i$	P'_{ci} (kg/cm ²)
1	0,0905	0,0403	0,1308	1,40
2	0,1874	0,0264	0,2138	1,60
3	0,4840	0,0124	0,4964	4,50
4	0,7257	0,0066	0,7323	2,50

Dari tabel (4.48) tersebut dapat dilihat bahwa nilai $(P_{oi} + \Delta P_i) < P'_{ci}$. Oleh karena itu sesuai dengan teori di muka, maka rumus penurunan Terzaghi yang dipergunakan adalah persamaan (3.34).

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_o} H \log \frac{(P_o + \Delta P)}{P_o}$$

Dalam lampiran data tanah, C_s (Indeks pemampatan kembali / "Swell Index") ditulis C_r ("recompression Index"). Sedangkan H adalah tebal tiap lapisan tanah lempung yang ditinjau. Untuk lebih jelasnya, hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-3 dimasukkan dalam tabel (4.24).

Tabel 4.49 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH –3

Lapisan	Cr	H (cm)	e_o	P_o (kg/cm ²)	ΔP (kg/cm ²)	Sci (cm)
1	0,15	225	0,99	0,0905	0,0403	2,7129
2	0,17	400	1,44	0,1874	0,0264	1,7708
3	0,13	400	1,48	0,4840	0,0124	0,2304
4	0,18	400	1,17	0,7257	0,0066	0,1160

Maka diperoleh besar penurunan konsolidasi primer total Terzaghi untuk $D_f = 1,75$ m :

$$\begin{aligned} Sc_{\text{total}} &= Sc_1 + Sc_2 + Sc_3 + Sc_4 \\ &= 2,7129 + 1,7708 + 0,2304 + 0,1160 = 4,8301 \text{ cm} \end{aligned}$$

Karena kedalaman pondasi bervariasi, maka dengan metoda analogis dapat pula dihitung besar penurunan konsolidasi primer Terzaghi untuk nilai D_f lainnya. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga – harga Cr, H, e_o dan P'_{ci} sama untuk tinjauan D_f yang sama.

Tabel 4.50 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,0804	0,0206	0,1010	1,4934	2,5599
2	400	0,1874	0,0144	0,2018	0,8960	
3	400	0,4840	0,0061	0,4901	0,1141	
4	400	0,7257	0,0032	0,7289	0,0564	

Tabel 4.51 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (1) dengan $D_f = 2,25\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	175	0,0704	0,0004	0,0708	0,0325	0,0639
2	400	0,1874	0,0004	0,1878	0,0258	
3	400	0,4840	0,0001	0,4842	0,0038	
4	400	0,7257	0,0001	0,7258	0,0018	

Selanjutnya dengan metoda analogis, dapat dihitung besar penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi pondasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel. Harga q_n tergantung dari jenis formasi pondasi dan kedalamannya. Untuk harga Poi sama untuk tinjauan kedalaman pondasi yang sama pula. Sedangkan harga ΔP_i berbeda sesuai dengan bentuk dan ukuran pondasi. Harga C_r dan e_0 juga sama, karena tinjauannya terletak pada lokasi titik yang sama yaitu BH-3.

Tabel 4.52 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	200	0,0804	0,0276	0,1080	1,9322	2,9913
2	400	0,1874	0,0144	0,2018	0,8960	
3	400	0,4840	0,0058	0,4898	0,1085	
4	400	0,7257	0,0031	0,7288	0,0546	

Tabel 4.53 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2,25\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	175	0,0704	0,0082	0,0786	0,6312	0,9805
2	400	0,1874	0,0047	0,1921	0,2998	
3	400	0,4840	0,0017	0,4857	0,0319	
4	400	0,7257	0,0010	0,7267	0,0176	

Tabel 4.54 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (2) dengan $D_f = 2,30\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	170	0,0683	0,0042	0,0725	0,3321	0,5137
2	400	0,1874	0,0024	0,1898	0,1540	
3	400	0,4840	0,0010	0,4850	0,0188	
4	400	0,7257	0,0005	0,7262	0,0088	

Tabel 4.58 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Terzaghi untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,45\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	H (cm)	Poi (kg/cm ²)	ΔP_i (kg/cm ²)	Poi+ ΔP_i (kg/cm ²)	Sci (cm)	Sctotal (cm)
1	155	0,0623	0,0010	0,0633	0,0808	0,1122
2	400	0,1874	0,0004	0,1878	0,0258	
3	400	0,4840	0,0002	0,4842	0,0038	
4	400	0,7257	0,0001	0,7258	0,0018	

IV.3.2 Metode Skempton – Bjerrum

Pada metode ini pengaruh adanya regangan lateral diperhitungkan dalam bentuk koreksi penurunan Skempton-Bjerrum (β). Besarnya estimasi penurunan konsolidasi primer di lapangan berdasarkan koreksi penurunan (β) terhadap penurunan yang dihitung berdasarkan hasil uji konsolidasi di laboratorium. Adapun persamaan yang dipakai adalah sesuai persamaan (3.38), (3.39), (3.40), dan (3.41), yaitu :

$$S_c = \beta \cdot S_{oed} \quad (3.38)$$

$$\beta = A + \alpha (1 - A) \quad (3.39)$$

$$S_{oed} = \int_0^H m_v \cdot \Delta p \cdot dH = m_v \cdot \Delta p_i \cdot H_i \quad (3.40)$$

$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \frac{\Delta e}{\Delta p} \quad (3.41)$$

A (tekanan air pori) diambil dari tabel (3.6) dengan kondisi tanah terkonsolidasi berlebihan yaitu 0,25. Untuk harga α diambil berdasarkan jenis dan bentuk pondasi pada tabel (3.8). Sedangkan e_0 diambil dari data tanah yang ditinjau.

Berdasarkan perhitungan pada metode Terzaghi, tanah dalam kondisi terkonsolidasi berlebihan dimana nilai $(P_0 + \Delta p) < P'_c$. Sehingga Δe dihitung sesuai persamaan (3.33).

$$\begin{aligned}\Delta e &= C_s (\log ((P_0 + \Delta p) - \log P_0) & (3.33) \\ &= C_r (\log ((P_0 + \Delta p) - \log P_0)\end{aligned}$$

Nilai C_r diambil dari data tanah pada tiap-tiap lapisan dan besar penurunan total merupakan penjumlahan besar penurunan tiap lapisannya.

A. Titik BH – 1

Perhitungan dilakukan tiap-tiap formasi pondasi dengan kedalaman pondasi (D_f) yang bervariasi.

Formasi (1)

Untuk $D_f = 1,75$ m

- Menentukan harga α

Lapisan 1: $H/B = 225/750 = 0,3 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,77$ (interpolasi)

Lapisan 2 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 3 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 4 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

- Menentukan harga β

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 1 : } \beta &= 0,25 + 0,77 (1 - 0,25) \\ &= 0,8275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 2 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 3 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 4 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

- Menghitung m_v

Nilai C_r dan e_o dari data tanah (lampiran) sedangkan nilai (P_o & Δp) diambil dari hasil perhitungan pada metoda Terzaghi sesuai kedalaman pondasi, bentuk dan letak titik tanahnya. Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 1 : } \Delta e &= 0,08 (\log (0,0951 + 0,0397) - \log 0,0951) \\ &= 0,0344 \end{aligned}$$

$$m_v = (0,0344/0,0397) \times (1/(1 + 0,94)) = 0,4466 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\text{Lapisan 2 : } \Delta e = 0,19 (\log (0,4856 + 0,0256) - \log 0,4856)$$

$$= 0,0042$$

$$mv = (0,0042/0,0256) \times (1/(1 + 1,17)) = 0,0756 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\text{Lapisan 3 : } \Delta e = 0,14 (\log (0,7886 + 0,0276) - \log 0,7886)$$

$$= 0,0021$$

$$mv = (0,0021/0,0276) \times (1/(1 + 1,07)) = 0,0368 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\text{Lapisan 4 : } \Delta e = 0,09 (\log (1,0998 + 0,0062) - \log 1,0998)$$

$$= 0,0005$$

$$mv = (0,0005/0,0062) \times (1/(1 + 1,07)) = 0,0390 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

- Menghitung penurunan yang terjadi

Perhitungan langsung dimasukkan dalam tabel (4.59) di bawah ini.

Tabel 4.59 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	S_c total (cm)
1	0,4466	0,8275	3,9893	3,3011	4,2142
2	0,0756	0,7150	0,7741	0,5535	
3	0,0368	0,7150	0,4063	0,2905	
4	0,0390	0,7150	0,0967	0,0691	

Dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan untuk kedalaman lainnya.

Tabel 4.60 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 2$ m pada BH-1

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,1884	0,8425	0,7423	0,6254	0,9976
2	0,0768	0,7150	0,4239	0,3031	
3	0,0333	0,7150	0,0773	0,0553	
4	0,0161	0,7150	0,0193	0,0138	

Tabel 4.61 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 2,24$ m pada BH-1

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,0043	0,8620	0,000098	0,00008	0
2	0,00002	0,7150	0,0000008	0,0000006	
3	0	0,7150	0	0	
4	0	0,7150	0	0	

Dengan metoda analoic dapat pula dihitung besar penurunan untuk formasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.62 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-1

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,1576	0,7225	1,7688	0,9890	1,5182
2	0,0770	0,7480	0,5729	0,4285	
3	0,0358	0,7480	0,1160	0,0868	
4	0,0124	0,7480	0,0193	0,0144	

Tabel 4.63 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1916	0,7527	0,7319	0,5509	0,7026
2	0,0745	0,7480	0,2026	0,1515	
3	0,0002	0,7480	0,0003	0,0002	
4	0,00004	0,7480	0,00003	0,00002	

Tabel 4.64 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1486	0,7225	1,8088	1,3069	1,8487
2	0,0776	0,7480	0,6084	0,4551	
3	0,0350	0,7480	0,0966	0,0723	
4	0,0138	0,7480	0,0193	0,0144	

Tabel 4.65 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-1

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1783	0,7527	1,2374	0,9314	1,3207
2	0,0757	0,7480	0,4239	0,3171	
3	0,0394	0,7480	0,0772	0,0577	
4	0,0167	0,7480	0,0194	0,0145	

Tabel 4.66 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan Df = 2,25m pada BH-1

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,2186	0,7786	0,6044	0,4706	0,7806
2	0,0768	0,7480	0,2212	0,1655	
3	0,1672	0,7480	0,1739	0,1301	
4	0,0375	0,7480	0,0193	0,0144	

Tabel 4.67 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan Df = 2,30m pada BH-1

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,2300	0,7837	0,4653	0,3647	0,5009
2	0,0768	0,748	0,1659	0,1241	
3	0,0386	0,748	0,0154	0,0115	
4	0,0020	0,748	0,0008	0,0006	

B. Titik BH-2

Perhitungan dilakukan tiap-tiap formasi pondasi dengan kedalaman pondasi (Df) yang bervariasi.

Formasi (1)

Untuk Df = 1,5 m

- Menentukan harga α

Lapisan 1: $H/B = 250/750 = 0,33 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha =$

0,77 (interpolasi)

Lapisan 2 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 3 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 4 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

- Menentukan harga β

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 1 : } \beta &= 0,25 + 0,77 (1 - 0,25) \\ &= 0,7375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 2 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 3 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 4 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

- Menghitung m_v

Nilai C_r dan e_o dari data tanah (lampiran) sedangkan nilai $(P_o \ \& \ \Delta p)$ diambil dari hasil perhitungan pada metoda Terzaghi sesuai kedalaman pondasi, bentuk dan letak titik tanahnya. Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 1 : } \Delta e &= 0,06 (\log (0,1314 + 0,0422) - \log 0,1314) \\ &= 0,0073 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0073/0,0422) \times (1/(1 + 0,57)) = 0,1102 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 2 : } \Delta e &= 0,09 (\log (0,5947 + 0,0259) - \log 0,5947) \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0017 / 0,0259) \times (1/(1+0,87)) = 0,0351 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 3 : } \Delta e &= 0,16 (\log(1,0505 + 0,0121) - \log 1,0505) \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0008/0,0121) \times (1/(1+0,13)) = 0,0585 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 4 : } \Delta e &= 0,18 (\log(1,4590 + 0,0069) - \log 1,4590) \\ &= 0,0004 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0004/0,0069) \times (1/(1+ 1,44)) = 0,0238 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

- Menghitung penurunan yang terjadi

Perhitungan langsung dimasukkan dalam tabel (4.69) di bawah ini.

Tabel 4.68 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,5$ m pada BH-2

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c \text{ total}}$ (cm)
1	0,1102	0,8275	1,1626	0,9621	1,8945
2	0,0351	0,7150	0,3636	0,2600	
3	0,0585	0,7150	0,2831	0,2024	
4	0,0238	0,7150	0,0657	0,0470	

Dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan untuk kedalaman lainnya. Hasil-hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.69 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1323	0,8275	0,5447	0,4507	0,698
2	0,0357	0,7150	0,1714	0,1226	
3	0,0632	0,7150	0,1416	0,1012	
4	0,0273	0,7150	0,0328	0,0235	

Tabel 4.70 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,90\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1470	0,8347	0,1204	0,1005	0
2	0,0396	0,7150	0,0428	0,0306	
3	0,0590	0,7150	0,0283	0,0202	
4	0,00008	0,7150	0,000002	0,000001	

Dengan metoda analoic dapat pula dihitung besar penurunan untuk formasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.71 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,5\text{ m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1077	0,7135	1,2897	0,9202	1,3590
2	0,0357	0,7480	0,3213	0,2403	
3	0,0587	0,7480	0,2160	0,1616	
4	0,0262	0,7480	0,0493	0,0369	

Tabel 4.72 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1279	0,7225	0,7309	0,5281	0,7744
2	0,0348	0,7480	0,1712	0,1281	
3	0,0688	0,7480	0,1416	0,1059	
4	0,0158	0,7480	0,0164	0,0123	

Tabel 4.73 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 1,95\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1463	0,7429	0,2219	0,1648	0,2454
2	0,0401	0,7480	0,0642	0,0480	
3	0,0590	0,7480	0,0354	0,0265	
4	0,0228	0,7480	0,0082	0,0061	

Tabel 4.74 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 2\text{ m}$ pada BH-2

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\text{ total}}$ (cm)
1	0,1516	0,7527	0,0637	0,0479	0,0683
2	0,0304	0,7480	0,0150	0,0112	
3	0,0664	0,7480	0,0106	0,0080	
4	0,0205	0,7480	0,0016	0,0012	

Tabel 4.75 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 1,5\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,1056	0,7135	1,4494	1,0341	1,5681
2	0,0339	0,7480	0,2780	0,2079	
3	0,0564	0,7480	0,3542	0,2649	
4	0,0213	0,7480	0,0818	0,0612	

Tabel 4.76 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-2

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,1232	0,7225	0,9314	0,6729	0,8927
2	0,0354	0,7480	0,1713	0,1281	
3	0,0617	0,7480	0,1061	0,0794	
4	0,0195	0,7480	0,0164	0,0123	

Tabel 4.77 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 2\text{ m}$ pada BH-2

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{ci} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,1517	0,7527	0,3186	0,2398	0,3204
2	0,0373	0,7480	0,0642	0,0480	
3	0,0590	0,7480	0,0354	0,0265	
4	0,0228	0,7480	0,0082	0,0061	

C. Titik BH-3

Perhitungan dilakukan tiap-tiap formasi pondasi dengan kedalaman pondasi (D_f) yang bervariasi.

Formasi (1)

Untuk $D_f = 1,75$ m

- Menentukan harga α

Lapisan 1: $H/B = 225/750 = 0,3 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,77$ (interpolasi)

Lapisan 2 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 3 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

Lapisan 4 : $H/B = 400/750 = 0,53 \rightarrow$ Dari tabel (3.8) diperoleh $\alpha = 0,62$ (interpolasi)

- Menentukan harga β

Lapisan 1 : $\beta = 0,25 + 0,77 (1 - 0,25)$
 $= 0,8275$

Lapisan 2 : $\beta = 0,25 + 0,62 (1 - 0,25)$
 $= 0,7150$

Lapisan 3 : $\beta = 0,25 + 0,62 (1 - 0,25)$
 $= 0,7150$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 4 : } \beta &= 0,25 + 0,62 (1 - 0,25) \\ &= 0,7150 \end{aligned}$$

- Menghitung mv

Nilai Cr dan eo dari data tanah (lampiran) sedangkan nilai (Po & Δp) diambil dari hasil perhitungan pada metoda Terzaghi sesuai kedalaman pondasi, bentuk dan letak titik tanahnya. Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 1 : } \Delta e &= 0,15 (\log (0,0905 + 0,0403) - \log 0,0905) \\ &= 0,0240 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0240/0,0403) \times (1/(1 + 0,99)) = 0,2993 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 2 : } \Delta e &= 0,17 (\log (0,1874 + 0,0264) - \log 0,1874) \\ &= 0,0097 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0097/0,0264) \times (1/(1+1,44)) = 0,1506 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 3 : } \Delta e &= 0,13 (\log(0,4840 + 0,0124) - \log 0,4840) \\ &= 0,0014 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0014/0,0124) \times (1/(1+1,48)) = 0,0455 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Lapisan 4 : } \Delta e &= 0,16 (\log(0,7257 + 0,0066) - \log 0,7257) \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$mv = (0,0006/0,0066) \times (1/(1+ 1,17)) = 0,0279 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

- Menghitung penurunan yang terjadi

Perhitungan langsung dimasukkan dalam tabel (4.79) di bawah ini.

Tabel 4.78 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 1,75\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	M_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,2993	0,8275	2,7139	2,2458	3,5970
2	0,1506	0,7150	1,5903	1,1371	
3	0,0455	0,7150	0,2257	0,1614	
4	0,0279	0,7150	0,0737	0,0527	

Dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan untuk kedalaman lainnya. Hasil-hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.79 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 2\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,3635	0,8425	1,4976	1,2617	2,0265
2	0,1565	0,7150	0,9014	0,6445	
3	0,0463	0,7150	0,1130	0,0808	
4	0,0432	0,7150	0,0553	0,0395	

Tabel 4.80 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (1) dengan $D_f = 2,25\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,5025	0,8620	0,0352	0,0303	0,0574
2	0,2049	0,7150	0,0328	0,0235	
3	0,0806	0,7150	0,0032	0,0023	
4	0,0461	0,7150	0,0018	0,0013	

Dengan metoda analoisis dapat pula dihitung besar penurunan untuk formasi (2) dan (3). Untuk lebih memudahkan maka hasil-hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.81 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 2$ m pada BH-3

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	S_c total (cm)
1	0,3496	0,7527	1,9298	1,4526	2,2527
2	0,1565	0,7480	0,9014	0,6742	
3	0,0487	0,7480	0,1130	0,0845	
4	0,0446	0,7480	0,0553	0,0414	

Tabel 4.82 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (2) dengan $D_f = 2,25$ m pada BH-3

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	S_c total (cm)
1	0,4412	0,7786	0,6331	0,4929	0,7516
2	0,1570	0,7480	0,2952	0,2208	
3	0,0474	0,7480	0,0322	0,0241	
4	0,0461	0,7480	0,0184	0,0138	

Tabel 4.83 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 2$ m pada BH-3

Lapisan	m_v (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	S_c total (cm)
1	0,3142	0,7527	2,2308	1,0189	1,8055
2	0,1565	0,7480	0,9014	0,6742	
3	0,0484	0,7480	0,0968	0,0724	
4	0,0461	0,7480	0,0553	0,0400	

Tabel 4.84 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,25\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,4163	0,7786	1,2312	0,9586	1,3765
2	0,1597	0,7480	0,4919	0,3679	
3	0,0432	0,7480	0,0484	0,0362	
4	0,0329	0,7480	0,0184	0,0138	

Tabel 4.85 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer metoda Skempton Bjerrum untuk formasi (3) dengan $D_f = 2,30\text{m}$ pada BH-3

Lapisan	mv (cm^2/kg)	β	S_{oed} (cm)	S_{cl} (cm)	$S_{c\ total}$ (cm)
1	0,4402	0,7837	0,9654	0,7566	1,0767
2	0,1598	0,7480	0,3771	0,2821	
3	0,0384	0,7480	0,0323	0,0242	
4	0,0419	0,7480	0,0184	0,0138	

IV.4 Penurunan konsolidasi sekunder

Dalam analisa perhitungan konsolidasi sekunder, drainasi diasumsikan ganda atau dobel dimana kedua ujung bersifat lolos air dengan lintasan drainasi dalam dua arah.

Perhitungan konsolidasi sekunder didasarkan pada waktu dimana konsolidasi primer 90 % telah selesai (t_{90}). Adapun persamaan-persamaan yang dipakai adalah :

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} H \text{ Log } \frac{t_2}{t_1} \quad (3.42)$$

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log } (t_2 / t_1)} \quad (3.43)$$

$$t = \frac{T_v H_t^2}{C_v} \quad (3.44)$$

$$\Delta e = C_r \text{ Log } \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (\text{untuk kondisi overconsolidated}) \quad (3.48)$$

Karena t pada t_{90} maka persamaan menjadi (C.H Christady) :

$$t = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} \quad (3.47)$$

Harga-harga C_v diambil dari data tanah uji konsolidasi di laboratorium (lihat lampiran data tanah "summary of laboratory test result" pada halaman 5 sampai dengan 16). Sedangkan harga P_o dan $+ \Delta P$ diperoleh dari hasil perhitungan pada konsolidasi primer.

IV.4.1 Titik BH-1

Berikut diberikan harga-harga koefisien konsolidasi tiap lapisan tanah berdasarkan data tanah.

Tabel 4.86 Harga Cv tiap lapisan tanah

Lapisan	Cv x 10 ⁻³ (cm ² /menit)
1	4
2	3
3	1,2
4	2,3

Formasi (1)

Untuk kedalaman 1,75 m.

Lapisan 1 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{Cv} = \frac{0,848 \times (225/2)^2}{4 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 5 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 10$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{Po + \Delta P}{Po} = 0,08 \times \log \frac{0,0951 + 0,0397}{0,0951}$$

$$= 0,0121$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0121}{\log(10/5)} = 0,0402$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 0,94 - 0,0121 = 0,9521$$

$$S_s = \frac{0,0402}{1 + 0,9521} \times 225 \times \log \frac{10}{5} = 1,4123 \text{ cm}$$

Lapisan 2 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{Cv} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{3 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 21,5 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 25$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{Po + \Delta P}{Po} = 0,19 \times \text{Log} \frac{0,4856 + 0,0256}{0,4856}$$

$$= 0,0042$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0042}{\text{log}(25/21,5)} = 0,0641$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 1,17 - 0,0042 = 1,1658$$

$$Ss = \frac{0,00641}{1 + 1,1658} \times 400 \times \text{Log} \frac{25}{21,5} = 0,7754 \text{ cm}$$

Lapisan 3 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{Cv} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{1,2 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 54 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 55$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{Po + \Delta P}{Po} = 0,14 \times \text{Log} \frac{0,7886 + 0,0276}{0,7886}$$

$$= 0,0021$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0021}{\text{log}(55/54)} = 0,2635$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 1,07 - 0,0021 = 1,0679$$

$$S_s = \frac{0,2635}{1 + 1,0679} \times 400 \times \text{Log} \frac{55}{54} = 0,4062 \text{ cm}$$

Lapisan 4 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{2,3 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 28 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 30$ tahun

$$\Delta e = C_r \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 0,09 \times \text{Log} \frac{1,0998 + 0,0062}{1,0998}$$

$$= 0,0005$$

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0005}{\log(30/28)} = 0,0167$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 1,07 - 0,0005 = 1,0695$$

$$S_s = \frac{0,0167}{1 + 1,0695} \times 400 \times \text{Log} \frac{30}{28} = 0,0967 \text{ cm}$$

Dari perhitungan di atas, hasil-hasil yang telah didapat dimasukkan ke dalam tabel berikut :

Tabel 4.87 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	C_α	Δe	S_{s1} (cm)
1	5	10	0,0402	0,0121	1,4123
2	21,5	25	0,0641	0,0042	0,7754
3	54	55	0,2635	0,0021	0,4062
4	28	30	0,0167	0,0005	0,0967

Kemudian dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan pada kedalaman pondasi (D_f) lainnya. Begitu juga untuk formasi pondasi (2) dan (3). Dan hasil-hasil perhitungan langsung dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.88 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 2$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0073	0,0183	0,7536
2	21,5	25	0,0023	0,0351	0,4242
3	54	55	0,0004	0,0418	0,0774
4	28	30	0,0001	0,0033	0,0191

Tabel 4.89 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 2,24$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	3	10	0,00005	0,0001	0,0047
2	21,5	25	0,00002	0,0003	0,0036
3	54	55	0	0	0
4	28	30	0	0	0

Tabel 4.90 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	5	10	0,0118	0,0392	1,3770
2	21,5	25	0,0031	0,0473	0,5719
3	54	55	0,0006	0,0753	0,1160
4	28	30	0,0001	0,0033	0,0191

Tabel 4.91 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 2$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0070	0,0176	0,7247
2	21,5	25	0,0011	0,0168	0,2029
3	54	55	0,0003	0,0376	0,0580
4	28	30	0,00007	0,0023	0,0133

Tabel 4.92 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	5	10	0,0156	0,0518	1,8232
2	21,5	25	0,0033	0,0504	0,6095
3	54	55	0,0005	0,0627	0,0966
4	28	30	0,0001	0,0033	0,0191

Tabel 4.93 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0120	0,0302	1,2467
2	21,5	25	0,0023	0,0351	0,4242
3	54	55	0,0004	0,0502	0,0773
4	28	30	0,0001	0,0033	0,0191

Tabel 4.94 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2,25$ m pada BH-1.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	3	10	0,0067	0,0128	0,6058
2	21,5	25	0,0012	0,0183	0,2211
3	54	55	0,0002	0,0251	0,0387
4	28	30	0,00005	0,0017	0,0098

IV.4.2 Titik BH-2

Berikut diberikan harga-harga koefisien konsolidasi tiap lapisan tanah berdasarkan data tanah.

Tabel 4.95 Harga Cv tiap lapisan tanah

Lapisan	$C_v \times 10^{-3}$ (cm ² /menit)
1	4
2	4
3	6
4	8

Formasi (1)

Untuk kedalaman 1,5 m.

Lapisan 1 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (250/2)^2}{4 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 6 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 10$ tahun

$$\Delta e = C_r \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 0,06 \times \log \frac{0,1182 + 0,0183}{0,1182}$$

$$= 0,0073$$

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0073}{\log(10/6)} = 0,0329$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 0,57 - 0,0073 = 0,5627$$

$$S_s = \frac{0,0329}{1 + 0,5627} \times 250 \times \text{Log} \frac{10}{6} = 1,1677 \text{ cm}$$

Lapisan 2 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{4 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 16 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 25$ tahun

$$\Delta e = C_r \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 0,09 \times \text{Log} \frac{0,5947 + 0,0183}{0,5947}$$

$$= 0,0017$$

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0017}{\text{log}(25/16)} = 0,0088$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 0,87 - 0,0017 = 0,8683$$

$$S_s = \frac{0,0088}{1 + 0,0017} \times 400 \times \text{Log} \frac{25}{16} = 0,3652 \text{ cm}$$

Lapisan 3 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{6 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 11 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 15$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 0,08 \times \log \frac{1,0505 + 0,0120}{1,0505}$$

$$= 0,0008$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0008}{\log(15/11)} = 0,0060$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 0,13 - 0,0008 = 0,1292$$

$$S_s = \frac{0,0060}{1 + 0,1292} \times 400 \times \log \frac{15}{11} = 0,2863 \text{ cm}$$

Lapisan 4 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{8 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 8 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 10$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 0,08 \times \log \frac{1,4590 + 0,0030}{1,4590}$$

$$= 0,0004$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0004}{\log(10/8)} = 0,0060$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 1,44 - 0,0004 = 1,4396$$

$$S_s = \frac{0,006}{1 + 1,4396} \times 400 \times \log \frac{10}{8} = 0,0651 \text{ cm}$$

Dari perhitungan di atas, hasil-hasil yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel berikut :

Tabel 4.96 Hasil perhitungan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 1,5$ m

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	6	10	0,0067	0,0128	0,6058
2	16	25	0,0012	0,0183	0,2211
3	11	55	0,0002	0,0251	0,0387
4	8	30	0,00005	0,0017	0,0098

Kemudian dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan pada kedalaman pondasi (D_f) lainnya. Begitu juga untuk formasi pondasi (2) dan (3). Dan hasil-hasil perhitungan langsung dimasukan ke dalam tabel.

Tabel 4.97 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	5	10	0,0038	0,0126	0,5449
2	16	25	0,0008	0,0040	0,1659
3	11	55	0,0004	0,0030	0,1431
4	8	30	0,0002	0,0021	0,0334

Tabel 4.98 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 1,5$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	6	10	0,0081	0,0365	1,2961
2	16	25	0,0015	0,0077	0,3195
3	11	55	0,0006	0,0045	0,2147
4	8	30	0,0003	0,0031	0,0493

Tabel 4.99 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	5	10	0,0051	0,0169	0,7315
2	16	25	0,0008	0,0041	0,1701
3	11	55	0,0003	0,0022	0,1049
4	8	30	0,0001	0,0010	0,0159

Tabel 4.100 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 1,95$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0017	0,0043	0,2291
2	16	25	0,0003	0,0015	0,0622
3	11	55	0,0001	0,0007	0,0334
4	8	30	0,00005	0,0005	0,0079

Tabel 4.101 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 2$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0005	0,0013	0,0659
2	16	25	0,0001	0,0005	0,0207
3	11	55	0,00003	0,0002	0,0095
4	8	30	0,00001	0,0001	0,0016

Tabel 4.102 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 1,5$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	6	10	0,0091	0,0410	1,4568
2	16	25	0,0013	0,0067	0,2780
3	11	55	0,0010	0,0074	0,3532
4	8	30	0,0005	0,0052	0,0826

Tabel 4.103 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	5	10	0,0065	0,0216	0,9357
2	16	25	0,0008	0,0041	0,1701
3	11	55	0,0003	0,0022	0,1049
4	8	30	0,0001	0,0010	0,0159

Tabel 4.104 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0025	0,0063	0,3200
2	16	25	0,0003	0,0015	0,0622
3	11	55	0,0001	0,0007	0,0334
4	8	30	0,00005	0,0005	0,0080

Tabel 4.105 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2,10$ m pada BH-2.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	4	10	0,0003	0,0008	0,0385
2	16	25	0,00003	0,0002	0,0083
3	11	55	0,00001	0,00007	0,0033
4	8	30	0,00001	0,0001	0,0016

IV.4.3.3 Titik BH-3

Berikut diberikan harga-harga koefisien konsolidasi tiap lapisan tanah berdasarkan data tanah.

Tabel 4.106 Harga C_v tiap lapisan tanah

Lapisan	$C_v \times 10^{-3}$ (cm ² /menit)
1	28
2	8
3	10
4	20

Formasi (1)

Untuk kedalaman 1,75 m.

Lapisan 1 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_f^2}{Cv} = \frac{0,848 \times (225/2)^2}{28 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 1 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 5$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{Po + \Delta P}{Po} = 0,15 \times \log \frac{0,0905 + 0,0403}{0,0905}$$

$$= 0,0240$$

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0240}{\log(5/1)} = 0,0343$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 0,99 - 0,0240 = 0,966$$

$$Ss = \frac{0,0343}{1 + 0,966} \times 225 \times \log \frac{5}{1} = 2,7438 \text{ cm}$$

Lapisan 2 :

$$t_1 \cong t_{90} = \frac{0,848 H_f^2}{Cv} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{8 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600}$$

$$\cong 8 \text{ tahun}$$

Diambil nilai $t_2 = 10$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{Po + \Delta P}{Po} = 0,17 \times \log \frac{0,1874 + 0,0264}{0,1874}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0097 \\
 C\alpha &= \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0097}{\text{log}(10/8)} = 0,1001 \\
 e_p &= e_o - \Delta e = 1,44 - 0,1001 = 1,3399 \\
 S_s &= \frac{0,1001}{1 + 1,3399} \times 400 \times \text{Log} \frac{10}{8} = 0,2264 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Lapisan 3 :

$$\begin{aligned}
 t_1 &\cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{10 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600} \\
 &\cong 6,5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai $t_2 = 10$ tahun

$$\begin{aligned}
 \Delta e &= C_r \text{log} \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 1,48 \times \text{Log} \frac{0,4840 + 0,0124}{0,4840} \\
 &= 0,0014 \\
 C\alpha &= \frac{\Delta e}{\text{Log}(t_2/t_1)} = \frac{0,0014}{\text{log}(10/6,5)} = 0,0075 \\
 e_p &= e_o - \Delta e = 1,48 - 0,0014 = 1,4786 \\
 S_s &= \frac{0,0075}{1 + 1,4786} \times 400 \times \text{Log} \frac{10}{6,5} = 0,2264 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Lapisan 4 :

$$\begin{aligned}
 t_1 &\cong t_{90} = \frac{0,848 H_t^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (400/2)^2}{20 \times 10^{-3}} \frac{1}{525600} \\
 &\cong 3 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai $t_2 = 5$ tahun

$$\Delta e = Cr \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} = 1,17 \times \log \frac{0,7257 + 0,0066}{0,7257}$$

$$= 0,0006$$

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} = \frac{0,0006}{\log(5/3)} = 0,0027$$

$$e_p = e_o - \Delta e = 1,17 - 0,0006 = 1,1694$$

$$S_s = \frac{0,0027}{1 + 1,1694} \times 400 \times \log \frac{5}{3} = 0,1104 \text{ cm}$$

Dari perhitungan di atas, hasil-hasil yang telah didapat dimasukkan ke dalam tabel berikut :

Tabel 4.107 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 1,75$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{s1} (cm)
1	1	5	0,0240	0,0343	2,7438
2	8	10	0,0097	0,1001	1,5966
3	6,5	10	0,0014	0,0075	0,2264
4	3	5	0,0006	0,0027	0,1104

Kemudian dengan metoda analogis dapat dihitung besar penurunan pada kedalaman pondasi (D_f) lainnya. Begitu juga untuk formasi pondasi (2) dan (3). Dan hasil-hasil perhitungan langsung dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 4.108 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 2$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	1	5	0,0149	0,0213	1,5076
2	8	10	0,0055	0,0568	0,9044
3	6,5	10	0,0007	0,0037	0,1117
4	3	5	0,0003	0,0014	0,0573

Tabel 4.109 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (1) dengan $D_f = 2,25$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	0,5	5	0,0004	0,0004	0,0352
2	8	10	0,0002	0,0021	0,0334
3	6,5	10	0,00002	0,0001	0,0030
4	3	5	0,00001	0,0001	0,0020

Tabel 4.110 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 2$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	1	5	0,0192	0,0275	1,9506
2	8	10	0,0055	0,0568	0,9044
3	6,5	10	0,0007	0,0037	0,1117
4	3	5	0,0003	0,0014	0,0573

Tabel 4.111 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 2,25$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	0,5	5	0,0072	0,0072	0,6355
2	8	10	0,0018	0,0186	0,2957
3	6,5	10	0,0002	0,0011	0,0332
4	3	5	0,0001	0,0005	0,0204

Tabel 4.112 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (2) dengan $D_f = 2,3$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	0,5	5	0,0014	0,0040	0,3424
2	8	10	0,0009	0,0092	0,1462
3	6,5	10	0,0001	0,0005	0,0151
4	3	5	0,00005	0,0002	0,0082

Tabel 4.113 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	1	5	0,0238	0,0341	2,4245
2	8	10	0,0055	0,0568	0,9044
3	6,5	10	0,0006	0,0032	0,0966
4	3	5	0,0003	0,0014	0,0573

Tabel 4.114 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2,25$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	0,5	5	0,0140	0,0140	1,2399
2	8	10	0,0030	0,0310	0,4931
3	6,5	10	0,0003	0,0016	0,0483
4	3	5	0,0001	0,0005	0,0204

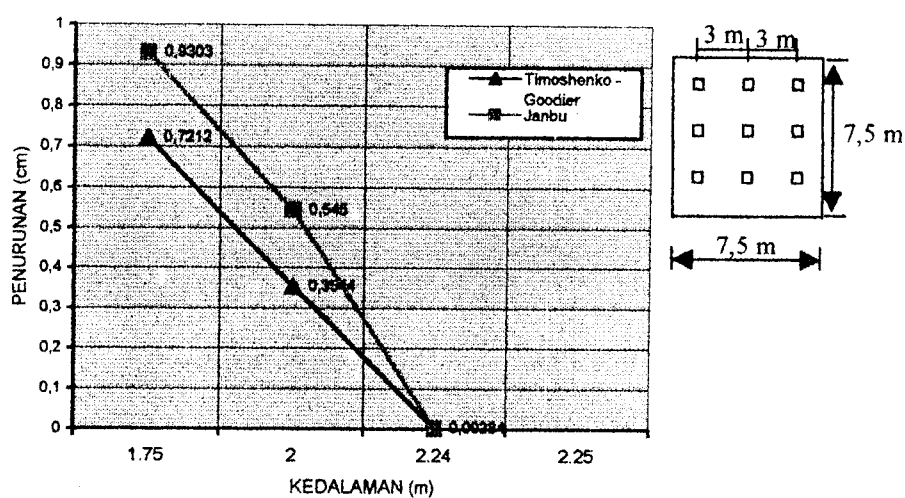
Tabel 4.115 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2,30$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{si} (cm)
1	0,5	5	0,0113	0,0113	0,9708
2	8	10	0,0023	0,0237	0,3769
3	6,5	10	0,0002	0,0011	0,0332
4	3	5	0,0001	0,0005	0,0204

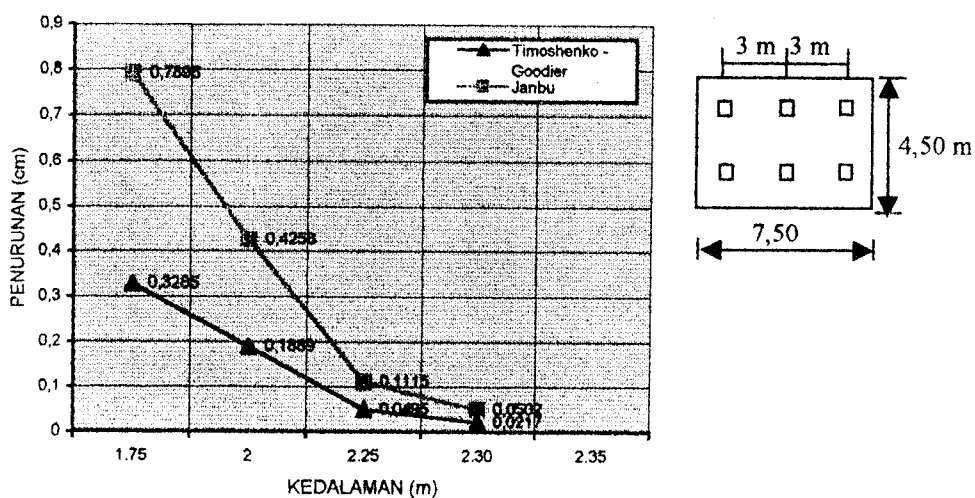
Tabel 4.116 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi sekunder formasi (3) dengan $D_f = 2,45$ m pada BH-3.

Lapisan	t_1 (th)	t_2 (th)	Δe	C_α	S_{SI} (cm)
1	0,5	5	0,0010	0,001	0,0780
2	8	10	0,0002	0,0021	0,0334
3	6,5	10	0,00002	0,0001	0,0030
4	3	5	0,00001	0,00005	0,0020

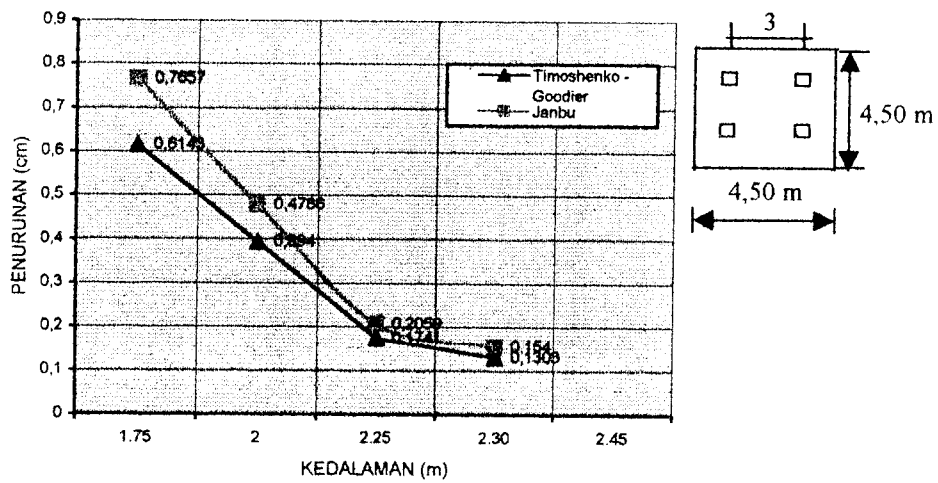
Grafik “ penurunan vs kedalaman” untuk penurunan segera sebagai berikut :



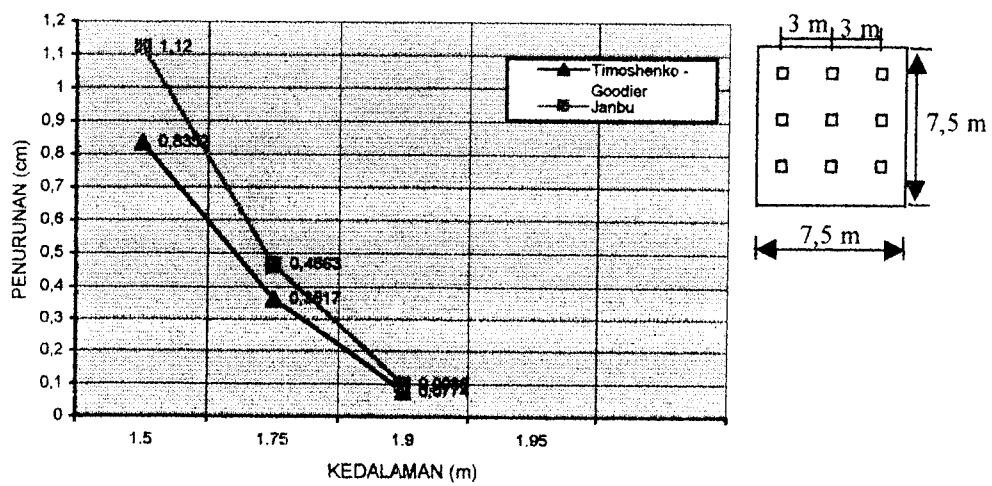
Gambar 4.14. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (1) di titik BH-1



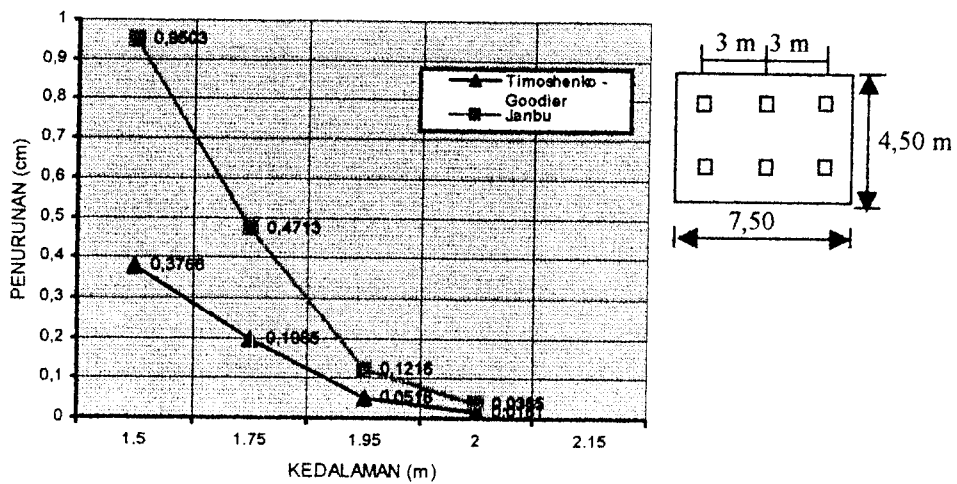
Gambar 4.15. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (2) di titik BH-1



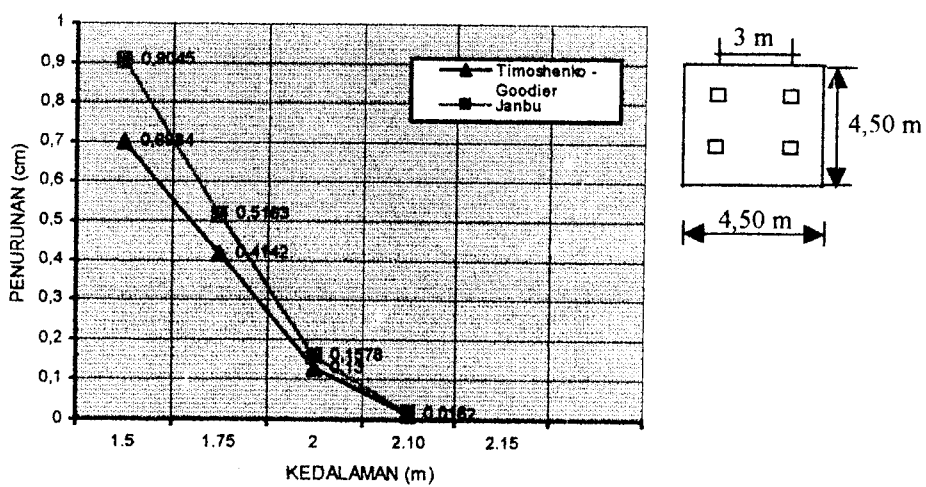
Gambar 4.16. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 1



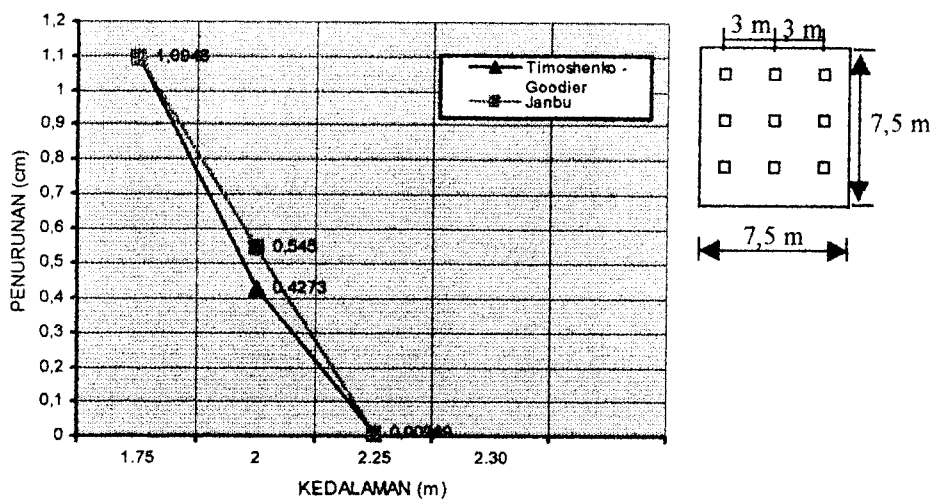
Gambar 4.17. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (1) di titik BH- 2



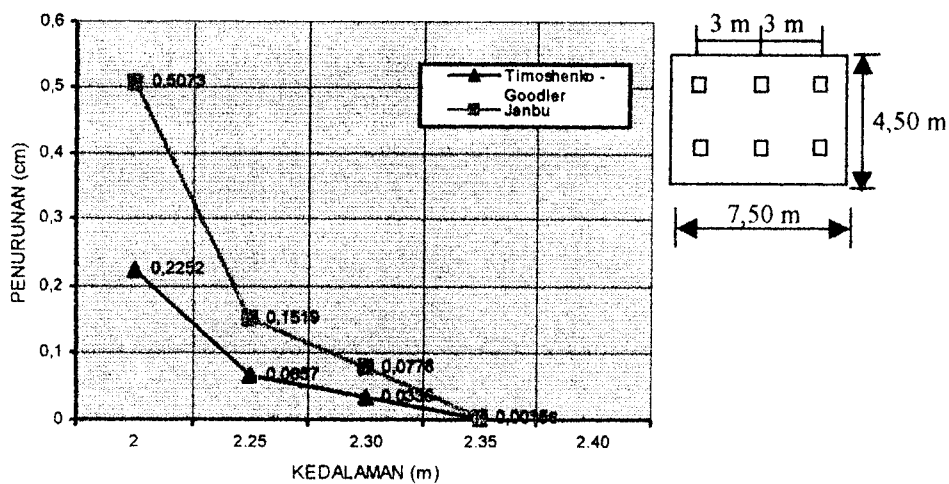
Gambar 4.18. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (2) di titik BH- 2



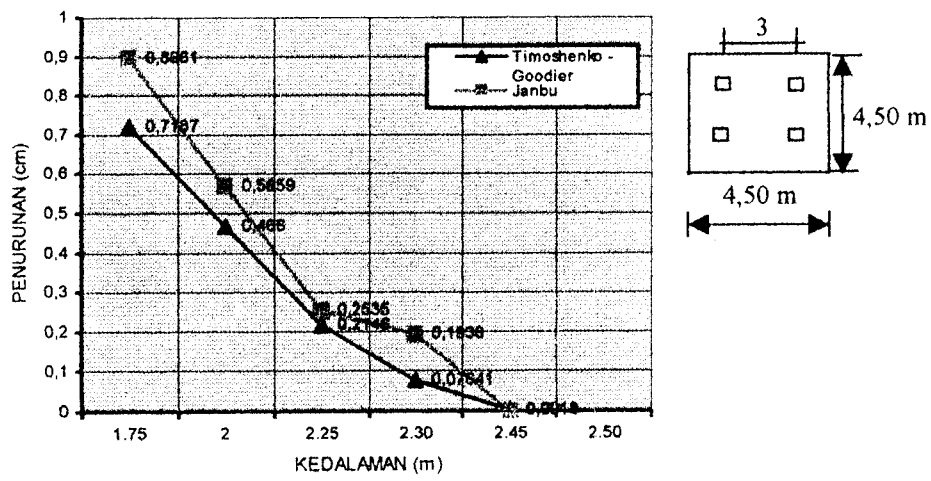
Gambar 4.19. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 2



Gambar 4.20. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (1) di titik BH- 3

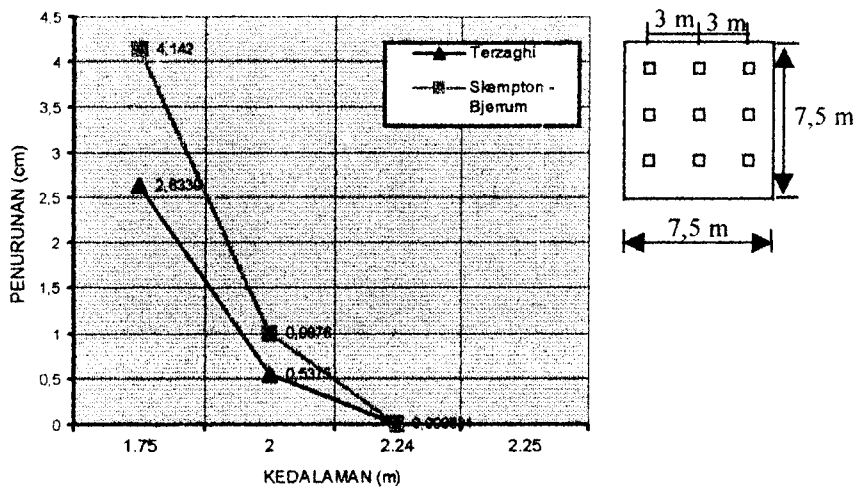


Gambar 4.21. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (2) di titik BH- 3

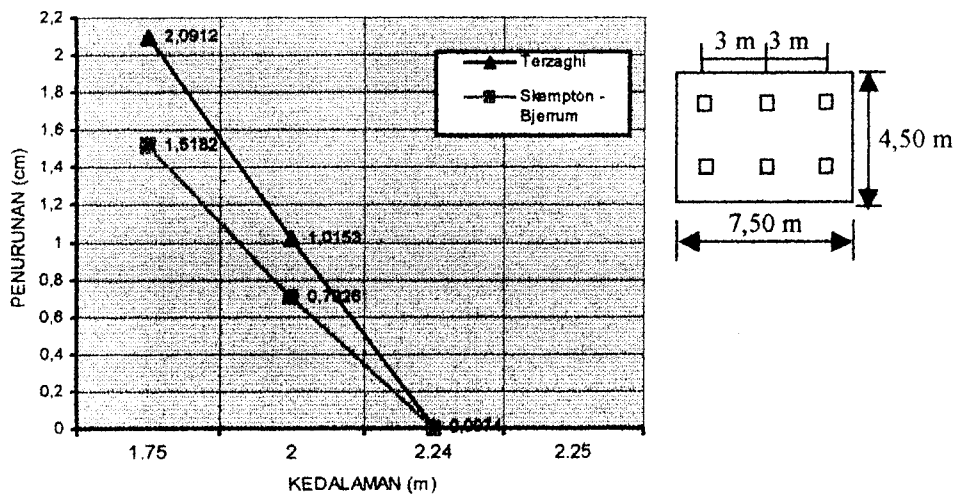


Gambar 4.22. Grafik besar penurunan segera untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 3

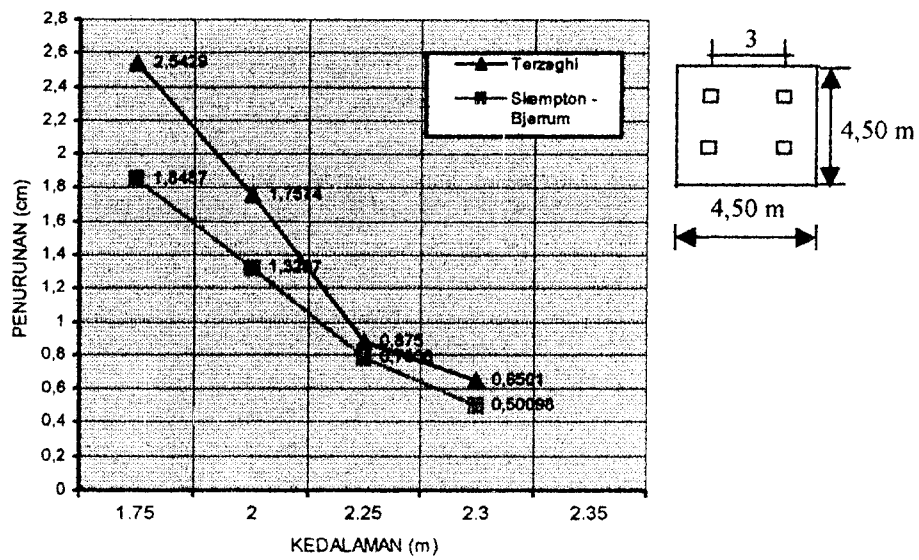
Grafik “ penurunan vs kedalaman” untuk penurunan konsolidasi primer sebagai berikut :



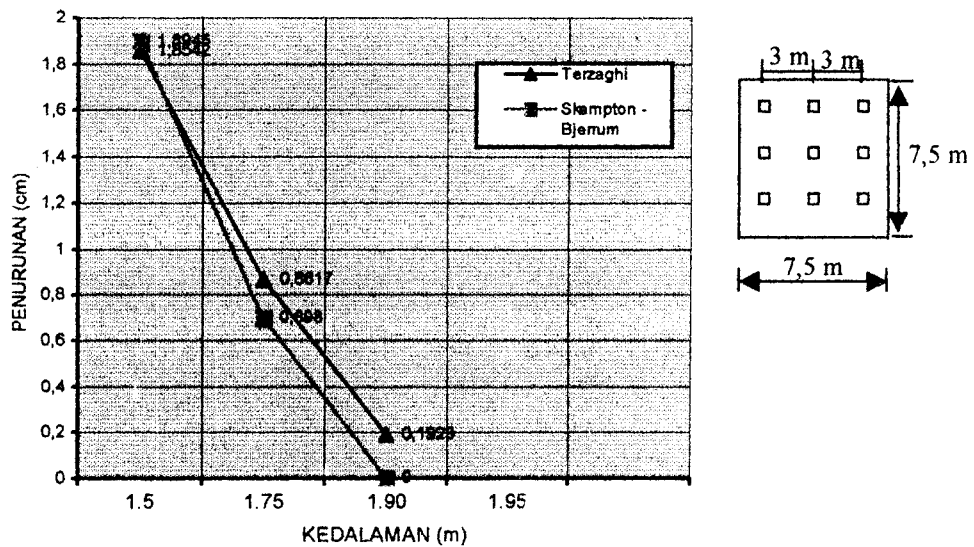
Gambar 4.23. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (1) di titik BH- 1



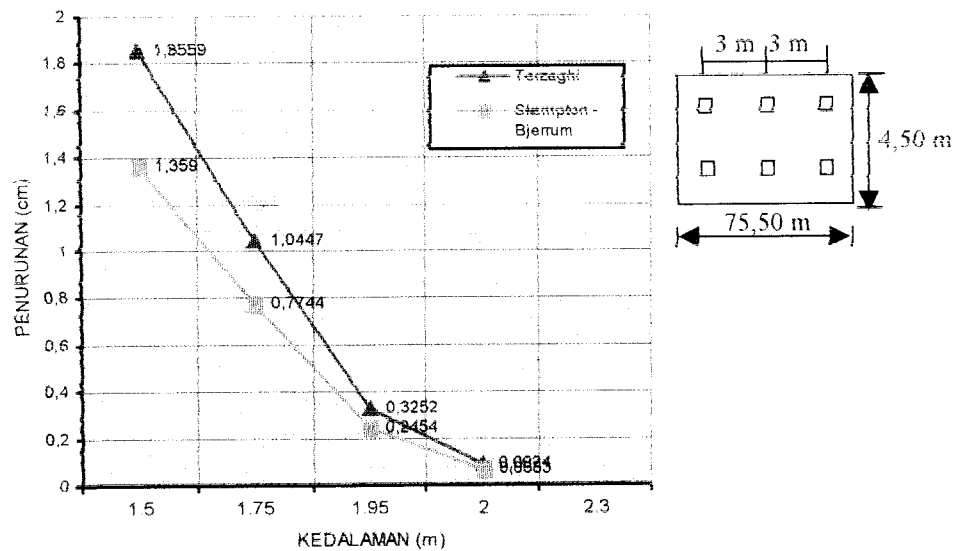
Gambar 4.24. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (2) di titik BH- 1



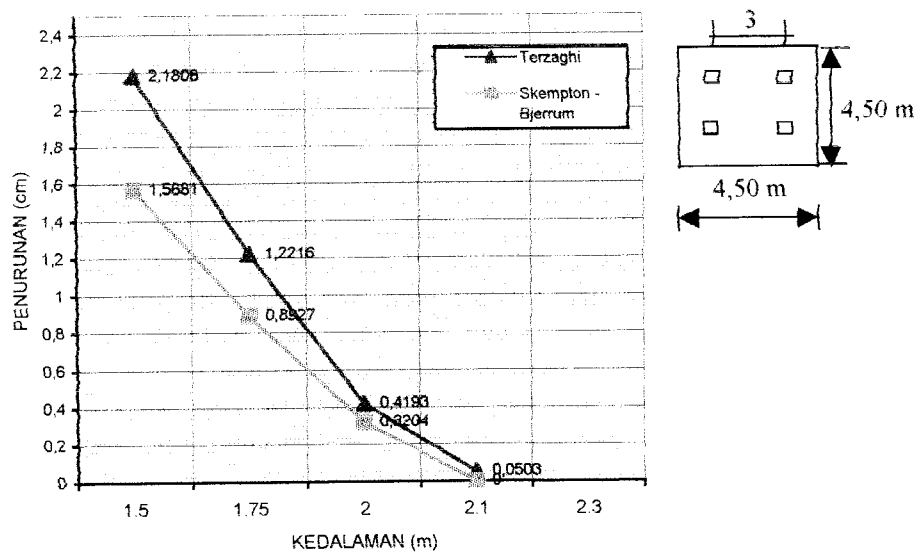
Gambar 4.25. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 1



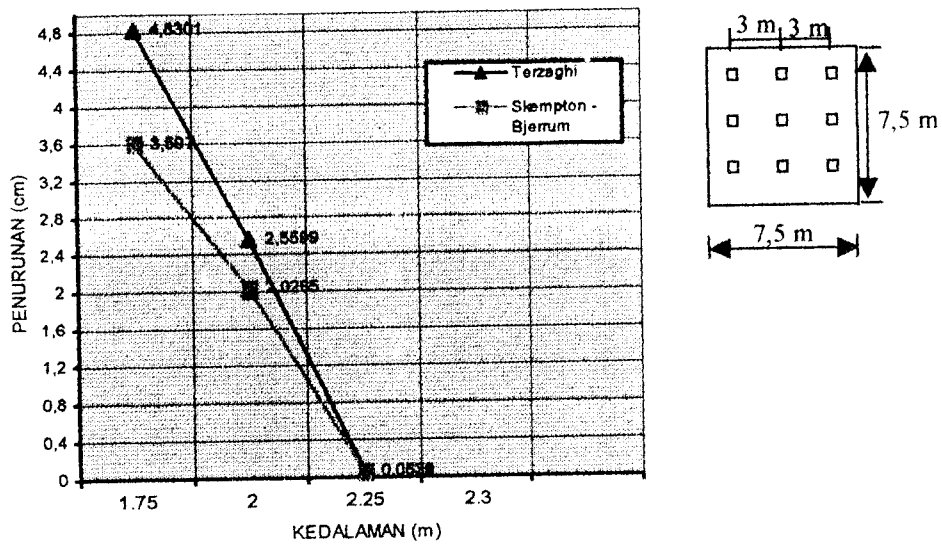
Gambar 4.26. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (1) di titik BH- 2



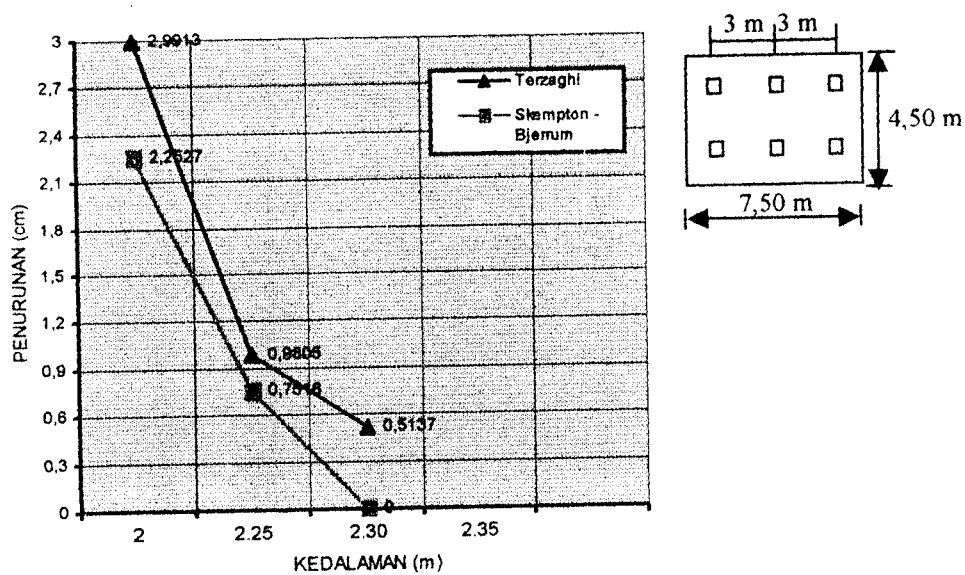
Gambar 4.27. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (2) di titik BH- 2



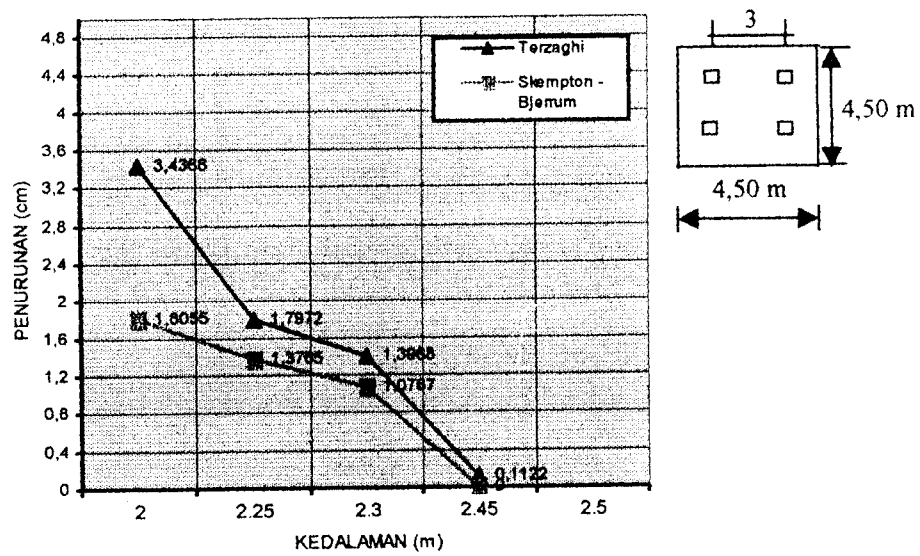
Gambar 4.28. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 2



Gambar 4.29. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (1) di titik BH- 3

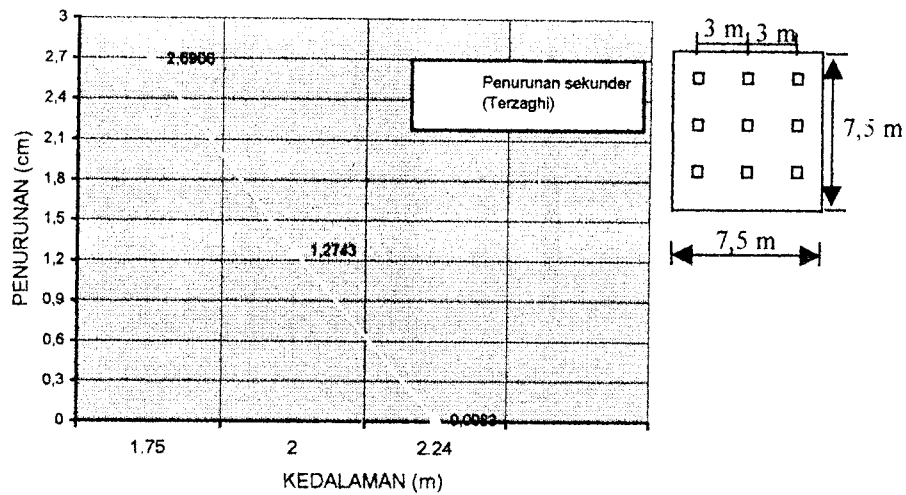


Gambar 4.30. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (2) di titik BH- 3

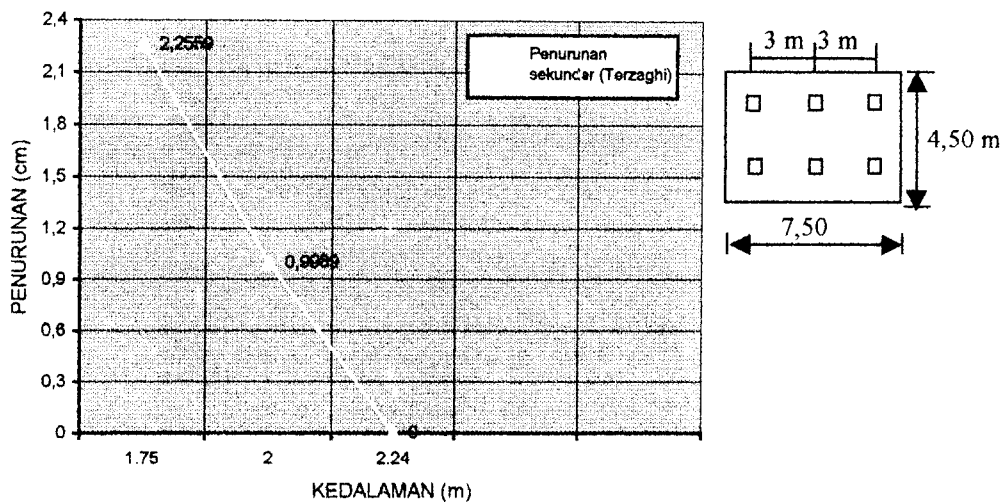


Gambar 4.31. Grafik besar penurunan konsolidasi primer untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 3

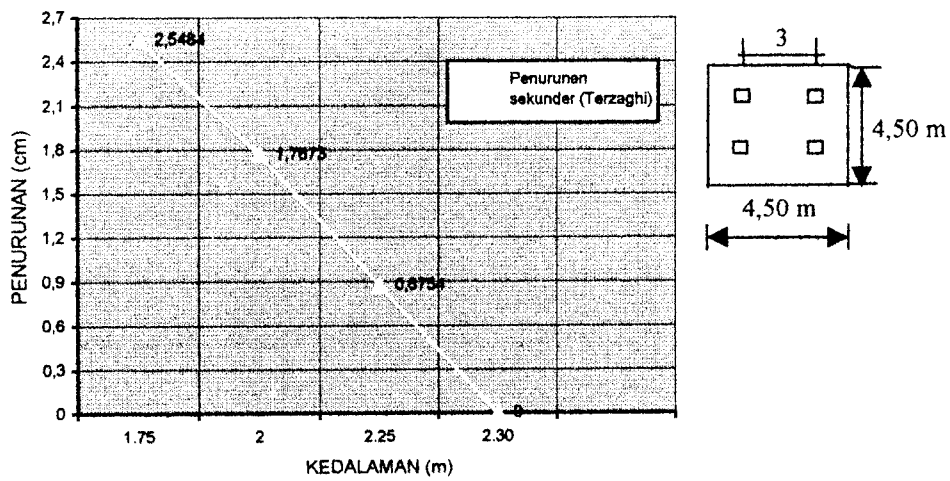
Grafik penurunan vs kedalaman untuk penurunan konsolidasi sekunder sebagai berikut :



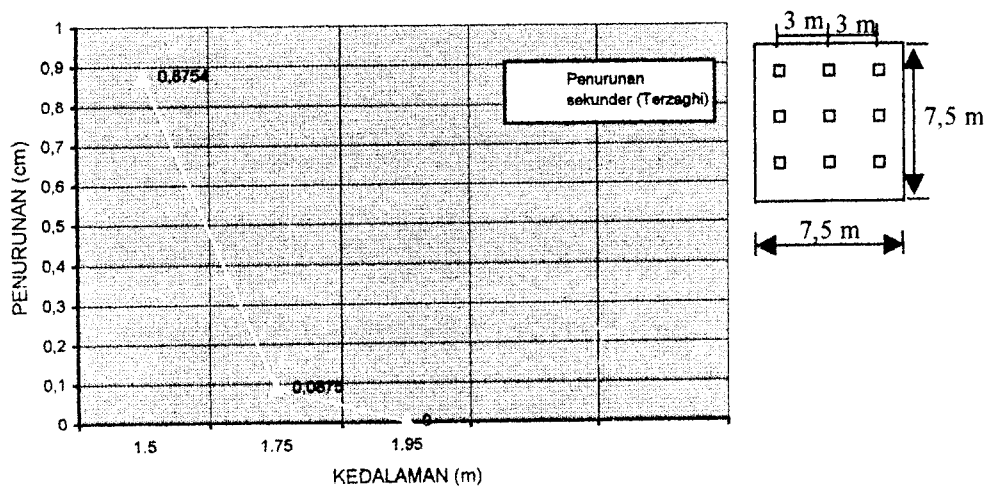
Gambar 4.32. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (1) di titik BH-1



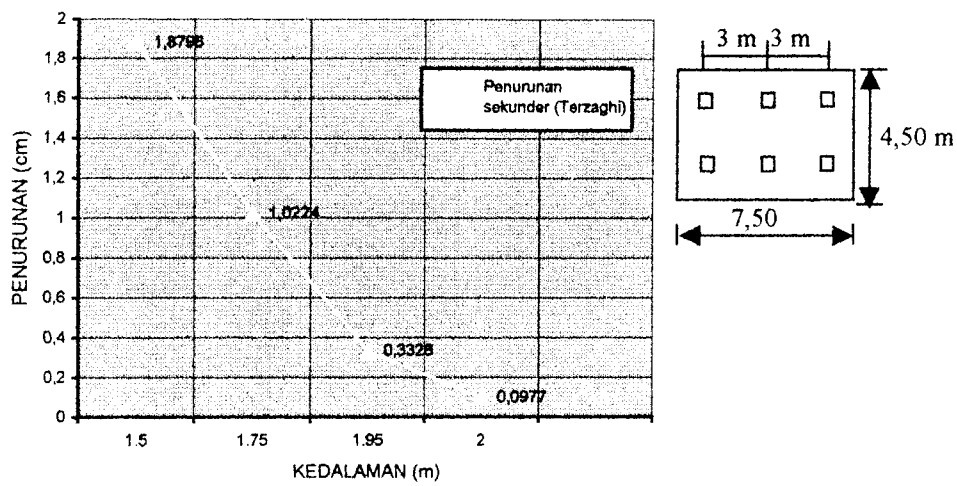
Gambar 4.33. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (2) di titik BH- 1



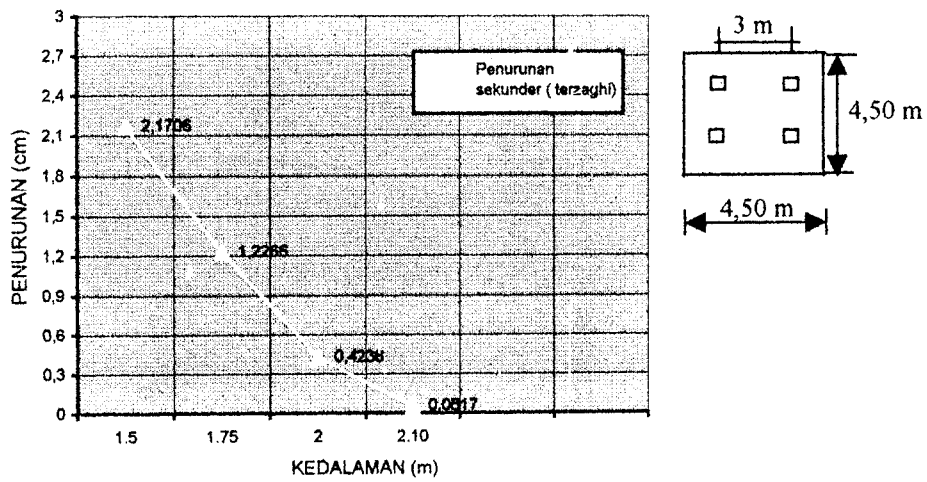
Gambar 4.34. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (3) di titik BH- 1



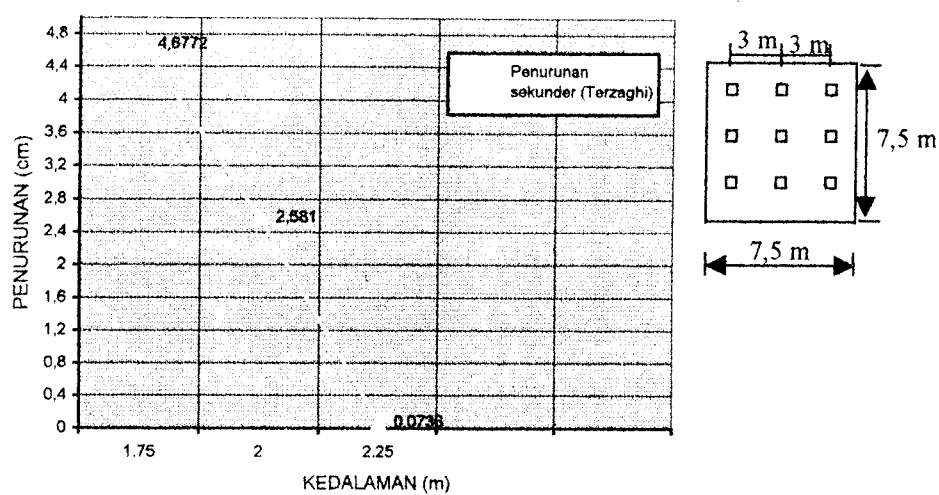
Gambar 4.35. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (1) di titik BH- 2



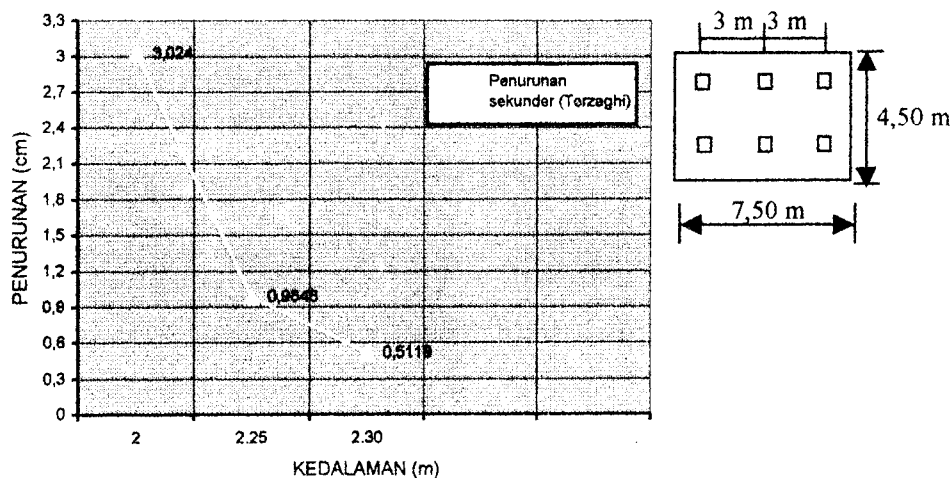
Gambar 4.36. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (2) di titik BH- 2



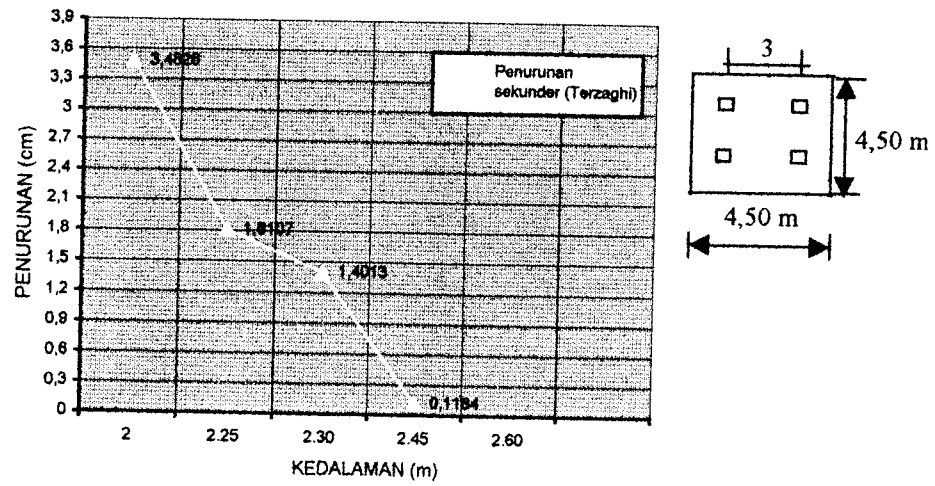
Gambar 4.37. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (3) di titik BH- 2



Gambar 4.38. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (1) di titik BH- 3



Gambar 4.39. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder formasi pondasi (2) di titik BH- 3



Gambar 4.40. Grafik besar penurunan konsolidasi sekunder untuk formasi pondasi (3) di titik BH- 2

BAB V

PEMBAHASAN

V.1 Umum

Dalam pembahasan ini yang ditinjau adalah hasil-hasil analisa dan perhitungan pada bab IV. Sesuai batasan masalah, maka pembahasan ditujukan pada masalah penurunan pondasi rakit dengan data-data tanah lapangan dan laboratorium di daerah Prabumulih, Palembang, Sumatera Selatan.

Besar nilai penurunan baik jenis penurunan segera maupun konsolidasi sebagai hasil perhitungan dideskripsikan dalam bentuk grafik. Pembahasan dilakukan pada tiap jenis penurunan, pada titik tanah dengan formasi dan kedalaman pondasi, dan perbandingan antara hasil yang diperoleh setiap metoda.

V.2 Penurunan Segera

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa sifat penurunan ini terjadi dengan segera sesudah pemberian beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan kadar air.

Dari hasil–hasil perhitungan yang didapat menunjukkan adanya perbedaan nilai penurunan antara metoda Timoshenko-Goodier dan Janbu. Ini bisa disebabkan adanya perbedaan asumsi dalam persamaan-persamaan yang dipakai. Harga atau nilai penurunan segera menurut Janbu selalu di atas dari nilai Timoshenko-Goodier (Seperti diperlihatkan dalam grafik gambar (4.14) sampai (4.22)).

Menurut Timoshenko-Goodier, hal tersebut dapat terjadi karena tanah setempat dapat dianggap sebagai bahan homogen dan bersifat elastis. Metoda ini tidak meninjau adanya faktor kedalaman tanah. Jadi tanah lempung dianggap tidak terbatas ketebalannya "semi infinite". Disesuaikan dengan keadaan di daerah Prabumulih, terlihat bahwa ketebalan tanah lempungnya cukup dalam. Ini dibuktikan pada hasil pengeboran yang sampai pada kedalaman 16 m belum ditemukan adanya lapisan keras. Jadi tinjauan metoda ini cukup sesuai dengan kondisi lapangan.

Sedangkan Janbu menganggap bahwa tanah lempung mempunyai keterbatasan ketebalan dan selalu ada lapisan keras di bawahnya. Karena keadaan di lapangan berbeda maka hasil analisa metoda ini menjadi kurang sesuai. Hasil nilai penurunan yang lebih besar disebabkan adanya nilai-nilai faktor koreksi, yaitu μ_1 (untuk tanah dengan tebal terbatas (H) dan μ_0 (untuk kedalaman pondasi (Df)).

Sebagai langkah pendekatan dalam perencanaan ditambah dengan alasan-alasan di atas maka metoda Timoshenko-Goodier dapat digunakan. Jadi untuk daerah Prabumulih, analisa penurunan segera pondasi rakit dengan kondisi tanah lempungnya yang demikian lebih sesuai untuk metoda ini.

Ada faktor pengaruh lain yang mempengaruhi besar penurunan segera pada pondasi rakit. Yaitu besar lebar plat pondasi (B) dan kedalaman pondasi (D_f). Semakin besar lebar plat pondasi rakit maka akan semakin besar pula nilai penurunannya. Dapat dilihat pada grafik gambar (4.14) hingga (4.22), dimana formasi pondasi (1) dengan $B=0,75$ m nilai penurunannya lebih besar dibanding formasi (3) dengan $B=0,45$ m. Begitu juga untuk formasi pondasi (3) nilai penurunannya lebih besar dibanding dengan formasi pondasi (2) dengan $B=0,45$ m.

Untuk faktor kedalaman pondasi (D_f), semakin besar D_f maka semakin kecil nilai penurunannya. Disebabkan adanya tekanan keliling tanah "confining pressure". Hal ini mengakibatkan adanya penambahan kepadatan tanah. Ini bisa dijelaskan dengan harga E_s (modulus elastisitas tanah) yang semakin besar jika kedalaman bertambah. Atau besar tahanan kerucut hasil percobaan sondir di lapangan. Selain itu pondasi rakit mempunyai luasan dasar plat yang cukup luas. Sehingga beban dari kolom akan didistribusikan secara merata pada seluruh luasan dasar pondasi tersebut. Jadi semakin luas luasan dasar pondasi rakit maka beban yang diterima setiap titik tanah

akan semakin berkurang yang selanjutnya besar penurunannya pun akan berkurang.

V.3 Penurunan Konsolidasi Primer

Karena dipengaruhi oleh peristiwa keluarnya air dari pori tanah akibat pembebanan, maka proses berlangsung cukup lama. Ada perbedaan peninjauan dalam menganalisa penurunan ini. Yaitu, tanah terkonsolidasi normal dan berlebihan.

Dari nilai tekanan prakonsolidasi di laboratorium (P^c) yang dibandingkan dengan nilai tekanan efektif permukaan ("overburden") maksimum di lapangan terlihat bahwa tanah di Prabumulih terkonsolidasi berlebihan. Sehingga tinjauan analisisnya pun sesuai dengan kondisi "over consolidation".

Dari grafik gambar (4.23) sampai (4.31) terlihat bahwa nilai penurunan menurut metoda Terzaghi lebih besar dari metoda Skempton-Bjerrum. Dalam analisisnya Terzaghi tidak memperhitungkan adanya regangan lateral atau gerakan tanah ke samping. Karena regangan tersebut di tahan oleh tanah sekelilingnya. Dilihat dari tebal lapisan tanah lempung di Prabumulih ini, ternyata asumsi tersebut dapat diterima. Karena perbandingan antara luas daerah pembebanan yang cukup kecil dengan ketebalan tanah yang besar mengakibatkan regangan yang terjadi dapat ditahan oleh tanah sekelilingnya.

Sedangkan metoda Skempton-Bjerrum mempertimbangkan adanya regangan lateral yaitu dalam bentuk nilai koreksi (β). Dari grafik gambar (4.23) sampai (4.31) terlihat bahwa nilai penurunannya lebih kecil dibanding Terzaghi. Analisa Skempton-Bjerrum ini berdasarkan percobaan "Oedometer" (dalam uji konsolidasi). Yang memasukkan harga koefisien perubahan volume (m_v) dari hasil uji konsolidasi di laboratorium.

Jadi untuk mendapatkan hasil yang cukup teliti maka analisa Terzaghi dapat digunakan. Selain itu terlihat pula bahwa besar penurunan konsolidasi pondasi rakit yang terjadi pada tanah lempung lunak di Prabumulih lebih besar dibandingkan dengan nilai penurunan segera.

V.4 Penurunan Konsolidasi Sekunder

Ternyata hasil penurunan konsolidasi sekunder tidak terlalu kecil dibandingkan dengan konsolidasi primer. Sehingga jenis penurunan ini berpengaruh terhadap besar penurunan totalnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian-uraian, hitungan dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penurunan segera, metoda Timoshenko-Goodier memberikan nilai penurunan yang lebih baik. Karena sesuai untuk pondasi rakit yang berada di permukaan lapisan tanah lempung lunak elastis, homogen dan dengan ketebalan tak terbatas. Sesuai hasil pengeboran nyata tanah di daerah Prabumulih mempunyai kondisi yang sama dengan analisa tersebut. Metoda Janbu memberikan hasil yang lebih sesuai untuk lapisan tanah yang terbatas
2. Pada penurunan konsolidasi primer, metoda Terzaghi memberikan hasil yang lebih teliti. Yaitu dengan memasukkan parameter-parameter hasil uji konsolidasi dan mengasumsikan regangan lateral yang terjadi adalah 0 (nol). Sesuai kondisi tanah di Prabumulih lapisan tanah lempungnya mempunyai ketebalan yang cukup besar. Sedangkan pembebanan yang

terjadi lebih kecil dibanding dengan luas pembebanan. Sehingga hampir tidak terjadi regangan lateral.

3. Pada penurunan konsolidasi sekunder, ternyata memberikan hasil yang cukup kecil. Namun untuk perencanaan dapat digunakan. Selain memberikan hasil yang kecil juga waktu pencapaian konsolidasi primer 90% cukup lama dan masing-masing lapisan berbeda. Dikarenakan sifat geologis tanahnya yang berplastisitas tinggi, jenuh dan mempunyai ketebalan yang besar.
4. Dari hasil perhitungan yang didapat penurunan yang terjadi dapat dikontrol dengan metoda apung. Yaitu dengan membuat besar tekanan akibat beban pada dasar pondasi sama dengan besar tekanan akibat tanah yang dipindahkan. Dengan demikian penurunan yang terjadi tidak terlalu besar.
5. Untuk kondisi tanah di daerah survai, pondasi rakit dapat digunakan sebagai alternatif untuk pondasi bangunan tempat tinggal sederhana atau bangunan infrastruktur dengan beban terbatas.
6. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan baik segera maupun konsolidasi dengan ditambah dari hasil data tanah maka tanah pada BH-1 lebih baik dibanding BH-2 dan BH-3. Sedangkan untuk tanah pada titik BH-3 lebih lunak.
7. Pada intensitas beban dan luasan yang sama, bertambahnya jumlah kolom akan memperbesar penurunan yang terjadi.

8. Semakin besar kedalaman pondasi (D_f), penurunan yang terjadi semakin kecil.

VI. Saran

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menganalisa penurunan pondasi rakit di daerah Prabumulih, antara lain :

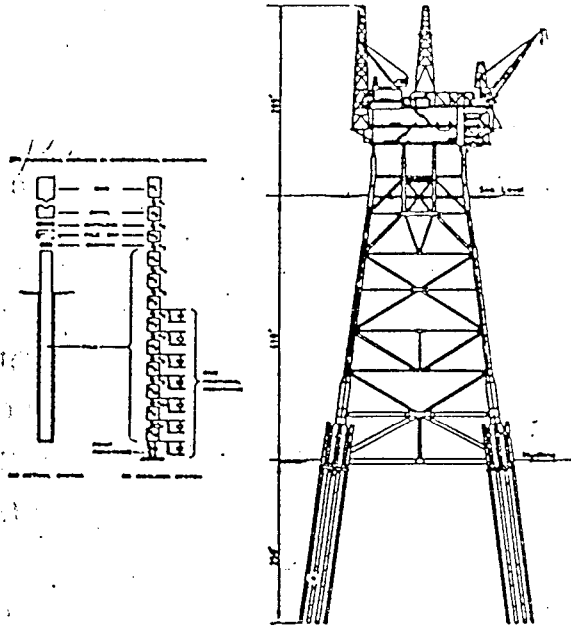
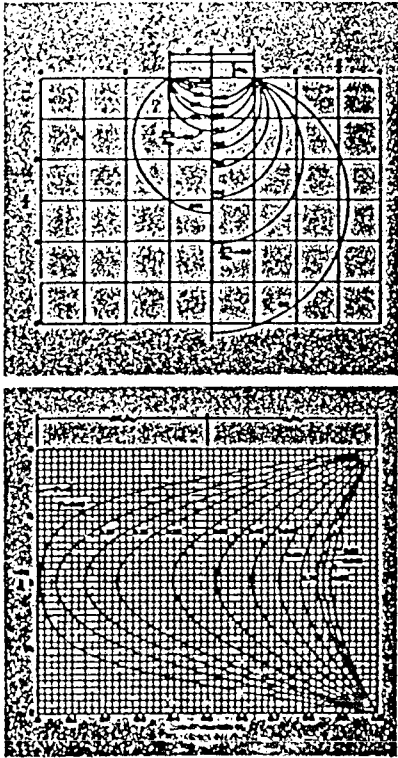
1. Lengkap tidaknya data tanah, secara langsung akan mempengaruhi hasil analisa perhitungan penurunan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil analisa yang aman diupayakan untuk mendapatkan data tanah yang lengkap dan teliti.
2. Pondasi rakit dapat digunakan untuk mengantisipasi bahaya penurunan struktur di atas tanah lunak dengan melakukan kontrol metoda apung. Yaitu membuat sama besar tekanan akibat beban yang terjadi dengan besar tekanan akibat tanah yang dipindahkan.
3. Untuk besar pembebanan yang lebih besar, maka penggunaan pondasi rakit menjadi tidak ekonomis lagi. Sehingga disarankan untuk menggunakan pondasi dalam (tiang pancang, bor pile).
4. Untuk meningkatkan daya dukung tanah dan memperkecil penurunan yang terjadi dapat dilakukan langkah-langkah : perbaikan tanah dan atau memberi lapisan geotekstil di bawah pondasi rakit.
5. Untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan pondasi rakit perlu diadakan komparasi atau membandingkan dengan jenis pondasi lain (misal, pondasi sarang laba – laba).

DAFTAR PUSTAKA

1. Bouwles,J.E. (Alih bahasa : Pantur Silaban), 1986, ANALISA DAN DISAIN PONDASI, JILID I, Erlangga , Jakarta.
2. Bouwles.J.E., 1979, PHYSICAL AND GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SOIL, Mc Grand Hill Book Company, New York.
3. Braja, M. Das. (Alih bahasa : Noor Indah Mochtar, Indra Surya b, Mochtar), 1988, MEKANIKA TANAH PRINSIP-PRINSIP REKAYASA GEOTEKNIS, Erlangga, Jakarta.
4. Craigh, R. F. (Alih bahasa : Budi Susilo Supanji), 1989, MEKANIKA TANAH, Erlangga, Jakarta.
5. Hardiyatmo, Hary Christady, 1996, TEKNIK PONDASI I, Jilid I, Gramedia, Jakarta.
6. Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, MEKANIKA TANAH I, Jilid I, Gramedia, Jakarta.
7. Hardiyatmo, Hary Christady, 1994, MEKANIKA TANAH II, Jilid II, Gramedia, Jakarta.
8. S. Dunn, L, R. Anderson, F,W. Kiefer (Alih bahasa : Drs. Achmad Toekiman, M.Ed., & Ir,H. Daruslan), 1992, DASAR-DASAR ANALISIS GEOTEKNIK, Jilid I, IKIP Semarang Press, Semarang, Indonesia.

9. K. Basah Suryolelono, 1992, TEKNIK PONDASI, Bagian I, PAU IT UGM, Yogyakarta, Indonesia.
10. Ramiah, B.K., Chickanagappa, L.S., 1981, SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, Oxford & IBM Publising, Co., India.
11. Ir, Suyono S., Kaduto N., 1984, MEKANIKA TEKNIK DAN TEKNIK PONDASI, Jilid III, Pradnya Paramita, Jakarta, Indonesia.
12. Terzaghi K., Peck R.B., 1975, SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTISE, John Wiley & Sons, New York.
13. Tomlinson M.J., 1954, FOUNDATION DESIGN AND CONSTRUCTION, British Standard Code of Practise, Inggris.
14. Wesley L.D., 1977, MEKANIKA TANAH, Badan Penerbit PU, Jakarta, Indonesia.
15. Doddy Irawan & Mulyati Tanda, 1997, T.A. Analisa Pondasi Rakit pada Tanah Lunak, FTSP UII, Yogyakarta.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

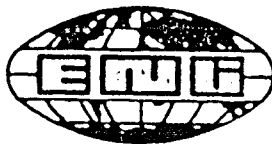


GEOTECHNICAL SOIL INVESTIGATION REPORT
HOLDING POND DAMS & ADMINISTRATION BUILDING
MUSI PULP MILL PROJECT
No. PALEMBANG, SOUTH SUMATRA

for

HOLLAND-BALLAST-THIESS JO

P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO

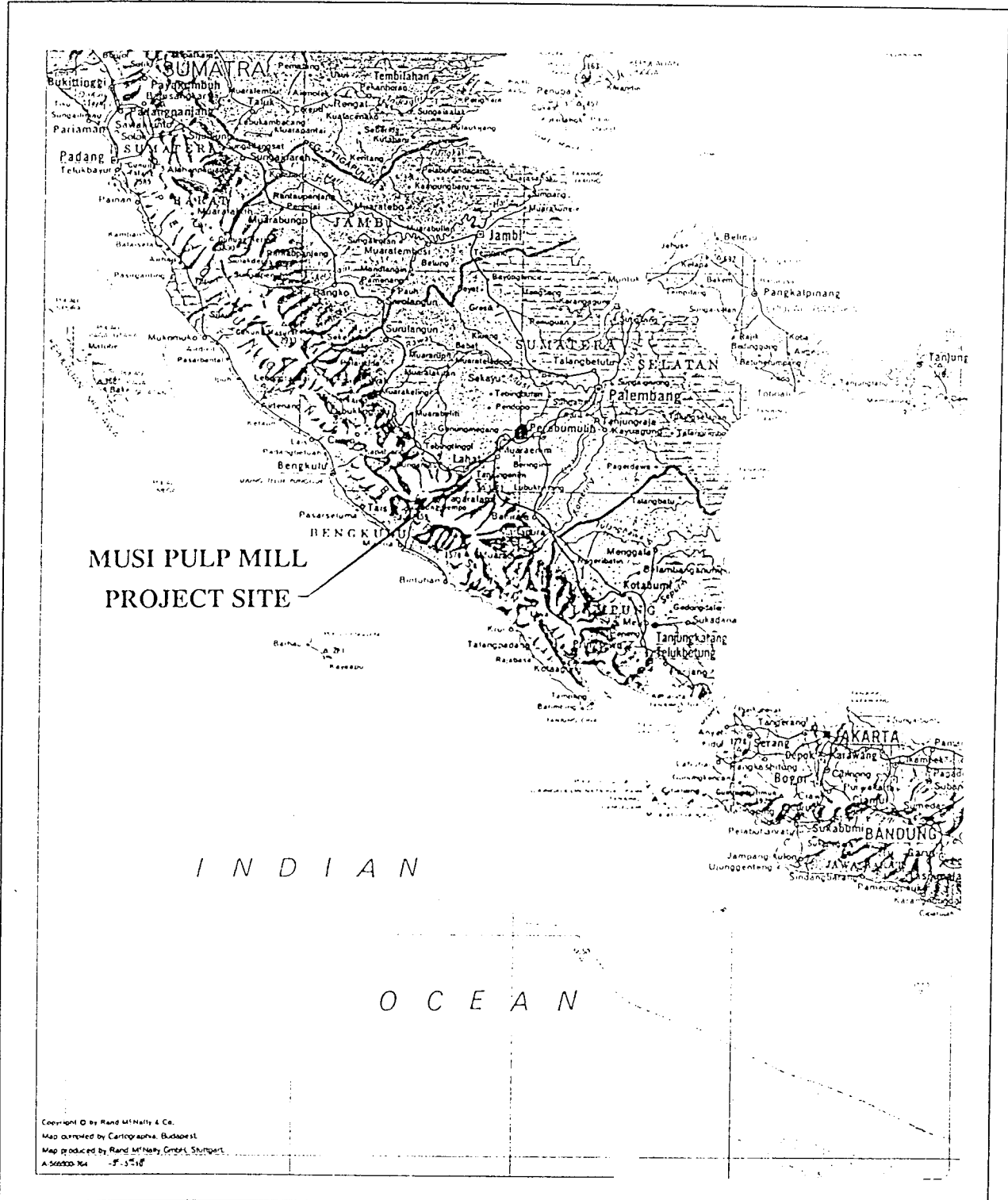




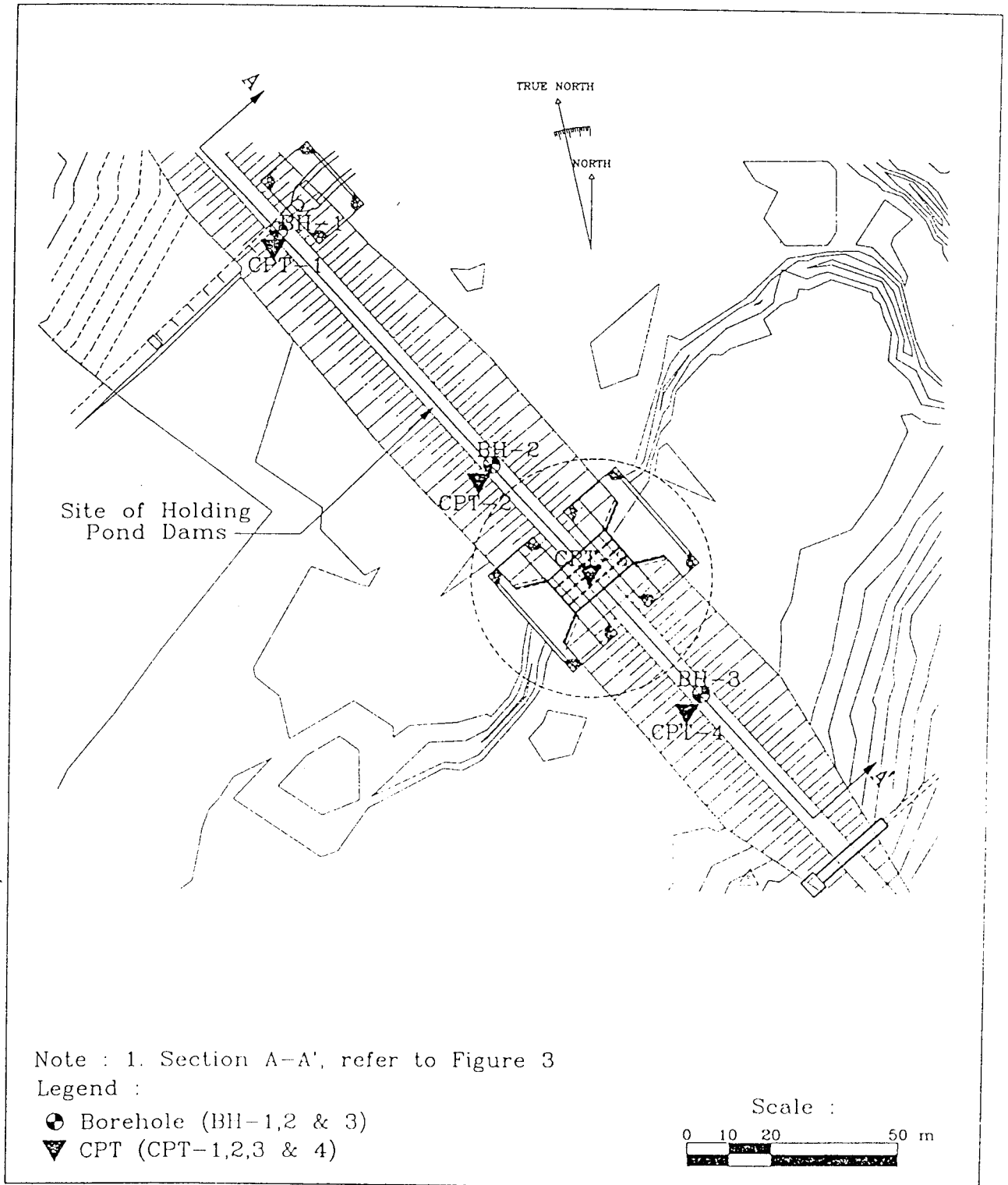
*Geotechnical Soil Investigation Report
Holding Pond Dams & Administration Building, Musi Pulp Mill Project, Nr. Palembang
for Holland-Ballast-Thiess JO*

August 07, 1998

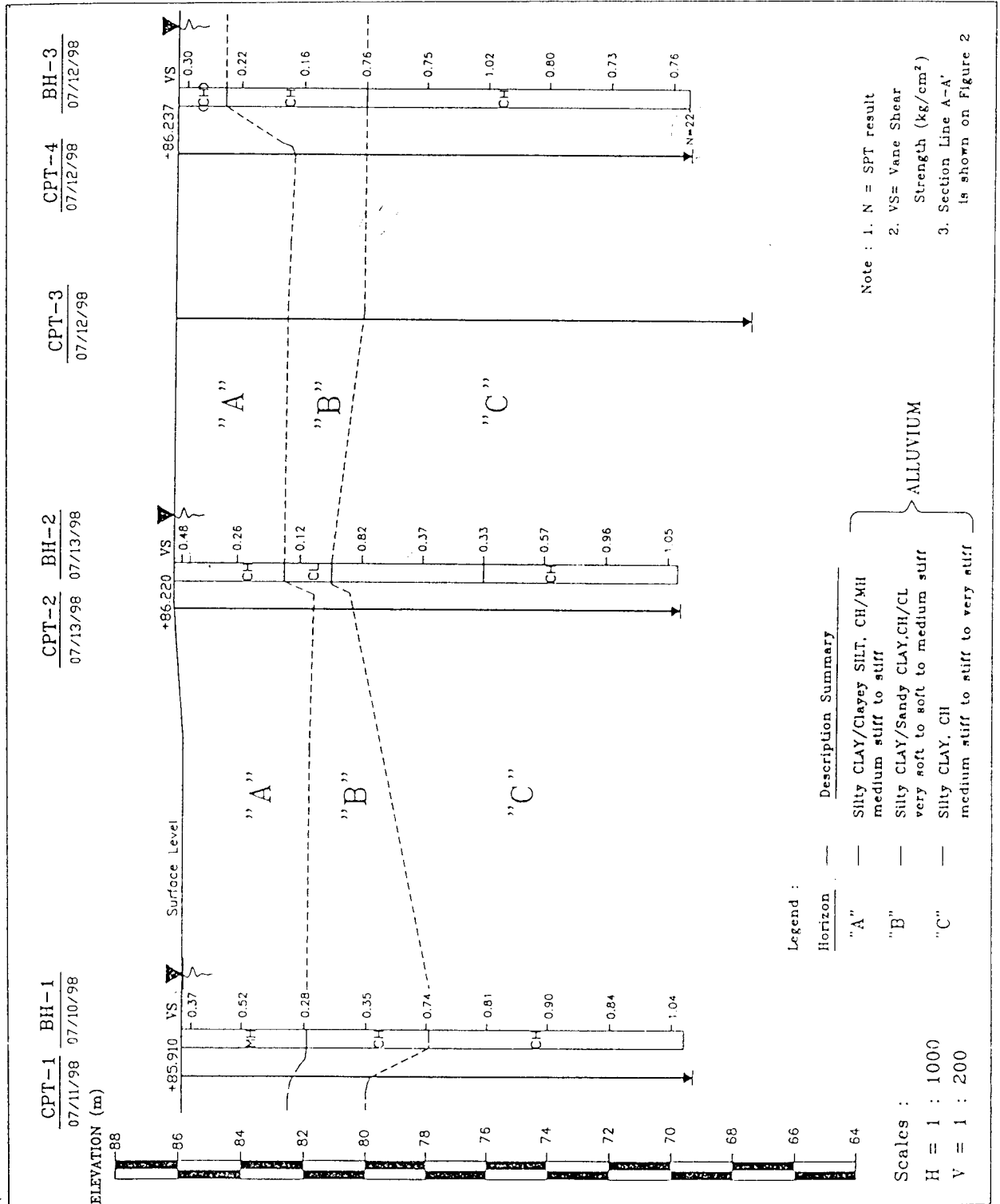
FIGURES



Title: **Project Location Map** **FIGURE 1**



Title:	Site of Holding Pond Dams - Borehole & CPT Location Plan	FIGURE 2
--------	--	----------



Title: Inferred Soil Section A-A' Through Site of Holding Pond Dams FIGURE 3



Geotechnical Soil Investigation Report
Holding Pond Dams & Administration Building, Musi Pulp Mill Project, Nr. Palembang
for Holland-Ballast-Thiess JO

August 07, 1998

Borehole Logs Holding Pond Dams



APPENDIX A
Borehole Logs - Holding Pond Dams

TABLE OF CONTENTS

<u>Exhibit No.</u>	<u>Title</u>
A-(i)	Legend to Borehole Log
A-(ii)	Presumptive Soil Properties
A-(iii)	Unified Soil Classification System



<u>Exhibit No.</u>	<u>Borehole Log</u>	<u>Depth (m)</u>	<u>DS</u>	<u>TW</u>	<u>SPT</u>	<u>FHP</u>	<u>Start-Finish</u>
A-1 (2 sheets)	BH-1	16.3	0	9	0	4	July 07-10
A-2 (2 sheets)	BH-2	16.3	0	9	0	4	July 11-13
A-3 (2 sheets)	BH-3	16.5	1	7	1	4	July 14-15

Note:




1.	DS	-	Disturbed Sample
2.	TW	-	Thin-wall sample (Shelby-type undisturbed sample)
3.	SPT	-	Standard Penetration Test
4.	FHD	-	Falling Head Permeability test

LEGEND TO BOREHOLE LOG


STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

- SPT
-  ZERO RECOVERY
 -  DISTURBED SAMPLE RECOVERED

DAMES & MOORE - TYPE PERCUSSION SAMPLING

- DM
-  ZERO RECOVERY
 -  DISTURBED SAMPLE RECOVERED
 -  UNDISTURBED SAMPLE RECOVERED

THIN WALL SHELBY - TYPE TUBE SAMPLE

- TW
-  INDICATES DEPTH OF UNDISTURBED THIN WALL SAMPLE RECOVERY



DISTURBED SAMPLE

- D
- 

BULK SAMPLE


- B
- 

CORING

- RUN #
-  INDICATE LENGTH OR CORE RUN
 -  CORE LOSS

FIELD TEST ABBREVIATION

- TV POCKET TORVANE
- PP POCKET PENETROMETER
- VS PILCON VANE SHEAR
- RS REMOULDED VANE SHEAR
- N REFERS TO SPT BLOWCOUNT FOR 300 mm PENETRATION. VALUE IN BRACKETS REFER TO AN EQUIVALENT (N) VALUE AS THE SAMPLE AT THAT DEPTH WAS OBTAINED USING THE DAMES & MOORE TYPE PERCUSSION SAMPLER.

-  GROUND WATER LEVEL

- RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION (%)

Note : BRACKETS AROUND A 'SOIL GROUP SYMBOL' INDICATES FIELD CLASSIFICATION. NO BRACKETS INDICATES A LABORATORY CLASSIFICATION USING THE UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM

Client :	Project :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.	SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33 JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301648
Fax : 62 - 21 - 8290163

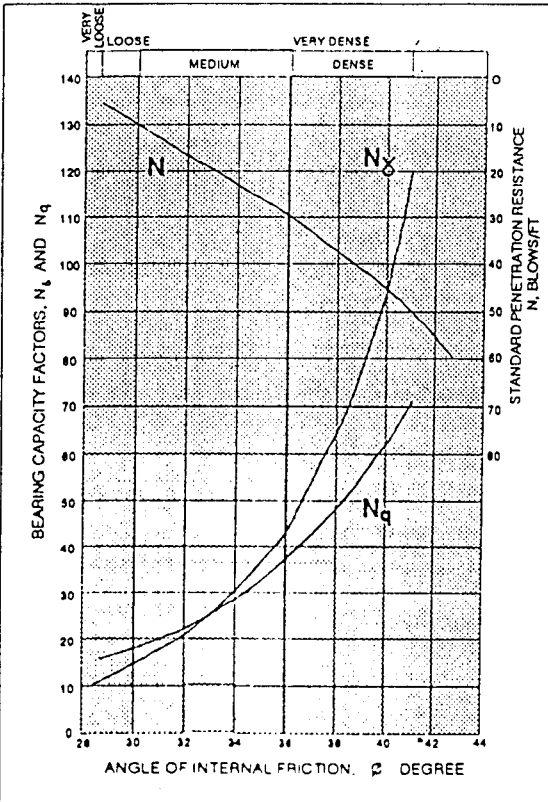
JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : A - (1)

PRESUMPTIVE SOIL PROPERTIES

SAND

COMPACTNESS	SAMPLER TYPE	VERY LOOSE	LOOSE	MEDIUM DENSE	DENSE	VERY DENSE	HAMMER	
							WEIGHT (LBS)	DROP (INCH)
PENETRATION RESISTANCE (BLOWS/FOOT)	SPT	0	4	10	30	50+	140	30
	D&M	0	5	12	35	55+	340	24
	D&M	0	6	15	42	65+	300	24
	D&M	0	11	26	74	120+	140	30



ABBREVIATION

SOIL	MODIFICATION		
Cl	CLAY, CLAYEY	Tr	TRACE, 0 TO 10%
Si	SILT, SILTY	So	SOME, 10 TO 20%
Sa	SAND, SANDY	W/	WITH, 20 TO 35%
Gv	GRAVEL	A	AND, 35 TO 50%
Cob	COBBLES	Fi	FINE
Bld	BOULDERS	Med	MEDIUM
		Occ	OCCASIONAL
		Org	ORGANIC

THICKNESS

- STRATUM - GREATER THAN ONE FOOT
- LAYER - 1/2 INCH TO ONE FOOT GIVE THICKNESS
- LENSES - DISCONTINUOUS
- STRINGERS - LESS THAN 1/2 INCH

SILTS AND CLAYS

CONSISTANCY	SAMPLER TYPE	VERY SOFT	SOFT	MEDIUM STIFF	STIFF	VERY STIFF	HARD	HAMMER	
								WEIGHT (lbs)	DROP (inch)
P.PENETROMETER	PP	0	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0 Kg/cm2		
TORVANE	TV	0	0.125	0.25	0.50	1.0	2.0 Kg/cm2		
PENETRATION RESISTANCE (BLOWS/FOOT)	SPT	0	2	4	8	16	32	140	30
	D&M	0	2	5	10	20	35	340	24
	D&M	0	3	6	12	25	65	140	30

A "P" in the Blows/Foot column indicates the sampler was pushed, not driven

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**



PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33 JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 6301646
Fax : 62 - 21 - 6290163

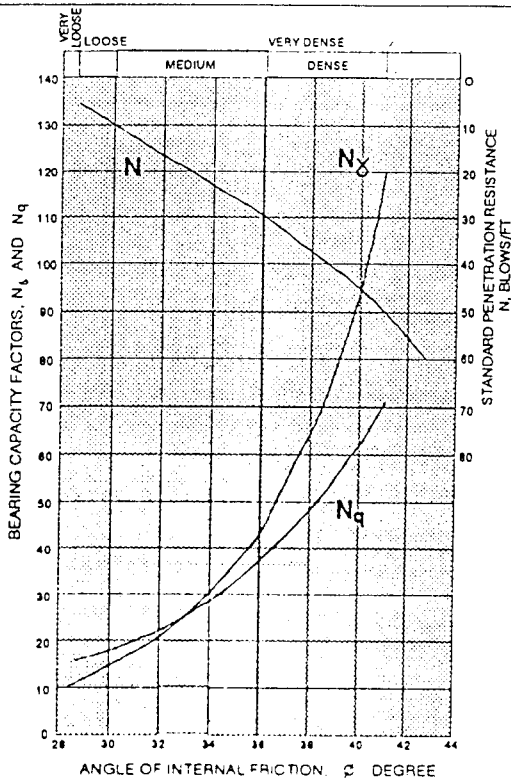
JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : A - (II)

PRESUMPTIVE SOIL PROPERTIES

SAND

COMPACTNESS	SAMPLER TYPE	VERY LOOSE	LOOSE	MEDIUM DENSE	DENSE	VERY DENSE	HAMMER	
							WEIGHT (LBS)	DROP (INCH)
PENETRATION RESISTANCE (BLOWS/FOOT)	SPT	0	4	10	30	50+	140	30
	D&M	0	5	12	35	55+	340	24
	D&M	0	6	15	42	65+	300	24
	D&M	0	11	26	74	120+	140	30



ABBREVIATION

SOIL	MODIFICATION
Cl CLAY, CLAYEY	Tr TRACE, 0 TO 10%
Si SILT, SILTY	So SOME, 10 TO 20%
Sa SAND, SANDY	W/ WITH, 20 TO 35%
Gv GRAVEL	A AND, 35 TO 50%
Cob COBBLES	Fi FINE
Bld BOULDERS	Med MEDIUM
	Occ OCCASIONAL
	Org ORGANIC

THICKNESS

- STRATUM - GREATER THAN ONE FOOT
- LAYER - 1/2 INCH TO ONE FOOT GIVE THICKNESS
- LENSES - DISCONTINUOUS
- STRINGERS - LESS THAN 1/2 INCH

SILTS AND CLAYS

CONSISTANCY	SAMPLER TYPE	VERY SOFT	SOFT	MEDIUM STIFF	STIFF	VERY STIFF	HARD	HAMMER	
								WEIGHT (lbs)	DROP (inch)
P.PENETROMETER	PP	0	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0 Kg/cm ²		
TORVANE	TV	0	0.125	0.25	0.50	1.0	2.0 Kg/cm ²		
PENETRATION RESISTANCE (BLOWS/FOOT)	SPT	0	2	4	8	16	32	140	30
	D&M	0	2	5	10	20	35	340	24
	D&M	0	3	6	12	25	65	140	30

A "*" in the Blows/Foot column indicates the sampler was pushed, not driven

Client :

HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :

SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



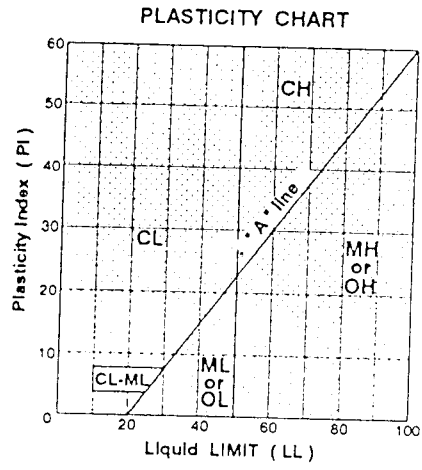
PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33 JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : A - (II)

UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM

MAJOR DIVISIONS		GROUP SYMBOL	TYPICAL NAMES	LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA		
COARSE GRAINED SOILS More than half of material is larger than No. 200 (75 micron) sieve	Gravels More than half of coarse fraction larger than No. 4 (4.75 mm) sieve	GW	Well graded gravels, gravel sand mixtures, little or no fines.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for GW Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 Above "A" line with FI between 4 and 7 are <i>borderline</i> cases requiring dual symbols GM - GC Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7		
		GP	Poorly graded gravel, gravel sand mixtures, little or no fines.			
		GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures			
		GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures			
	Sands More than half of coarse fraction smaller than No. 4 (4.75 mm) sieve	Clean sands little or no fines	SW	Well graded sands, gravelly sand, little or no fines	Determine percentages of sand and gravel from grain-size curves Depending on percent fines (fraction smaller than No. 200 (75 micron) sieve) coarse grained soils are classified as follows: Less than 5% - GW, GP, SW, SP More than 12% - GM, GC, SM, SC 5 to 12% - <i>borderline</i> cases requiring dual symbols	
			SP	Poorly graded sands, gravelly sand, little or no fines		
		Sands with fines Appreciable amount of fines	SM	Silty sands, sand-silt mixtures		Atterberg limits below "A" line or PI less than 4 Above "A" line with FI between 4 and 7 are <i>borderline</i> cases requiring dual symbols SM - SC Atterberg limits above "A" line with PI greater than 7
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures		
			ML	Inorganic silts, rock flour, silty or clayey fine sands, clayey silts with slight plasticity		
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays		
FINE GRAINED SOILS More than half of material is smaller than No. 200 (75 micron) sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity			
	Silts and Clays Liquid limit greater than 50	MH	Inorganic silts, clayey silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soil, elastic silts			
		CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays			
		OH	Organic clays and silty clays of medium to high plasticity, organic silts			
	PT	Peat and other highly organic soils				



Borderline classifications, used for soils possessing characteristics of two groups, are designated by dual symbols

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**



P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33 JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

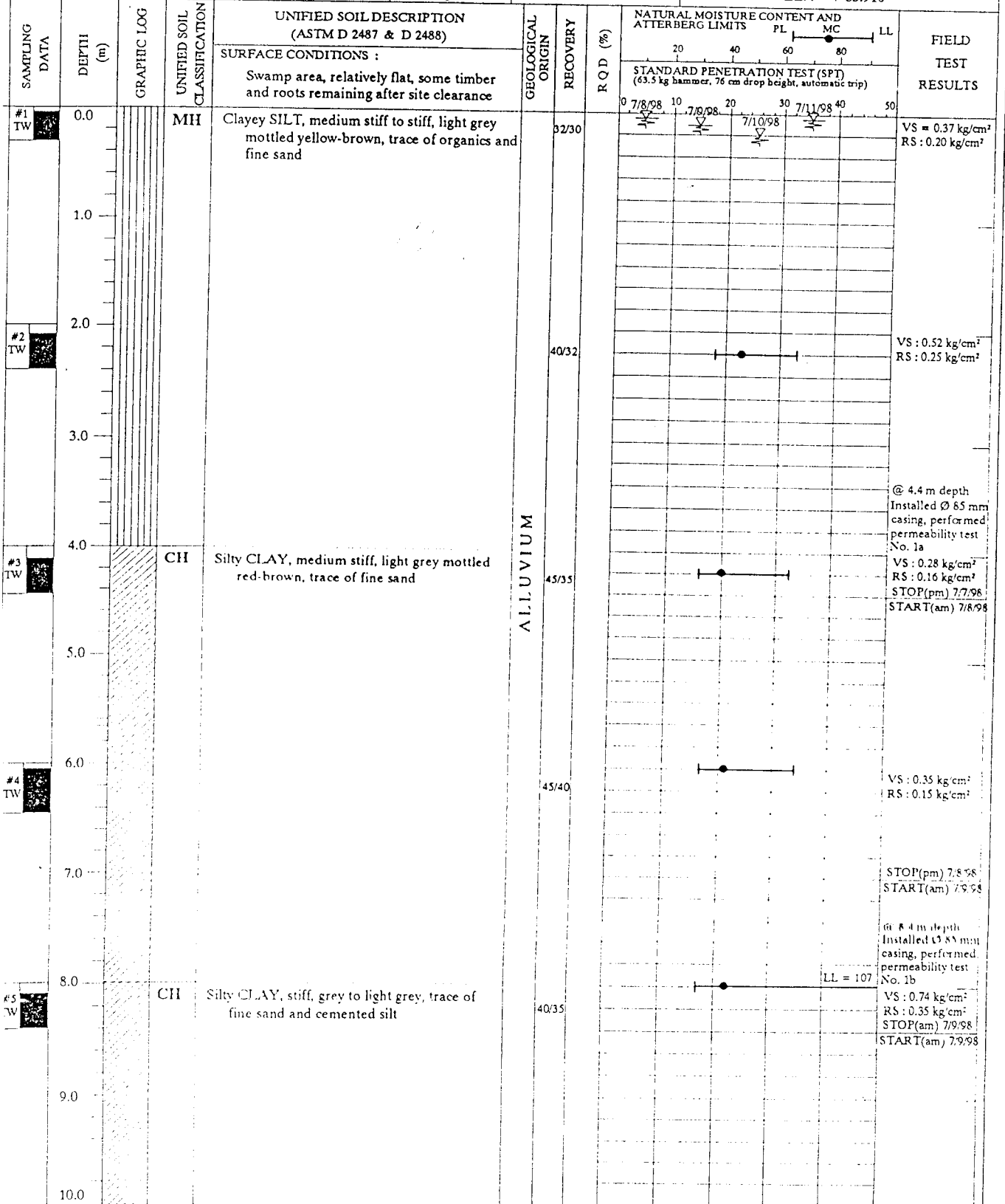
JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : A - (III)



5

ect	SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/07/1998 @ 11.20	BORELOG No. : BH - 1
ation	PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/10/1998 @ 11.25	
nt	HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	
		Drill Rig	ZT - 100	
		Drilling Fluids	Water / Mud	
		Survey Data	N. : 1111.603 E. : 1555.559 EL. : + 85.910	



No. : 98 - 0102 - 003

File No. : BH - 1

Drawn by : Yaya

Checked by : Djura F.S

Date : July, 1998

Exhibit : A - 1 (1 of 2)



P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO

JL. TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA
PH. (021) 830-1646 FAX. (021) 829-0163

Sheet 2 of 2

ect	SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/07/1998 @ 11.20	BORELOG No. : BH - 1
tion	PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/10/1998 @ 11.25	
nt	HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	Survey Data N. : 1111.603 E. : 1555.559 EL. : + 85.910
		Drill Rig	ZT - 100	
		Drilling Fluids	Water / Mud	

SAMPLING DATA	DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	UNIFIED SOIL DESCRIPTION (ASTM D 2487 & D 2488)	GEOLOGICAL ORIGIN	RECOVERY	ROD (%)	NATURAL MOISTURE CONTENT AND ATTERBERG LIMITS	FIELD TEST RESULTS
				SURFACE CONDITIONS :				PL	
#6 TW	10.0		CH	Silty CLAY, stiff, grey to light grey, trace of fine sand and cemented silt	ALLUVIUM	45/35			VS : 0.81 kg/cm ² RS : 0.35 kg/cm ²
#7 TW	12.0					43/37			VS : 0.90 kg/cm ² RS : 0.42 kg/cm ² STOP(pm) 7/9/98 START(am) 7/10/98
#8 TW	14.0					35/28			VS : 0.84 kg/cm ² RS : 0.32 kg/cm ²
#9 TW	16.0					35/28			VS : 1.04 kg/cm ² RS : 0.48 kg/cm ²
	17.0			Boring terminated at 16.3 m depth on July 10, 1998					Note: Vane Shear (VS) Remoulded Vane Strength (RS)
	18.0								
	19.0								
	20.0								

No. : 98 - 0102 - 003 File No. : BH - 1a Drawn by : Yaya Checked by : Djura F.S Date : July, 1998

Exhibit : A - 1 (2 of 2)

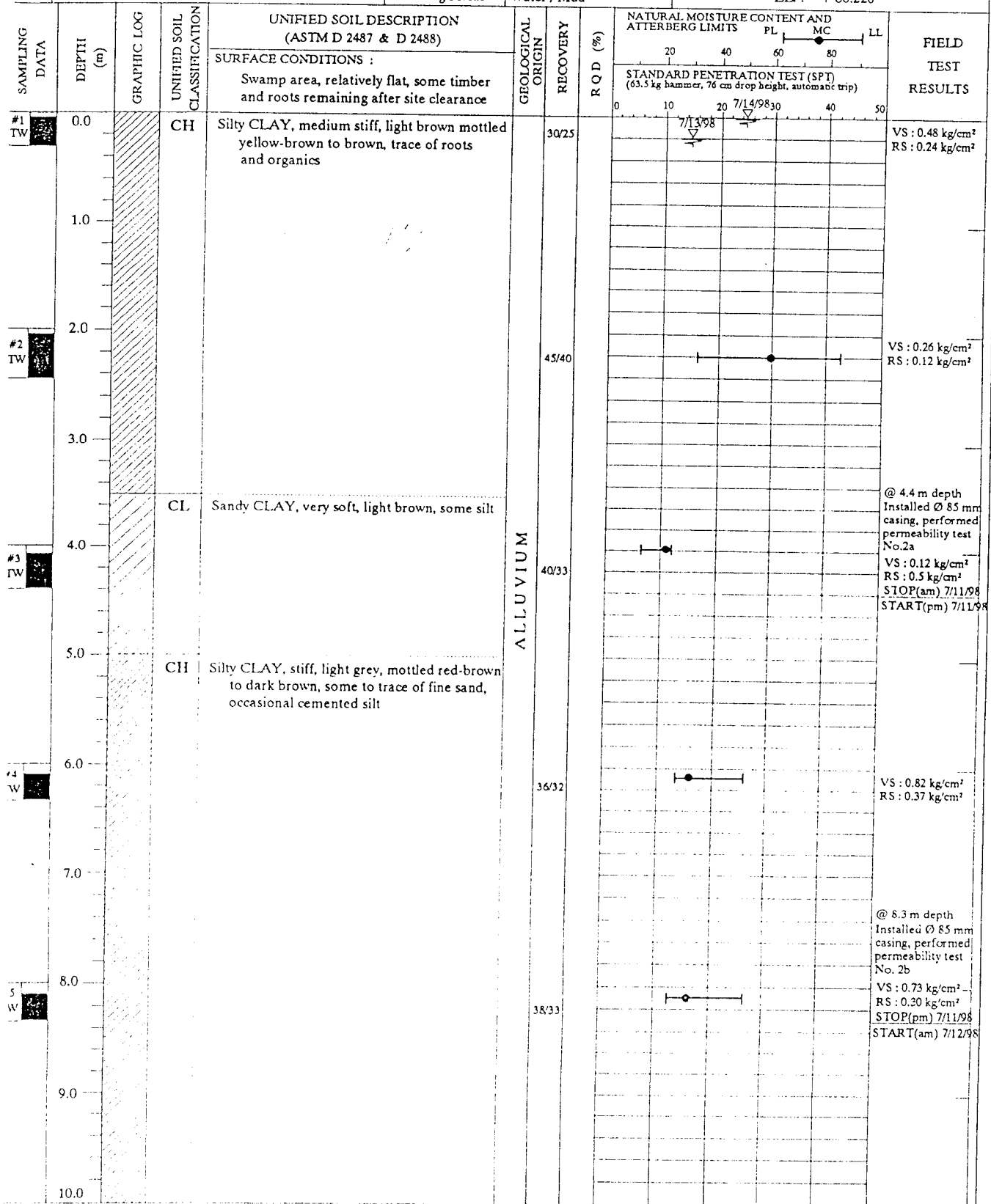


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO

JL. TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA
PH. (021) 830-1646 FAX. (021) 829-0163

Sheet 1 of 2

ct	SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/11/1998 @ 10.30	BORELOG No. : BH - 2
ion	PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/13/1998 @ 10.30	
t	HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	Survey Data N. : 1056.206 E. : 1606.117 EL. : + 86.220
		Drill Rig	ZT - 100	
		Drilling Fluids	Water / Mud	



No. : 98 - 0102 - 003 File No. : BH - 2 Drawn by : Yaya Checked by : Djuara F.S Date : July, 1998

Exhibit : A - 2 (1 of 2)



P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO

JL. TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA
PH. (021) 830-1646 FAX. (021) 829-0163

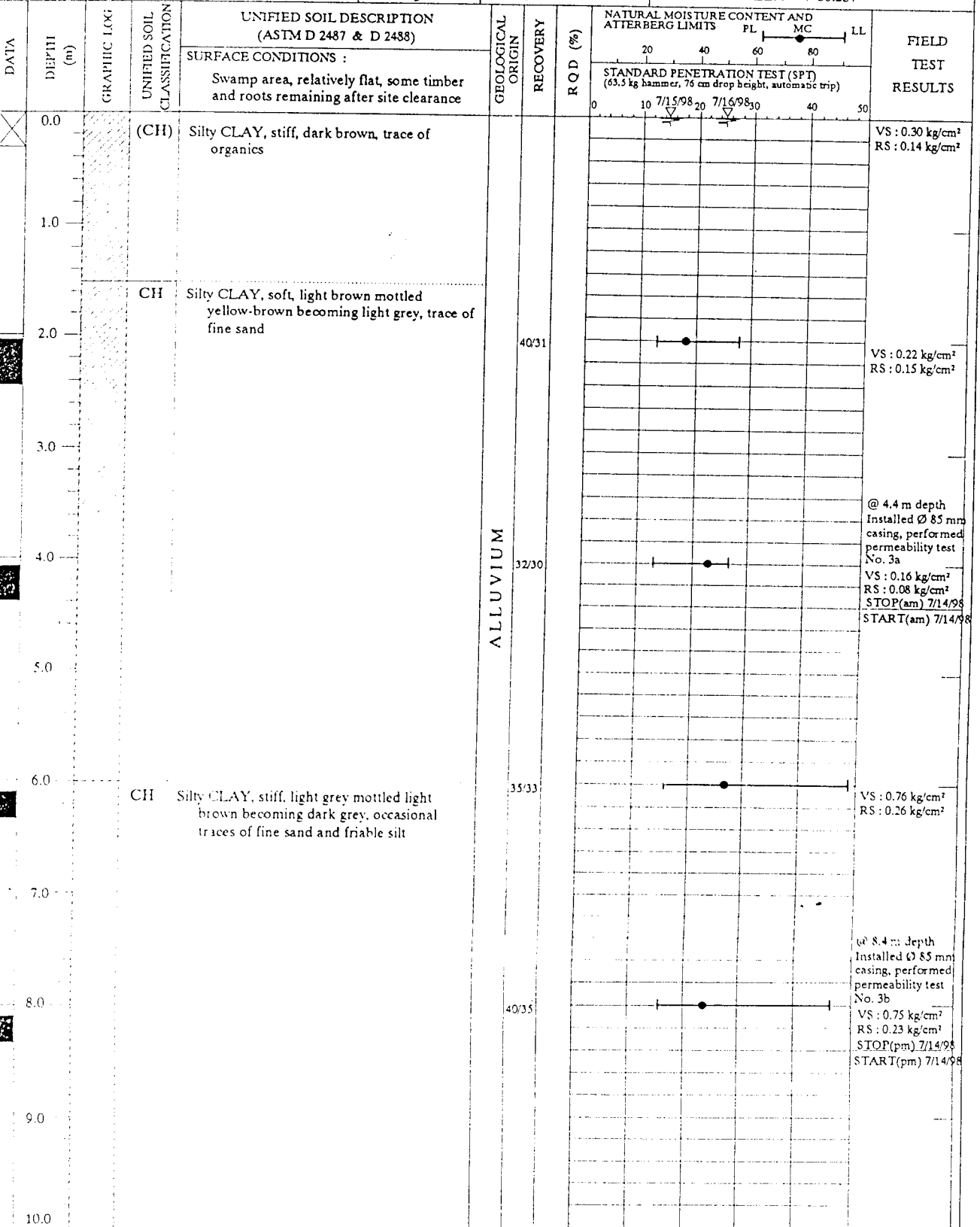
Sheet 2 of 2

ect	SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/11/1998 @ 10.30	BORELOG No. : BH - 2
tion	PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/13/1998 @ 10.30	
it	HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	Survey Data N. : 1056.206 E. : 1606.117 EL. : + 86.220
		Drill Rig	ZT - 100	
		Drilling Fluids	Water / Mud	

SAMPLING DATA	DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION	UNIFIED SOIL DESCRIPTION (ASTM D 2487 & D 2488)		GEOLOGICAL ORIGIN	RECOVERY	R Q D (%)	NATURAL MOISTURE CONTENT AND ATTERBERG LIMITS		FIELD TEST RESULTS
				SURFACE CONDITIONS :					PL	MC	
	10.0		CH	Swamp area, relatively flat, some timber and roots remaining after site clearance		ALLUVIUM	45/40				VS : 0.33 kg/cm ² RS : 0.14 kg/cm ²
	12.0			Silty CLAY, medium stiff to very stiff, dark grey to grey, trace of fine sand, occasionally friable			40/33			LI = 104	@ 12.4 m depth Installed Ø 85 mm casing, performed permeability test No. 2c VS : 0.57 kg/cm ² RS : 0.21 kg/cm ² STOP(pm) 7/12/98 START(am) 7/13/98
	14.0						35/30			LI = 109	VS : 0.96 kg/cm ² RS : 0.27 kg/cm ²
	16.0						35/28			LI = 105	@ 16.3 m depth Installed Ø 85 mm casing, performed permeability test No. 2d VS : 1.05 kg/cm ² RS : 0.28 kg/cm ²
	17.0			Boring terminated at 16.3 m depth on July 13, 1998						Note: Vane Shear (VS) Remoulded Vane Strength (RS)	

P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO JL. TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA PH. (021) 830-1646 FAX. (021) 829-0163 Sheet 1 of 2

SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/14/1998 @ 7.30	BORELOG No. : BH - 3
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/15/1998 @ 17.30	
HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	Survey Data
	Drill Rig	ZT - 100	N. : 1000.809
	Drilling Fluids	Water / Mud	E. : 1656.676 EL. : + 86.237



File No. : BH - 3 Drawn by : Yaya Checked by : Djuara F.S Date : July, 1998

Exhibit : A - 3 (1 of 2)

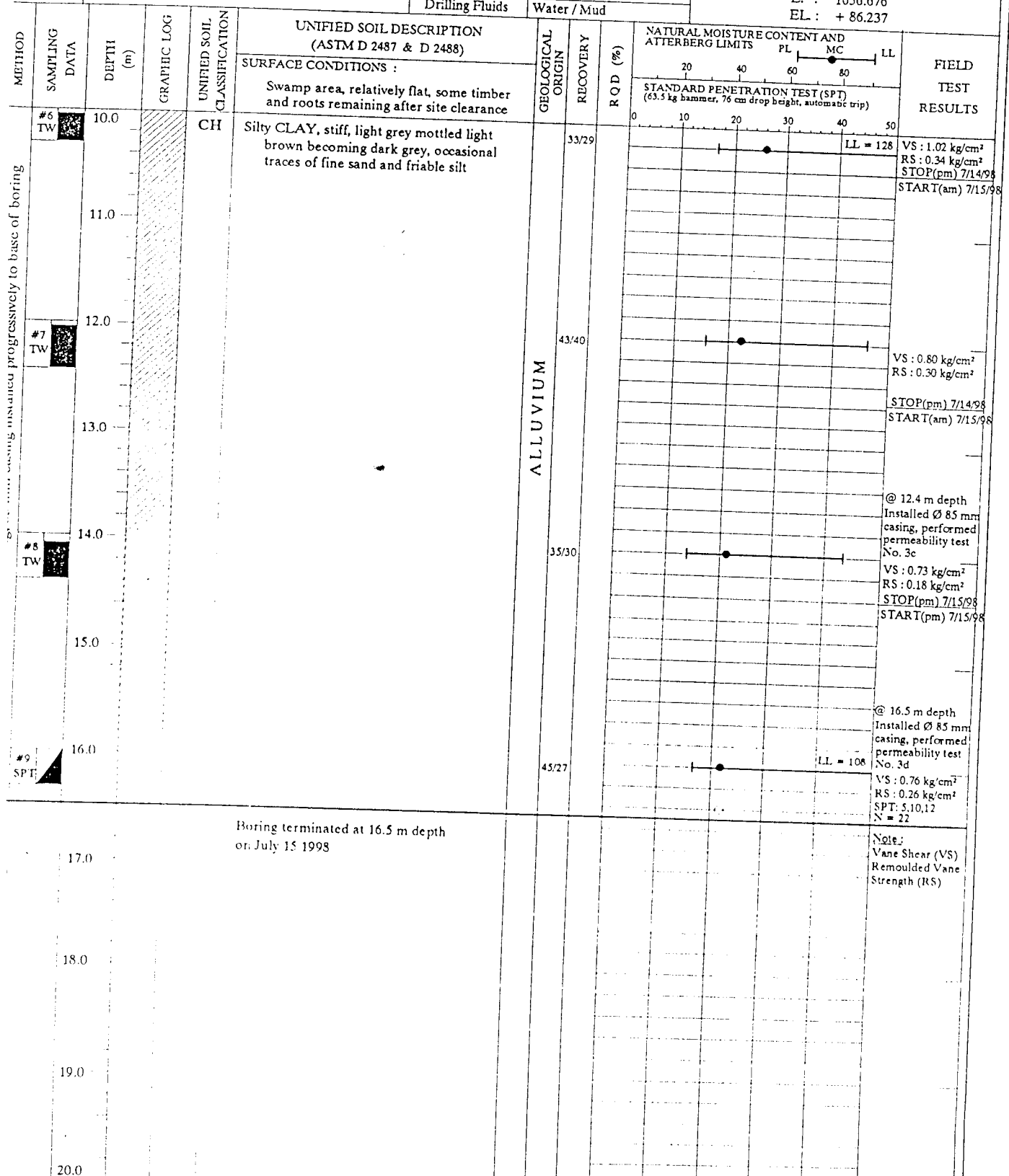


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO

JL. TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA
PH. (021) 830-1646 FAX. (021) 829-0163

Sheet 2 of 2

Project	SITE OF HOLDING POND DAMS	Date - Start	07/14/1998 @ 7.30	BORELOG No. : BH - 3
Location	PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA	Date - Finish	07/15/1998 @ 17.30	
Client	HOLLAND BALLAST THIESS J.V	Supervisor	M. Taufiq	Survey Data N. : 1000.809 E. : 1656.676 EL. : + 86.237
		Drill Rig	ZT - 100	
		Drilling Fluids	Water / Mud	



No. : 98 - 0102 - 003 File No. : BH - 3A Drawn by : Yaya Checked by : Djuara F.S Date : July, 1998

Exhibit : A - 3 (2 of 2)

KEY TO SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

G_s : Specific Gravity
 γ_t : Wet Density ✓
 w (%) : Moisture Content
 γ_d : Dry Density ✓
 γ_{Sat} : Saturated Density

ATTERBERG LIMIT

LL (%) : Liquid Limit
PL (%) : Plastic Limit
PI (%) : Plasticity Index

TXUU/CU/UC/DSUU

c : Cohesion
 ϕ (°) : Angle of Internal Friction
 c' : Effective Cohesion
 ϕ' (°) : Effective Angle of Internal Friction
 s_u : Undrained Shear Strength
 q_u : Unconfined Compressive Strength

CONSOLIDATION

C_c : Compression Index (corrected for field condition)
 C_r : Recompression Index
 P'_c : Effective Preconsolidation Pressure
 c_v : Coefficient of Consolidation
 e_c : Initial Void Ratio

TV : Pocket Torvane
PP : Pocket Penetrometer

Client :

HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :

SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33 JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : E - (I)



Geotechnical Soil Investigation Report
Holding Pond Dams & Administration Building, Musi Pulp Mill Project, Nr. Palembang
for Holland-Ballast-Thiess JO

August 07, 1998

Mechanical Dutch Cone Penetration Test (CPT) Logs Holding Pond Dams



Geotechnical Soil Investigation Report
Holding Pond Dams & Administration Building, Musi Pulp Mill Project, Nr. Palembang
for Holland-Ballast-Thiess JO

August 07, 1998

APPENDIX B

Mechanical Dutch Cone Penetration Test (CPT) Logs
Holding Pond Dams

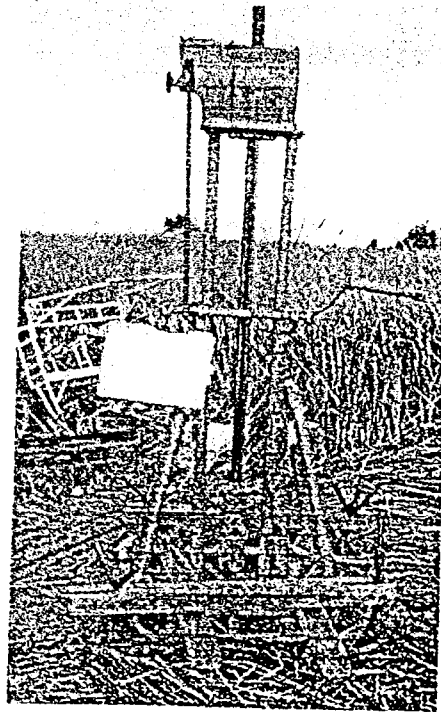


APPENDIX B
Mechanical Dutch Cone Penetration Test (CPT) Logs - Holding Pond Dams

TABLE OF CONTENTS

<u>Exhibit No.</u>	<u>Title</u>		
B-1	Deep Sounding Apparatus & Mechanical Dutch Cone (CPT)		
B-2	Interpretation of CPT Results (<i>after Searle, 1979</i>)		

<u>Exhibit Ref No.</u>	<u>Title</u>	<u>Probe Depth (m)</u>	<u>Start-Finish</u>
CPT-1 (3 sheets)	Cone Penetration Test (CPT) Results	16.6	July 11
CPT-2 (3 sheets)	- ditto -	16.4	July 13
CPT-3 (3 sheets)	- ditto -	18.6	July 12
CPT-4 (3 sheets)	- ditto -	16.6	July 12



DEEP SOUNDING APPARATUS

THE STATIC SOUNDING APPARATUS KNOWN AS THE DUTCH CONE WAS DEVELOPED BY THE NETHERLANDS' DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HAS FOUND WIDE APPLICATIONS

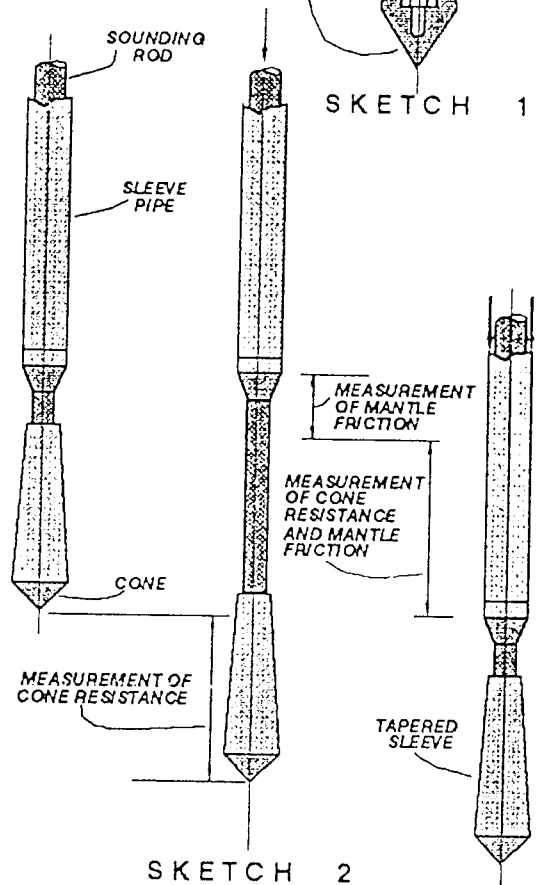
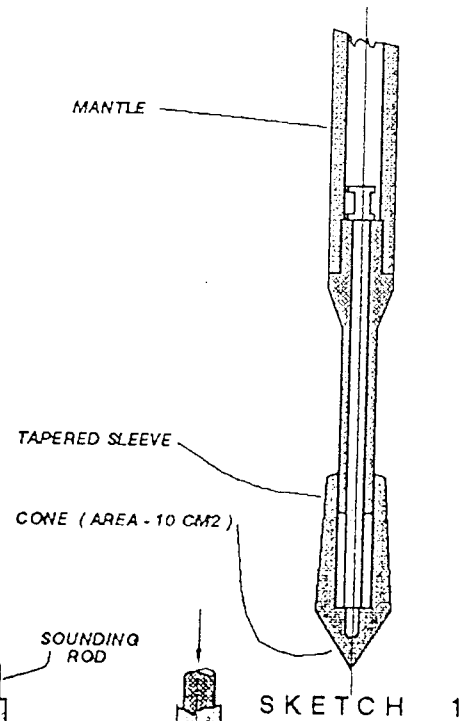
THE APPARATUS CONSISTS OF A 60- DEGREE CONE WITH AN AREA OF 10 CM² ATTACHED TO A TAPERED SLEEVE. A SOUNDING ROD IS ATTACHED TO THE CONE INSIDE THE TAPERED SLEEVE WHICH FITS OVER A SMALLER SECTION OF PIPE FLANGED AT THE UPPER END. THE FLANGED END ATTACHES TO A 20 CM. LONG SLEEVE PIPE (DIAMETER 35 M) MANTLE, WHICH IS CONNECTED TO AN OUTER ROD (SEE SKETCH 1)

THE SOUNDING APPARATUS IS DRIVEN BY A HYDRAULIC RAM MOUNTED ON A TUBULAR FRAME

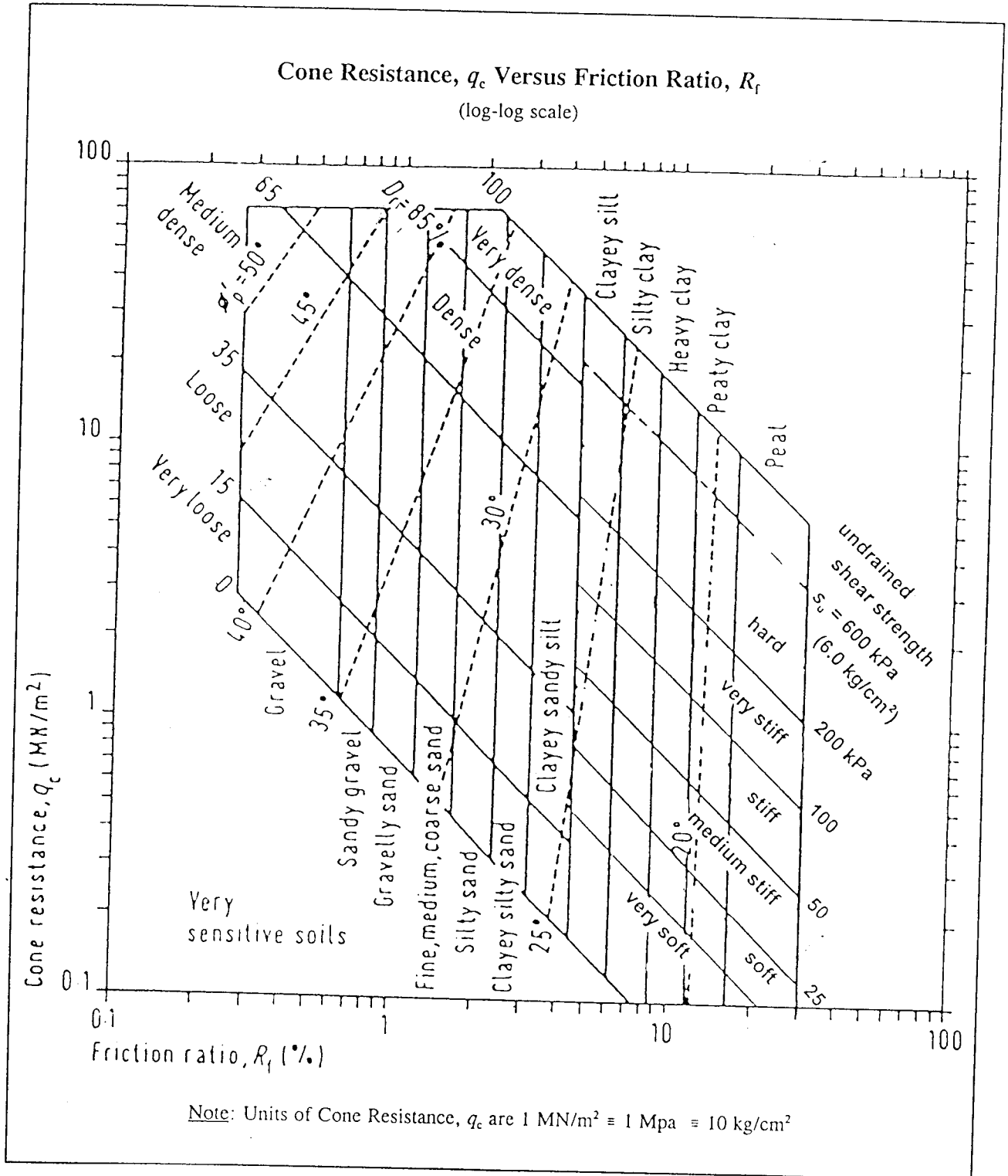
THE TEST PRECEDURE IS AS FOLLOWS :
 THE SOUNDING APPARATUS IS DRIVEN INTO THE SOIL, E.G., 20 CM. AND READINGS ARE MADE IN THREE STAGES. FIRST, THE CONE IS EXTENDED 12.5 CM. SECOND, THE MANTLE IS PUSHED BY THE OUTER ROD 12.5 CM. CLOSING THE DEVICE. THIRD, THE OUTER ROD CONTINUES TO PUSH BOTH THE CONE AND THE MANTLE FOR 7.5 CM. MAKING THE TOTAL DRIVE 20 CM. (SEE SKETCH 2)

THE FORCE NECESSARY TO DRIVE THE APPARATUS EACH STEP IS RECORDED ON PRESSURE GAUGES.

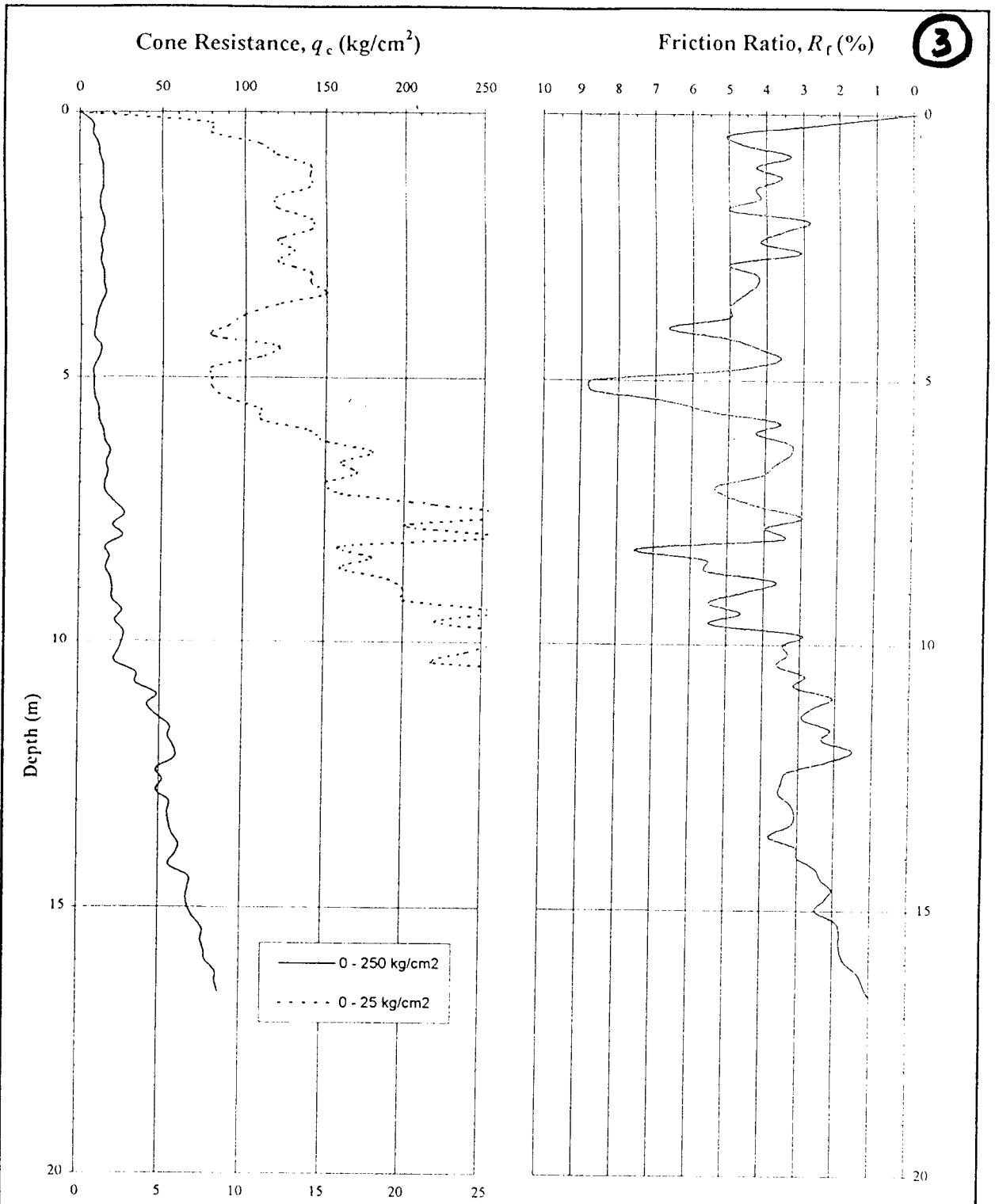
THE RESULTS OF THE DUTCH CONE TESTS ARE NORMALLY PRESENTED AS A PLOT OF THE DEPTH VERSUS CONE RESISTANCE IN KG / CM²



Title:	Deep Sounding Apparatus & Mechanical Dutch Cone (CPT)	Exhibit B-1
--------	---	-------------




<u>Title:</u>	Interpretation of CPT Results (after Searle, 1979)	Exhibit B-2
---------------	--	-------------



Note:

- CPT data was recorded at 0.2 m depth intervals using a 2.5 tonne mechanical Dutch cone
- The data plots have been 'smoothed' using a Microsoft Excel Function

Northing: not available
Easting: not available
Elevation: @ + n.a

Tested by: Taufiq	Date: 11/7/98	Plot by: Djura F.S	Checked by: P. Glover 14/7
Project: SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nf PALEMBANG		Title: CONE PENETRATION TEST (CPT) RESULTS	
Client: HOLLAND BALLAST THIES J V		PLOTS OF CONE RESISTANCE AND FRICTION RATIO VERSUS DEPTH	
Geotechnical Engineers:  PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO		Job #: 98 - 0102 - 003	Ref No.: CPT-1

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 1

Page 1 of 2

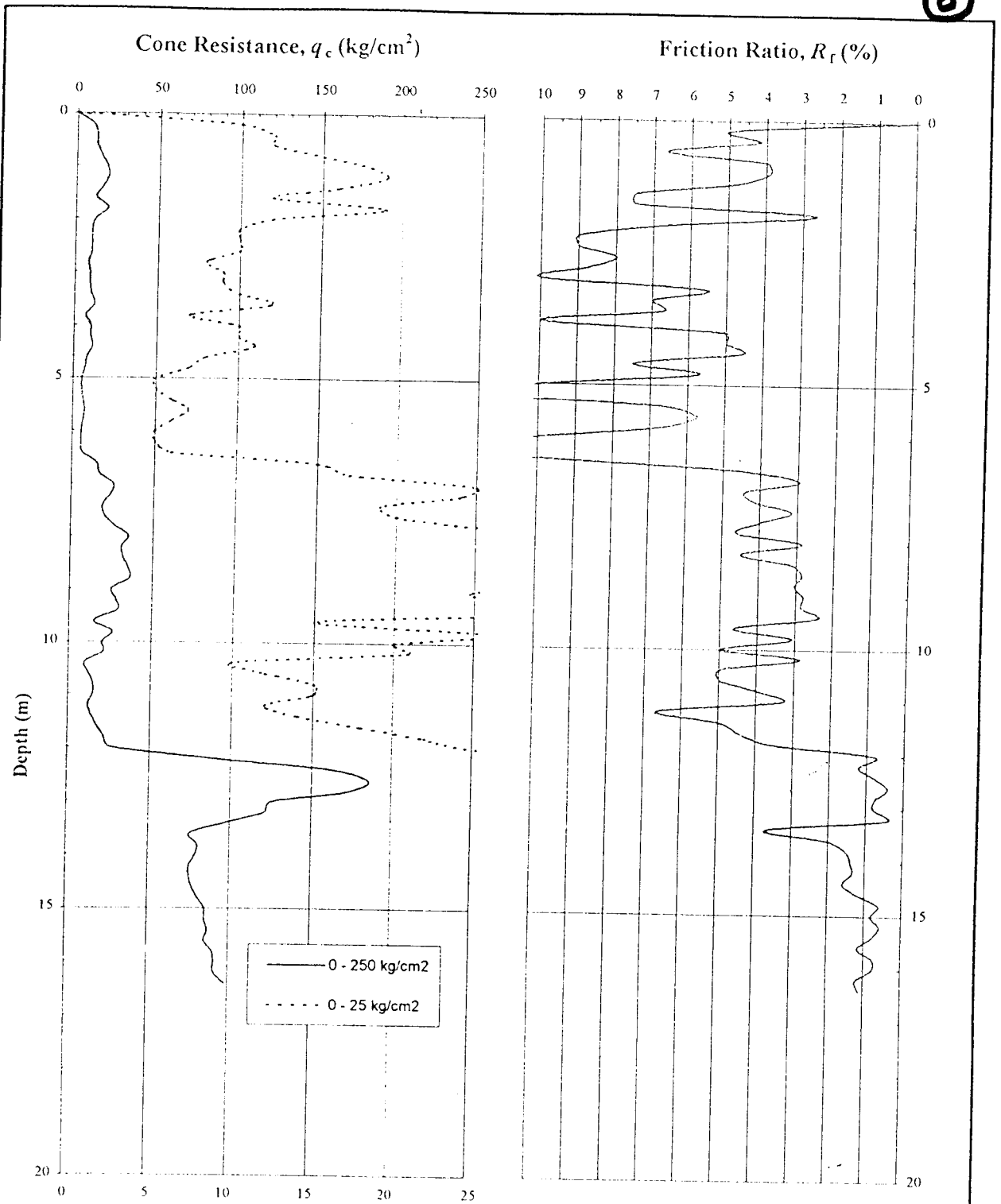
DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As} %
0.00	0	0					
0.20	8	10	10	100	0.20		2.50
0.40	8	12	10	100	0.38		4.80
0.60	11	16	10	100	0.48		4.36
0.80	12	16	10	100	0.38		3.20
1.00	14	20	10	100	0.58		4.11
1.20	14	19	10	100	0.48		3.43
1.40	14	20	10	100	0.58		4.11
1.60	12	17	10	100	0.48		4.00
1.80	12	18	10	100	0.58		4.80
2.00	14	18	10	100	0.38		2.74
2.20	14	19	10	100	0.48		3.43
2.40	12	17	10	100	0.48		4.00
2.60	13	17	10	100	0.38		2.95
2.80	12	18	10	100	0.58		4.80
3.00	14	20	10	100	0.58		4.11
3.20	14	20	10	100	0.58		4.11
3.40	15	22	10	100	0.67		4.48
3.60	12	18	10	100	0.58		4.80
3.80	10	15	10	100	0.48		4.80
4.00	9	15	10	100	0.58		6.40
4.20	8	12	10	100	0.38		4.80
4.40	12	17	10	100	0.48		4.00
4.60	11	15	10	100	0.38		3.49
4.80	8	12	10	100	0.38		4.80
5.00	8	15	10	100	0.67		8.40
5.20	8	15	10	100	0.67		8.40
5.40	9	15	10	100	0.58		6.40
5.60	11	17	10	100	0.58		5.24
5.80	11	15	10	100	0.38		3.49
6.00	14	20	10	100	0.58		4.11
6.20	15	20	10	100	0.48		3.20
6.40	18	24	10	100	0.58		3.20
6.60	16	22	10	100	0.58		3.60
6.80	17	24	10	100	0.67		3.95
7.00	15	23	10	100	0.77		5.12
7.20	16	24	10	100	0.77		4.80
7.40	22	31	10	100	0.86		3.93
7.60	27	35	10	100	0.77		2.84
7.80	20	28	10	100	0.77		3.84
8.00	26	35	10	100	0.86		3.32
8.20	16	28	10	100	1.15		7.20
8.40	18	28	10	100	0.96		5.33
8.60	16	25	10	100	0.86		5.40
8.80	19	26	10	100	0.67		3.54
9.00	20	29	10	100	0.86		4.32
9.20	20	31	10	100	1.06		5.28
9.40	26	38	10	100	1.15		4.43
9.60	22	34	10	100	1.15		5.24
9.80	27	35	10	100	0.77		2.84

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 1

Page 2 of 2

DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As) %
10.00	26	35	10	100	0.90		3.46
10.20	24	32	10	100	0.77		3.20
10.40	22	30	10	100	0.77		3.49
10.60	35	45	10	100	0.96		2.74
10.80	35	46	10	100	1.06		3.02
11.00	48	58	10	100	0.96		2.00
11.20	42	53	10	100	1.06		2.51
11.40	48	62	10	100	1.34		2.80
11.60	56	68	10	100	1.15		2.06
11.80	55	68	10	100	1.25		2.27
12.00	59	68	10	100	0.86		1.46
12.20	59	72	10	100	1.25		2.12
12.40	48	64	10	100	1.54		3.20
12.60	52	70	10	100	1.73		3.32
12.80	48	65	10	100	1.63		3.40
13.00	56	74	10	100	1.73		3.09
13.20	55	72	10	100	1.63		2.97
13.40	56	74	10	100	1.73		3.09
13.60	58	80	10	100	2.11		3.64
13.80	62	81	10	100	1.82		2.94
14.00	60	78	10	100	1.73		2.88
14.20	56	70	10	100	1.34		2.40
14.40	68	84	10	100	1.54		2.26
14.60	68	82	10	100	1.34		1.98
14.80	67	82	10	100	1.44		2.15
15.00	68	85	10	100	1.63		2.40
15.20	72	86	10	100	1.34		1.87
15.40	77	91	10	100	1.34		1.75
15.60	76	90	10	100	1.34		1.77
15.80	78	92	10	100	1.34		1.72
16.00	79	92	10	100	1.25		1.58
16.20	85	96	10	100	1.06		1.24
16.40	85	95	10	100	0.96		1.13
16.60	87	96	10	100	0.86		0.99




Note:
 1. CPT data was recorded at 0.2 m depth intervals using a 2.5 tonne mechanical Dutch cone
 2. The data plots have been 'smoothed' using a Microsoft Excel Function

Northing: not available
 Easting: not available
 Elevation: @ + n.a

Tested by: Taufiq Date: 13/7/1998 Plot by: Djuara F.S Checked by: P. Glover 14/7

Project: **SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG** Title: **CONE PENETRATION TEST (CPT) RESULTS**

Client: **HOLLAND BALLAST THIESS J V** **PLOTS OF CONE RESISTANCE AND FRICTION RATIO VERSUS DEPTH**

Geotechnical Engineers:
 **PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTUNDO**

Job #: 98 - 0102 - 003

Ref No.: CPT-2

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 2

Page 1 of 2

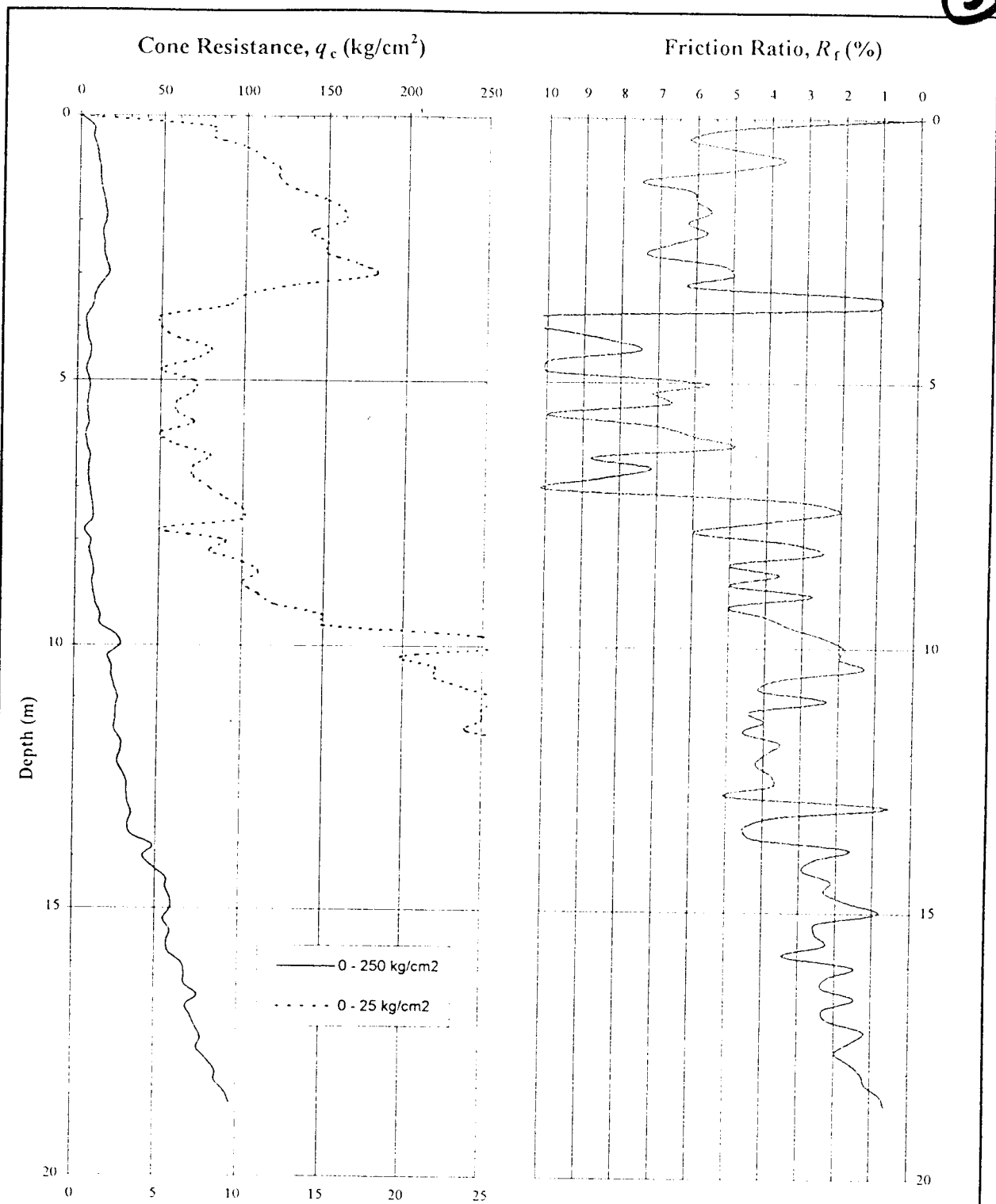
DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As} %
0.00	0	0					
0.20	10	15	10	100	0.50		5.00
0.40	12	17	10	100	0.48		4.00
0.60	12	20	10	100	0.77		6.40
0.80	15	21	10	100	0.58		3.84
1.00	18	25	10	100	0.67		3.73
1.20	19	28	10	100	0.86		4.55
1.40	16	28	10	100	1.15		7.20
1.60	12	21	10	100	0.86		7.20
1.80	19	24	10	100	0.48		2.53
2.00	12	20	10	100	0.77		6.40
2.20	10	19	10	100	0.86		8.64
2.40	10	19	10	100	0.86		8.64
2.60	10	18	10	100	0.77		7.68
2.80	8	15	10	100	0.67		8.40
3.00	9	18	10	100	0.86		9.60
3.20	9	14	10	100	0.48		5.33
3.40	10	17	10	100	0.67		6.72
3.60	12	20	10	100	0.77		6.40
3.80	7	14	10	100	0.67		9.60
4.00	10	15	10	100	0.48		4.80
4.20	10	15	10	100	0.48		4.80
4.40	11	16	10	100	0.48		4.36
4.60	8	14	10	100	0.58		7.20
4.80	7	11	10	100	0.38		5.49
5.00	5	10	10	100	0.48		9.60
5.20	5	11	10	100	0.58		11.52
5.40	6	10	10	100	0.38		6.40
5.60	7	11	10	100	0.38		5.49
5.80	6	10	10	100	0.38		6.40
6.00	5	10	10	100	0.48		9.60
6.20	5	12	10	100	0.67		13.44
6.40	6	12	10	100	0.58		9.60
6.60	15	22	10	100	0.67		4.48
6.80	17	22	10	100	0.48		2.82
7.00	25	36	10	100	1.06		4.22
7.20	24	34	10	100	0.96		4.00
7.40	19	25	10	100	0.58		3.03
7.60	20	28	10	100	0.77		3.84
7.80	26	36	10	100	1.15		4.43
8.00	35	45	10	100	0.96		2.74
8.20	31	45	10	100	1.34		4.34
8.40	32	42	10	100	0.96		3.00
8.60	35	45	10	100	0.96		2.74
8.80	36	47	10	100	1.06		2.93
9.00	25	32	10	100	0.67		2.69
9.20	28	36	10	100	0.77		2.74
9.40	29	36	10	100	0.67		2.32
9.60	15	22	10	100	0.67		4.48
9.80	26	34	10	100	0.77		2.95

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 2

Page 2 of 2

DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As) %
10.00	20	30	10	100	1.00		5.00
10.20	21	27	10	100	0.58		2.74
10.40	10	15	10	100	0.48		4.80
10.60	12	18	10	100	0.58		4.80
10.80	15	21	10	100	0.58		3.84
11.00	15	20	10	100	0.48		3.20
11.20	12	20	10	100	0.77		6.40
11.40	14	21	10	100	0.67		4.80
11.60	18	26	10	100	0.77		4.27
11.80	22	30	10	100	0.77		3.49
12.00	26	28	10	100	0.19		0.74
12.20	89	100	10	100	1.06		1.19
12.40	165	178	10	100	1.25		0.76
12.60	186	194	10	100	0.77		0.41
12.80	172	185	10	100	1.25		0.73
13.00	125	135	10	100	0.96		0.77
13.20	121	126	10	100	0.48		0.40
13.40	97	133	10	100	3.46		3.56
13.60	75	90	10	100	1.44		1.92
13.80	80	92	10	100	1.15		1.44
14.00	79	90	10	100	1.06		1.34
14.20	75	85	10	100	0.96		1.28
14.40	75	87	10	100	1.15		1.54
14.60	77	86	10	100	0.86		1.12
14.80	81	86	10	100	0.48		0.59
15.00	85	92	10	100	0.67		0.79
15.20	85	90	10	100	0.48		0.56
15.40	87	94	10	100	0.67		0.77
15.60	85	95	10	100	0.96		1.13
15.80	90	97	10	100	0.67		0.75
16.00	91	98	10	100	0.67		0.74
16.20	91	102	10	100	1.06		1.16
16.40	98	109	10	100	1.10		1.12



Note:

1. CPT data was recorded at 0.2 m depth intervals using a 2.5 tonne mechanical Dutch cone
2. The data plots have been 'smoothed' using a Microsoft Excel Function

Northing: not available
 Easting: not available
 Elevation: @ + n.a


Tested by: Taufiq Date: 12/7/98 Plot by: Djuara F.S Checked by: P. Glover 14/7

Project:
**SITE OF HOLDING POND DAMS
 MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG**

Title:
**CONE PENETRATION TEST (CPT)
 RESULTS**

Client:
HOLLAND BALLAST THIESS J V

**PLOTS OF CONE RESISTANCE AND
 FRICTION RATIO VERSUS DEPTH**

Geotechnical Engineers:
 **PT.ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO**

Job #: 98 - 0102 - 003

Ref No.: CPT-3

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 3

DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO ((B-A)/A)*Ac/As) %
0.00	0	0					
0.20	8	12	10	100	0.40		5.00
0.40	8	13	10	100	0.48		6.00
0.60	10	15	10	100	0.48		4.80
0.80	11	15	10	100	0.38		3.49
1.00	12	18	10	100	0.58		4.80
1.20	12	21	10	100	0.86		7.20
1.40	13	21	10	100	0.77		5.91
1.60	15	24	10	100	0.86		5.76
1.80	16	25	10	100	0.86		5.40
2.00	16	26	10	100	0.96		6.00
2.20	14	22	10	100	0.77		5.49
2.40	15	25	10	100	0.96		6.40
2.60	15	26	10	100	1.06		7.04
2.80	17	26	10	100	0.86		5.08
3.00	18	27	10	100	0.86		4.80
3.20	13	21	10	100	0.77		5.91
3.40	10	11	10	100	0.10		0.96
3.60	9	10	10	100	0.10		1.07
3.80	5	11	10	100	0.58		11.52
4.00	5	10	10	100	0.48		9.60
4.20	6	11	10	100	0.48		8.00
4.40	8	14	10	100	0.58		7.20
4.60	7	14	10	100	0.67		9.60
4.80	5	10	10	100	0.48		9.60
5.00	7	11	10	100	0.38		5.49
5.20	7	12	10	100	0.48		6.86
5.40	8	10	10	100	0.19		2.40
5.60	6	12	10	100	0.58		9.60
5.80	7	12	10	100	0.48		6.86
6.00	5	8	10	100	0.29		5.76
6.20	6	9	10	100	0.29		4.80
6.40	8	15	10	100	0.67		8.40
6.60	7	12	10	100	0.48		6.86
6.80	7	13	10	100	0.58		8.23
7.00	8	16	10	100	0.77		9.60
7.20	9	12	10	100	0.29		3.20
7.40	10	12	10	100	0.19		1.92
7.60	10	14	10	100	0.38		3.84
7.80	5	8	10	100	0.29		5.76
8.00	9	12	10	100	0.29		3.20
8.20	8	10	10	100	0.19		2.40
8.40	10	15	10	100	0.48		4.80
8.60	11	15	10	100	0.38		3.49
8.80	10	15	10	100	0.48		4.80
9.00	11	14	10	100	0.29		2.62
9.20	12	18	10	100	0.58		4.80
9.40	15	21	10	100	0.58		3.84
9.60	15	20	10	100	0.48		3.20
9.80	25	31	10	100	0.58		2.30

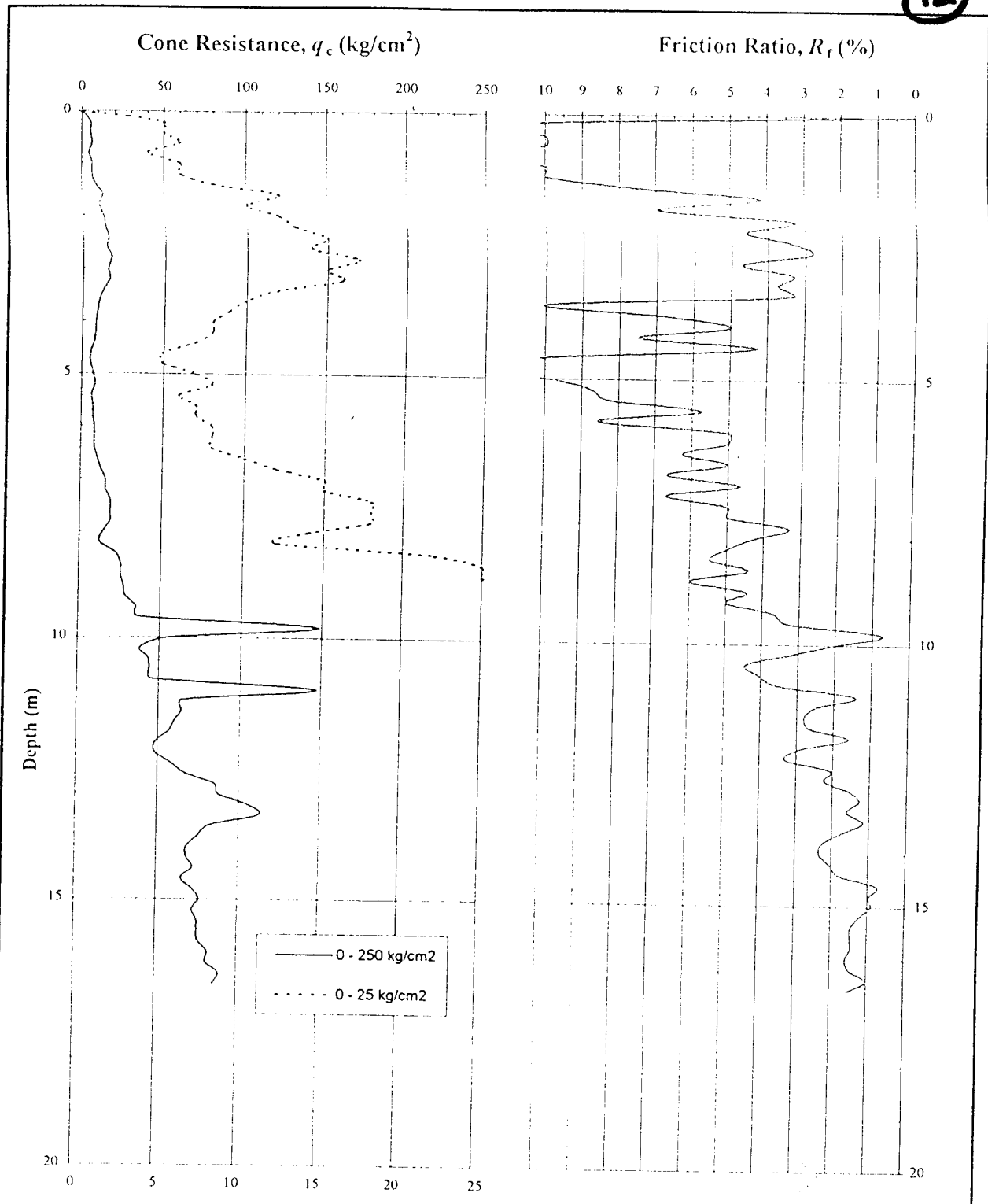


DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 3

Page 2 of 2

DEPTH (m)	CONE (A)	TOTAL (B)	CONE AREA (Ac)	SLEEVE AREA (As)	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As)
	Kg/Cm ²	Kg/Cm ²	Cm ²	Cm ²	Kg/Cm ²		%
10.00	27	32	10	100	0.50		1.85
10.20	20	24	10	100	0.36		1.92
10.40	22	25	10	100	0.29		1.31
10.60	22	30	10	100	0.77		3.49
10.80	24	34	10	100	0.96		4.00
11.00	26	32	10	100	0.58		2.22
11.20	25	36	10	100	1.06		4.22
11.40	26	35	10	100	0.86		3.32
11.60	24	35	10	100	1.06		4.40
11.80	28	38	10	100	0.96		3.43
12.00	28	38	10	100	0.96		3.43
12.20	28	37	10	100	0.86		3.09
12.40	29	40	10	100	1.06		3.64
12.60	32	44	10	100	1.15		3.60
12.80	32	48	10	100	1.54		4.80
13.00	33	35	10	100	0.19		0.58
13.20	35	48	10	100	1.25		3.57
13.40	33	48	10	100	1.44		4.36
13.60	35	50	10	100	1.44		4.11
13.80	48	55	10	100	0.67		1.40
14.00	42	53	10	100	1.06		2.51
14.20	48	62	10	100	1.34		2.80
14.40	56	68	10	100	1.15		2.06
14.60	56	69	10	100	1.25		2.23
14.80	59	69	10	100	0.96		1.63
15.00	59	64	10	100	0.48		0.81
15.20	55	69	10	100	1.34		2.44
15.40	59	74	10	100	1.44		2.44
15.60	57	70	10	100	1.25		2.19
15.80	58	78	10	100	1.92		3.31
16.00	66	76	10	100	0.96		1.45
16.20	68	83	10	100	1.44		2.12
16.40	68	84	10	100	1.54		2.26
16.60	76	87	10	100	1.06		1.39
16.80	69	85	10	100	1.54		2.23
17.00	72	88	10	100	1.54		2.13
17.20	75	84	10	100	0.86		1.15
17.40	78	90	10	100	1.15		1.48
17.60	76	91	10	100	1.44		1.89
17.80	82	95	10	100	1.25		1.52
18.00	87	98	10	100	1.06		1.21
18.20	87	97	10	100	0.96		1.10
18.40	93	100	10	100	0.67		0.72
18.60	96	102	10	100	0.58		0.60



Note:
 1. CPT data was recorded at 0.2 m depth intervals using a 2.5 tonne mechanical Dutch cone
 2. The data plots have been 'smoothed' using a Microsoft Excel Function

Northing: not available
 Easting: not available
 Elevation: @ + n.a


Tested by: Taufiq Date: 12/7/98 Plot by: Djuara F.S Checked by: P. Glover 14/7

Project:
**SITE OF HOLDING POND DAMS
 MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG**

Title:
**CONE PENETRATION TEST (CPT)
 RESULTS**

Client:
HOLLAND BALLAST THIESS J V

**PLOTS OF CONE RESISTANCE AND
 FRICTION RATIO VERSUS DEPTH**

Geotechnical Engineers:
 **PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO**

Job #: 98 - 0102 - 003

Ref No.: CPT-4

DUTCH CONE PENETRATION TEST

CPT - 4

Page 1 of 2

DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO ((B-A)/A)*Ac/As) %
0.00	0	0					
0.20	5	11	10	100	0.60		12.00
0.40	5	10	10	100	0.48		9.60
0.60	6	12	10	100	0.58		9.60
0.80	4	10	10	100	0.58		14.40
1.00	6	12	10	100	0.58		9.60
1.20	6	12	10	100	0.58		9.60
1.40	8	14	10	100	0.58		7.20
1.50	12	17	10	100	0.48		4.00
1.80	10	17	10	100	0.67		6.72
2.00	12	16	10	100	0.38		3.20
2.20	13	19	10	100	0.58		4.43
2.40	16	20	10	100	0.38		2.40
2.60	14	18	10	100	0.38		2.74
2.80	17	25	10	100	0.77		4.52
3.00	16	20	10	100	0.38		2.40
3.20	16	22	10	100	0.58		3.60
3.40	12	16	10	100	0.38		3.20
3.60	10	20	10	100	0.96		9.60
3.80	9	15	10	100	0.58		6.40
4.00	8	12	10	100	0.38		4.80
4.20	8	14	10	100	0.58		7.20
4.40	7	10	10	100	0.29		4.11
4.60	5	10	10	100	0.48		9.60
4.80	5	12	10	100	0.67		13.44
5.00	7	14	10	100	0.67		9.60
5.20	8	15	10	100	0.67		8.40
5.40	8	11	10	100	0.29		3.60
5.60	7	11	10	100	0.38		5.49
5.80	7	13	10	100	0.58		8.23
6.00	8	12	10	100	0.38		4.80
6.20	8	12	10	100	0.38		4.80
6.40	8	13	10	100	0.48		6.00
6.60	10	15	10	100	0.48		4.80
6.80	12	20	10	100	0.77		6.40
7.00	15	22	10	100	0.67		4.48
7.20	15	25	10	100	0.96		6.40
7.40	16	27	10	100	1.06		6.60
7.60	18	27	10	100	0.86		4.80
7.80	18	24	10	100	0.58		3.20
8.00	14	20	10	100	0.58		4.11
8.20	12	18	10	100	0.58		4.80
8.40	22	34	10	100	1.15		5.24
8.60	25	36	10	100	1.06		4.22
8.80	25	40	10	100	1.44		5.76
9.00	27	39	10	100	1.15		4.27
9.20	28	42	10	100	1.34		4.80
9.40	35	48	10	100	1.25		3.57
9.60	36	48	10	100	1.15		3.20
9.80	148	159	10	100	1.06		0.71

DUTCH CONE PENETRATION TEST

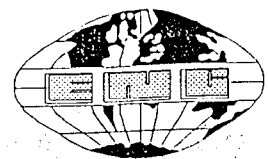
CPT - 4

Page 2 of 2

DEPTH (m)	CONE (A) Kg/Cm ²	TOTAL (B) Kg/Cm ²	CONE AREA (Ac) Cm ²	SLEEVE AREA (As) Cm ²	LOCAL SKIN FRICTION (B-A)*Ac/100 Kg/Cm ²	TOTAL SKIN FRICTION	FRICTION RATIO {(B-A)/A}*Ac/As) %
10.00	55	66	10	100	1.10		2.00
10.20	38	50	10	100	1.15		3.03
10.40	43	62	10	100	1.82		4.24
10.60	44	62	10	100	1.73		3.93
10.80	45	61	10	100	1.54		3.41
11.00	147	168	10	100	2.02		1.37
11.20	64	80	10	100	1.54		2.40
11.40	64	82	10	100	1.73		2.70
11.60	60	76	10	100	1.54		2.56
11.80	56	65	10	100	0.86		1.54
12.00	48	62	10	100	1.34		2.80
12.20	48	64	10	100	1.54		3.20
12.40	58	70	10	100	1.15		1.99
12.60	67	82	10	100	1.44		2.15
12.80	85	98	10	100	1.25		1.47
13.00	87	98	10	100	1.06		1.21
13.20	105	122	10	100	1.63		1.55
13.40	112	125	10	100	1.25		1.11
13.60	82	96	10	100	1.34		1.64
13.80	75	92	10	100	1.63		2.18
14.00	68	84	10	100	1.54		2.26
14.20	68	82	10	100	1.34		1.98
14.40	72	85	10	100	1.25		1.73
14.60	65	70	10	100	0.48		0.74
14.80	72	79	10	100	0.67		0.93
15.00	76	83	10	100	0.67		0.88
15.20	72	81	10	100	0.86		1.20
15.40	75	86	10	100	1.06		1.41
15.60	75	86	10	100	1.06		1.41
15.80	76	87	10	100	1.06		1.39
16.00	82	95	10	100	1.25		1.52
16.20	81	93	10	100	1.15		1.42
16.40	89	98	10	100	0.86		0.97
16.60	85	98	10	100	1.25		1.47

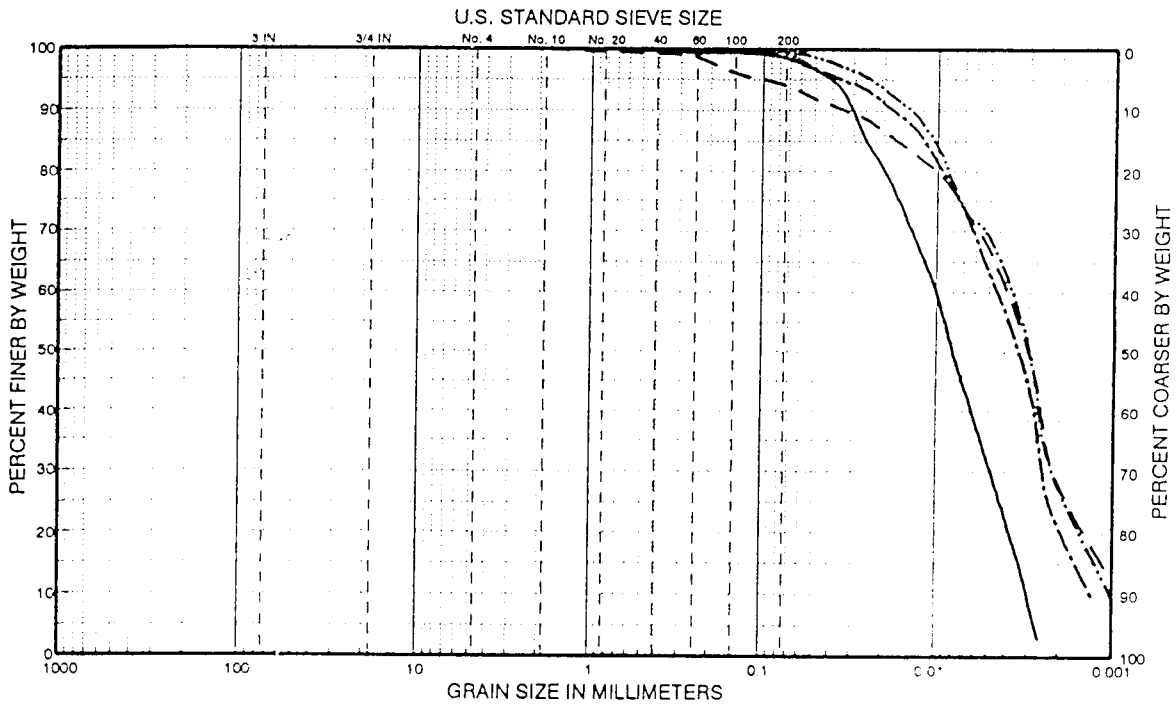
11

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS



GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
 ASTM C136-95a
 (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 1	2	2.00	67	36	31	MH	Clayey SILT, medium stiff to stiff, light grey mottled yellow-brown, trace of sand	—
	3	4.00	66	31	35	CH	Silty CLAY, medium stiff, light grey mottled red-brown, trace of fine sand	— —
	4	6.00	69	33	36	CH	Silty CLAY, medium stiff, light grey mottled red-brown, trace of fine sand	— — —
	5	8.00	107	34	73	CH	Silty CLAY, stiff, light grey mottled reddish brown, trace of fine sand	— — — —



COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/14 - 07/15, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :	Project :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.	SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA

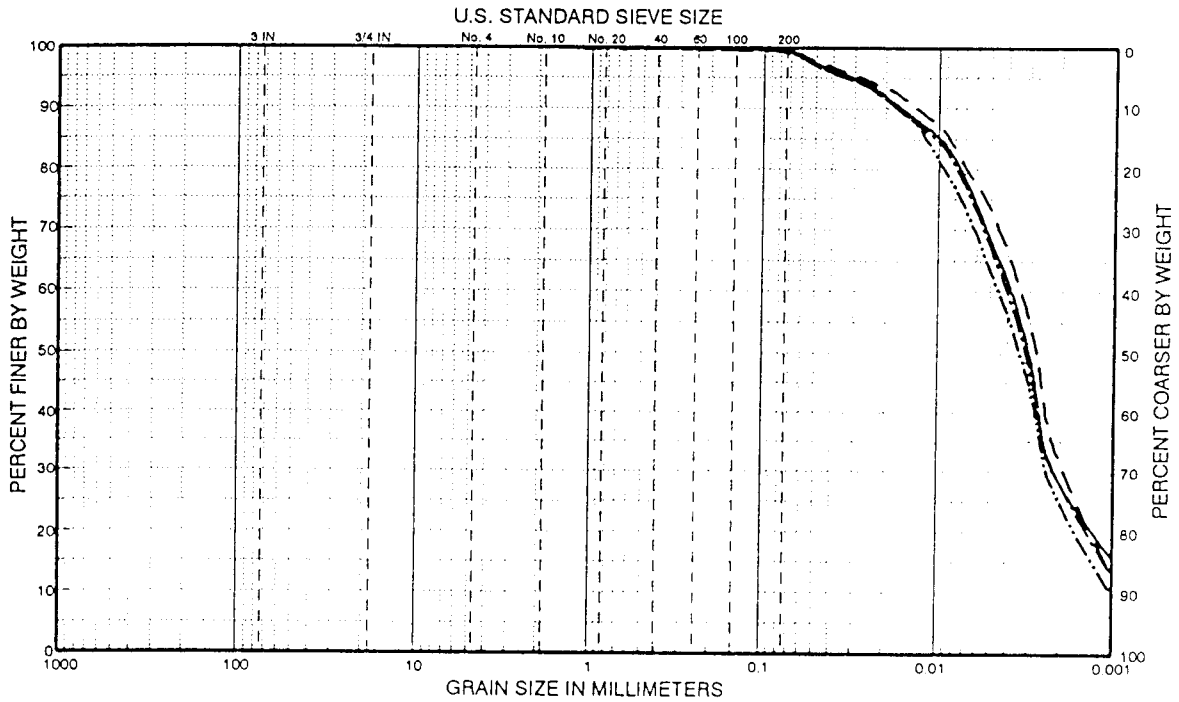


PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
 Exhibit : E - 2 (1 of 6)

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
 ASTM C136-95a
 (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 1	6	10.00	96	33	63	CH	Silty CLAY, stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	—
	7	12.00	94	32	62	CH	Silty CLAY, stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	— —
	8	14.00	96	33	63	CH	Silty CLAY, stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	— — —
	9	16.00	90	32	58	CH	Silty CLAY, stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	— — — —

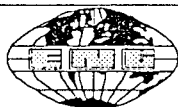


COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/16 - 07/17, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :
 HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
 SITE OF HOLDING POND DAMS
 MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
 PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



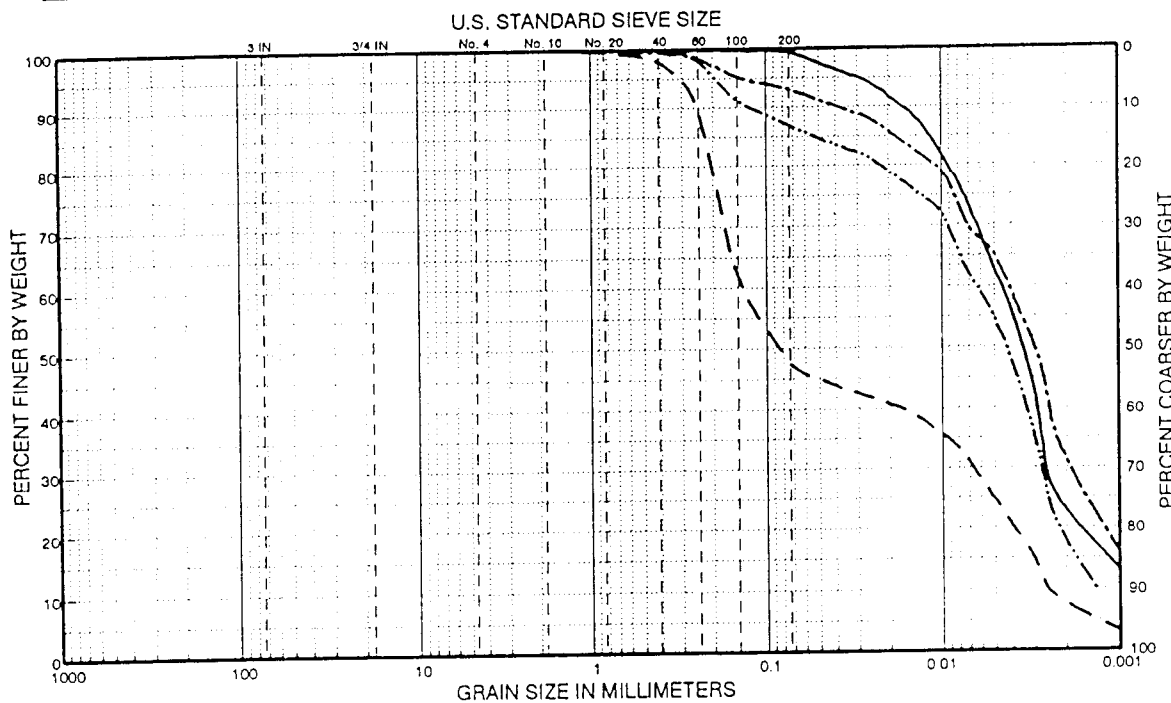
PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : E - 2 (2 of 6)

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
 ASTM C136-95a
 (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

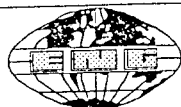
BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 2	2	2.00	85	33	52	CH	Silty CLAY, medium stiff, light brown mottled yellow-brown to brown	— — — —
	3	4.00	24	24	10	CL	Sandy CLAY, very soft, light brown, some silt	— —
	4	6.00	52	27	25	CH	Silty CLAY, stiff, light grey mottled red-brown, some sand, occasional cemented silt	— — — —
	5	8.00	54	25	29	CH	Silty CLAY, stiff, dark brown, trace of fine sand	— — — —



COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/17 - 07/18, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :	Project :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.	SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



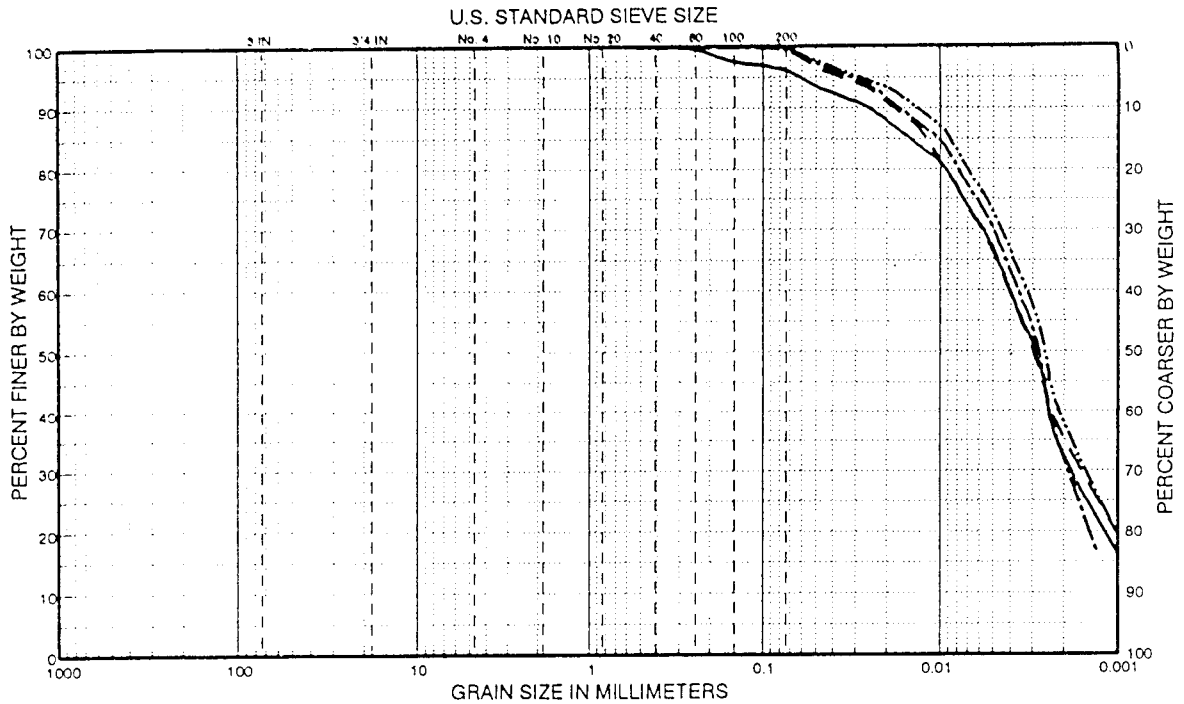
PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : E - 2 (3 of 6)

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
 ASTM C136-95a
 (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 2	6	10.00	57	26	31	CH	Silty CLAY, medium stiff, dark grey, trace of fine sand	—
	7	12.00	104	30	74	CH	Silty CLAY, stiff, grey, trace of fine sand, friable	— —
	8	14.00	109	33	76	CH	Silty CLAY, stiff, grey, trace of fine sand, friable	— — —
	9	16.00	105	31	74	CH	Silty CLAY, very stiff, grey, trace of fine sand	— — —



COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/20 - 07/21, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :
 HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
 SITE OF HOLDING POND DAMS
 MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
 PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA

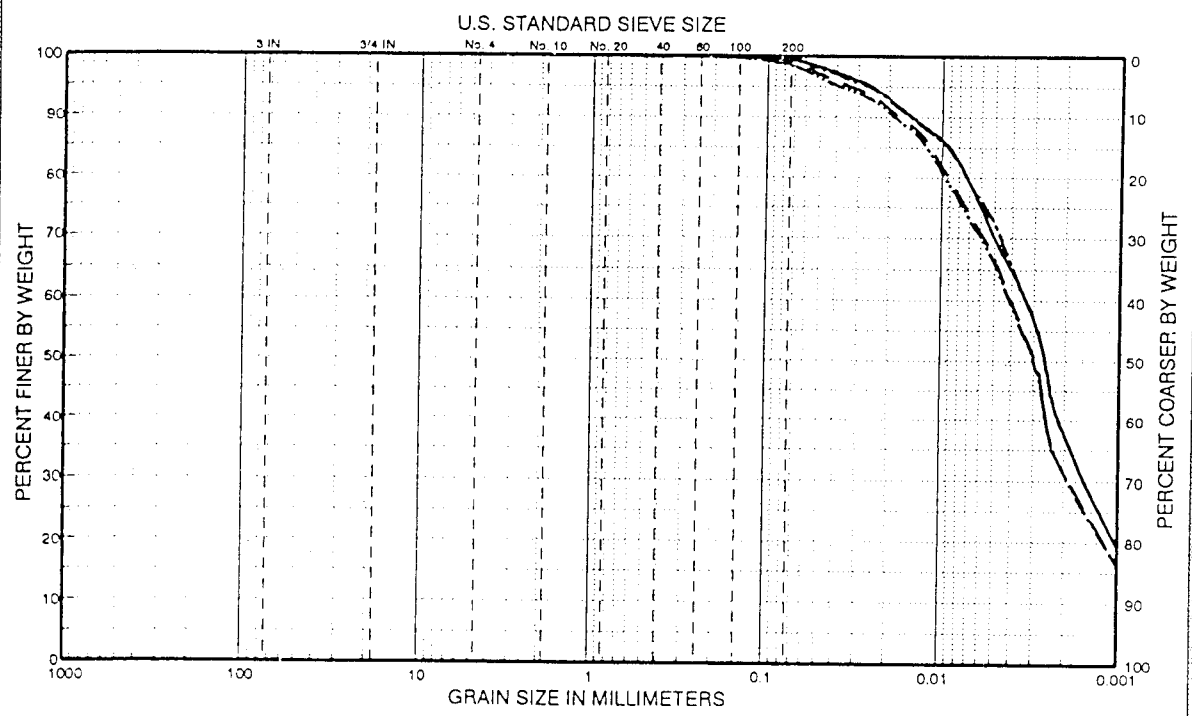


PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
 Exhlblt : E - 2 (4 of 6)

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
 ASTM C136-95a
 (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

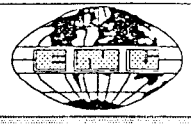
BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 3	2	2.00	57	26	31	CH	Silty CLAY, soft, light brown mottled yellow-brown, trace of fine sand	_____
	3	4.00	54	26	28	CH	Silty CLAY, soft, light grey, trace of fine sand	--- --
	4	6.00	99	32	67	CH	Silty CLAY, stiff, light grey, mottled light brown, trace of fine sand	-----
	5	8.00	92	31	61	CH	Silty CLAY, stiff, dark grey, trace of fine sand	-----



COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/22 - 07/23, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :	Project :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.	SITE OF HOLDING POND DAMS MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA

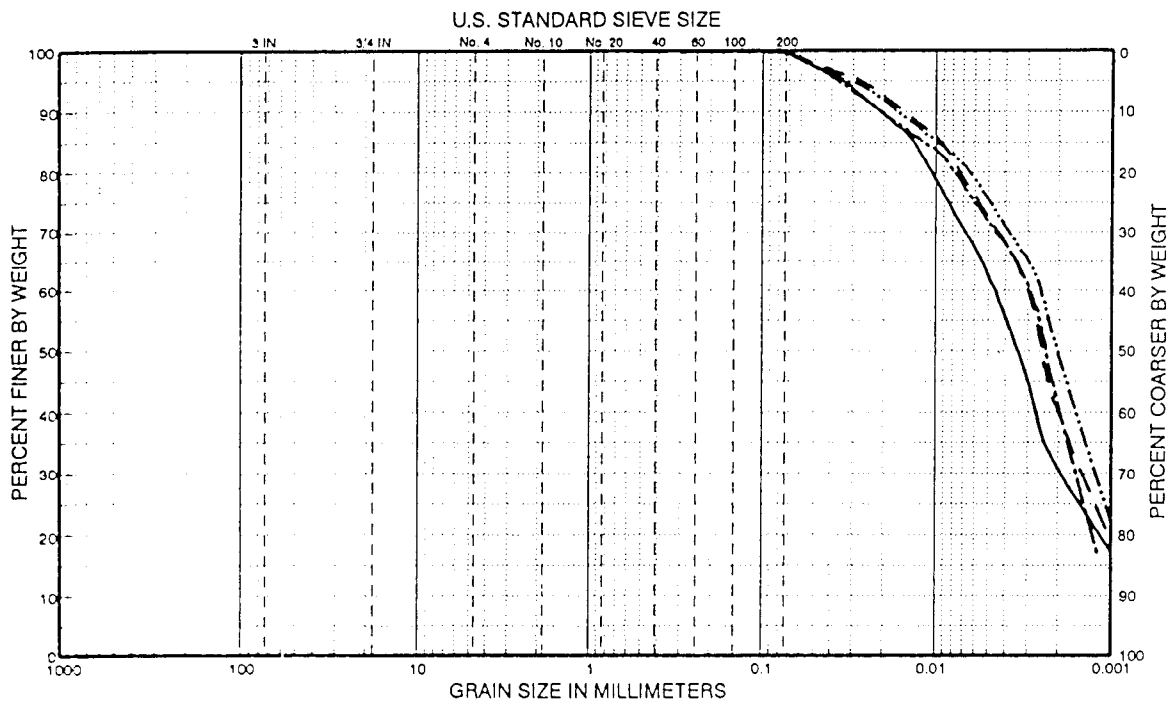


PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
 Exhibit : E - 2 (5 of 6)

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST RESULTS
ASTM C136-95a
(UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

BORING No.	SAMPLE No.	DEPTH (m)	LIQUID LIMIT	PLASTIC LIMIT	PLASTICITY INDEX	CLASS & SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	KEY
BH - 3	6	10.00	128	34	94	CH	Silty CLAY, very stiff, dark grey	————
	7	12.00	92	31	61	CH	Silty CLAY, stiff, light grey	- - - -
	8	14.00	86	29	57	CH	Silty CLAY, stiff, dark grey	- · - · - ·
	9	16.00	108	33	75	CH	Silty CLAY, stiff, dark grey	- - - -



COBBLES	GRAVEL		SAND			SILT	CLAY
	COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE		

Date of Test	07/23 - 07/24, 1998
Checked by	Djuara Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
 MUSI PULP MILL PROJECT, Nr. PALEMBANG
 PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**



PT. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
 JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
 Phone : 62 - 21 - 8301646
 Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : E - 2 (6 of 6)



Geotechnical Soil Investigation Report
Holding Pond Dams & Administration Building, Musi Pulp Mill Project, Nr. Palembang
for Holland-Ballast-Thiess JO

August 07, 1998

APPENDIX E

Laboratory Test Results



APPENDIX E
Laboratory Test Results

TABLE OF CONTENTS

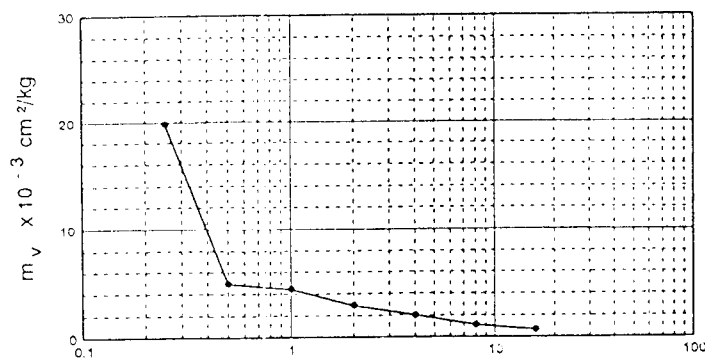
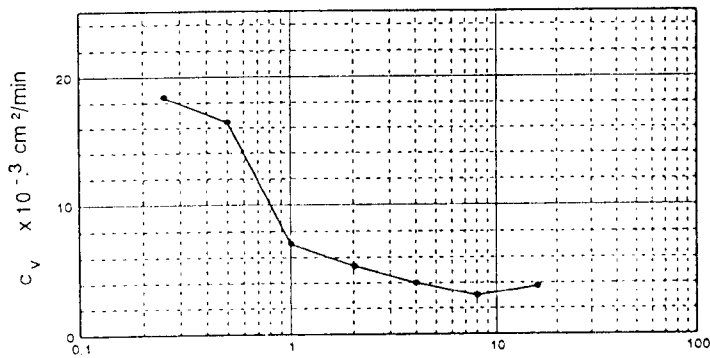
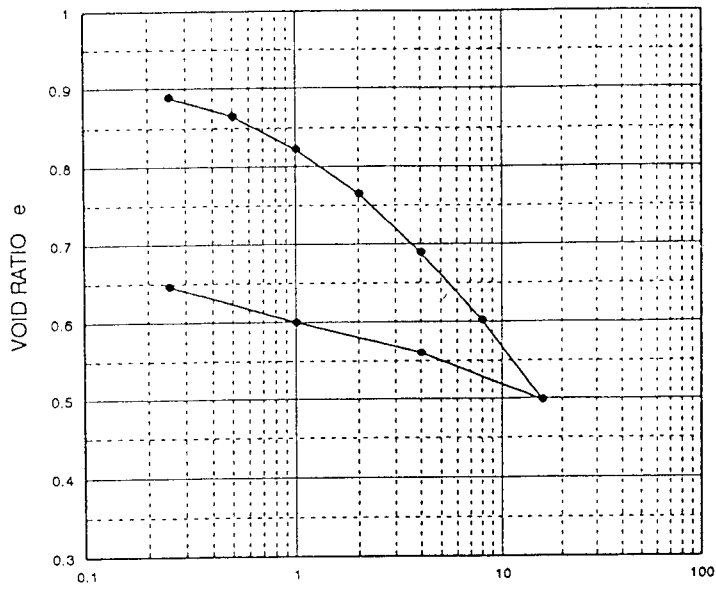
<u>Exhibit No.</u>	<u>Title/Test Description</u>
E-(i)	Key to Summary of Laboratory Test Results
E-1 (1 of 4)	Summary of Laboratory Test Results - Borehole BH-1
E-1 (2 of 4)	- ditto - - Borehole BH-2
E-1 (3 of 4)	- ditto - - Borehole BH-3
E-1 (4 of 4)	- ditto - - Number of Tests per Borehole
E-2 (6 sheets)	Grain Size Distribution Test Results
E-(ii)	Method of Performing Triaxial Compression Tests
E-3 (9 sheets)	Triaxial Compression Test Results, Unconsolidated Undrained (TXUU)
E-4 (6 sheets)	Triaxial Compression Test Results, Consolidated Undrained with Pore Pressure Measurement (TXCU + PPM)
E-(iii)	Method of Performing Consolidation Tests
E-5 (12 sheets)	Laboratory Consolidation Test Results

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS



LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS (ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 1
SAMPLE NO.	3
DEPTH (m)	4.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), medium stiff, light grey mottled red-brown, trace of fine sand	
LL : 66	PL : 31 PI : 35

INITIAL	Water Content (%)	40
	Dry Density (g/cm ³)	1.31
	Void Ratio	0.94
	Saturation (%)	98.6
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	24
	Dry Density (g/cm ³)	1.60
	Void Ratio	0.65
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.7
Specific Gravity G _s		2.64
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.36
Recompression Index C _r		0.08
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.70

Date of Test	18/07 - 25/07, 1998
Checked by	Djuera F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

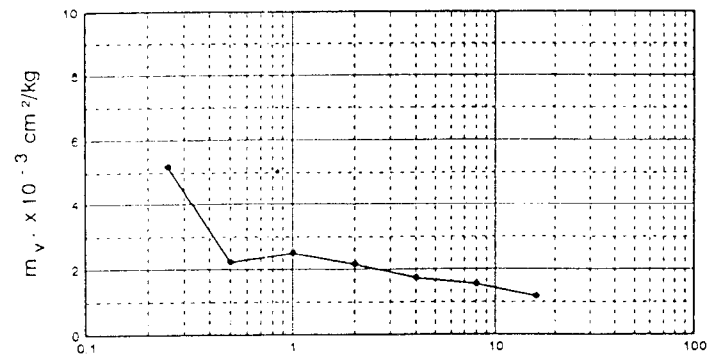
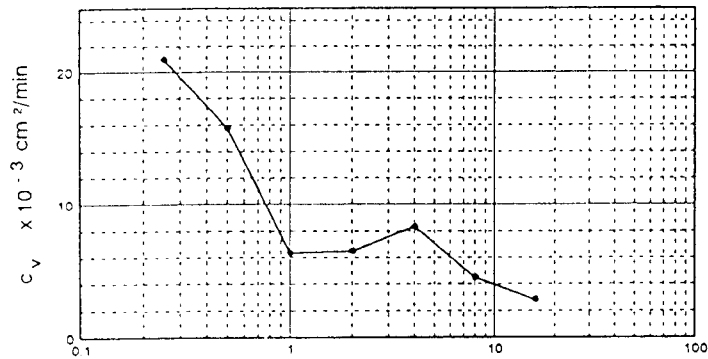
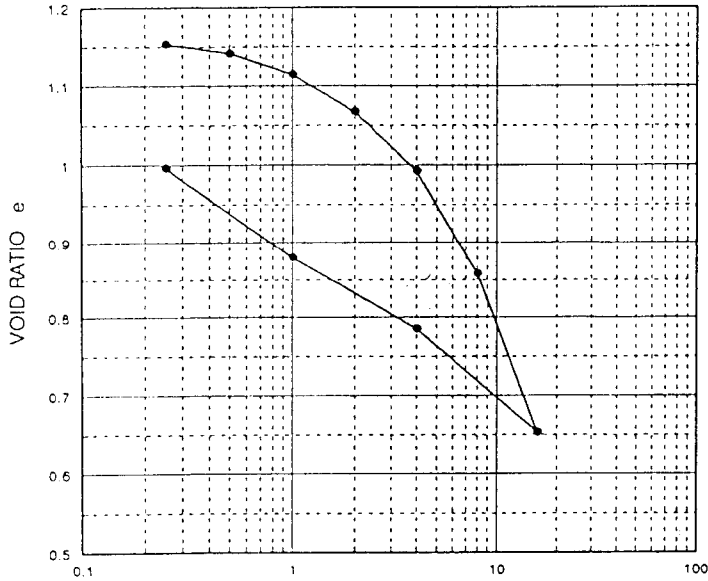


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301648
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhlblt : E - 5 (1 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 1
SAMPLE NO.	5
DEPTH (m)	8.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	
LL : 107	PL : 34 PI : 73

INITIAL	Water Content (%)	45
	Dry Density (g/cm ³)	1.20
	Void Ratio	1.17
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	38
	Dry Density (g/cm ³)	1.30
	Void Ratio	1.00
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.8
	Specific Gravity G _s	2.60
	Compression Index C _c (Corrected for field condition)	0.60
	Recompression Index C _r	0.19
	Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)	3.50

Date of Test	18/07 - 25/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

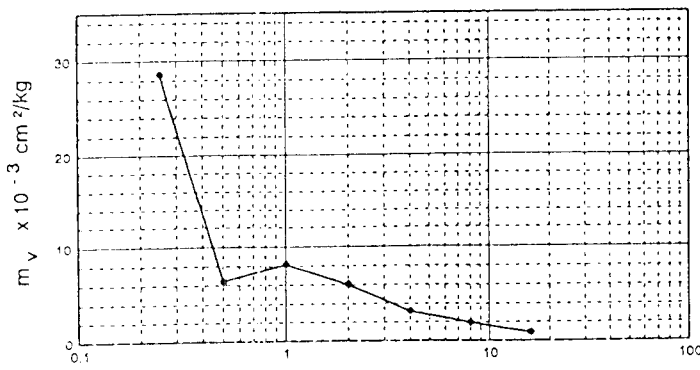
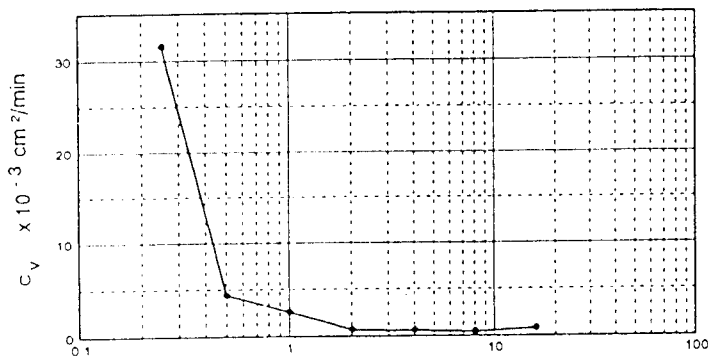
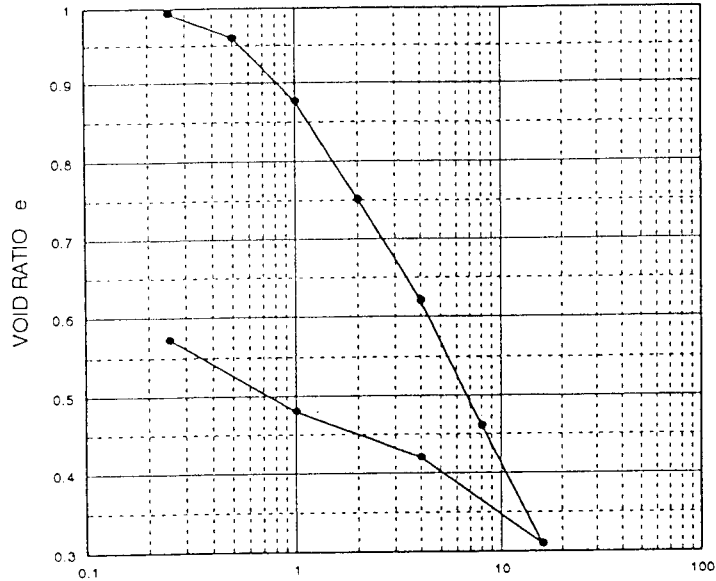


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (2 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 1
SAMPLE NO.	7
DEPTH (m)	12.00
DESCRIPTION OF SOIL : Silty CLAY (CH), stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	
LL : 94	PL : 32 PI : 62

INITIAL	Water Content (%)	41
	Dry Density (g/cm ³)	1.26
	Void Ratio	1.07
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	2.0
FINAL	Water Content (%)	22
	Dry Density (g/cm ³)	1.66
	Void Ratio	0.57
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.5
Specific Gravity G _s		2.61
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.74
Recompression Index C _r		0.14
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.25

Date of Test	16/07 - 25/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, N^r PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

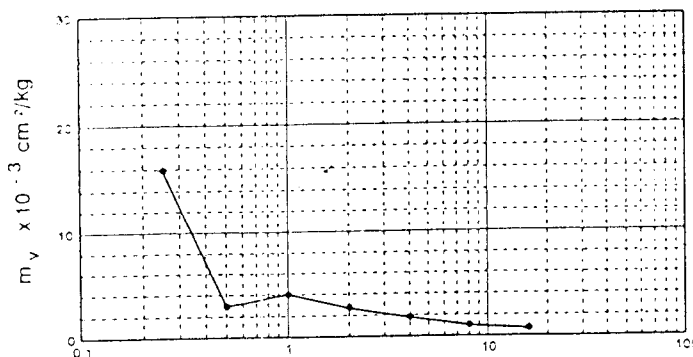
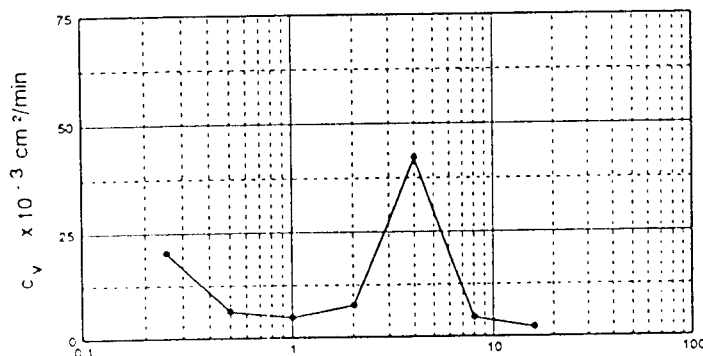
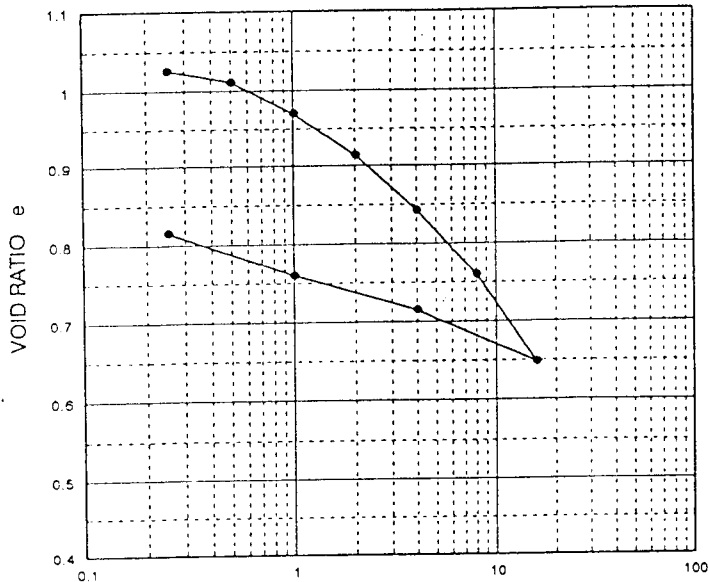


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (3 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS (ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 1
SAMPLE NO.	9
DEPTH (m)	16.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), stiff, light grey, trace of fine sand and cemented silt	
LL : 90	PL : 32 PI : 58

INITIAL	Water Content (%)	41
	Dry Density (g/cm ³)	1.26
	Void Ratio	1.07
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	2.0
FINAL	Water Content (%)	31
	Dry Density (g/cm ³)	1.44
	Void Ratio	0.81
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.8
Specific Gravity G _s		2.61
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.36
Recompression Index C _r		0.09
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.70

Date of Test	16/07 - 25/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

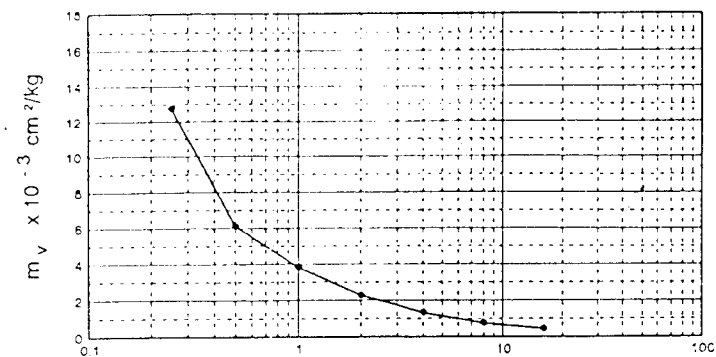
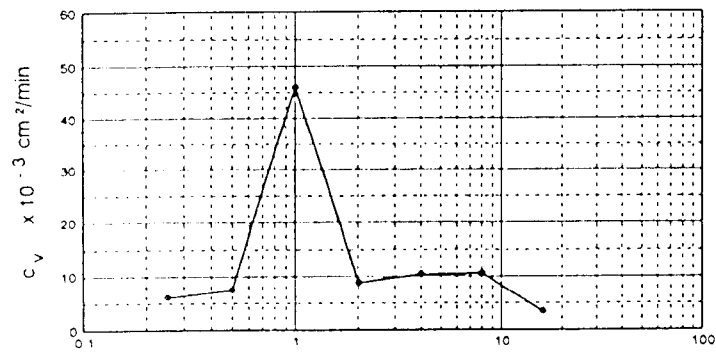
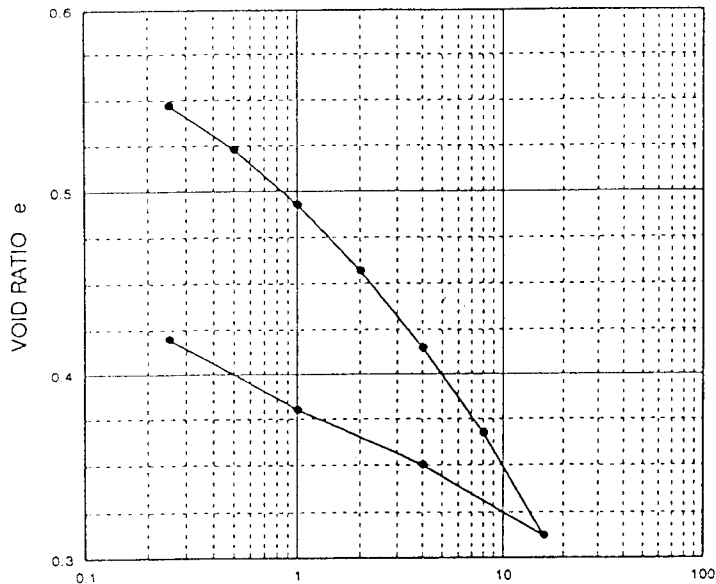


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 6301646
Fax : 62 - 21 - 8290183

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (4 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS (ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 2
SAMPLE NO.	3
DEPTH (m)	4.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Sandy CLAY (CL), very soft, light brown, some silt	
LL : 24	PL : 14 PI : 10

INITIAL	Water Content (%)	21
	Dry Density (g/cm ³)	1.68
	Void Ratio	0.57
	Saturation (%)	97.3
	Height (cm)	2.0
FINAL	Water Content (%)	16
	Dry Density (g/cm ³)	1.87
	Void Ratio	0.42
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.8
Specific Gravity G _s		2.65
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.20
Recompression Index C _r		0.06
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.25

Date of Test	23/07 - 30/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :

HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :

**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**



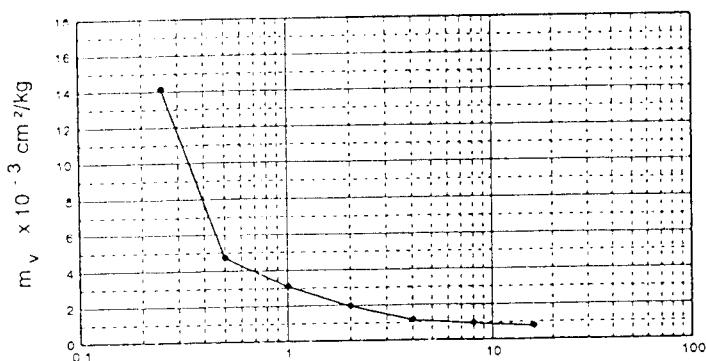
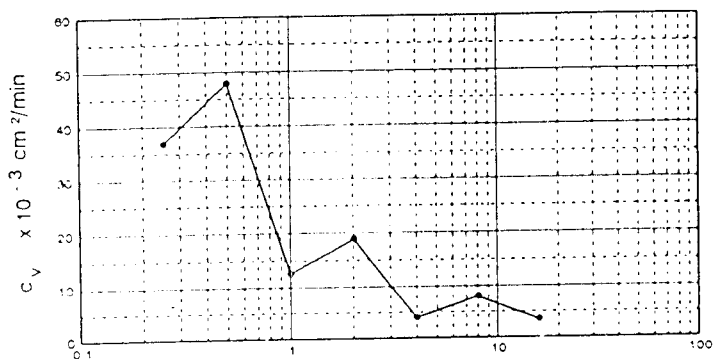
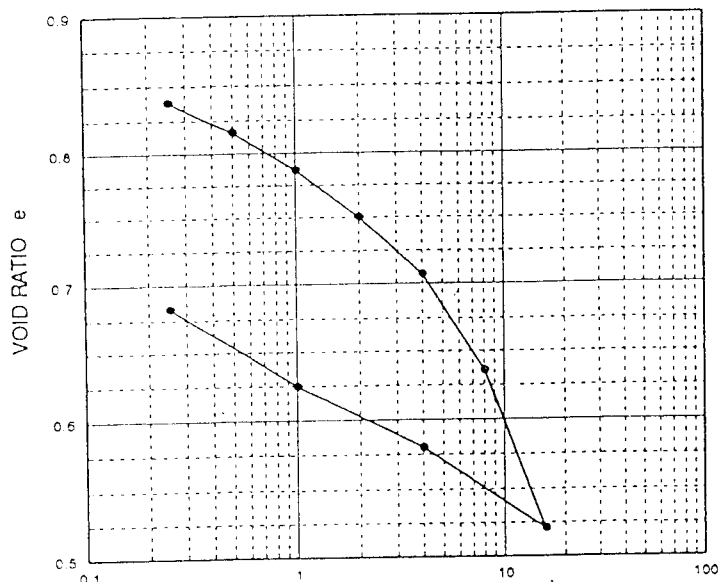
P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301848
Fax : 62 - 21 - 8290183

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhibit : E - 5 (5 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS (ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 2
SAMPLE NO.	5
DEPTH (m)	8.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), stiff, dark brown, trace of fine sand	
LL : 54	PL : 25 PI : 29

INITIAL	Water Content (%)	33
	Dry Density (g/cm ³)	1.41
	Void Ratio	0.87
	Saturation (%)	99.7
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	26
	Dry Density (g/cm ³)	1.56
	Void Ratio	0.68
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.8
Specific Gravity G _s		2.63
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.46
Recompression Index C _r		0.09
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		5.50

Date of Test	23/07 - 30/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

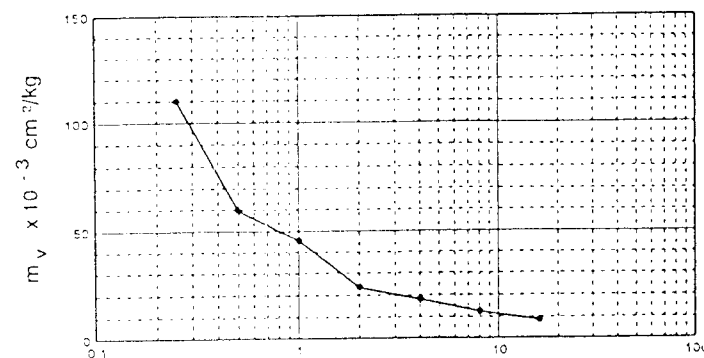
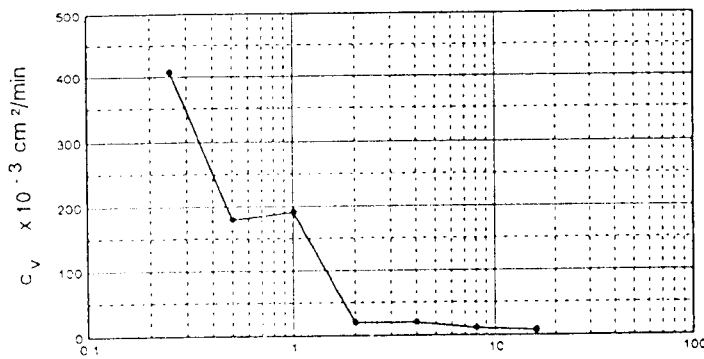
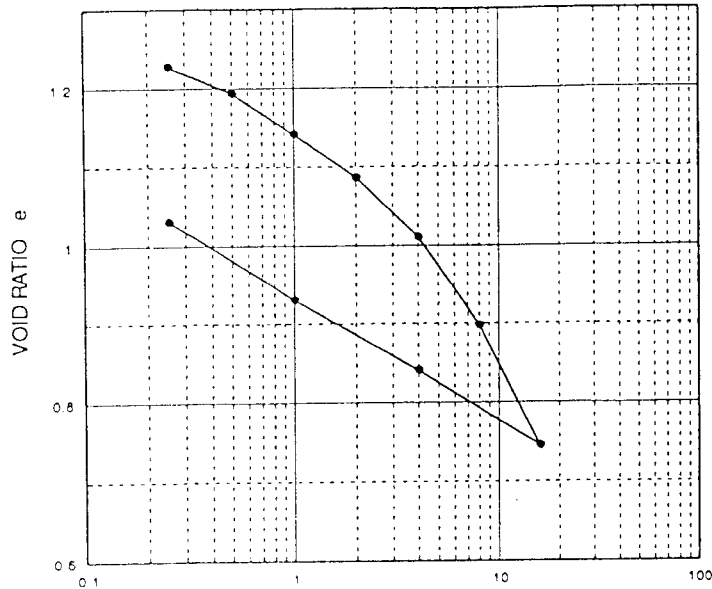


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (6 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 2
SAMPLE NO.	7
DEPTH (m)	12.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), stiff, grey, trace of fine sand, friable	
LL : 104	PL : 30 PI : 74

INITIAL	Water Content (%)	48
	Dry Density (g/cm ³)	1.15
	Void Ratio	1.29
	Saturation (%)	97.9
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	39
	Dry Density (g/cm ³)	1.29
	Void Ratio	1.03
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.8
	Specific Gravity G _s	2.63
	Compression Index C _c (Corrected for field condition)	0.66
	Recompression Index C _r	0.16
	Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)	4.00

Date of Test	26/07 - 04/08, 1998
Checked by	Djuera F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, N^o PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

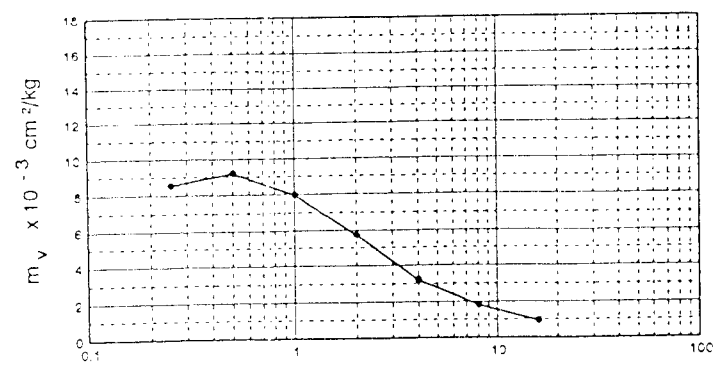
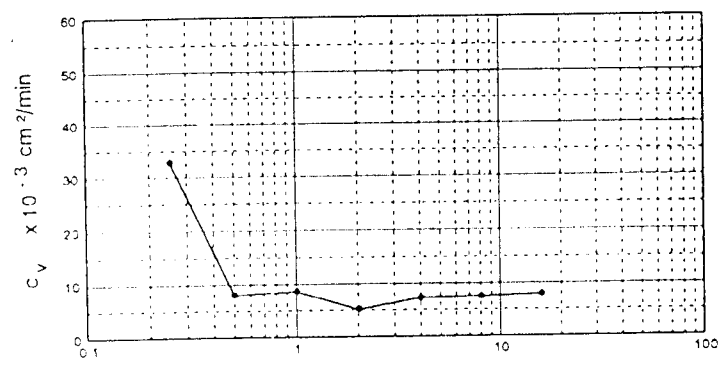
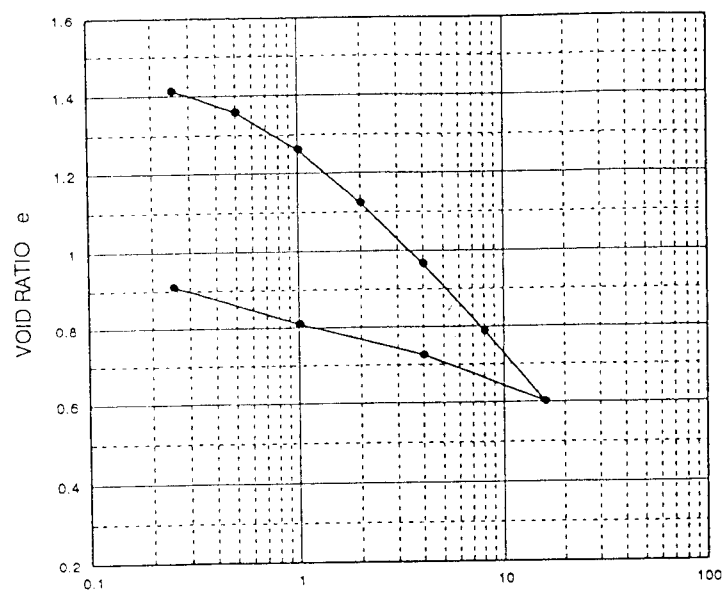


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibt : E - 5 (7 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS (ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 2
SAMPLE NO.	9
DEPTH (m)	16.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), very stiff, grey, trace fine sand	
LL : 105	PL : 31 PI : 74

	INITIAL	
	Water Content (%)	56
Dry Density (g/cm ³)	1.05	
Void Ratio	1.44	
Saturation (%)	99.1	
Height (cm)	2.0	
Diameter (cm)	5.0	
FINAL	Water Content (%)	36
	Dry Density (g/cm ³)	1.33
	Void Ratio	0.91
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.6
Specific Gravity G _s	2.55	
Compression Index C _c (Corrected for field condition)	0.79	
Recompression Index C _r	0.18	
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)	1.40	

Date of Test	23/07 - 30/07, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nf PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

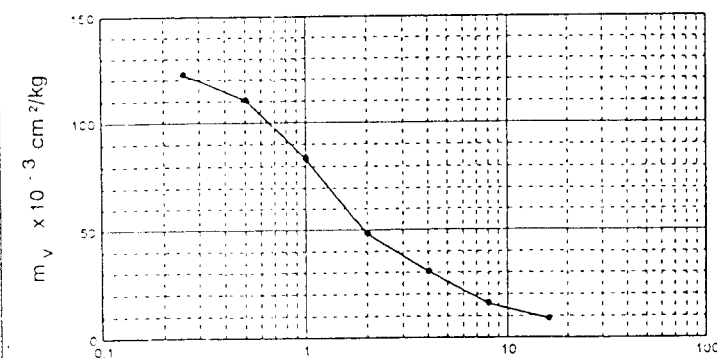
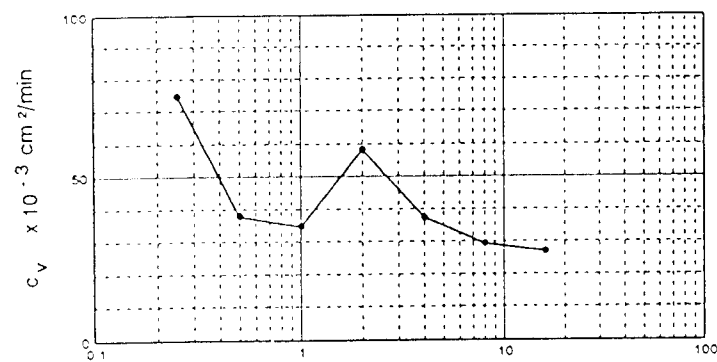
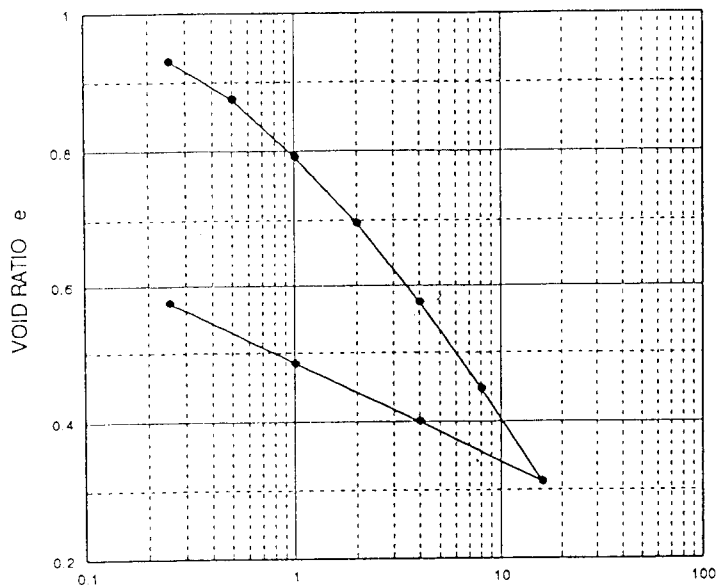


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301648
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibt : E - 5 (8 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)




BORING NO.	BH - 3
SAMPLE NO.	2
DEPTH (m)	2.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), soft, light brown mottled yellow-brown to brown, trace of fine sand	
LL : 57	PL : 26 PI : 31

INITIAL	Water Content (%)	37
	Dry Density (g/cm ³)	1.32
	Void Ratio	0.99
	Saturation (%)	98.2
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	22
	Dry Density (g/cm ³)	1.67
	Void Ratio	0.57
	Saturation (%)	100
Height (cm)	1.6	
Specific Gravity G _s		2.63
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.54
Recompression Index C _r		0.15
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.40

Date of Test	25/07 - 04/08, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

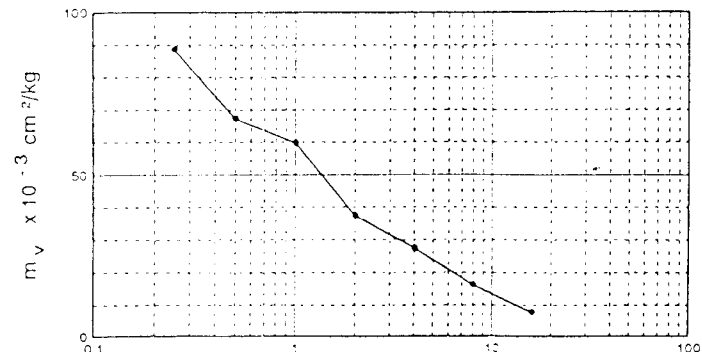
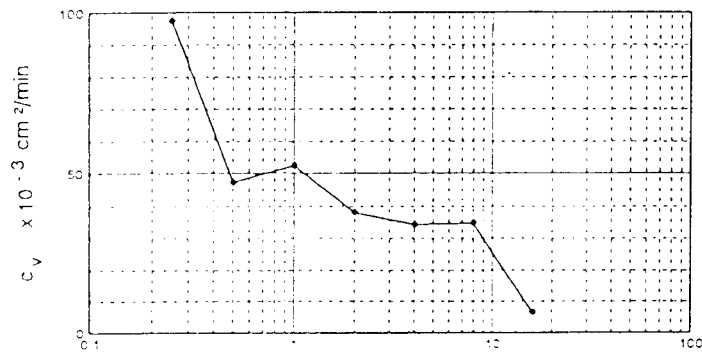
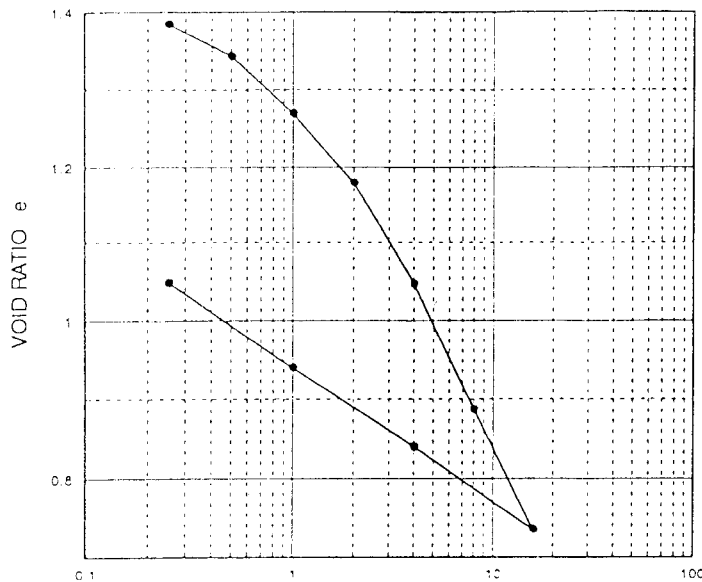
Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, N^o PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

 **P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO**
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibt : E - 5 (9 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)




BORING NO.	BH - 3
SAMPLE NO.	4
DEPTH (m)	6.00
DESCRIPTION OF SOIL :	
Silty CLAY (CH), stiff, light grey mottled light brown, trace of fine sand	
LL : 99	PL : 32 PI : 67

INITIAL		
Water Content (%)		55
Dry Density (g/cm ³)		1.06
Void Ratio		1.44
Saturation (%)		98.6
Height (cm)		2.0
Diameter (cm)		5.0
FINAL		
Water Content (%)		41
Dry Density (g/cm ³)		1.26
Void Ratio		1.05
Saturation (%)		100
Height (cm)		1.7
Specific Gravity G _s		2.58
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.66
Recompression Index C _r		0.17
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		1.60

Date of Test	26/07 - 04/08. 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

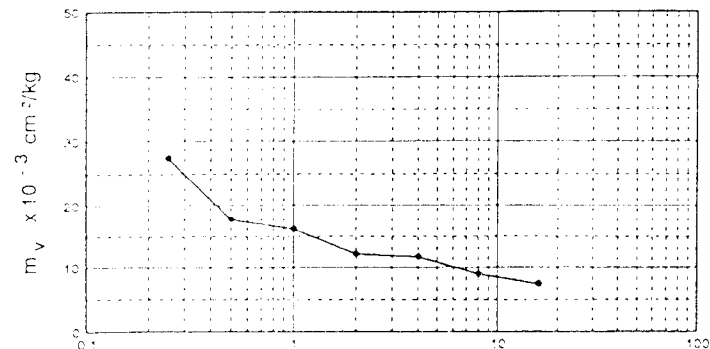
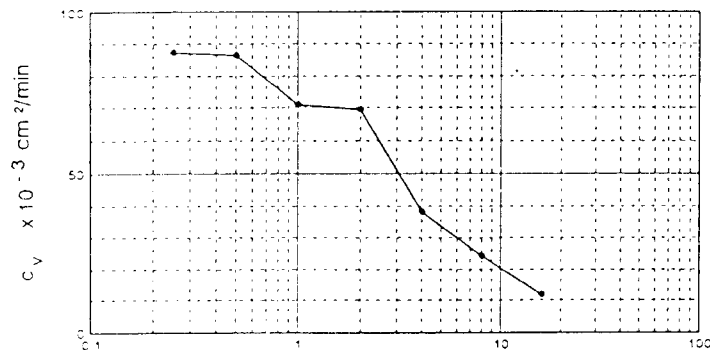
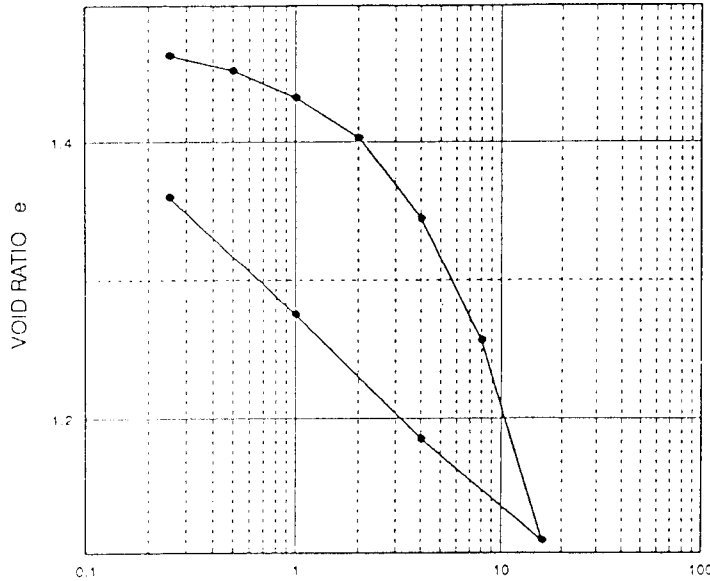
Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

 **P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO**
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290183

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (10 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 3
SAMPLE NO.	6
DEPTH (m)	10.00
DESCRIPTION OF SOIL : Silty CLAY (CH), very stiff, dark grey	
LL : 128	PL : 34 PI : 94

INITIAL	Water Content (%)	58
	Dry Density (g/cm ³)	1.03
	Void Ratio	1.48
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	2.0
FINAL	Diameter (cm)	5.0
	Water Content (%)	53
	Dry Density (g/cm ³)	1.08
	Void Ratio	1.36
	Saturation (%)	100
Height (cm)		1.9
Specific Gravity G _s		2.56
Compression Index C _c (Corrected for field condition)		0.47
Recompression Index C _r		0.13
Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)		4.50

Date of Test:	26/07 - 04/08, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :
HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :
**SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA**

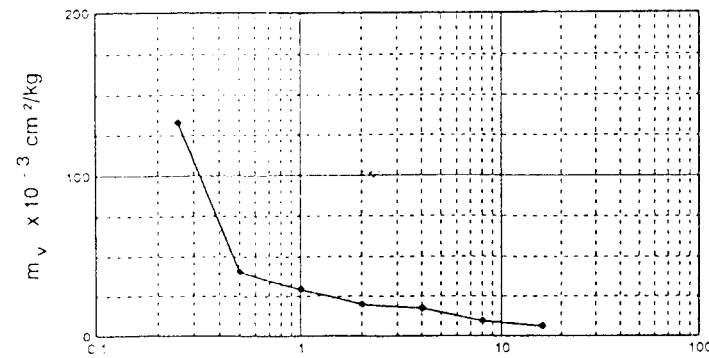
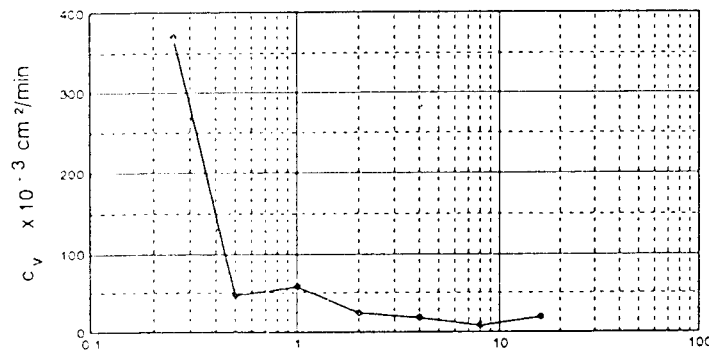
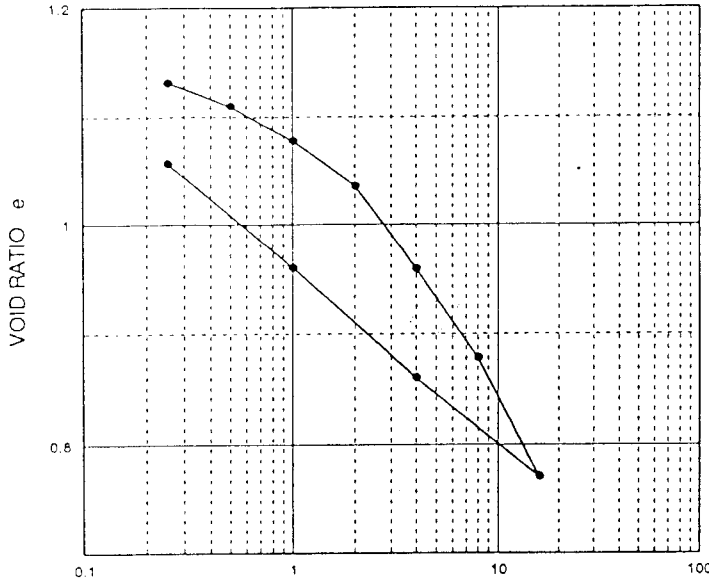


P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003
Exhibit : E - 5 (11 of 12)

LABORATORY CONSOLIDATION TEST RESULTS
(ASTM D 2435 - 90)

PRESSURE (kg/cm²)



BORING NO.	BH - 3
SAMPLE NO.	8
DEPTH (m)	14.00
DESCRIPTION OF SOIL : Silty CLAY (CH), stiff, dark grey	
LL : 86	PL : 29 PI : 57

INITIAL	Water Content (%)	44
	Dry Density (g/cm ³)	1.21
	Void Ratio	1.17
	Saturation (%)	98.7
	Height (cm)	2.0
FINAL	Water Content (%)	40
	Dry Density (g/cm ³)	1.27
	Void Ratio	1.06
	Saturation (%)	100
	Height (cm)	1.9
	Specific Gravity G _s	2.62
	Compression Index C _c (Corrected for field condition)	0.38
	Recompression Index C _r	0.16
	Effective Preconsolidation Pressure P' _c (kg/cm ²)	2.50

Date of Test	26/07 - 04/08, 1998
Checked by	Djuara F. Situmeang

Client :

HOLLAND BALLAST THIESS J.V.

Project :

SITE OF HOLDING POND DAMS
MUSI PULP MILL PROJECT, Nr PALEMBANG
PRABUMULIH, PALEMBANG, SOUTH SUMATRA



P.T. ENGITAMA NUSA GEOTESTINDO
JALAN TEBET BARAT IV NO. 33, JAKARTA, INDONESIA
Phone : 62 - 21 - 8301646
Fax : 62 - 21 - 8290163

JOB No. : 98 - 0102 - 003

Exhiblt : E - 5 (12 of 12)