

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
TIANG TERHADAP VARIASI METODE
KONFIGURASI TIANG KELOMPOK
BERDASARKAN DATA SPT DAN PENGUJIAN
LABORATORIUM MELALUI PERBANDINGAN
METODE ANALITIS DAN PEMODELAN NUMERIK
*(ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND
SETTLEMENT OF PILE FOUNDATIONS UNDER
VARIATIONS IN PILE GROUP CONFIGURATION
METHODS BASED ON SPT AND LABORATORY
TESTING THROUGH A COMPARISON OF
ANALYTICAL METHODS AND NUMERICAL
MODELING)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memeroleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Muhammad Alif Kurniawan
21511226**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG TERHADAP VARIASI METODE KONFIGURASI TIANG KELOMPOK BERDASARKAN DATA SPT DAN PENGUJIAN LABORATORIUM MELALUI PERBANDINGAN METODE ANALITIS DAN PEMODELAN NUMERIK (*ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF PILE FOUNDATIONS UNDER VARIATIONS IN PILE GROUP CONFIGURATION METHODS BASED ON SPT AND LABORATORY TESTING THROUGH A COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS AND NUMERICAL MODELING*)

Disusun Oleh

Muhammad Alif Kurniawan
21511226

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat sarjana teknik sipil

Diuji pada tanggal 12 Maret 2026

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIK : 045110407

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng
NIK : 215111305

Muhammad Irfan Marisabessy, S.T., M.T.
NIK : 245110502

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalis Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng.), IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Lembaran pernyataan bebas plagiasi ini menyatakan sesungguhnya bahwa saya yang bertanda tangan menyatakan dengan sebenarnya bahwa laporan tugas akhir yang saya susun merupakan bukti penyelesaian atau hasil karya tangan sendiri dalam pemenuhan syarat program sarjana di program studi teknik sipil fakultas teknik sipil dan perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah tercantum pada laporan sesuai dengan kaidah atau norma akademis. Oleh karena itu, jikalau terdapat di temukannya seluruh atau sebagian pada laporan akhir tugas akhir ini bukan hasil karya sendiri atau terdapat plagiasi, maka dari hal tersebut saya sebagai penulis bersedia dan siap menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Yogyakarta, 30 Maret 2026



Muhammad Alif Kurniawan
(21511226)

KATA PENGANTAR

Dalam lembaran ini penulis tidak lupa memanjatkan puja dan puji syukur ke hadirat Allah Yang Maha Esa atas terselesainya tugas akhir yang berjudul *Analisis Daya Dukung dan Pemunaran Tiang Terhadap Variasi Metode Konfigurasi Tiang Kelompok Berdasarkan Data NPT dan Pengujian Laboratorium Melalui Perbandingan Metode Analitis dan Pemodelan Numerik*. Tugas akhir ini merupakan persyaratan akademik sebagai bukti syarat memperoleh Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Penyusunan tugas akhir ini tak lupa dalam prosesnya tentunya peneliti tidak sendiri dalam menghadapi hambatan saat penyelesaian tugas akhir ini, terdapat banyak pihak yang membantu peneliti dalam tercapainya penyelesaian tugas akhir ini, untuk itu peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang disebutkan di bawah ini.

1. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing
 2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku dosen penguji I
 3. Bapak Muhammad Irfan Marsabesoy, S.T., M.T selaku dosen penguji II
 4. Orang tua penulis, yakni Bapak Agus Setyawan, S.T. dan Ibu Tutik Setyowati, S.E. yang selalu memberi dorongan material dan doa kepada peneliti agar selalu mendapatkan yang terbaik,
 5. Ahmad Ahyan Zaki dan Rasyadah Almas Zahirah selaku adik-adik peneliti yang selalu memberikan dorongan moral semangat kehidupan,
 6. Teman-teman dekat yang selalu menghibur dalam kehidupan
- Peneliti akhirnya hanya berharap semoga dengan terselesainya tugas akhir ini dapat menjadikan sesuatu hal yang bermanfaat bagi khalayak umum.

Yogyakarta, 30 Maret 2026


Muhammad Arief Kurniawan
(21511226)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Analisis Daya Dukung Fondasi	6
2.2 Analisis Kinerja Fondasi Tiang Pancang	7
2.3 Analisis Kinerja Tiang Bor	9
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	10
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Karakteristik Tanah	15
3.2 Variabel-variabel Tanah	16
3.2.1 Angka Pori	17
3.2.2 Porositas	17

3.2.3	Kadar Air	17
3.2.4	Derajat Kejenuhan	17
3.2.5	Berat Jenis Tanah Basah	18
3.2.6	Berat Jenis Tanah Kering	18
3.2.7	Berat Volume Tanah Jenuh	18
3.2.8	Kohesi	18
3.2.9	Sudut Geser Dalam	20
3.2.10	Modulus Elastisitas Tanah	21
3.2.11	Angka Poisson Tanah (Poisson's Ratio)	22
3.2.12	<i>Overconsolidation Ratio</i> (OCR)	24
3.2.13	Parameter Kuat Geser Tanah	25
3.2.14	Koefisien Permeabilitas	26
3.3	Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	27
3.3.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>Unified Soil Classification System</i> (USCS)	27
3.4	Klasifikasi Kekerasan Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT	30
3.4.1	Klasifikasi Tanah Pasir Berdasarkan Nilai N-SPT	30
3.4.2	Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Nilai N-SPT	30
3.4.3	Peranan Nilai N-SPT Dalam Analisis Geoteknik	31
3.5	Fondasi Dalam	31
3.6	Daya Dukung Fondasi Dalam	34
3.6.1	Kapasitas Daya Ujung Tiang Tunggal Pancang Berdasarkan Nilai N-SPT	34
3.6.2	Kapasitas Daya Selimut Tiang Tunggal Pancang Berdasarkan Nilai N-SPT	37
3.6.3	Kapasitas Daya Ujung Tiang Tunggal Bor Berdasarkan Nilai N-SPT	41
3.6.4	Kapasitas Daya Selimut Tiang Tunggal Bor Berdasarkan Nilai N-SPT	43
3.6.6	Kapasitas Ultimit Tiang	46
3.6.7	Kapasitas Ijin Tiang	47

3.7	Efisiensi Kelompok Tiang	47
3.8	Penurunan Fondasi Dalam	50
	3.8.1 Penurunan Tanah Fondasi Tunggal	51
	3.8.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang	55
	3.8.3 Batas Izin Penurunan Tiang	56
3.9	Pemodelan Perangkat Lunak PLAXIS dan GROUP	56
BAB IV METODE PENELITIAN		58
4.1	Studi Kasus	58
4.2	Lokasi Penelitian	58
4.3	Data Penelitian	59
	4.3.1 Data Umum Proyek	59
4.4	Tahap Penelitian	60
4.5	Pemodelan GROUP dan PLAXIS	61
	4.5.1 Pemodelan GROUP	61
	4.5.2 Pemodelan PLAXIS	62
4.6	Diagram Alir Penelitian	64
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		71
5.1	Tinjauan Umum	71
5.2	Pemodelan Struktur	72
	5.2.1 Material Struktur	75
	5.2.2 Beban Mati	75
	5.2.3 Beban Hidup	76
	5.2.4 Beban Gempa	76
5.3	<i>Joint Reaction</i>	84
5.4	Data Parameter Tanah	89
5.5	Analisis Korelasi N-SPT dengan Uji Laboratorium dan CPT/CPTu	104
	5.5.1 Analisis Tegangan Geser Selimut CPT/CPTu Dengan Nilai N-SPT	104
	5.5.2 Analisis Korelasi Nilai Tegangan Geser Laboratorium Dengan N-SPT	113
	5.5.3 Evaluasi Hasil Analisis Dengan Pendekatan Empiris	119

5.6	Daya Dukung Tanah	120
	5.6.1 Tiang Bor 80 cm	121
	5.6.2 Tiang Pancang 60 cm	144
	5.6.3 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang	162
5.7	Analisis Kebutuhan Tiang Grup	163
	5.7.1 Tiang Bor 80 cm	163
5.8	Evaluasi Perbandingan Tiang Bor 80 cm dengan Tiang Pancang 60 cm	190
5.9	Persebaran Beban	191
5.10	Penurunan Tiang	197
5.11	Hasil Perangkat Lunak GROUP dan PLAXIS	201
	5.9.1 Perangkat Lunak GROUP	201
	5.9.2 Perangkat Lunak PLAXIS	202
5.12	Perbandingan Hasil Perangkat Lunak dan Manual	209
	5.10.1 Perbandingan Nilai Persebaran Beban	209
	5.10.11 Perbandingan <i>Settlement</i>	211
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		214
6.1	Kesimpulan	214
6.2	Saran	215
DAFTAR PUSTAKA		217
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pendekatan Nilai Modulus Elastisitas Tanah (Look,2007)	22
Tabel 3. 2 Nilai Poisson's Rasio Dengan Jenis Tanah (Bowles,1977)	23
Tabel 3. 3 Koefisien Permeabilitas Tanah (Look, 2007)	26
Tabel 3. 4 Korelasi N-SPT Dengan Jenis Kepadatan Tanah Pasir (AASHTO, 1988)	30
Tabel 3. 5 Korelasi N-SPT Dengan Jenis Kepadatan Tanah Lempung (AASHTO, 1988)	31
Tabel 5. 1 Variabel Beban Mati (Dead Load) (Sumber : Laporan Struktur RS Pandu)	76
Tabel 5. 2 Penentuan Kelas Situs (Diadaptasi dari SNI 1726:2019)	78
Tabel 5. 3 Parameter Seismik Rumah Sakit Pandu (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)	82
Tabel 5. 4 Penskalaan Gaya Dinamik dan Statik (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)	83
Tabel 5. 5 Hasil Joint Reaction Kombinasi Beban Layan	85
Tabel 5. 6 Hasil Joint Reaction Kombinasi Gempa Nominal	86
Tabel 5. 7 Hasil Joint Reaction Kombinasi Gempa Kuat	88
Tabel 5. 8 Parameter Fisik dan Indeks Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)	95
Tabel 5. 9 Parameter Gradasi Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)	98
Tabel 5. 10 Parameter Kuat Geser dan Kompresibilitas (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)	100
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 1	107
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 2	108
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 3	108
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 4	108
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan S1	111

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan S2	111
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Rata-Rata Hasil CPT dan CPTu	112
Tabel 5. 18 Nilai Kohesi Uji Laboratorium Tiap Kedalaman	113
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai γ_{wet} Laboratoirum Dengan Kedalaman	113
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai Tegangan Overburden	115
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai ϕ Pengujian Laboratorium	115
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai Tegangan Geser	117
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Nilai N-SPT Interval 2 m	117
Tabel 5. 24 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang Bor dan Pancang	162
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cmBH-01	
Metode Efisiensi Converse Labarre	171
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01	
Metode Efisiensi Los Angeles Group Action Equation	171
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01	
Metode Efisiensi Seiler-Keeney Equation	172
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Bor 80 cm Pada BH-01	173
Tabel 5. 29 Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode	
Efisiensi Converse Labarre	186
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01	
Metode Efisiensi Los Angeles Group Action Equation	186
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01	
Metode Efisiensi Seiler-Keeney Equation	187
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Pancang 60 cm Pada BH-01	188
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Layan Fondasi Pada	
Zona BH-01	195
Tabel 5. 34 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Gempa Nominal Fondasi	
Pada Zona BH-01	195
Tabel 5. 35 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Gempa Kuat Fondasi	
Pada Zona BH-01	196
Tabel 5. 36 Parameter Tanah BH-01 Dalam Analisis Penurunan Tiang	197
Tabel 5. 37 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Bor Pada BH-01	200

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Software GROUP	202
Tabel 5. 39 Parameter Tanah Dalam Perangkat Lunak PLAXIS Pada BH01	203
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Hasil Penurunan Pemodelan 1 Tiang Pada BH-01	204
Tabel 5. 41 Hasil Rekapitulasi PLAXIS Pada BH-01	207
Tabel 5. 42 Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan PLAXIS	207
Tabel 5. 43 Perbandingan Hitungan Nilai P maks dan Pmin Software GROUP vs Manual Tiang Bor 80 cm	209
Tabel 5. 44 Perbandingan Settlement Hitungan Manual vs Software GROUP dan PLAXIS	211

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Pembagian Fasa Elemen Tanah (Das, 1995)	16
Gambar 3. 2 Korelasi Nilai Kohesi (Cu) Dengan Nilai N-SPT (K. Terzaghi, 1943)	19
Gambar 3. 3 Korelasi Antara Nilai Nspt Dengan Nilai Sudut Geser Dalam (Dunham, 1954)	20
Gambar 3. 4 Grafik e vs $\log p$ (Das, 1995)	24
Gambar 3. 5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)	29
Gambar 3. 6 Hubungan LL dan PI (Hardiyatmo, 2002)	29
Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Nilai Korelasi Kohesi Dengan Faktor Adhesi Tiang Pancang (API , 1986)	39
Gambar 3. 8 Korelasi Nilai Faktor Adhesi Dengan Nilai Kohesi (Tomlinson, 1957)	44
Gambar 3. 9 Faktor Penurunan I_0 (Pulos & Davis, 1980)	53
Gambar 3. 10 Faktor Koreksi Kompresi, R_k (Poulos & Davis, 1980)	53
Gambar 3. 11 Koreksi Kedalaman R_h (Poulos & Davis, 1980)	54
Gambar 3. 12 Koreksi Angka Poisson, R_μ (Poulos & Davis, 1980)	54
Gambar 3. 13 Nilai Untuk Faktor Kekakuan Tiang, R_b (Poulos & Davis, 1980)	55
Gambar 4. 1 Lokasi Pembangunan RS Pandu (Google Maps)	58
Gambar 4. 2 Rencana Awal Fondasi (Sumber :DED Struktur Pondasi RS Pandu)	60
Gambar 4. 3 Pemodelan 3D Fondasi P3 (1,32) Pada Software GROUP	61
Gambar 4. 4 Pemodelan Tanah Pada Software GROUP	62
Gambar 4. 5 Pemodelan Beban Pada Software GROUP	62
Gambar 4. 6 Pemodelan 2D Fondasi P3 (1,32) Pada Plaxis	63
Gambar 4. 7 Pemodelan Tanah BH-01 Pada Plaxis	63
Gambar 4. 8 Pemodelan Fondasi P3 (1,32) dan Beban	64
Gambar 4. 9 Pemodelan Tahapan Konstruksi	64

Gambar 4. 10 Diagram Alir Penelitian	66
Gambar 4. 11 Diagram Alir Pemodelan Perangkat Lunak GROUP	68
Gambar 4. 12 Diagram Alir Pemodelan Perangkat Lunak PLAXIS	69
Gambar 5. 1 Layout Denah Tower A Rumah Sakit Pandu (Sumber : Laporan Struktur Tower A RS Pandu)	71
Gambar 5. 2 Layout Denah Tower B Rumah Sakit Pandu (Sumber : Laporan Struktur Bawah Tower B Rumah Sakit Pandu)	72
Gambar 5. 3 Pemodelan Stuktur Atas Melalui Software ETABS (Sumber : Laporan Struktur Tower A RS pandu)	72
Gambar 5. 4 Pemodelan Struktur Atas Melalui Software ETABS (Sumber : Laporan Stuktur Bawah RS Pandu)	73
Gambar 5. 5 Denah Joint Label Pada Tower A (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur Bawah RS Pandu)	73
Gambar 5. 6 Denah Joint Label Pada Tower B (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur Bawah RS Pandu)	74
Gambar 5. 7 Denah Titik Uji Penyelidikan (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)	77
Gambar 5. 8 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-01	79
Gambar 5. 9 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-02	79
Gambar 5. 10 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-03	80
Gambar 5. 11 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-04	80
Gambar 5. 12 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-05	80
Gambar 5. 13 Spektrum Respon Desain (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)	81
Gambar 5. 14 Ketidakberaturan Horizontal Desain 3D RS Pandu (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)	83
Gambar 5. 15 Zonasi Borehole Pada Layout Rencana Awal Fondasi (Sumber : DED Pondasi RS Pandu)	84
Gambar 5. 16 Design Line N-SPT BH-01	90
Gambar 5. 17 Design line N-SPT BH-02	91
Gambar 5. 18 Design Line N-SPT BH-03	92

Gambar 5. 19 Design Line N-SPT BH-04	93
Gambar 5. 20 Design Line N-SPT BH-05	94
Gambar 5. 21 Korelasi τ Rata-Rata CPT/CPTu Vs N-SPT	112
Gambar 5. 22 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-01	118
Gambar 5. 23 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-03	118
Gambar 5. 24 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-05	119
Gambar 5. 25 Rancangan Desain Fondasi Bor 80 cm pada BH01	121
Gambar 5. 26 Rancangan Desain Fondasi Bor 80 cm pada BH02	126
Gambar 5. 27 Desain Rancangan Fondasi Tiang Bor 80 cm Pada BH03	131
Gambar 5. 28 Desain Rancang Fondasi Tiang Bor 80 cm BH04	135
Gambar 5. 29 Desain Rancangan Fondasi Tiang Bor 80 cm Pada BH05	140
Gambar 5. 30 Racangan Desain Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH01	144
Gambar 5. 31 Rancangan Desain Fondasi Pancang 60 cm pada BH02	148
Gambar 5. 32 Desain Rancangan Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH03	152
Gambar 5. 33 Desain Rancang Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH04	155
Gambar 5. 34 Desain Rancangan Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH05	158
Gambar 5. 35 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang Bor 80 cm dan Pancang 60 cm	162
Gambar 5. 36 Perbandingan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm Pada BH-01	175
Gambar 5. 37 Perbandingan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm Pada BH-01	190
Gambar 5. 38 Detail Pondai P2 (Joint 1 dan 32) Pada BH-01	192
Gambar 5. 39 Hasil Penurunan Tiang BH-01	200
Gambar 5. 40 Output Persebaran Beban Fondasi P3 (1,32) Pada Software GROUP	201
Gambar 5. 41 Hasil Output Pemodelan 1 Tiang P3 (1,32) Pada BH-01	204
Gambar 5. 42 Hasil Output dan Displacement P3 (1,32) Pada BH-01	205
Gambar 5. 43 Grafik Mstage dan Titik Node Pada Fondasi P1(1,32)	206
Gambar 5. 44 Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan PLAXIS	208
Gambar 5. 45 Perbandingan Nilai P maks GROUP vs Hitungan Manual Tiang Bor 80 cm	210

Gambar 5. 46 Perbandingan Nilai P min GROUP vs Hitungan Manual Tiang Bor 80 cm	210
Gambar 5. 47 Perbandingan Settlement Elastik Software GROUP vs Hitungan Manual	212
Gambar 5. 48 Hasil Settlement Total PLAXIS	212

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Persebaran Penyelidikan Tanah dan Zonasi <i>Borhole</i>	221
Lampiran 2 Data SPT	221
Lampiran 3 Hasil Uji Laboratorium	226
Lampiran 4 Denah Fondasi Bangunan	228
Lampiran 5 <i>Joint Reaction</i>	229
Lampiran 6 CPT dan CPTu	230

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

V_v	= Volume Pori (m^3)
V_w	= Volume air (m^3)
V_a	= Volume udara (m^3)
W_s	= Berat butiran padat (kN)
w	= Kadar air (%)
n	= Porositas
e	= Angka pori
S	= Derajat kejenuhan
γ_w	= Berat volume air (kN/m^3)
γ_d	= Berat volume tanah kering (kN/m^3)
c	= Kohesi tanah (kN/m^2)
τ	= Tegangan geser tanah (kN/m^2)
ϕ	= Sudut geser tanah ($^\circ$)
P_u	= Beban ultimit (kN)
Q_u	= Nilai daya dukung ultimit tiang (kN)
Q_s	= Nilai daya selimut tiang (kN)
B	= Lebar Bangunan (cm)
E_g	= efisiensi tiang
n_1	= Jumlah tiang dalam 1 kolom (buah)
n_2	= Jumlah tiang dalam 1 baris (buah)
θ	= Sudut dalam derajat ($^\circ$)
SF	= Faktor keamanan
α	= Faktor adhesi gesek sisi tiang
$N-SPT$	= Nilai jumlah pukulan uji -SPT
Q_g	= Kapasitas maksimum kelompok tiang (kN)
L	= Panjang bersih pilecap (m)
B	= Lebar bersih pilecap (m)
x	= Jarak horizontal tiang dari titik berat kelompok tiang (m)

y	= Jarak vertikal tiang dari titik berat kelompok tiang (m)
S_e	= Penurunan segera (mm)
S_c	= Penurunan konsolidasi (mm)
S_g	= Penurunan tiang grup (mm)
P_{maks}	= Tekanan maksimum tiang (kN)
P_{min}	= Tekanan minimum tiang (kN)
F_z	= Beban aksial kolom dari struktur (kN)
F_x	= Beban horizontal arah x akibat struktur (kN)
F_y	= Beban horizontal arah y akibat struktur (kN)
M_y	= Momen arah x akibat struktur (kNm)
M_x	= Momen arah y akibat struktur (kNm)
I_0	= Penurunan segera (m)
k	= Kekakuan tanah
E_s	= Modulus elastisitas tanah (kN/m ²)
ν	= Poisson tanah

ABSTRAK

Fondasi tiang merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah pendukung yang memiliki kapasitas dukung memadai. Pada proyek gedung bertingkat, seperti Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pandu Bogor, perencanaan fondasi tiang memerlukan analisis yang komprehensif untuk memastikan keamanan terhadap daya dukung dan kriteria penurunan yang diizinkan. Data Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan sebagai dasar evaluasi parameter tanah dalam tahap perencanaan awal karena ketersediaannya yang luas dan kemudahan interpretasinya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang berdasarkan data SPT guna memperoleh gambaran perilaku fondasi secara teknis dan terukur.

Analisis daya dukung tiang dilakukan menggunakan pendekatan empiris berbasis data SPT serta data laboratorium untuk menentukan kapasitas aksial tiang tunggal. Selanjutnya, evaluasi perilaku kelompok tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak GROUP guna menganalisis distribusi gaya serta efisiensi tiang kelompok akibat kombinasi pembebanan struktur. Analisis penurunan fondasi dilakukan melalui metode analitis dan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS dan GROUP dengan mempertimbangkan kombinasi beban layan. Hasil dari analisis analitis dan numerik tersebut kemudian dibandingkan untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap respons fondasi tiang dalam mendukung beban bangunan

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lokasi penelitian terdiri atas lapisan lempung plastis hingga kedalaman ± 10 m dan lapisan pasir padat (*sand dense*) pada kedalaman 10–30 m. Perhitungan daya dukung menunjukkan bahwa tiang pancang berdiameter 60 cm dengan kedalaman 12 m memiliki kapasitas sebesar 161,82–217,21 ton, sedangkan tiang bor berdiameter 80 cm dengan kedalaman 18 m memiliki kapasitas yang lebih besar, yaitu 215,24–281,37 ton, sehingga lebih sesuai diterapkan pada kawasan padat permukiman untuk meminimalkan getaran. Hasil analisis distribusi beban menunjukkan bahwa gaya aksial maksimum sebesar 1763 kN masih berada di bawah kapasitas izin sebesar 2111,5 kN dan tidak terjadi gaya tarik pada tiang. Analisis penurunan menunjukkan bahwa penurunan elastik terbesar dari metode manual dan GROUP sebesar 3,3 cm, sedangkan analisis menggunakan PLAXIS menghasilkan penurunan maksimum sebesar 8,3 cm, namun seluruhnya masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar 20,83 cm. Perbedaan hasil penurunan tersebut dipengaruhi oleh asumsi perilaku tanah, di mana GROUP dan metode Poulos & Davis berbasis elastis linier, sedangkan PLAXIS mempertimbangkan perilaku tanah non-linier secara lebih konservatif.

Kata kunci: fondasi tiang, daya dukung, penurunan, SPT, GROUP, PLAXIS

ABSTRACT

Pile foundations are deep foundation elements that function to transfer structural loads to supporting soil layers with adequate bearing capacity. In multi-storey building projects, such as the Pandu Hospital Development Project in Bogor, the design of pile foundations requires a comprehensive analysis to ensure safety in terms of bearing capacity and allowable settlement criteria. Standard Penetration Test (SPT) data are commonly used as the basis for evaluating soil parameters during the preliminary design stage due to their wide availability and ease of interpretation. Therefore, this study aims to analyze the bearing capacity and settlement of pile foundations based on SPT data in order to obtain a measurable and technical understanding of foundation behavior.

The bearing capacity analysis was carried out using an empirical approach based on SPT data and laboratory test results to determine the axial capacity of a single pile. Furthermore, the behavior of pile groups was evaluated using GROUP software to analyze load distribution and pile group efficiency under structural load combinations. Settlement analysis was performed using both analytical methods and numerical modeling with PLAXIS and GROUP software by considering service load combinations. The results of the analytical and numerical analyses were then compared to obtain a more comprehensive understanding of the pile foundation response in supporting structural loads.

The results indicate that the subsurface conditions at the study site consist of plastic clay layers up to a depth of approximately 10 m and dense sand layers at depths ranging from 10 to 30 m. Bearing capacity calculations show that a 60 cm diameter driven pile with a depth of 12 m has a capacity ranging from 161.82 to 217.21 tons, whereas an 80 cm diameter bored pile with a depth of 18 m provides a higher capacity ranging from 215.24 to 281.37 tons, making it more suitable for densely populated areas to minimize vibration. The load distribution analysis indicates that the maximum axial force of 1763 kN remains below the allowable capacity of 2111.5 kN, and no tensile force occurs in the piles. Settlement analysis shows that the maximum elastic settlement obtained from the manual method and GROUP is 3.3 cm, while PLAXIS produces a maximum settlement of 8.3 cm; however, all values remain below the allowable settlement limit of 20.83 cm. The differences in settlement results are influenced by soil behavior assumptions, where GROUP and the Poulos & Davis method are based on linear elastic theory, whereas PLAXIS considers nonlinear soil behavior in a more conservative manner.

Keywords: *pile foundation, bearing capacity, settlement, SPT, GROUP, PLAXIS*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang, proyek infrastruktur sangat dibutuhkan dalam perkembangan kemajuan peradaban manusia, salah satunya dalam infrastruktur bidang kesehatan. Hal ini disebabkan karena pada zaman sekarang peradaban dan populasi manusia bertambah seiring berkembangnya zaman, sehingga sarana serta prasarana dalam menunjang kemaslahatan hidup manusia dalam hal ini bidang kesehatan perlu digencarkan, yakni salah satunya dengan menambah atau merenovasi bangunan rumah sakit dengan fasilitas yang lebih terbaru. (Al Zahwa dkk., 2025) menyatakan bahwa peningkatan infrastruktur kesehatan sebanding dengan pengaruhnya pada penurunan angka mortalitas. Artinya, semakin baik infrastruktur pelayanan kesehatan yang tersedia, semakin besar pula dampak positif terhadap kualitas dan harapan hidup manusia. Namun, dalam proses pembangunan infrastruktur kesehatan seperti rumah sakit, tantangan yang dihadapi tidaklah sederhana. Proyek konstruksi rumah sakit memiliki karakteristik kompleks yang berbeda dari jenis bangunan umum lainnya karena melibatkan banyak sistem yang saling terintegrasi, seperti instalasi mekanikal, elektrikal, dan tata udara (MEP), serta standar keselamatan pasien yang harus dipenuhi. Kompleksitas tersebut menjadikan proyek rumah sakit memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan proyek konstruksi pada umumnya.

Pembangunan gedung rumah sakit sendiri tentunya memiliki beberapa struktur dalam pembangunannya, yakni pembangunan struktur atas yang meliputi plat, balok, dan kolom dan pembangunan struktur bawah yang meliputi fondasi dan *pilecap*. Hal terpenting dalam perencanaan bangunan gedung yang tak kalah penting adalah bagian fondasi (Pribadi dkk., 2023). Fondasi merupakan elemen struktur yang memegang peranan penting dalam menyalurkan beban bangunan ke tanah secara aman dan stabil. Dalam pembangunan gedung atau fasilitas besar, seperti rumah sakit, perencanaan fondasi harus mempertimbangkan kondisi tanah,

jenis beban, serta faktor keselamatan struktur. Fondasi tiang, sebagai salah satu jenis fondasi dalam, banyak digunakan pada lokasi dengan daya dukung tanah yang rendah atau ketika bangunan memiliki beban yang signifikan. Tiang fondasi bekerja dengan meneruskan beban melalui ujung tiang (*end bearing*) maupun gesekan sepanjang permukaan tiang (*friction pile*) ke lapisan tanah yang lebih kuat.

Penggunaan fondasi tiang tidak hanya berkaitan dengan keamanan struktur, tetapi juga memengaruhi efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan proyek. Dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan fasilitas publik yang aman dan tahan lama, analisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang menjadi aspek penting untuk menjamin performa struktur. Evaluasi ini dapat dilakukan melalui metode pengujian lapangan, seperti *Standard Penetration Test* (SPT), serta pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak seperti *Plaxis* untuk memperkirakan respons fondasi terhadap beban yang bekerja.

Penentuan fondasi sendiri umumnya memiliki beberapa jenis yang sering dipakai dalam penentuan struktur bawah, yakni dimulai dari fondasi dangkal, fondasi sumuran, fondasi tiang bor, dan fondasi tiang pancang. Dalam penentuannya tidak semudah dalam pemilihannya banyak pertimbangan mengenai pemilihannya dikarenakan hal tersebut berpengaruh dalam dampaknya secara sosial, ekonomi, hingga struktural. Seperti halnya fondasi dangkal, biasanya dipilih dikarenakan lapisan tanah keras yang dangkal, lalu fondasi tiang bor atau pancang dipilih dikarenakan lapisan tanah keras yang begitu dalam. Tentunya pemilihan beberapa jenis fondasi tersebut memiliki beberapa konsekuensi mengenai metode, waktu, dan biaya.

Berdasarkan hal tersebut sehingga diperlukan untuk melakukan kajian lebih mendalam mengenai bagaimana analisis lebih lanjut mengenai daya dukung fondasi serta penurunan tanah pada Pembangunan Proyek Rumah Sakit Pandu. Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang menjadi krusial, khususnya untuk proyek pembangunan rumah sakit khususnya dalam kasus ini Rumah Sakit Pandu yang berlokasi di Bogor, Jawa Barat yang menuntut keselamatan tinggi, kestabilan jangka panjang, serta pemanfaatan sumber daya konstruksi secara optimal. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan

rekomendasi perencanaan fondasi yang lebih efisien dan sesuai standar teknis yang berlaku

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya didapati beberapa rumusan masalah yang mendasari penelitian ini. Berikut merupakan rumusan masalah yang dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik tanah di lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Pandu Bogor berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT) ?
2. Berapa daya dukung ultimit serta daya dukung izin fondasi tiang tunggal berdasarkan kondisi tanah dan diameter tiang di lokasi proyek ?
3. Berapa kapasitas izin tiang grup berdasarkan kondisi tanah dan diameter tiang lokasi proyek
4. Bagaimana pengaruh metode perhitungan efisiensi terhadap kebutuhan jumlah tiang dalam kelompok pada zonasi borehole dengan kapasitas izin kelompok tiang terendah?
5. Bagaimana persebaran beban pondasi terhadap kapasitas izin tanah?
6. Bagaimana penurunan (*settlement*) fondasi tiang akibat beban struktur yang bekerja, baik secara analisis manual maupun pemodelan GROUP dan PLAXIS?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari uraian rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, tentunya terdapat tujuan penelitian sendiri yang merujuk pada rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Berikut merupakan tujuan penelitian yang diuraikan sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik tanah di lokasi proyek pembangunan Rumah Sakit Pandu Bogor berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT).
2. Menentukan daya dukung maksimum fondasi tiang yang sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek.
3. Menentukan berapa besar sebaran tiang berdasarkan nilai rumus dan perhitungan *software ensoft Group*.

4. Mengevaluasi penurunan (settlement) fondasi tiang akibat beban struktur melalui analisis lapangan dan pemodelan Plaxis.
5. Membandingkan hasil perencanaan awal fondasi tiang bor dan tiang pancang berdasarkan kapasitas dukung, penurunan, dan jumlah tiang sebagai bahan pertimbangan teknis pelaksanaan Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pandu

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian sendiri ditujukan agar penelitian ini lebih terfokus serta tertata sesuai tujuan penelitiannya. Berikut merupakan batasan penelitian yang dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Objek penelitian adalah proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Pandu Bogor, Jawa Barat
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini berdasar pada data hasil laboratorium dan hasil uji lapangan Proyek Rumah Sakit Pandu Bogor, Jawa Barat.
3. Aturan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan aturan SNI 8460-2017
4. Penelitian ini hanya membahas fondasi tiang sebagai fondasi dalam pada proyek pembangunan Rumah Sakit Pandu Bogor.
5. Analisis daya dukung dan penurunan fondasi dibatasi pada data *Standard Penetration Test* (SPT) dan laboratorium yang tersedia dari lokasi proyek.
6. Penurunan dan daya dukung fondasi dianalisis menggunakan perhitungan teoritis dan pemodelan numerik dengan *software* Plaxis serta bantuan *software* GROUP.
7. Data CPT/CPTu dan laboratorium digunakan sebagai data pendukung dalam analisis struktur bawah
8. Data hasil pengujian laboratorium digunakan dalam lapisan tertentu dimana data tersedia dan representatif
9. Pada kondisi dimana data laboratorium tidak tersedia atau berasal dari sampel tanah terganggu (*disturbed sample*), parameter tanah ditentukan melalui korelasi NSPT

10. Penelitian ini tidak mempertimbangkan variasi parameter tanah akibat perbedaan metode pengujian secara mendalam, melainkan menggunakan pendekatan *engineering judgment* yang sesuai dengan kaidah terori untuk memperoleh parameter yang representatif.
11. Penelitian ini berfokus pada analisis geoteknik, khususnya daya dukung dan penurunan fondasi dalam. Analisis dan perencanaan struktur atas tidak dibahas karena tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian. Beban yang bekerja pada fondasi diperoleh dari data *joint reaction* hasil analisis struktur atas dan digunakan sebagai data sekunder dalam analisis geoteknik per tanggal 15 Februari 2026.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku fondasi tiang, termasuk daya dukung dan penurunan yang terjadi akibat beban struktur.
2. Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya terkait perencanaan fondasi dalam proyek konstruksi gedung, khususnya rumah sakit.
3. Menunjukkan penerapan metode pemodelan numerik Plaxis untuk analisis fondasi tiang, sehingga menambah wawasan mengenai teknik pemodelan geoteknik.
4. Memberikan data dan rekomendasi perencanaan fondasi tiang yang aman, efisien, dan sesuai standar teknis (SNI) bagi proyek pembangunan Rumah Sakit Pandu Bogor.
5. Membantu insinyur dan kontraktor dalam membuat keputusan teknis terkait pemilihan jenis tiang, kedalaman, dan estimasi penurunan fondasi.
6. Menjadi dasar pengambilan keputusan dalam manajemen risiko konstruksi, khususnya terkait kestabilan fondasi pada proyek bangunan besar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Daya Dukung Fondasi

Muhsin dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai analisis daya dukung tiang tunggal dengan efisiensi tiang kelompok pada jenis tiang friksi dan tiang ujung. Kedua jenis tiang tersebut pada dasarnya memiliki perbedaan pada jenis acuan tumpuan daya dukung, apakah suatu tiang kelompok tersebut memiliki daya ujung pada tanah keras atau mengandalkan sisi gesek selimut seperti pada area tanah dominan tanah lunak. Pada penelitian ini digunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dengan pemodelan 3D yakni dengan menggunakan perangkat lunak FEM 3D. Tujuan penelitian ini, yakni memberikan perbandingan antara efisiensi tiang kelompok hitungan manual dengan pemodelan perangkat lunak metode elemen hingga.

Dalam analisisnya penelitian ini merujuk pada penggunaan konfigurasi tiang 3x3 hingga 3x9 yang nantinya dari perpaduan konfigurasi ini didapati hasil bahwa tiang friksi penuh memiliki hasil nilai efisiensi lebih kecil daripada tiang daya ujung dengan memberikan hasil selisih efisiensi sebesar 15 hingga 25 persen. Selain itu, pada jenis tiang friksi penuh memberikan interpretasi bahwa semakin dalam atau semakin panjang suatu tiang yang mengacu pada daya selimut memberikan hasil nilai efisiensi semakin kecil. Sedangkan pada tiang daya ujung memberikan hasil efisiensi sebesar 5-10% dari daya dukung ujung tiang tunggal, dari hasil penelitian efisiensi dari daya dukung ujung dan daya dukung tiang friksi penuh memberikan kisaran nilai efisiensi untuk konfigurasi 3x3 hingga 3x9 yakni 0,45-0,9 untuk tiang daya ujung dan 0,23-0,65 untuk tiang friksi penuh. Tentunya hasil dari analisis elemen hingga ini memberikan kondisi yang lebih akurat dan aktual sesuai kondisi lapangan dengan komposisi tanah yang ada.

Sulistianto & Yufitra Rus, (2024) melakukan penelitian analisis daya dukung beberapa fondasi berdasarkan data SPT dan CPT pada konstruksi Gudang Bahan Peledak, Samboja, Kutai Kartanegara. Penelitian ini menggunakan perbandingan

beberapa hasil daya dukung sesuai jenis fondasi. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan dominasi lapisan lempung hingga kedalaman sekitar 20 m dengan nilai N-SPT yang bervariasi antara 3 hingga 60, serta ditemukannya lapisan pasir pada titik bor BH.03 pada kedalaman 1–7 m. Hasil uji CPT mengindikasikan kepadatan tanah yang tinggi pada kedalaman 5,40–7,40 m, sementara pengujian sondir mengidentifikasi keberadaan lapisan tanah keras pada kedalaman sekitar 3,00–7,20 m.

Hasil analisis daya dukung tiang tunggal berdasarkan data SPT dan CPT menunjukkan bahwa dimensi serta bentuk fondasi tiang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas daya dukung, baik untuk beban tekan maupun tarik. Perbandingan dilakukan pada fondasi tiang persegi dengan variasi ukuran serta tiang bulat dengan variasi diameter, dan hasilnya memperlihatkan bahwa peningkatan dimensi atau diameter fondasi tiang berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas daya dukung. Hal ini disebabkan oleh distribusi beban yang lebih merata, berkurangnya tegangan tanah di sekitar fondasi, serta meningkatnya interaksi antara permukaan kulit tiang dan tanah. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan dimensi fondasi dalam perencanaan struktur tiang, khususnya pada kondisi tanah yang bervariasi, guna menjamin stabilitas dan keamanan struktur secara keseluruhan serta kesesuaian antara daya dukung tanah dan beban bangunan yang direncanakan.

2.2 Analisis Kinerja Fondasi Tiang Pancang

Bimantara Daksa dkk. (2023) melakukan penelitian kinerja fondasi tiang pancang dengan menggunakan *software* plaxis 2D. Penelitian ini mengkaji perilaku fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode elemen hingga melalui perangkat lunak PLAXIS berdasarkan data penyelidikan tanah pada proyek pembangunan SMPN 18 Kota Balikpapan. Parameter tanah diperoleh dari hasil uji SPT dan investigasi lapangan yang meliputi berat volume jenuh dan tidak jenuh, permeabilitas, modulus elastisitas, rasio Poisson, kohesi, serta sudut gesek dalam. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan dua dimensi dengan pendekatan *plane strain* pada tiang tunggal dan kelompok tiang, di mana elemen pelat (*plate*

elements) digunakan untuk merepresentasikan tiang beton, serta pembebanan diterapkan secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 1000 kN.

Hasil analisis menunjukkan bahwa mekanisme transfer beban pada fondasi tiang didominasi oleh tahanan selimut hingga mencapai kondisi maksimum, sementara sebagian beban lainnya ditahan oleh tahanan ujung tiang. Peningkatan beban menyebabkan kenaikan deformasi vertikal secara signifikan, di mana pada pembebanan hingga sekitar 140% faktor keamanan masih berada di atas nilai SF 3, sedangkan pada pembebanan 160% hingga 200% terjadi kegagalan daya dukung (*bearing failure*). Kondisi tanah yang didominasi oleh lempung plastisitas rendah menyebabkan perilaku fondasi lebih banyak dikontrol oleh daya dukung selimut sebelum beban selanjutnya ditransfer ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Winarti dan Kartika Indah Sari, (2022) menunjukkan penelitian mengenai perencanaan fondasi tiang pada proyek pembangunan gedung rumah sakit di Kabupaten Deli Serdang dengan tujuan menentukan kedalaman dan kapasitas daya dukung tanah. Analisis dilakukan berdasarkan data penyelidikan tanah berupa hasil uji sondir (CPT), Standard Penetration Test (SPT), serta data pembebanan struktur. Metodologi penelitian meliputi pengumpulan data primer melalui observasi lapangan dan pengujian tanah, serta data sekunder berupa literatur dan gambar teknis. Perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang beton dilakukan secara manual dengan bantuan perangkat lunak spreadsheet, mencakup analisis daya dukung vertikal, horizontal, serta perencanaan elemen fondasi seperti *pile cap*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung fondasi tiang sangat dipengaruhi oleh dimensi penampang, diameter, dan kedalaman tiang. Dari perhitungan manual diperoleh nilai kapasitas daya dukung terbesar sebesar 78,73 t/m². Studi ini menyimpulkan bahwa semakin besar luas penampang atau diameter tiang serta semakin dalam kedalaman fondasi, maka semakin besar daya dukung yang dapat ditahan oleh fondasi tersebut. Berdasarkan variasi desain diameter dan kedalaman tiang, diperoleh bahwa kedalaman fondasi sekitar 11,00 m dinilai efektif untuk memenuhi kebutuhan daya dukung pada kondisi tanah lokasi penelitian.

Nouval Diva Ramadhan dkk. (2022) juga melakukan penelitian mengenai kinerja daya dukung tiang pancang berdasar bentuk dan variasi dimensi. Penelitian ini menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dengan membandingkan beberapa metode konvensional, yaitu metode Meyerhof, Luciano Decourt, dan Reese O'Neill. Analisis dilakukan pada fondasi tiang pancang dengan variasi bentuk penampang lingkaran dan persegi serta variasi dimensi 300 mm, 400 mm, 500 mm, dan 600 mm. Evaluasi daya dukung fondasi juga dibandingkan dengan hasil uji PDA (*Pile Driving Analyzer*), serta analisis penurunan dilakukan menggunakan program bantu numerik. Studi kasus diterapkan pada pembangunan gedung perkuliahan dan laboratorium FEB UPN "Veteran" Jawa Timur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kedalaman 25 m, metode Meyerhof menghasilkan nilai daya dukung terbesar dibandingkan metode Luciano Decourt dan Reese O'Neill, dengan nilai berturut-turut sebesar 143,2 ton, 90,2 ton, dan 127,2 ton untuk penampang persegi, serta 112,4 ton, 70,8 ton, dan 96,3 ton untuk penampang lingkaran. Kapasitas daya dukung fondasi dipengaruhi secara signifikan oleh bentuk dan dimensi penampang, di mana semakin besar dimensi tiang maka semakin besar daya dukung yang dihasilkan, serta fondasi dengan penampang persegi memiliki daya dukung selimut lebih besar dibandingkan penampang lingkaran. Berdasarkan nilai daya dukung, defleksi, penurunan terkecil, dan rasio BCR yang mendekati 1, fondasi tiang dengan penampang persegi berukuran 300×300 mm dinilai paling efisien dan aman untuk digunakan.

2.3 Analisis Kinerja Tiang Bor

Pribadi dkk., (2023) melakukan penelitian mengenai kinerja tiang bor dengan beberapa metode perhitungan manual dan *software* ALLPILE. Penelitian ini membahas perencanaan fondasi bored pile sebagai solusi fondasi dalam pada proyek gedung yang berada di lingkungan padat penduduk, dengan tujuan menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi. Data penelitian diperoleh dari hasil pengamatan langsung di lokasi proyek serta data sekunder dari kontraktor, konsultan perencana, dan literatur geoteknik yang relevan. Analisis daya dukung

dan penurunan bored pile dilakukan menggunakan perhitungan manual serta bantuan perangkat lunak ALLPILE, dengan mempertimbangkan mekanisme penyaluran beban melalui tahanan ujung (*end bearing*) dan gesekan selimut (*skin friction*). Pemilihan fondasi bored pile ditujukan untuk meminimalkan dampak getaran dan kerusakan pada bangunan di sekitar lokasi proyek.

Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung ultimit bored pile berdasarkan perhitungan manual dengan metode Coyle & Costello sebesar 411,23 kN, sedangkan hasil *loading test* menunjukkan nilai daya dukung sebesar 12.098,31 kN. Analisis menggunakan perangkat lunak ALLPILE menghasilkan nilai daya dukung ultimit sebesar 12.075,08 kN yang mendekati hasil *loading test*. Nilai penurunan fondasi berdasarkan analisis perangkat lunak sebesar 2,00 cm, sedangkan hasil *loading test* sebesar 1,88 cm, yang masih memenuhi persyaratan ASTM D1134-81 dengan batas penurunan 2,54 cm. Selain itu, hasil analisis menunjukkan defleksi maksimum sebesar 0,19%, sehingga dapat disimpulkan bahwa fondasi bored pile yang direncanakan aman dan memenuhi kriteria daya dukung serta penurunan yang diizinkan

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Untuk perbandingan hasil penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sebelumnya telah dirangkum dan disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Muhsin dkk.	Sulistianto dan Yufitra Rus	Bimantara Daksa dkk.	Winarti dan Kartika Indah Sari.	Nouval Diva Ramadhan dkk	Pribadi dkk	Kurniawan
Tahun	2023	2024	2023	2022	2024	2023	2026
Judul Penelitian	Efisiensi Daya dukung Tiang dalam Grup Menggunakan Pendekatan Analisa FEM 3D	Analisis Daya Dukung Fondasi dan Perencanaan Konstruksi di Gudang Bahan Peledak, Samboja, Kutai Kartanegara	Kajian Studi Fondasi Tiang Pancang Di Smpn 18 Balikpapan Menggunakan Software Plaxis 2D	Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Beton Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Di Kabupaten Deli Serdang	Analisis Pengaruh Variasi Bentuk dan Variasi Dimensi Terhadap Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Kuliah Bersama dan Laboratrium FEB UPN “VETERAN” Jawa Timur	Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Dengan Perhitungan Manual dan Software ALLPILE	Analisis Perubahan Efisiensi Tiang Kelompok dan Penurunan Fondasi Tiang Berdasarkan Data SPT dan Pemodelan Numerik

Sumber: Muhsin dkk. (2023), Sulistianto & Yufitra Rus, (2024), Bimantara Daksa dkk., (2023), Indah Sari, (2022), Mochammad Nouval Diva Ramadhan dkk., (2022), Pribadi dkk., (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Muhsin dkk.	Sulistianto dan Yufitra Rus	Bimantara Daksa dkk.	Winarti dan Kartika Indah Sari.	Nouval Diva Ramadhan dkk	Pribadi dkk	Kurniawan
Tahun	2023	2024	2023	2022	2024	2023	2026
Tujuan Penelitian	Menganalisis efisiensi tiang daya ujung dan friksi penuh sehingga mengetahui kinerja analisis efisiensi dan membandingkannya dengan pemodelan analitis.	Analisis daya dukung beberapa fondasi berdasarkan data SPT dan CPT pada konstruksi Gudang Bahan Peledak, Samboja, Kutai Kartanegara	Mengkaji perilaku fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode elemen hingga melalui perangkat lunak PLAXIS berdasarkan data penyelidikan tanah	Menentukan kedalaman dan kapasitas daya dukung tanah untuk perencanaan fondasi	Menganalisis kinerja daya dukung tiang pancang berdasar bentuk dan variasi dimensi	Menganalisis kinerja tiang bor dengan beberapa metode perhitungan manual dan <i>software</i> ALLPILE	Mengetahui jenis fondasi dan dimensi yang paling efisien dan efektif pada Proyek Pembangunan RS PANDU

Sumber: Muhsin dkk. (2023), Sulistianto & Yufitra Rus, (2024), Bimantara Daksa dkk., (2023), Indah Sari, (2022), Mochammad Nouval Diva Ramadhan dkk., (2024), Pribadi dkk., (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Muhsin dkk.	Sulistianto dan Yufitra Rus	Bimantara Daksa dkk.	Winarti dan Kartika Indah Sari.	Nouval Diva Ramadhan dkk	Pribadi dkk	Kurniawan
Tahun	2023	2024	2023	2022	2024	2023	2026
Metode Penelitian	Perhitungan analisis dengan membandingkan ahasil analisis daya dukung tiang tiang tunggal dan kelompok dengan FEM 3D	Perhitungan Manual berdasarkan data SPT dan CPT	Menggunakan metode elemen hingga melalui perangkat lunak PLAXIS berdasarkan data penyelidikan tanah	Perhitungan Manual berdasarkan data penyelidikan tanah berupa hasil uji sondir (CPT), Standard Penetration Test (SPT), serta data pembebanan struktur	Perhitungan berdasarkan data SPT dan metode konvensional, yaitu metode Meyerhof, Luciano Decourt, dan Reese O'Neill	Menggunakan metode perhitungan manual dan <i>software</i> ALLPILE	Perhitungan manual dengan data SPT dan laboratorium dan penggunaan perangkat lunak GROUP dan PLAXIS

Sumber: Muhsin dkk. (2023), Sulistianto & Yufitra Rus, (2024), Bimantara Daksa dkk., (2023), Indah Sari, (2022), Mochammad Nouval Diva Ramadhan dkk., (2022),Pribadi dkk., (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Muhsin dkk.	Sulistianto dan Yufitra Rus	Bimantara Daksa dkk.	Winarti dan Kartika Indah Sari.	Nouval Diva Ramadhan dkk	Pribadi dkk	Alif Kurniawan
Tahun	2023	2024	2023	2022	2024	2023	2026
Hasil Penelitian	Menunjukkan bahwa tiang friksi memiliki hasil efisiensi lebih kecil daripada tiang ujung dengan selisih 15-25% dan efisiensi daya ujung memmberikan efisiensi yang lebih mendekati dari pemodelan analitis seperti efisiensi converse-labarre dan <i>Los Angeles</i>	Menunjukkan bahwa dimensi dan bentuk tiang berpengaruh signifikan terhadap kapasitas daya dukung tekan dan tarik, di mana peningkatan ukuran atau diameter tiang meningkatkan kapasitas daya dukung akibat distribusi beban dan interaksi tanah–tiang yang lebih baik.	Transfer beban fondasi tiang didominasi oleh tahanan selimut, dengan peningkatan beban menyebabkan deformasi vertikal signifikan; kondisi aman masih tercapai hingga pembebanan $\pm 140\%$, sedangkan kegagalan daya dukung terjadi pada pembebanan 160–200% pada tanah lempung berplastisitas rendah.	Kapasitas daya dukung fondasi tiang dipengaruhi oleh dimensi penampang, diameter, dan kedalaman tiang, di mana peningkatan diameter dan kedalaman meningkatkan daya dukung; kedalaman sekitar 11 m dinilai efektif untuk memenuhi kebutuhan daya dukung tanah setempat.	Pada kedalaman 25 m, metode Meyerhof menghasilkan daya dukung terbesar dibandingkan metode Luciano Decourt dan Reese O’Neill; kapasitas dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi penampang, di mana penampang persegi memiliki daya dukung lebih besar dan ukuran 300 × 300 mm dinilai paling efisien dan aman	Menunjukkan bahwa daya dukung bored pile dari metode ALLPILE mendekati hasil loading test dan jauh lebih besar dibandingkan perhitungan manual Coyle & Costello; nilai penurunan dan defleksi masih memenuhi batas izin ASTM, sehingga fondasi bored pile dinyatakan aman	Menunjukkan bahwa daya dukung tiang bor dengan diameter 80 cm dengan kedalaman 18 m memiliki daya dukung fondasi lebih tinggi daripada tiang pancang diameter 60 cm dengan kedalaman 12 m, dengan daya dukung tiang bor sebesar 215-280 ton, serta menunjukkan bahwa hasil penurunan fondasi yang memenuhi dari segi perangkat maupun manual dengan batasan S izin 20,83 cm

Sumber: Muhsin dkk. (2023), Sulistianto & Yufitra Rus, (2024), Bimantara Daksa dkk., (2023), Indah Sari, (2022), Mochammad Nouval Diva Ramadhan dkk., (2022), Pribadi dkk., (2023)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Tanah

Tanah merupakan material alami yang terdiri dari butiran mineral, air, dan udara. Karakteristik tanah sangat mempengaruhi perilaku fondasi, terutama dalam menentukan daya dukung dan penurunan. Parameter tanah yang umum digunakan dalam analisis fondasi antara lain berat isi tanah, kohesi, sudut geser dalam, dan nilai kepadatan relatif. Dalam penelitian ini, parameter tanah diperoleh berdasarkan data hasil uji Standard Penetration Test (SPT) yang kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan daya dukung dan pemodelan numerik.

Tanah didefinisikan sebagai material alami yang tersusun atas berbagai jenis mineral serta endapan lepas yang berada di atas lapisan batuan dasar atau bedrock (Hardiyatmo, 2002). Secara umum, tanah dapat dipahami sebagai kumpulan material padat yang tidak saling terikat secara permanen, dengan ruang pori di antaranya yang umumnya terisi oleh air dan udara (Hardiyatmo, 2002). Ikatan antar partikel tanah pada umumnya relatif lemah, sehingga rongga-rongga yang terbentuk dapat diisi oleh air, udara, maupun zat lain sesuai dengan kondisi lingkungan (Hardiyatmo, 2002). Dalam pembagian jenis karakteristik tanah sendiri, menurut Bowles (1984) tanah memiliki beberapa bagian butiran yang dapat dibagi sebagai berikut.

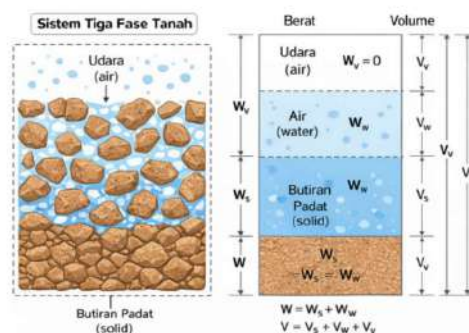
1. Berangkal (*Boulders*), yakni material pecahan batuan berukuran besar dengan diameter lebih dari 250 mm, sedangkan fragmen batuan dengan ukuran sekitar 150 mm hingga 250 mm dikenal sebagai kerakal (*cobbles* atau *pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) merupakan partikel batuan dengan ukuran antara 5 mm sampai dengan 150 mm .
3. Pasir (*sand*) terdiri atas butiran batuan dengan ukuran berkisar antara 0,074 mm hingga 5 mm yang dapat dibedakan menjadi pasir kasar dan pasir halus berdasarkan ukuran butirannya.

4. Lanau (silt) memiliki ukuran partikel antara 0,002 mm hingga 0,074 mm. Lempung (clay) merupakan partikel mineral dengan ukuran lebih kecil dari 0,002 mm dan berperan sebagai sumber utama sifat kohesi pada tanah kohesif
5. Koloid (colloids) terdiri dari partikel mineral yang sangat halus dengan ukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Dalam halnya praktik di lapangan jenis tanah ini menentukan bagaimana keadaan.kondisi reaksi tanah dengan material yang bersentuhan seperti halnya fondasi, dikarenakan perhitungan fondasi sendiri memiliki nilai atau hasil yang berbeda dalam reaksinya khususnya dalam hal perhitungan fondasi tiang.

3.2 Variabel-variabel Tanah

Tanah pada dasarnya tersusun atas tiga fase utama, yaitu partikel padat, air, dan udara. Pemahaman terhadap susunan tanah tersebut menjadi hal yang penting dalam penentuan parameter-parameter tanah serta dalam menganalisis hubungan antara volume dan berat tanah. Daya dukung tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, serta kondisi lainnya. Tingkat kepadatan tanah umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase perbandingan antara berat volume kering tanah (γ_d), berat volume tanah kering saat lepas (γ_{dmin}), dan berat volume kering maksimum ($\gamma_{d maks}$) (Das, 2010). Secara konseptual, tanah dapat digambarkan sebagai sistem tiga fase yang terdiri dari butiran padat, udara, dan air, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Pembagian Fasa Elemen Tanah (Das, 1995)

Berdasarkan ilustrasi pada gambar tersebut, tanah memiliki volume total (V) dan berat total (W). Data parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium maupun pengujian lapangan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui karakteristik tanah secara lebih mendalam. Salah satu parameter yang digunakan dalam analisis tersebut adalah angka pori.

3.2.1 Angka Pori

Angka pori menunjukkan besarnya ruang kosong atau pori-pori yang terdapat di dalam tanah jika dibandingkan dengan volume butiran padatnya. Ruang pori tersebut dapat terisi oleh air maupun udara, sehingga berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik tanah. Angka pori merupakan salah satu parameter hubungan volume tanah yang umum digunakan dalam mekanika tanah, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori (V_v) dan volume butiran padat (V_s) yang didefinisikan sebagai angka pori (e).

3.2.2 Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori terhadap volume total tanah. Parameter ini menggambarkan besarnya proporsi ruang kosong di dalam massa tanah dan umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase dengan simbol n . Nilai porositas menunjukkan seberapa besar bagian tanah yang dapat terisi oleh air atau udara.

3.2.3 Kadar Air

Kadar air (*water content*), yang dilambangkan dengan w , didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air yang terkandung di dalam tanah dengan berat butiran padat tanah pada volume contoh yang diuji. Penentuan kadar air dilakukan melalui pengujian laboratorium dan merupakan parameter dasar yang juga berkaitan dengan perhitungan angka pori, porositas, derajat kejenuhan, serta berat jenis tanah

3.2.4 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (*degree of saturation*) merupakan perbandingan antara volume air dengan volume pori di dalam tanah. Nilai ini menunjukkan tingkat keterisian pori-pori tanah oleh air dan biasanya dinyatakan dalam persentase.

3.2.5 Berat Jenis Tanah Basah

Berat jenis tanah basah (*moist unit weight*) adalah perbandingan antara berat total tanah, yang terdiri dari berat butiran padat dan berat air, terhadap volume total tanah. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah di lapangan yang masih mengandung air.

3.2.6 Berat Jenis Tanah Kering

Berat jenis tanah kering (*dry unit weight*) merupakan perbandingan antara berat tanah kering dengan volume total tanah. Nilai ini diperoleh dari hasil pengujian laboratorium pada kondisi tanah kering dan digunakan dalam analisis pemadatan serta daya dukung tanah. Berat jenis tanah kering dapat dihitung menggunakan

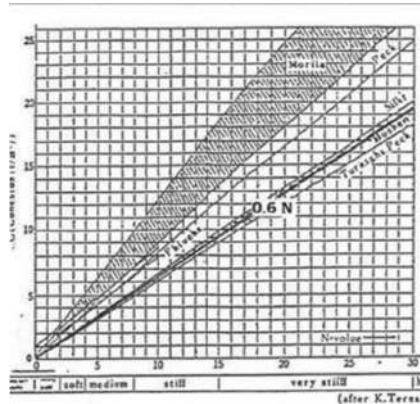
3.2.7 Berat Volume Tanah Jenuh

Berat volume tanah jenuh (*saturated unit weight*), yang dilambangkan dengan γ_{sat} , merupakan perbandingan antara berat total tanah dalam kondisi jenuh terhadap volume total tanah. Kondisi jenuh terjadi ketika seluruh pori-pori tanah terisi oleh air, sehingga tidak terdapat udara di dalam rongga tanah. Parameter ini sangat penting dalam analisis tegangan tanah, khususnya pada perhitungan tegangan efektif dan daya dukung fondasi yang berada di bawah muka air tanah. Nilai berat volume tanah jenuh digunakan dalam perhitungan tekanan tanah dan tegangan efektif, terutama pada lapisan tanah jenuh air yang berpengaruh langsung terhadap kinerja fondasi tiang. Penggunaan parameter ini menjadi krusial dalam analisis fondasi pada kondisi muka air tanah tinggi, karena akan memengaruhi besarnya tegangan yang bekerja pada tanah di sekitar tiang fondasi.

3.2.8 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik-menarik antar partikel tanah yang berperan sebagai salah satu parameter utama dalam menentukan kuat geser tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi memengaruhi kemampuan tanah dalam menahan deformasi akibat kombinasi tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja. Parameter kohesi sangat penting dalam analisis stabilitas tanah serta perencanaan fondasi, khususnya pada tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau. Nilai kohesi tanah dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium, seperti *Triaxial Test*

dan *Direct Shear Test*. Namun, dalam kondisi keterbatasan data laboratorium, nilai kohesi juga dapat diperkirakan berdasarkan data pengujian lapangan, salah satunya menggunakan nilai *Standard Penetration Test* (SPT). Pendekatan korelasi sendiri bisa berdasarkan persamaan pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Korelasi Nilai Kohesi (C_u) Dengan Nilai N-SPT (K. Terzaghi, 1943)

Pada grafik yang tertera pada Gambar 3.1 tertulis sebuah pendekatan antara nilai kohesi dan nilai N-SPT yakni dapat ditulis pada Persamaan (3.1) sebagai berikut.

$$C_u = 0,6 \times N_{spt} \quad (3.1)$$

Dengan,

C_u = kohesi tanah (kPa)

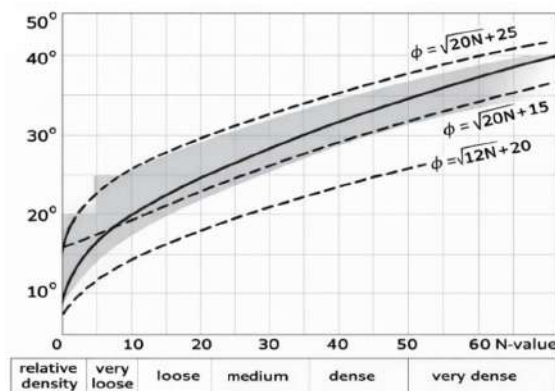
N_{SPT} = nilai pukulan SPT

Nilai kohesi yang diperoleh dari korelasi Terzaghi ini memberikan estimasi awal sifat kuat geser tanah dan umumnya digunakan pada tahap perencanaan awal. Meskipun bersifat empiris, pendekatan ini cukup representatif apabila dikombinasikan dengan pemahaman kondisi tanah setempat serta digunakan secara konservatif dalam analisis daya dukung fondasi tiang. Pada dasarnya pendekatan ini digunakan secara praktis dalam kegunaannya, namun pada esensinya

pendekatan korelasi ini didasari oleh persebaran analisis regresi dari nilai kohesi dengan nilai NSPT yang nantinya didapati nilai korelasi antara kohesi dan NSPT.

3.2.9 Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam (*internal friction angle*), yang dilambangkan dengan ϕ , merupakan parameter kuat geser tanah yang menggambarkan besarnya tahanan gesek antar butiran tanah akibat pembebanan. Bersama dengan kohesi, sudut geser dalam menentukan besarnya kuat geser tanah terhadap kombinasi tegangan normal dan tegangan geser. Parameter ini sangat berpengaruh pada analisis stabilitas tanah serta perhitungan daya dukung fondasi, khususnya pada tanah berbutir kasar dan tanah non-kohesif. Nilai sudut geser dalam dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium, seperti *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*. Namun, apabila data hasil pengujian laboratorium terbatas, nilai sudut geser dalam dapat diperkirakan berdasarkan data pengujian lapangan, salah satunya melalui korelasi empiris menggunakan nilai *Standard Penetration Test* (SPT). Meyerhof mengusulkan hubungan empiris antara nilai pukulan SPT dan sudut geser dalam tanah yang banyak digunakan dalam perencanaan geoteknik. Untuk korelasi antara nilai Nspt dan nilai sudut geser dalam dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Korelasi Antara Nilai Nspt Dengan Nilai Sudut Geser Dalam (Dunham, 1954)

Secara empiris, sudut geser dalam tanah dapat diperkirakan menggunakan Persamaan (3.2) sebagai berikut:

$$\varphi = \sqrt{12 \times N_{spt}} + 15 \quad (3.2)$$

dengan:

φ = sudut geser dalam tanah (°)

N_{SPT} = nilai pukulan SPT

Korelasi ini umumnya digunakan untuk tanah non-kohefif dan tanah berbutir kasar, serta memberikan pendekatan awal yang cukup representatif dalam analisis geoteknik. Nilai sudut geser dalam yang diperoleh dari korelasi ini perlu digunakan secara hati-hati dan konservatif, terutama pada lapisan tanah dengan variasi kondisi lapangan yang signifikan. Nilai sudut geser dalam selanjutnya digunakan dalam perhitungan kapasitas daya dukung dan analisis stabilitas fondasi tiang, baik secara analitis maupun melalui pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak.

3.2.10 Modulus Elastisitas Tanah

Modulus elastisitas tanah (*modulus of elasticity*), yang dilambangkan dengan E_s , merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekakuan tanah terhadap deformasi elastis akibat pembebanan. Nilai modulus elastisitas menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan tanah pada kondisi kerja tertentu. Parameter ini sangat penting dalam analisis penurunan fondasi, baik untuk perhitungan secara analitis maupun pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Modulus elastisitas tanah dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium dan pengujian lapangan, seperti *Plate Load Test* dan *Pressuremeter Test*. Namun, dalam banyak kasus, keterbatasan data pengujian menyebabkan nilai modulus elastisitas tanah diperkirakan melalui korelasi empiris berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT). Meyerhof mengemukakan hubungan empiris antara nilai pukulan SPT dan modulus elastisitas tanah yang banyak digunakan dalam perencanaan geoteknik. Pendekatan nilai modulus elastisitas tanah ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Pendekatan Nilai Modulus Elastisitas Tanah (Look,2007)

Jenis Tanah	Kondisi Tanah	Modulus Elastisitas, E (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)
		Jangka Pendek	Jangka Panjang
Kerikil	Lepas	25–50	–
	Sedang	50–100	–
	Padat	100–200	–
Pasir sedang hingga kasar	Sangat lepas	<5	–
	Lepas	3–10	–
	Kepadatan sedang	8–30	–
	Padat	25–50	–
	Sangat padat	40–100	–
Pasir halus	Lepas	5–10	–
	Sedang	10–25	–
	Padat	25–50	–
Lanau	Lunak	<10	<8
	Kaku	10–20	8–15
	Keras	>20	>15
Lempung	Sangat lunak	<3	<2
	Lunak	2–7	1–5
	Agak kaku	5–12	4–8
	Kaku	10–25	7–20
	Sangat kaku	20–50	15–35
	Keras	40–80	30–60

3.2.11 Angka Poisson Tanah (Poisson's Ratio)

Angka *Poisson* (*Poisson's ratio*), yang dilambangkan dengan ν , merupakan perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial akibat pembebanan pada suatu material. Pada tanah, angka *Poisson* menggambarkan kecenderungan

tanah untuk mengalami deformasi ke samping ketika diberi beban vertikal. Parameter ini berperan penting dalam analisis deformasi tanah dan perhitungan penurunan fondasi, terutama pada pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga. Nilai angka *Poisson* tanah umumnya berkisar antara 0 hingga 0,5. Nilai yang mendekati 0,5 menunjukkan kondisi tanah yang hampir tidak mengalami perubahan volume (*undrained condition*), sedangkan nilai yang lebih kecil mencerminkan perilaku tanah yang lebih mudah mengalami perubahan volume akibat pembebanan. Penentuan nilai angka *Poisson* dapat dilakukan melalui pengujian laboratorium, seperti *triaxial test*, atau melalui pendekatan empiris berdasarkan jenis tanah dan kondisi kepadatan atau konsistensinya. Dalam praktik perencanaan geoteknik, khususnya apabila data hasil pengujian laboratorium terbatas, nilai angka *Poisson* sering ditentukan berdasarkan kisaran nilai yang direkomendasikan dalam literatur teknis. Untuk penggunaannya nilai *poisson* tanah dapat digunakan pendekatan pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Nilai Poisson's Rasio Dengan Jenis Tanah (Bowles,1977)

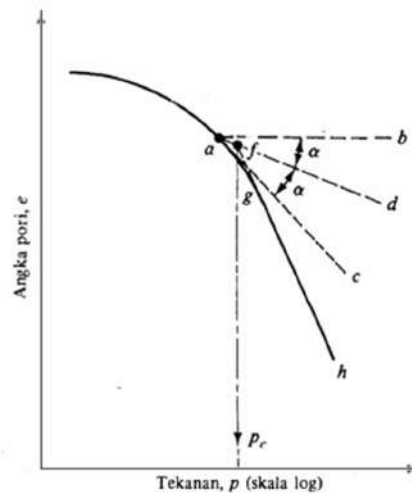
Jenis Tanah	Nilai Poisson's Ratio
Lempung Jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir padat	0,2-0,4
Pasir kasar ($e = 0,4-0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4-0,7$)	0,25
Batu	0,1-0,4
Loess	0,1-0,3

3.2.12 Overconsolidation Ratio (OCR)

Overconsolidation Ratio (OCR) merupakan parameter tanah yang menunjukkan riwayat pembebanan tanah, yaitu perbandingan antara tegangan efektif prakonsolidasi dengan tegangan efektif overburden saat ini. Nilai OCR dirumuskan pada Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\text{OCR} = \frac{p'_c}{p'_o} \quad (3.3)$$

Berdasarkan nilai OCR, tanah diklasifikasikan menjadi *normally consolidated* ($\text{OCR} \approx 1$) dan *overconsolidated* ($\text{OCR} > 1$). Tanah *normally consolidated* cenderung lebih lunak dan mengalami penurunan yang lebih besar, sedangkan tanah *overconsolidated* bersifat lebih kaku dan menunjukkan penurunan yang relatif kecil. Nilai tegangan prakonsolidasi umumnya diperoleh dari uji konsolidasi satu dimensi (oedometer) dengan metode interpretasi kurva konsolidasi. Dalam analisis fondasi, OCR berpengaruh terhadap kekakuan tanah, besarnya penurunan, serta respons tanah terhadap pembebanan struktur. Tanah dengan nilai OCR yang lebih besar umumnya memiliki stabilitas yang lebih baik terhadap beban tambahan. Nilai p'_c dan p'_o didapat dari grafik e vs $\log p$ yang mana dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Grafik e vs log p (Das, 1995)

3.2.13 Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser dan umumnya dinyatakan dengan parameter kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan kriteria Mohr–Coulomb. Parameter kuat geser dapat dinyatakan dalam kondisi total maupun efektif, tergantung pada kondisi pembebanan dan drainase tanah. Parameter kohesi total (c) dan sudut geser total (ϕ) digunakan pada analisis yang tidak mempertimbangkan tekanan air pori secara terpisah, umumnya pada kondisi pembebanan cepat atau tanah jenuh *undrained*. Pada tanah lempung jenuh, sudut geser total sering diasumsikan mendekati nol sehingga kuat geser tanah terutama dipengaruhi oleh nilai kohesi total.

Parameter kohesi efektif (c') dan sudut geser dalam efektif (ϕ') digunakan pada analisis yang mempertimbangkan tegangan efektif tanah. Parameter ini mencerminkan perilaku geser tanah dalam kondisi drainase dan lebih merepresentasikan sifat mekanik tanah yang sebenarnya. Nilai c' dan ϕ' umumnya diperoleh dari hasil pengujian laboratorium *drained* atau *consolidated undrained* dengan pengukuran tekanan air pori. Dalam analisis geoteknik, khususnya perencanaan fondasi tiang dan analisis stabilitas jangka panjang, penggunaan parameter c' dan ϕ' lebih disarankan karena mencerminkan kondisi tegangan efektif tanah. Pemilihan parameter kuat geser harus disesuaikan dengan jenis tanah, kondisi pembebanan, serta data hasil pengujian lapangan dan laboratorium. Dalam hubungannya kedua parameter c dan ϕ atau c' dan ϕ' dihubungkan pada satu rumus tegangan geser (τ), untuk persamaanya dapat dilihat pada Persamaan (3.4) dan (3.5) sebagai berikut.

$$T = c + \sigma \tan \phi \quad (3.4)$$

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi' \quad (3.5)$$

Perbedaan dari nilai c total dengan c' dan ϕ dengan ϕ' adalah pada uji laboratorium c dan ϕ total didapat dari uji triaksial *undrained* (kondisi air pori

termampat) sedangkan c' dan ϕ' didapat dari uji triaksian *undrained* dengan memperhitungkan tekanan air pori.

3.2.14 Koefisien Permeabilitas

Koefisien permeabilitas (k) merupakan parameter tanah yang menyatakan kemampuan tanah untuk meloloskan air melalui pori-porinya. Permeabilitas tanah sangat dipengaruhi oleh ukuran butiran, gradasi, struktur tanah, serta tingkat kejenuhan. Parameter ini berperan penting dalam analisis aliran air tanah, konsolidasi, dan perilaku tanah jenuh. Secara umum, koefisien permeabilitas dinyatakan berdasarkan *hukum Darcy* (Das, 1995), yang menyatakan bahwa kecepatan aliran air sebanding dengan gradien hidraulik. Nilai koefisien permeabilitas memiliki satuan panjang per waktu, seperti m/s atau cm/s, dan bervariasi sangat luas antar jenis tanah.

Tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil memiliki nilai koefisien permeabilitas yang relatif besar karena ukuran pori yang besar dan saling terhubung, sedangkan tanah berbutir halus seperti lanau dan lempung memiliki permeabilitas yang rendah akibat ukuran pori yang kecil. Pada tanah lempung, aliran air berlangsung sangat lambat sehingga permeabilitas berpengaruh signifikan terhadap lamanya proses konsolidasi. Nilai koefisien permeabilitas dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium, seperti uji *constant head* dan *falling head*, serta melalui pengujian lapangan atau korelasi empiris berdasarkan jenis tanah. Dalam analisis geoteknik, parameter ini digunakan untuk mengevaluasi aliran air tanah, tekanan air pori, dan penurunan tanah akibat konsolidasi. Dalam pendekatannya sendiri menurut Cassagrande dan Fadun pada tahun 1993 melakukan pendekatan jenis tanah dan nilai koefisien permeabilitas (k) yang dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Koefisien Permeabilitas Tanah (Look, 2007)

K (cm/s)	Jenis Tanah	Kondisi Drainase
10^1-10^2	<i>Clean gravel</i>	Baik
$10^{-5}-10^{-6}$	<i>Clean sand</i>	Baik

Lanjutan Tabel 3.3 Koefisien Permeabilitas Tanah (Look, 2007)

K (cm/s)	Jenis Tanah	Kondisi Drainase
10^{-4}	<i>Clean sand and gravel mixtures</i>	Baik
10^{-5}	<i>Very fine sand</i>	Baik
10^{-9}	<i>Silt</i>	Buruk
10^{-11} - 10^{-12}	<i>Clay Soils</i>	Dapat Menahan Air

3.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Dalam praktik teknik sipil, sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan antara lain *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), yang masing-masing memiliki pendekatan dan tujuan yang berbeda namun saling melengkapi. Penggunaan kedua sistem klasifikasi tersebut dalam penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai karakteristik tanah di lokasi penelitian sebagai dasar dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi pada tahap perencanaan.

3.3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS)

Unified Soil Classification System (USCS) merupakan sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam bidang teknik sipil dan geoteknik, khususnya dalam perencanaan fondasi. Sistem ini mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran butir, distribusi gradasi, serta sifat plastisitas tanah. Secara umum, klasifikasi tanah menurut USCS dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse-Grained Soils*)

Tanah berbutir kasar adalah tanah yang memiliki lebih dari 50% butiran tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Kelompok ini terdiri atas tanah kerikil (gravel) dan pasir (sand) yang masing-masing diberi simbol G dan S. Tanah berbutir kasar selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan kondisi gradasinya menjadi tanah bergradasi baik (*well-graded*, W) dan tanah bergradasi buruk (*poorly-graded*, P). Apabila tanah berbutir kasar

mengandung fraksi halus berupa lanau atau lempung, maka ditambahkan simbol M (silt) atau C (clay) sesuai dengan sifat plastisitasnya.

2. Tanah Berbutir Halus (*Fine-Grained Soils*)

Tanah berbutir halus merupakan tanah yang memiliki lebih dari 50% butiran lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Kelompok tanah ini umumnya terdiri dari lanau (*silt*) dan lempung (*clay*), yang masing-masing diberi simbol M dan C. Klasifikasi tanah berbutir halus dalam sistem USCS didasarkan pada hasil pengujian batas Atterberg, yaitu batas cair (*liquid limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index*). Berdasarkan nilai tersebut, tanah berbutir halus dibedakan menjadi plastisitas rendah (L) dan plastisitas tinggi (H), sehingga diperoleh klasifikasi seperti CL, CH, ML, dan MH.

3. Tanah Organik dan Gambut (*Peat*)

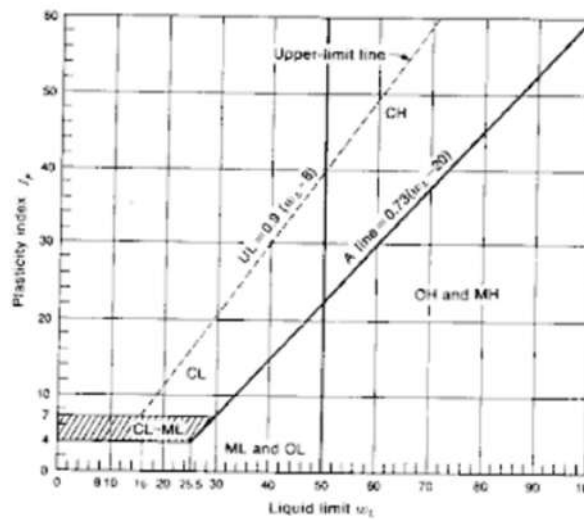
Selain tanah mineral, sistem USCS juga mengklasifikasikan tanah organik, yang ditandai dengan simbol O, serta tanah sangat organik atau gambut, yang ditandai dengan simbol Pt. Tanah jenis ini umumnya memiliki kandungan bahan organik yang tinggi sehingga bersifat sangat kompresibel dan memiliki daya dukung yang rendah. Oleh karena itu, keberadaan tanah organik perlu mendapat perhatian khusus dalam perencanaan fondasi karena dapat memengaruhi stabilitas dan penurunan tanah secara signifikan.

Untuk lebih jelasnya klasifikasi tanah berdasarkan USCS dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih (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 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
		GP		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
		GC		
	Pasir lebih dari 50% (tidak kasar lebih dari fraksi kasar halus no. 4 (4.75 mm))	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	
		SM		
		SC		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih (0.075 mm)	Lempung dan lempung liat > 50% atau kurang	ML	Diagram plastisitas untuk mengklasifikasi tanah berbutir halus yang mengandung pasir, lempung berakumulasi, lempung berpasir, lempung berakumulasi, lempung liat ("lean clay") Batas-batas Atterberg yang berbeda dalam arah yang berbeda sesuai dengan klasifikasinya menggunakan dua simbol	
		CL		
		OL		
	Lempung dan lempung liat < 50%	MH		
		CH		
		OH		
Tanah dengan kadar organik tinggi	Fi			

Gambar 3. 5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*

Untuk hubungan klasifikasi tanah dengan nilai indeks plastisitasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Hubungan LL dan PI (Hardiyatmo, 2002)

3.4 Klasifikasi Kekerasan Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT

Uji Standard Penetration Test (SPT) merupakan salah satu pengujian lapangan yang paling umum digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah. Nilai N-SPT diperoleh dari jumlah pukulan palu standar yang diperlukan untuk menembus tanah sedalam 30 cm, dan digunakan sebagai indikator kepadatan tanah berbutir kasar serta kekonsistenan tanah berbutir halus. Nilai N-SPT dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis dan kondisi tanah secara empiris. Pada tanah berbutir kasar seperti pasir, nilai N-SPT mencerminkan tingkat kepadatan relatif, sedangkan pada tanah berbutir halus seperti lempung, nilai N-SPT menggambarkan tingkat kekonsistenan tanah.

3.4.1 Klasifikasi Tanah Pasir Berdasarkan Nilai N-SPT

Klasifikasi tanah selain didasarkan pada tekstur dan distribusi ukuran butir, juga dapat ditinjau berdasarkan parameter hasil pengujian lapangan. Pada tanah pasir, salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah klasifikasi berdasarkan nilai N-SPT, yang mencerminkan tingkat kepadatan relatif tanah. Menurut AASHTO (1988), klasifikasi tanah pasir berdasarkan nilai N-SPT dapat dinyatakan dalam beberapa kategori kepadatan sebagaimana diuraikan sebagai berikut..

Tabel 3. 4 Korelasi N-SPT Dengan Jenis Kepadatan Tanah Pasir (AASHTO, 1988)

N-SPT	Kepadatan Relatif
0-4	<i>Very Loose</i>
5-10	<i>Loose</i>
11-24	<i>Medium Dense</i>
25-50	<i>Dense</i>
>50	<i>Very Dense</i>

3.4.2 Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Nilai N-SPT

Pada tanah lempung sendiri tentunya sama dengan halnya tanah pasir yakni memiliki korelasi antara nilai N-SPT dengan kepadatan tanah lempung yang terbagi

menjadi 7 jenis kekerasan, klasifikasi berdasarkan nilai N-SPT berdasarkan AASHTO 1988 dinyatakan sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Korelasi N-SPT Dengan Jenis Kepadatan Tanah Lempung (AASHTO, 1988)

N-SPT	Konsistensi
0-1	<i>Very Soft</i>
2-4	<i>Soft</i>
5-8	<i>Medium Stiff</i>
9-15	<i>Stiff</i>
16-30	<i>Very Stiff</i>
31-60	<i>Hard</i>
>60	<i>Very Hard</i>

3.4.3 Peranan Nilai N-SPT Dalam Analisis Geoteknik

Dalam analisis geoteknik, nilai N-SPT digunakan sebagai dasar untuk:

1. mengidentifikasi jenis dan kondisi tanah,
2. memperkirakan parameter tanah seperti sudut geser dalam, kohesi, dan modulus elastisitas,
3. menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi.

Meskipun bersifat empiris, penggunaan nilai N-SPT sangat membantu dalam perencanaan fondasi, terutama apabila data pengujian laboratorium terbatas. Oleh karena itu, interpretasi nilai N-SPT harus disesuaikan dengan jenis tanah dan kondisi lapangan.

3.5 Fondasi Dalam

Fondasi dalam merupakan jenis fondasi yang digunakan apabila lapisan tanah keras tidak berada dekat dengan permukaan tanah, sehingga beban struktur harus disalurkan ke lapisan tanah yang lebih dalam. Fondasi ini umumnya digunakan pada bangunan bertingkat, struktur dengan beban besar, atau kondisi tanah

permukaan yang memiliki daya dukung rendah. Fondasi dalam bekerja dengan cara meneruskan beban struktur ke tanah melalui daya dukung ujung (*end bearing*) dan/atau daya dukung selimut (*skin friction*). Pemilihan jenis fondasi dalam dipengaruhi oleh kondisi tanah, besar beban struktur, metode pelaksanaan, serta lingkungan sekitar lokasi proyek.

Jenis fondasi dalam yang umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi antara lain fondasi tiang pancang, fondasi *bored pile* dan fondasi sumuran (*caisson*). Dalam analisis geoteknik, perencanaan fondasi dalam mencakup evaluasi daya dukung fondasi dan penurunan (*settlement*) yang terjadi akibat pembebanan. Perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi dalam sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah, seperti nilai N-SPT, kohesi, sudut geser dalam, serta modulus elastisitas tanah. Fondasi dalam banyak digunakan pada proyek pembangunan rumah sakit karena mampu memberikan stabilitas yang baik, mengurangi risiko penurunan berlebih, dan menyalurkan beban struktur secara aman ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Fondasi tiang pancang maupun *bored pile* digunakan pada bangunan apabila tanah pendukung di dekat permukaan tidak mampu menahan beban struktur, atau ketika lapisan tanah keras berada pada kedalaman yang cukup besar sehingga tidak memungkinkan penggunaan fondasi dangkal (Sardjono, 1988). Kedua jenis fondasi tersebut umumnya berbentuk prisma atau silinder, tergantung pada metode pelaksanaan dan kebutuhan struktur.

Tiang pancang diproduksi terlebih dahulu di lokasi tertentu sebagai elemen pracetak, kemudian dipindahkan dan dipasang di lokasi proyek. Sebaliknya, *bored pile* dibuat langsung di lokasi konstruksi dengan cara melakukan pengeboran tanah, dilanjutkan dengan pemasangan tulangan dan pengecoran beton. Secara umum, diameter fondasi tiang berkisar antara 300–600 mm untuk bangunan bertingkat rendah, 800–1200 mm untuk bangunan bertingkat tinggi, serta dapat mencapai 1500–2500 mm pada proyek infrastruktur berskala besar seperti jembatan dan bendungan.

Bored pile memiliki beberapa keunggulan, di antaranya tingkat getaran dan kebisingan yang relatif kecil selama pelaksanaan, sehingga sesuai untuk proyek di

kawasan padat penduduk. Selain itu, *bored pile* dapat menembus lapisan tanah keras atau berbatu dan memiliki kapasitas dukung yang besar karena diameter tiang dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur. Metode ini juga tidak menyebabkan pemadatan tanah di sekitar lokasi pekerjaan, sehingga memberikan fleksibilitas dalam perencanaan. Namun demikian, proses pelaksanaan bored pile umumnya membutuhkan waktu yang lebih lama karena melibatkan tahapan pengeboran, pemasangan tulangan, dan pengecoran beton. Kualitas beton juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama pada lokasi dengan muka air tanah yang tinggi. Dari segi biaya, penggunaan bored pile pada proyek berskala kecil cenderung lebih mahal karena memerlukan peralatan khusus dan tenaga kerja yang berpengalaman.

Tiang pancang merupakan fondasi yang dipasang dengan cara dipukul atau ditekan ke dalam tanah menggunakan alat pemancang seperti hammer atau hydraulic jack. Keunggulan utama tiang pancang terletak pada kecepatan dan efisiensi pelaksanaan, karena menggunakan elemen pracetak dengan mutu beton yang lebih terkontrol. Fondasi ini efektif digunakan pada tanah lunak atau tidak stabil karena mampu menyalurkan beban hingga ke lapisan tanah yang lebih keras. Namun, proses pemancangan menimbulkan getaran dan kebisingan yang cukup besar, sehingga kurang sesuai untuk area yang berdekatan dengan bangunan eksisting. Selain itu, dimensi tiang pancang relatif terbatas dan penggunaannya kurang optimal pada tanah yang mengandung batuan besar. Proses pemancangan juga dapat menyebabkan pemadatan tanah di sekitar area proyek yang berpotensi memengaruhi struktur di sekitarnya.

Pemilihan jenis fondasi antara *bored pile* dan tiang pancang harus mempertimbangkan kondisi tanah, karakteristik lingkungan, kebutuhan struktur, serta aspek biaya dan efisiensi pelaksanaan. *Bored pile* lebih disarankan untuk proyek di kawasan padat penduduk dengan kebutuhan daya dukung besar dan desain yang fleksibel, sedangkan tiang pancang lebih sesuai untuk proyek di area terbuka yang memerlukan waktu pelaksanaan lebih cepat, khususnya pada kondisi tanah lunak.

3.6 Daya Dukung Fondasi Dalam

Kapasitas daya dukung tiang menunjukkan kemampuan fondasi tiang dalam menahan dan meneruskan beban struktur ke tanah pendukung (Hardiyatmo, 2011). Penentuan kapasitas daya dukung tiang dalam perencanaan geoteknik umumnya dibedakan menjadi kapasitas tiang tunggal (*single pile*) dan kapasitas kelompok tiang (*pile group*), tergantung pada konfigurasi dan jumlah tiang yang digunakan. Berdasarkan mekanisme pemikul beban, fondasi tiang dapat diklasifikasikan ke dalam dua jenis utama (Hardiyatmo, 2002), yaitu tiang dukung ujung dan tiang geser. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) merupakan tiang yang kapasitas dukungnya terutama ditentukan oleh tahanan pada ujung tiang. Jenis tiang ini umumnya digunakan pada kondisi tanah lunak yang berada di atas lapisan tanah keras. Tiang dipasang hingga mencapai lapisan keras atau batuan dasar yang mampu menahan beban struktur tanpa menimbulkan penurunan yang signifikan. Dengan demikian, kapasitas daya dukung tiang sangat bergantung pada kekuatan lapisan tanah keras di bawah ujung tiang.

Tiang geser (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya terutama ditentukan oleh gaya gesek antara permukaan tiang dan tanah di sekelilingnya. Pada kondisi ini, beban struktur disalurkan secara bertahap ke tanah melalui interaksi geser sepanjang selimut tiang, sehingga kontribusi tahanan ujung relatif lebih kecil dibandingkan tahanan selimut.

3.6.1 Kapasitas Daya Ujung Tiang Tunggal Pancang Berdasarkan Nilai N-SPT

Kapasitas dukung tiang tunggal menggambarkan kemampuan satu elemen tiang pancang dalam memikul beban yang bekerja. Pada pembahasan ini, penentuan kapasitas dukung tiang tunggal didasarkan pada data hasil penyelidikan tanah melalui uji Standard Penetration Test (SPT). Tahapan perhitungan meliputi penentuan daya dukung ujung tiang, daya dukung selimut tiang, kapasitas dukung ultimit, serta kapasitas dukung yang diizinkan. Dalam praktik perencanaan, terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang tunggal.

1. Kondisi Tanah Lempung

Pada kondisi tanah lempung, umumnya korelasi N-SPT sendiri didasari pada korelasi N-SPT kepada nilai kohesi (Terzaghi,1943),nilai kohesi ini bisa didapat dari data laboratrium. Untuk korelasi sendiri sebenarnya bisa dilakukan dengan analisis regresi yang mana didapat dari persebaran data NSPT dan nilai kohesi dari laboratorium, selain itu nilai kohsei juga dapat dijabarkan pada Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$C_u = 0,6 \times \text{N-SPT} \quad (3.6)$$

dengan,

C_u = Nilai Kohesi (kPa)

N-SPT = Nilai N-SPT di suatu lapisan

Persamaan 3.6 tersebut tidaklah selalu memiliki konstanta 0,6 hal tersebut bergantung pada uji triaksial berapa nilai kohesi lalu dibuat seperti korelasi analisis regresi untuk menghubungkan persamaan antara nilai N-SPT dengan nilai kohesi. Adapun nilai nilai q_p untuk nilai satuan tegangan geser tanah tiap m^2 dapat dijabarkan pada Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$q_p = 9 \times C_u \quad (3.7)$$

dengan,

q_p = Tahanan ujung tiang per luasan 1 meter persegi (kPa)

C_u = Nilai kohesi (kPa)

Pada tanah lempung jenuh yang dianalisis dalam kondisi *undrained*, perilaku kuat geser tanah dikendalikan oleh kohesi *undrained* (c_u) dengan sudut geser dalam yang diasumsikan bernilai nol ($\phi = 0$). Berdasarkan teori daya dukung klasik yang dikembangkan dalam mekanika tanah, nilai faktor daya dukung ujung untuk tanah kohesif murni pada kondisi tersebut adalah $N_c = 9$. Oleh karena itu, tekanan ujung ultimit tiang (q_p) dapat dinyatakan sebagai hasil

perkalian antara kohesi tanah dan faktor daya dukung ujung, sehingga diperoleh hubungan $q_p = 9c_u$. Nilai ini merepresentasikan kondisi ultimit, yaitu saat tanah di bawah ujung tiang mencapai keadaan keruntuhan geser, sehingga dalam penerapannya untuk keperluan perencanaan perlu dibagi dengan faktor keamanan yang sesuai agar diperoleh nilai daya dukung yang diizinkan. Nilai Q_p (*End Bearing*) berarti nilai satuan total dari luasan ujung tiang. Untuk lebih jelasnya dapat dijabarkan pada Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (3.8)$$

Dengan,

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luasan ujung tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung tiang per luasan 1 meter persegi (kPa)

2. Kondisi Tanah Pasir

Tahanan ujung tiang pancang pada tanah pasir berdasarkan metode Meyerhof ditentukan dari nilai Standard Penetration Test (SPT) yang merepresentasikan kondisi kepadatan tanah di sekitar ujung tiang. Tekanan ujung tiang per satuan luas dihitung menggunakan Persamaan (3.9).

$$q_p = 40 \times N(t/m^2) \leq 1600 (t/m^2) \quad (3.9)$$

Dimana,

q_p = tekanan ujung tiang per satuan luas (t/m^2)

N = Nilai rerata N-SPT

Persamaan (3.9) digunakan untuk menentukan tekanan ujung tiang pancang per satuan luas (q_p) pada tanah pasir berdasarkan metode Meyerhof (1956) yang mengaitkan kapasitas dukung ujung dengan nilai N-SPT. Dalam persamaan ini, q_p dinyatakan sebagai fungsi langsung dari nilai N-SPT,

dengan koefisien empiris sebesar 40. Untuk menghindari nilai yang terlalu besar dan tidak realistis secara teknis, Meyerhof (1956) menetapkan batas maksimum tekanan ujung tiang sebesar 1.600 t/m². Pembatasan ini dimaksudkan agar hasil perhitungan tetap berada dalam kisaran yang aman dan representatif terhadap kondisi tanah pasir di lapangan. Sedangkan nilai N_d diperoleh dari rata-rata nilai N-SPT, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (3.10). sebagai berikut.

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (3.10)$$

Dengan,

N_1 = Nilai rata-rata N-SPT pada zona 10D di atas ujung tiang

N_2 = Nilai rata-rata N-SPT pada zona 4D di bawah ujung tiang

Selanjutnya, kapasitas dukung ujung tiang pancang dihitung dengan mengalikan tekanan ujung tiang dengan luas penampang ujung tiang, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3.11).

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (3.11)$$

Dengan:

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang pancang (kN)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m²)

3.6.2 Kapasitas Daya Selimut Tiang Tunggal Pancang Berdasarkan Nilai N-SPT

Kapasitas daya dukung selimut tiang pancang (Q_s) merupakan tahanan geser yang berkembang akibat interaksi antara permukaan selimut tiang dan tanah di sekitarnya sepanjang panjang tiang tertanam, di mana mekanisme pembentukannya sangat dipengaruhi oleh jenis tanah. Pada tanah lempung, tahanan selimut umumnya dikontrol oleh kuat geser undrained tanah yang direpresentasikan oleh kohesi, sedangkan pada tanah pasir, tahanan selimut berkembang akibat gesekan

antara permukaan tiang dan butiran tanah yang bergantung pada tingkat kepadatan serta sudut geser dalam tanah.

1. Kondisi Tanah Lempung

Pada tanah lempung, kapasitas daya dukung selimut tiang pancang ditentukan berdasarkan kuat geser undrained tanah yang direpresentasikan oleh nilai kohesi (c). Menurut rekomendasi API (1986), tegangan geser yang bekerja pada permukaan selimut tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.12) sebagai berikut.

$$\tau = \alpha \times c \quad (3.12)$$

Dimana,

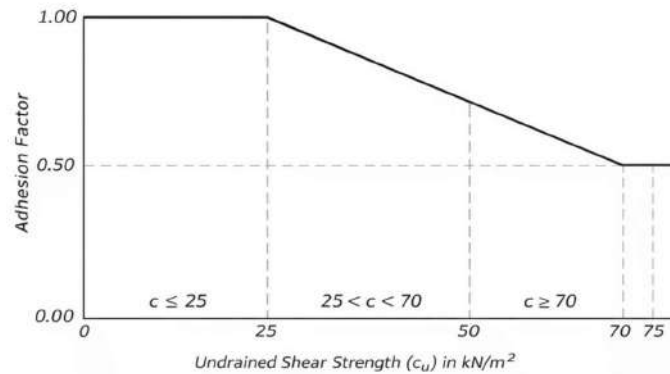
τ = Tegangan geser selimut tiang (kPa)

α = Faktor adhesi tanah–tiang

c = Kohesi tanah (kPa)

Nilai faktor adhesi (α) pada perhitungan kapasitas daya dukung selimut tiang pancang pada tanah lempung dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan rekomendasi *American Petroleum Institute* (API, 1986) untuk kondisi tiang pancang (driven pile). Nilai α diperoleh dari hubungan antara faktor adhesi dan kuat geser undrained tanah (c_u) yang disajikan dalam bentuk grafik, di mana besarnya α bergantung pada nilai c_u tanah di sekitar selimut tiang. Untuk tanah dengan nilai c_u rendah, faktor adhesi cenderung bernilai tinggi, sedangkan seiring dengan meningkatnya nilai c_u , faktor adhesi akan menurun secara bertahap hingga mencapai nilai konstan tertentu. Pendekatan ini mencerminkan bahwa pada tanah lempung yang lebih kaku, ikatan adhesi antara tanah dan permukaan tiang tidak berkembang secara proporsional terhadap peningkatan kuat geser tanah, sehingga penggunaan grafik API (1986) bertujuan menghasilkan nilai faktor adhesi yang lebih realistis dan aman dalam perhitungan tahanan selimut tiang pancang. Untuk lebih jelasnya

grafik faktor adhesi untuk tiang pancang dapat dijelaskan pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Nilai Korelasi Kohesi Dengan Faktor Adhesi Tiang Pancang (API , 1986)

2. Kondisi Tanah Pasir

Pada tanah pasir, kapasitas daya dukung selimut tiang pancang (Q_s) berkembang akibat mekanisme gesekan antara permukaan selimut tiang dan butiran tanah di sekitarnya pada kondisi *drained*. Besarnya tahanan selimut pada tanah pasir umumnya ditentukan oleh tegangan geser yang bergantung pada tegangan efektif tanah, sudut geser dalam tanah, serta karakteristik permukaan tiang, di mana peningkatan kepadatan tanah akan meningkatkan interaksi geser yang terjadi. Tidak seperti tanah lempung yang dikontrol oleh kohesi, pada tanah pasir kontribusi daya dukung selimut terutama berasal dari gaya gesek, sehingga nilai Q_s sangat dipengaruhi oleh tingkat kepadatan tanah dan nilai sudut geser dalam yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan, seperti *Standard Penetration Test* (SPT), yang digunakan sebagai dasar penentuan parameter geser tanah. Pada perhitungannya dengan korelasi nilai N-SPT hubungan antara nilai tegangan geser (τ) pada tiang pancang dengan nilai korelasi N-SPT dapat dijabarkan pada Persamaan 3.13 dan 3.14 sebagai berikut.

$$\tau = 0,1 \times N \quad (3.13)$$

Atau

$$\tau = 0,2 \times N \quad (3.14)$$

Dimana,

τ = Tegangan geser selimut tiang (kPa)

N = Nilai N-SPT rerata sepanjang lapisan

Pada tanah pasir, tegangan geser yang berkembang pada permukaan selimut tiang pancang ditentukan berdasarkan korelasi empiris dengan nilai Standard Penetration Test (SPT). Tegangan geser selimut tiang (τ) dapat diperkirakan sebagai fungsi langsung dari nilai N-SPT, di mana untuk kondisi perpindahan relatif yang kecil antara tiang dan tanah (*displacement* kecil), nilai tegangan geser dinyatakan sebesar $\tau = 0,1 \times N$ (t/m²), sedangkan untuk kondisi perpindahan relatif yang lebih besar (*displacement* besar), nilai tegangan geser meningkat menjadi $\tau = 0,2 \times N$ (t/m²). *Displacement* kecil menggambarkan kondisi awal pembebanan, ketika pergerakan tiang terhadap tanah masih terbatas sehingga mobilisasi gesekan selimut belum berkembang secara penuh. Sebaliknya, *displacement* besar merepresentasikan kondisi ketika terjadi pergerakan relatif yang lebih signifikan antara tiang dan tanah, sehingga gesekan selimut termobilisasi secara maksimum dan memberikan kontribusi daya dukung selimut yang lebih besar. Untuk alasan konservatif sering dipakai nilai $\tau = 0,1 \times N$ untuk perencanaan fondasi.. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) dapat dihitung dengan menjumlahkan kontribusi tahanan geser sepanjang selimut tiang, yang secara matematis dinyatakan Persamaan 3.15 sebagai berikut:

$$Q_s = \sum(\tau \times A_s) \quad (3.15)$$

Untuk tiang berbentuk silinder, luas selimut tiang (A_s) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian antara keliling tiang dan panjang segmen tiang yang

ditinjau, sehingga persamaan tersebut dapat dinyatakan Persamaan 3.16, 3.17, dan 3.18 sebagai berikut:

$$Q_s = \sum(2 \times \pi \times r \times \Delta L \times \tau) \quad (3.16)$$

atau ekuivalen dengan:

$$Q_s = \sum(\pi \times D \times \Delta L \times \tau) \quad (3.17)$$

Dengan:

Q_s = kapasitas daya dukung selimut tiang (kN)

τ = tegangan geser selimut tiang (kN/m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

r = jari-jari tiang (m)

D = diameter tiang (m)

ΔL = panjang segmen tiang pada tiap lapisan tanah (m)

S = Sisi persegi (m)

Persamaan ini menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung selimut tiang diperoleh dari akumulasi tahanan geser yang bekerja pada seluruh permukaan selimut tiang sepanjang panjang tertanamnya, dengan mempertimbangkan variasi kondisi tanah pada setiap lapisan.

3.6.3 Kapasitas Daya Ujung Tiang Tunggal Bor Berdasarkan Nilai N-SPT

Kapasitas daya dukung tiang bor dapat ditentukan berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT) dengan memanfaatkan korelasi empiris antara nilai N-SPT dan parameter kuat tanah. Data N-SPT digunakan untuk merepresentasikan kondisi kepadatan tanah pasir maupun konsistensi tanah lempung di sekitar dan di bawah tiang bor, yang selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Pada tanah pasir, nilai N-SPT dikorelasikan dengan parameter geser tanah untuk menentukan kontribusi gesekan selimut dan daya dukung ujung, sedangkan pada tanah lempung, nilai N-SPT digunakan untuk memperkirakan kuat geser undrained yang berpengaruh terhadap kapasitas daya dukung tiang. Dengan pendekatan ini, perhitungan kapasitas daya dukung tiang bor

dapat dilakukan secara praktis dan sistematis berdasarkan kondisi tanah hasil pengujian lapangan tanpa memerlukan pengujian laboratorium yang kompleks.

1. Kondisi Tanah Lempung

Pada kondisi tanah lempung daya dukung ujung tiang bor dapat ditentukan pada rumus empiris yang sama dengan Persamaan 3.18 yang dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$qp = 9 \times Cu \quad (3.18)$$

Dimana,

qp = Tekanan ujung tiang per satuan luas (t/m^2)

Cu = Nilai kohesi (kPa)

2. Kondisi Tanah Pasir

Pada kondisi tanah lempung daya dukung ujung tiang bor dapat ditentukan berdasarkan korelasi nilai Standard Penetration Test (SPT) menurut Reese & Wright (1977). Persamaan 3.16 dan rekomendasi NAVDOC, yang menyatakan bahwa tekanan ujung tiang per satuan luas berbanding lurus dengan nilai N-SPT, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 3.19 dan 3.20 sebagai berikut.

$$qp = 7 \times N \leq 400 \text{ (t/ m}^2\text{)} \quad (3.19)$$

Atau

$$qp = 13 \times N \leq 400 \text{ (t/ m}^2\text{)} \quad (3.20)$$

Dimana,

qp = Tekanan ujung tiang per satuan luas (t/m^2)

N = Nilai rata-rata N-SPT sesuai Persamaan 3.26

Kedua pendekatan ini di lapangan selalu dipilih yang lebih kecil untuk alasan konservatif serta lebih menjadi manajemen risiko untuk upaya preventif hal yang tidak diinginkan. Selanjutnya, kapasitas dukung ujung tiang bor

dihitung dengan mengalikan tekanan ujung tiang dengan luas penampang ujung tiang, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3.27).

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (3.21)$$

Dengan:

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang bor (kN)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m²)

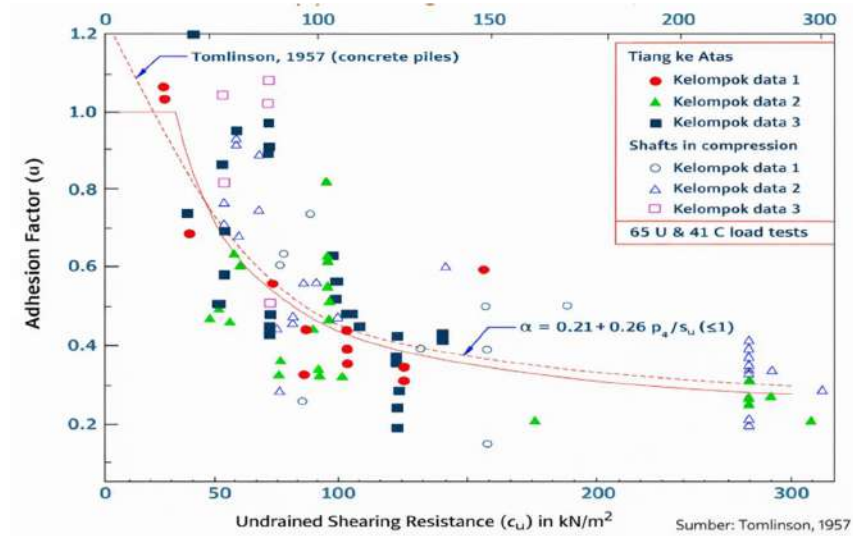
3.6.4 Kapasitas Daya Selimut Tiang Tunggal Bor Berdasarkan Nilai N-SPT

Kapasitas daya dukung selimut tiang bor (Q_s) merupakan komponen daya dukung yang berasal dari interaksi geser antara permukaan selimut tiang dan tanah di sekitarnya sepanjang panjang tiang yang tertanam. Berbeda dengan tiang pancang, mekanisme pembentukan tahanan selimut pada tiang bor sangat dipengaruhi oleh metode pelaksanaan pengeboran, kondisi dinding lubang bor, serta karakteristik tanah di sekeliling tiang. Oleh karena itu, dalam analisis kapasitas daya dukung tiang bor, kontribusi tahanan selimut perlu diperhitungkan secara cermat dengan mempertimbangkan kondisi tanah, parameter kuat geser tanah, serta hasil pengujian lapangan seperti Standard Penetration Test (SPT) sebagai dasar penentuan nilai tahanan selimut.

1. Kondisi Tanah Lempung

Pada tanah lempung, kapasitas daya dukung selimut tiang pancang dapat ditentukan berdasarkan hubungan antara tegangan geser selimut dan kohesi tanah dengan menggunakan faktor adhesi (α). Menurut pendekatan yang dikemukakan oleh M.J. Tomlinson (1957), tegangan geser selimut tiang (τ) dinyatakan sebagai hasil perkalian antara faktor adhesi dan kohesi tanah, yaitu $\tau = \alpha \times c$. Dalam metode ini, nilai faktor adhesi α dianggap sebagai konstanta yang merepresentasikan tingkat interaksi antara permukaan tiang dan tanah lempung di sekitarnya, sehingga perhitungan tahanan selimut menjadi lebih sederhana. Pendekatan Tomlinson banyak digunakan dalam perencanaan fondasi tiang karena mudah diterapkan dan memberikan estimasi konservatif terhadap kapasitas daya dukung selimut tiang pada

kondisi tanah lempung jenuh.. Pendekatan nilai faktor adhesi menurut Tomlinson (1957) dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3. 8 Korelasi Nilai Faktor Adhesi Dengan Nilai Kohesi (Tomlinson, 1957)

Berdasarkan grafik hubungan antara faktor adhesi (α) dan kuat geser undrained tanah (c_u) menurut M.J. Tomlinson (1957), nilai faktor adhesi untuk tiang bor pada tanah lempung dapat ditentukan menggunakan hubungan empiris yang diturunkan dari hasil uji beban lapangan. Hubungan tersebut dinyatakan dalam Persamaan (3.22), yaitu:

$$\alpha = 0,21 + 0,26 \frac{p_a}{s_u} \leq 1,0 \quad (3.22)$$

Di mana,

p_a = tekanan atmosfer standar (≈ 100 kPa)

s_u = kuat geser undrained tanah.

Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai faktor adhesi berbanding terbalik dengan kuat geser undrained tanah, sehingga pada tanah lempung lunak nilai α cenderung lebih besar, sedangkan pada tanah lempung yang lebih kaku nilai

α akan menurun dan dibatasi agar tidak melebihi satu. Hubungan ini digunakan untuk memperoleh nilai faktor adhesi yang lebih realistis dalam perhitungan kapasitas daya dukung selimut tiang bor berdasarkan mekanisme interaksi tanah–tiang.

2. Kondisi Tanah Pasir

Berdasarkan korelasi nilai *Standard Penetration Test* (SPT), tegangan geser selimut tiang pada tanah pasir dapat ditentukan secara empiris sebagai fungsi dari nilai N-SPT. Dalam pendekatan ini, nilai tegangan geser selimut (τ) berada pada kisaran $\tau = (0,1-0,32)N$ (t/m^2), yang mencerminkan variasi kondisi kepadatan tanah serta tingkat mobilisasi gesekan antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya. Untuk keperluan perhitungan yang lebih praktis, nilai rata-rata tegangan geser selimut sering diambil sebesar $\tau = 0,2N$ (t/m^2), yang merupakan nilai tengah dari kisaran tersebut. Nilai rata-rata ini diperoleh sebagai hasil pendekatan antara metode yang dikemukakan oleh Reese & Wright (1977), sehingga dapat digunakan sebagai estimasi yang representatif dan konservatif dalam perhitungan kapasitas daya dukung selimut tiang berdasarkan data N-SPT, sehingga untuk nilai daya dukung selimut sama halnya seperti tiang pancang pada Persamaan 3.16 dan 3.17

3.6.5 Kapasitas Daya Dukung Selimut Tiang Berdasarkan Data CPT dan CPTu

Pada perhitungan daya dukung ujung berdasarkan data CPT dan CPTu, pada penelitian ini hanya digunakan sebagai acuan dasar untuk menguatkan fondasi dasar penggunaan metode SPT, nantinya dari data CPT didapati nilai daya dukung selimut atau tegangan geser yang bisa dipadukan dan dikorelasi berapa tegangan gesernya. Pada dasarnya perhitungan CPT dan CPTu memiliki metode yang sama namun pada uji CPTu nilai q_c diubah menjadi nilai q_t karena memiliki analisis tekanan air pori berdasarkan Robertson dan Cabal (2022). Untuk lebih jelasnya daya dukung selimut dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Kondisi tanah lempung

Menurut DeRuiter dan Beringen (1979) pada kondisi tanah lempung tegangan geser selimut berdasarkan data CPT dapat diuraikan pada persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$F_s = 0,02 \times \alpha \times q_c \quad (3.23)$$

Dimana:

F_s = Unit tahanan selimut, dibatasi maksimum 1,2 kg/cm²

α = Faktor adhesi (1 untuk lempung NC dan 0,5 untuk lempung OC)

q_c = Nilai ujung konus (kg/cm²)

Sedangkan untuk perhitungan CPTu nilai q_c diubah menjadi nilai q_t yang dapat diuraikan pada persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$q_t = q_c + u_2 (1-a) \quad (3.24)$$

Dimana:

q_t = Tahanan konus terkoreksi (kg/cm²)

q_c = Tahanan konus data mentah (kg/cm²)

a = Nilai kalibrasi alat (umumnya a berkisar 0,75-0,85)

3.6.6 Kapasitas Ultimit Tiang

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) merupakan kapasitas maksimum yang dapat dipikul oleh tiang sebelum terjadi kegagalan tanah di sekitar tiang, baik pada ujung maupun selimut tiang. Secara umum, kapasitas ultimit tiang diperoleh dari penjumlahan antara kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s), yang masing-masing merepresentasikan kontribusi tahanan dari ujung tiang dan interaksi geser sepanjang selimut tiang. Hubungan antara kedua komponen tersebut dinyatakan dalam Persamaan (3.25).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.25)$$

di mana:

Q_u = kapasitas daya dukung ultimit tiang (kN)

Q_p = kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s = kapasitas daya dukung selimut tiang (kN)

Persamaan ini digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kemampuan tiang dalam menahan beban aksial, baik pada tiang pancang maupun tiang bor, dengan mempertimbangkan kondisi tanah serta parameter kuat tanah yang diperoleh dari pengujian lapangan.

3.6.7 Kapasitas Ijin Tiang

Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{allow}) merupakan kapasitas maksimum yang diizinkan untuk dipikul oleh tiang dalam kondisi layan, yang diperoleh dengan membagi kapasitas daya dukung ultimit tiang dengan faktor keamanan. Penggunaan faktor keamanan dimaksudkan untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam parameter tanah, metode pelaksanaan, serta variasi kondisi lapangan. Hubungan antara kapasitas ultimit dan kapasitas izin dinyatakan dalam Persamaan (3.26).

$$Q_{allow} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.26)$$

Di mana:

Q_{allow} = kapasitas daya dukung izin tiang (kN)

Q_u = kapasitas daya dukung ultimit tiang (kN)

SF = faktor keamanan

Nilai faktor keamanan (SF) yang digunakan dalam perencanaan fondasi tiang pada penelitian ini diambil sebesar 2,5 sesuai dengan ketentuan SNI 8640:2017, sehingga kapasitas izin yang diperoleh diharapkan mampu menjamin keamanan dan kinerja fondasi tiang selama masa layan struktur.

3.7 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara kapasitas daya dukung kelompok tiang terhadap jumlah kapasitas masing-masing tiang tunggal secara individual. Dalam kondisi ideal, kapasitas kelompok tiang akan sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang menyusunnya. Namun, pada praktiknya interaksi tanah–tiang dan pengaruh antar tiang dalam satu kelompok menyebabkan terjadinya penurunan

efisiensi sehingga kapasitas kelompok tidak selalu linier terhadap jumlah tiang. Menurut Das (2011), efisiensi kelompok tiang gesek dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan empiris, antara lain metode Converse–Labarre, Los Angeles Group Action, dan Seiler–Keeney, yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

1. Efisiensi Converse-Labarre

Menurut Das (2011) , efisiensi Converse Labarre dapat dijabarkan melalui persamaan 3.27 sebagai berikut.

$$\eta \text{ (efisiensi)} = 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (3.27)$$

Dengan,

$n1$ = jumlah tiang dalam 1 baris (buah)

$n2$ = jumlah tiang dalam 1 kolom (buah)

D = diameter tiang (m)

d = jarak antar tiang (m)

$\frac{D}{d}$ = perbandingan diameter tiang dengan jarak (derajat)

2. Efisiensi *Los Angeles Group Action Equation*

Menurut Das (2011) , efisiensi *Los Angeles Group Action Equation* dapat dijabarkan melalui persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$\eta \text{ (efisiensi)} = 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n1 \times n2} \times [n1 \times (n2 - 1) + n2 \times (n1 - 1) + \sqrt{2} \times (n1 - 1) \times (n2 - 1)] \quad (3.28)$$

Dengan,

$n1$ = jumlah tiang dalam 1 baris (buah)

$n2$ = jumlah tiang dalam 1 kolom (buah)

D = diameter tiang (m)

3. Efisiensi Seiler-Keeney

Menurut Das (2011) , efisiensi Seiler-Keeney dapat dijabarkan melalui persamaan 3.29 sebagai berikut.

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2} \quad (3.29)$$

Dengan,

n_1 = jumlah tiang dalam 1 baris (buah)

n_2 = jumlah tiang dalam 1 kolom (buah)

d = jarak antar tiang (m)

Nilai efisiensi kelompok tiang dapat lebih kecil dari satu ($\eta < 1$) akibat adanya tumpang tindih zona tegangan (stress overlap) dan interaksi deformasi tanah di sekitar tiang. Namun dalam kondisi tertentu, khususnya pada tanah kohesif lunak dengan konfigurasi tertentu, nilai efisiensi dapat mendekati atau bahkan sedikit melebihi satu.

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi kelompok tiang antara lain jarak antar tiang (spacing), jumlah tiang dalam kelompok, konfigurasi susunan tiang, diameter tiang, serta jenis dan karakteristik tanah. Semakin kecil jarak antar tiang, interaksi tanah–tiang akan semakin signifikan sehingga berpotensi menurunkan nilai efisiensi. Oleh karena itu, dalam perencanaan pondasi tiang, jarak antar tiang umumnya direncanakan berkisar antara 2,5D hingga 3D untuk meminimalkan pengaruh interaksi yang berlebihan, dengan D merupakan diameter tiang. Oleh karena itu kapasitas izin tiang kelompok akibat adanya efisiensi dijabarkan pada persamaan 3.30 sebagai berikut.

$$Q_g = Q_{all} \times n \times \eta \quad (3.30)$$

Dengan,

Q_g = kapasitas izin tiang grup (kN)

Q_{all} = daya dukung izin 1 tiang (kN)

n = jumlah total tiang dalam satu *pile cap* (buah)

η = efisiensi kelompok tiang

3.8 Penurunan Fondasi Dalam

Konsolidasi merupakan proses berkurangnya volume tanah jenuh, khususnya pada tanah dengan permeabilitas rendah, sebagai akibat dari adanya pembebanan. Proses ini terjadi karena tekanan beban menyebabkan air pori keluar secara bertahap dari dalam tanah, sehingga volume rongga pori mengalami penyusutan. Laju terjadinya konsolidasi sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran air pori dan perubahan struktur pori tanah (Hardiyatmo, 2002). Beberapa faktor utama yang memengaruhi proses konsolidasi antara lain kecepatan keluarnya air pori, besarnya beban yang bekerja, serta permeabilitas tanah.

Penurunan akibat konsolidasi umumnya terjadi pada tanah berbutir halus, seperti lempung dan lanau, terutama yang berada di bawah muka air tanah. Penurunan tanah akibat pembebanan dapat disebabkan oleh beberapa mekanisme, antara lain keruntuhan geser tanah, kerusakan atau lendutan yang signifikan pada fondasi, serta berkurangnya angka pori (e) akibat pemampatan tanah.

Dalam kajian konsolidasi, dikenal dua kondisi tanah yang penting, yaitu tanah *overconsolidated* dan *normally consolidated*. Tanah *overconsolidated* merupakan tanah yang pada masa lalu pernah mengalami tegangan efektif yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang bekerja saat ini. Sebaliknya, tanah *normally consolidated* adalah tanah yang belum pernah mengalami tegangan efektif melebihi kondisi tegangan yang sedang bekerja sekarang.

Menurut Das (2010), secara umum penurunan (*settlement*) tanah akibat pembebanan dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis utama, yaitu penurunan konsolidasi dan penurunan segera. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) merupakan penurunan yang terjadi akibat berkurangnya volume tanah jenuh air sebagai hasil dari keluarnya air pori dari dalam tanah. Jenis penurunan ini terdiri atas konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder. Sementara itu, penurunan segera (*immediate settlement*) adalah penurunan yang terjadi secara langsung akibat deformasi elastis tanah, baik pada kondisi tanah kering, tanah lembab, maupun tanah jenuh air, tanpa disertai perubahan kadar air.

Penurunan konsolidasi berlangsung melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah fase awal, yaitu penurunan yang terjadi segera setelah beban

diberikan, yang terutama disebabkan oleh keluarnya udara dari rongga pori tanah. Tahap berikutnya adalah fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, di mana penurunan dipengaruhi oleh laju aliran air pori yang keluar dari tanah akibat tekanan pembebanan. Tahap terakhir adalah fase konsolidasi sekunder, yang merupakan kelanjutan dari konsolidasi primer dan berlangsung dalam waktu yang relatif lama dengan laju penurunan yang sangat lambat. Pada umumnya, penurunan konsolidasi sekunder jarang diperhitungkan karena pengaruhnya terhadap total penurunan tanah relatif kecil.

3.8.1 Penurunan Tanah Fondasi Tunggal

Menurut Poulos dan Davis (1980), penurunan pada tiang tunggal terjadi akibat deformasi elastis tanah yang berada di sekitar dan di bawah tiang sebagai respons terhadap beban aksial yang bekerja. Besar kecilnya penurunan ditentukan oleh mekanisme interaksi antara tiang dan tanah, di mana beban diteruskan melalui kombinasi tahanan ujung (*end bearing*) dan gesekan selimut (*skin friction*). Berdasarkan pendekatan teori elastisitas, dijelaskan bahwa beberapa parameter memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya penurunan, antara lain kekakuan relatif antara tiang dan tanah, rasio panjang terhadap diameter tiang, kondisi ujung tiang (apakah bertumpu pada lapisan tanah keras atau bersifat mengambang), serta sifat elastis tanah yang meliputi modulus elastisitas (E) dan rasio *Poisson* (ν). Dengan demikian, penurunan tiang tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya beban yang diterapkan, tetapi juga oleh kemampuan tanah di sekeliling tiang dalam menahan deformasi. Tanah dan material tiang yang lebih kaku cenderung menghasilkan penurunan yang lebih kecil, sedangkan tanah yang lunak atau tidak homogen umumnya menyebabkan penurunan yang lebih besar.

Poulos dan Davis (1980) menyatakan bahwa besarnya penurunan tiang tunggal dapat diperkirakan menggunakan persamaan empiris yang bergantung pada jenis tumpuan tiang. Untuk tiang apung atau tiang friksi, faktor pengaruh penurunan (I) dinyatakan dengan Persamaan (3.31), sedangkan besar penurunan tiang dinyatakan dengan Persamaan (3.32). Untuk tiang dukung ujung, faktor pengaruh penurunan dirumuskan dalam Persamaan (3.33) dan besar penurunan tiang ditentukan menggunakan Persamaan (3.34) sebagai berikut.

1. Pada tiang friksi (kondisi tiang dominan tanah lunak)

$$I = I_0 \times R_k \times R_h \times R_\mu \quad (3.31)$$

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times D} \quad (3.32)$$

2. Pada tiang dukung ujung (kondisi tiang berada di tanah keras)

$$I = I_0 \times R_k \times R_b \times R_\mu \quad (3.33)$$

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times D} \quad (3.34)$$

Dengan:

S = penurunan tiang tunggal (m),

Q = beban yang bekerja pada tiang (kN),

I_0 = faktor pengaruh penurunan tiang tak mudah mampat pada massa tanah semi tak hingga,

R_k = faktor koreksi kemudah-mampatan tiang,

R_h = faktor koreksi ketebalan lapisan tanah keras,

R_μ = faktor koreksi rasio Poisson,

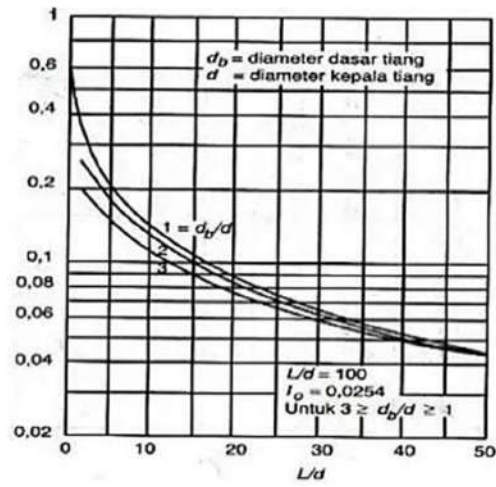
R_b = faktor koreksi kekakuan lapisan pendukung,

h = kedalaman atau panjang tiang (m),

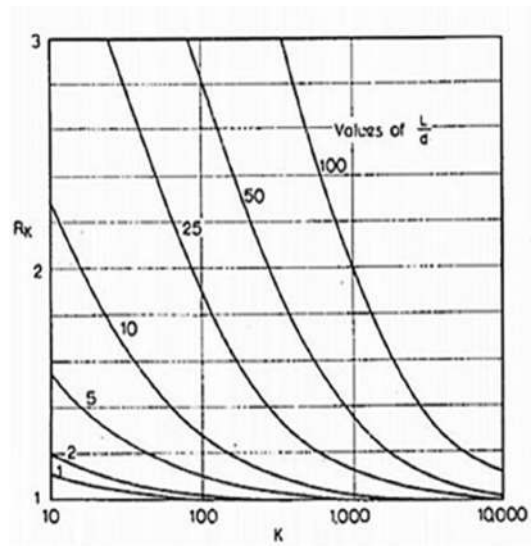
E_s = modulus elastisitas tanah (kN/m²),

D = diameter tiang (m).

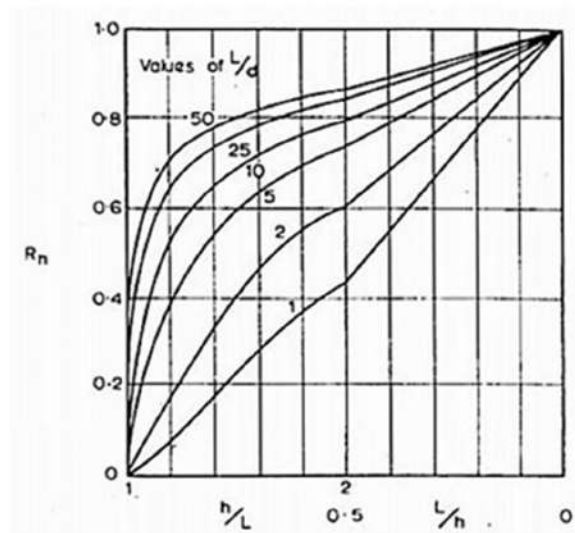
Penentuan besarnya penurunan tiang tunggal didukung oleh beberapa faktor yang disajikan dalam bentuk grafik dan diagram. Faktor-faktor tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8 hingga Gambar 3.13, yang digunakan sebagai acuan dalam evaluasi penurunan tiang tunggal sebagai berikut.



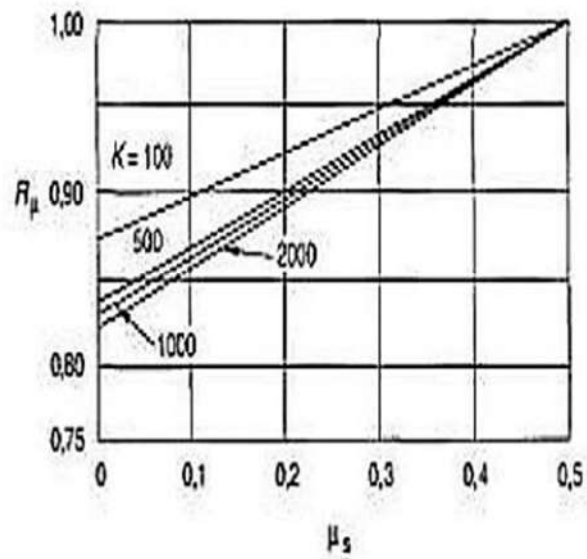
Gambar 3. 9 Faktor Penurunan I_0 (Poulos & Davis, 1980)



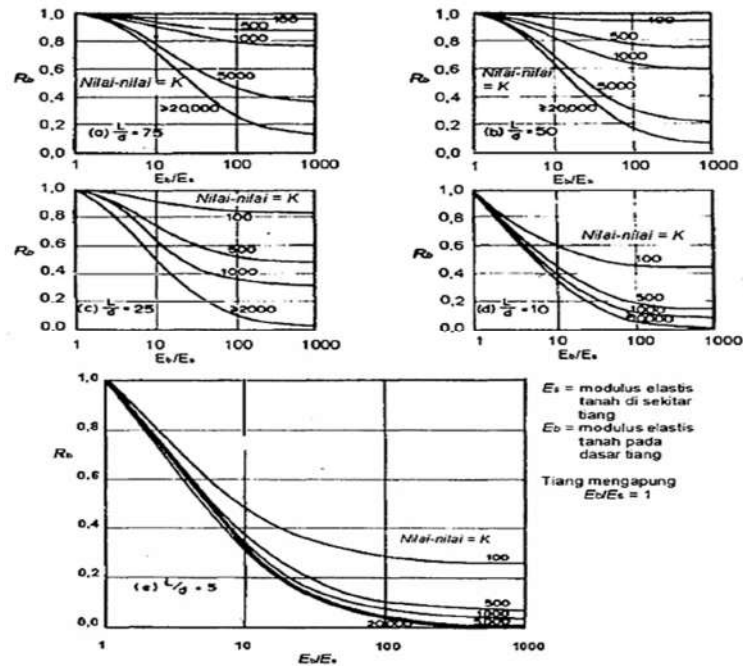
Gambar 3. 10 Faktor Koreksi Kompresi, R_k (Poulos & Davis, 1980)



Gambar 3. 11 Koreksi Kedalaman R_h (Poulos & Davis, 1980)



Gambar 3. 12 Koreksi Angka Poisson, R_μ (Poulos & Davis, 1980)



Gambar 3. 13 Nilai Untuk Faktor Kekakuan Tiang, R_b (Poulos & Davis, 1980)

3.8.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang

Penurunan yang terjadi pada kelompok tiang akibat pembebanan merupakan hasil kombinasi antara penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera bersifat elastis dan berlangsung langsung setelah beban bekerja, terutama pada tanah berbutir halus dalam kondisi kering atau jenuh sebagian, tanpa disertai perubahan kadar air. Sebaliknya, pada tanah berbutir halus yang berada dalam kondisi jenuh, pembebanan akan menyebabkan tegangan yang menimbulkan regangan yang berkembang secara bertahap terhadap waktu, yang dikenal sebagai penurunan konsolidasi.

Secara umum, besarnya penurunan pada kelompok tiang cenderung lebih besar dibandingkan dengan penurunan pada tiang tunggal. Hal ini disebabkan oleh zona pengaruh tegangan pada kelompok tiang yang saling berinteraksi sehingga mencakup area yang lebih luas dan kedalaman yang lebih besar. Vesic (1977) menyatakan bahwa penurunan kelompok tiang pada tanah homogen atau pasir dapat diperkirakan menggunakan Persamaan (3.35) yang besarnya penurunan

kelompok tiang pada tanah homogen atau pasir dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (3.35)$$

Dengan:

S_g = penurunan kelompok tiang (m),

S = penurunan tiang tunggal (m),

B_g = lebar kelompok tiang (m),

D = diameter tiang (m).

3.8.3 Batas Izin Penurunan Tiang

Berdasarkan Persamaan (3.36), besarnya penurunan tiang yang diizinkan (S_{izin}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{izin} = 15 + \frac{B}{600} \quad (3.36)$$

Dengan:

S_{izin} = Penurunan tiang yang diizinkan (cm),

B = Lebar Denah Bangunan (cm).

Persamaan tersebut digunakan untuk mengontrol batas penurunan fondasi tiang agar masih berada dalam kondisi aman dan dapat diterima secara fungsional, mengacu pada ketentuan perencanaan geoteknik dalam SNI 8460:2017 tentang Perencanaan Fondasi untuk Bangunan Gedung

3.9 Pemodelan Perangkat Lunak PLAXIS dan GROUP

Pemodelan menggunakan perangkat lunak dilakukan untuk membantu menganalisis perilaku tanah dan fondasi secara lebih komprehensif, terutama dalam mengevaluasi respons deformasi dan penurunan akibat pembebanan. Pendekatan numerik dan analitik melalui perangkat lunak memungkinkan representasi interaksi tanah–struktur yang lebih realistis dibandingkan perhitungan manual semata.

Dalam penelitian ini, pemodelan dilakukan dengan menggunakan dua perangkat lunak geoteknik, yaitu PLAXIS dan GROUP, yang masing-masing memiliki pendekatan dan keunggulan berbeda dalam menganalisis penurunan fondasi tiang.

PLAXIS merupakan perangkat lunak geoteknik berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk menganalisis perilaku tanah dan struktur geoteknik terhadap pembebanan. Perangkat lunak ini mampu memodelkan kondisi tanah secara dua dimensi maupun tiga dimensi dengan mempertimbangkan aspek tegangan, regangan, deformasi, serta konsolidasi tanah. Dalam PLAXIS tersedia berbagai model konstitutif tanah, antara lain model *Mohr–Coulomb* yang menggambarkan perilaku elastis–plastis sederhana, *Hardening Soil Model* yang memperhitungkan kekakuan tanah yang bergantung pada tingkat tegangan, serta *Soft Soil Model* yang umumnya digunakan untuk tanah lempung lunak jenuh yang mengalami konsolidasi. Pemilihan model tanah pada PLAXIS disesuaikan dengan jenis tanah dan tujuan analisis agar respons tanah dapat direpresentasikan secara mendekati kondisi lapangan. Dalam perhitungannya sendiri perangkat lunak ini membutuhkan data laboratorium serta korelasi data N-SPT dengan parameter tanah.

GROUP merupakan perangkat lunak analisis fondasi tiang yang digunakan untuk menghitung kapasitas dan penurunan tiang tunggal maupun kelompok tiang berdasarkan teori elastisitas dan interaksi tiang–tanah. Perangkat lunak ini memodelkan tanah sebagai media elastis dan memperhitungkan pengaruh interaksi antar tiang dalam satu kelompok terhadap distribusi beban dan penurunan. Parameter tanah seperti modulus elastisitas dan rasio Poisson digunakan sebagai input utama dalam analisis. Dengan menggunakan GROUP, perilaku penurunan fondasi tiang dapat dianalisis secara efisien melalui pendekatan teoritis, sehingga hasilnya dapat dibandingkan dan divalidasi dengan hasil analisis numerik menggunakan PLAXIS.

BAB IV

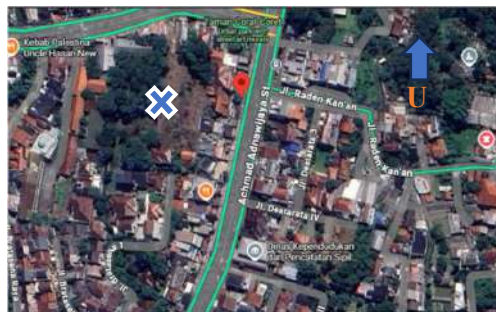
METODE PENELITIAN

4.1 Studi Kasus

Studi kasus dalam penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Rumah Sakit Pandu yang berlokasi di Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pemilihan lokasi studi kasus ini didasarkan pada karakteristik kondisi tanah setempat serta penggunaan fondasi tiang sebagai elemen struktur bawah untuk menahan beban bangunan. Proyek pembangunan rumah sakit tersebut memerlukan perencanaan fondasi yang andal mengingat fungsi bangunan sebagai fasilitas pelayanan publik yang menuntut tingkat keamanan dan kinerja struktur yang tinggi. Melalui studi kasus ini, analisis kapasitas daya dukung mana yang lebih baik digunakan dalam proyek serta memperhiutngkan penurunan tiang tunggal dan kelompok tiang dilakukan berdasarkan data tanah dan beban struktur yang tersedia, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat merepresentasikan kondisi lapangan secara realistis dan aplikatif.

4.2 Lokasi Penelitian

Pembangunan Rumah Sakit Pandu ini berlokasi di Jalan Achmad Adnawijaya Nomor 58, Kelurahan Tegol Gundil Kecamatan Bogor Utara, Kabupaten Bogor yang mana dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Pembangunan RS Pandu (Google Maps)
(Lokasi Proyek bertanda huruf X)

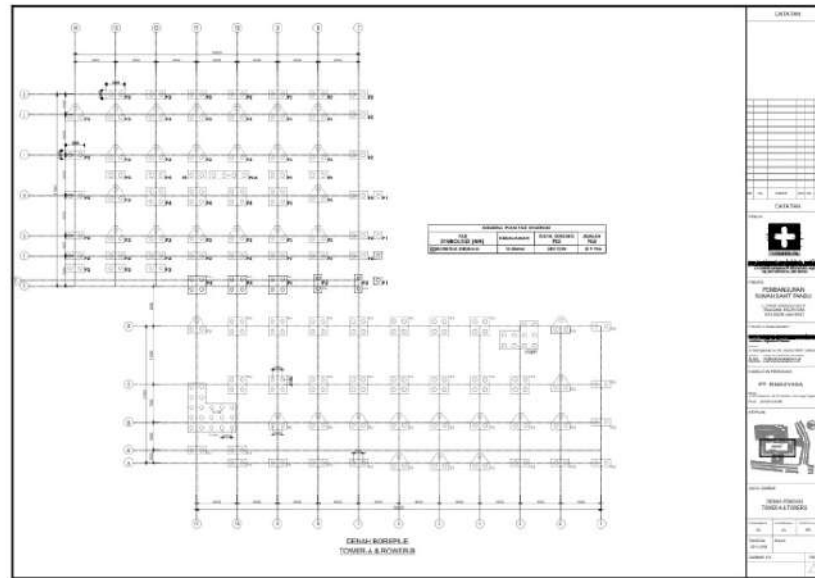
4.3 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber pendukung studi kasus. Data primer berupa data hasil penyelidikan tanah, yang meliputi data uji lapangan seperti Standard Penetration Test (SPT) serta data pengujian laboratorium tanah yang digunakan untuk menentukan parameter fisik dan mekanik tanah. Data tersebut dimanfaatkan untuk menganalisis karakteristik tanah dan menentukan parameter input dalam perhitungan kapasitas serta penurunan fondasi tiang. Sementara itu, data sekunder meliputi data beban struktur yang diperoleh dari hasil analisis struktur, gambar rencana fondasi, serta standar dan literatur teknis yang berkaitan dengan perencanaan fondasi tiang. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan analitis dan pemodelan numerik guna memperoleh hasil analisis penurunan fondasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

4.3.1 Data Umum Proyek

1. Nama proyek : Proyek Pembangunan Tower A dan B Rumah Sakit Pandu
2. Lokasi : JL. Achmad Adnawijaya No. 58, Kel. Tegal Gundil
Kec. Bogor Utara, Kab. Bogor
3. Fungsi : Rumah Sakit
4. Pemilik : PT Anugerah Medika Utama
5. Manajemen Konstruksi: PT Indo Swisatama
6. Konsultan perencanaan : PT Rimasyada

Bangunan yang direncanakan merupakan gedung bertingkat yang terdiri atas delapan lantai utama dan satu lantai *basement*. Secara umum, setiap lantai difungsikan sebagai area ruang rawat inap. Bangunan ini memiliki tinggi total sebesar 29,7 meter dengan tinggi antar lantai yang relatif seragam, yaitu sekitar 4 meter. Tata letak atau denah rencana bangunan secara keseluruhan ditunjukkan pada Lampiran 4 atau Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4. 2 Rencana Awal Fondasi (Sumber :DED Struktur Pondasi RS Pandu)

4.4 Tahap Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini disusun secara sistematis sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan kegiatan penelusuran serta penelaahan literatur yang berkaitan dengan topik penelitian. Literatur yang dikaji meliputi buku teks, jurnal ilmiah, dan standar perencanaan yang relevan sebagai dasar teori dalam pelaksanaan penelitian.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data Laboratrium dan data uji SPT yang diperoleh dari lapangan, khususnya dari proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Pandu. Data yang dikumpulkan meliputi data tanah dan data struktur yang diperlukan untuk analisis fondasi.

3. Tahap Analisis Data,

Tahap analisis data terdiri atas beberapa sub-tahapan, yaitu:

- a. Penentuan parameter tanah untuk nilai variabel daya dukung dan perangkat lunak PLAXIS dan GROUP.
- b. Analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang bor dan tiang pancang berdasarkan teori geoteknik yang telah dipelajari.
- c. Pemodelan perangkat lunak GROUP untuk persebaran beban dan penurunan sedangkan perangkat lunak PLAXIS 2D versi 2024 untuk penurunan fondasi.

4. Tahap Pembahasan,

Pada tahap ini dilakukan pembahasan hasil analisis secara rinci dan sistematis. Berdasarkan hasil pembahasan tersebut, selanjutnya disusun kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan sebelumnya.

4.5 Pemodelan GROUP dan PLAXIS

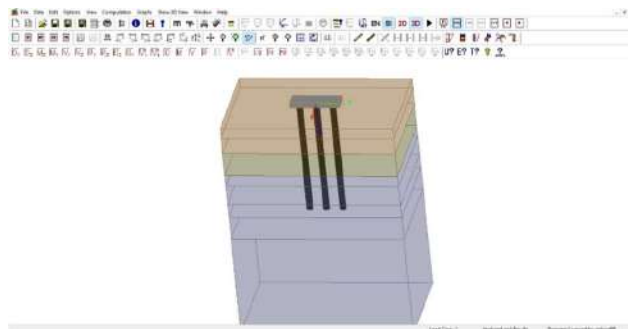
Pada perhitungan persebaran beban dan penurunan tanah digunakan pemodelan numerik sebagai perbandingan dalam metode analitis. Untuk lebih lengkapnya pemodelan GROUP dan PLAXIS dijabarkan sebagai berikut.

4.5.1 Pemodelan GROUP

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP dimodelkan fondasi P3 joint label (1 dan 32) sebagai berikut.

1. Pemodelan 3D

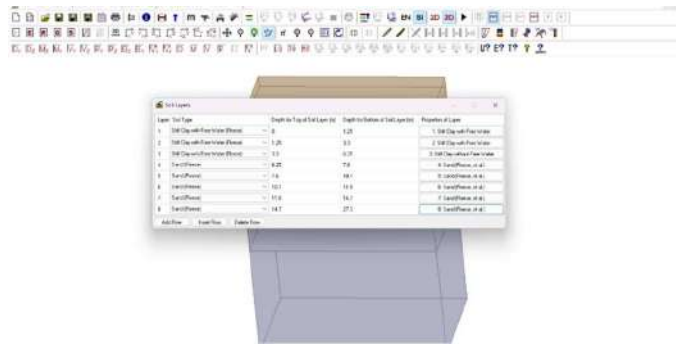
Pada pemodelan 3D dapat dilihat pada Gambar 4.3 Sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Pemodelan 3D Fondasi P3 (1,32) Pada Software GROUP

2. Pemodelan Tanah

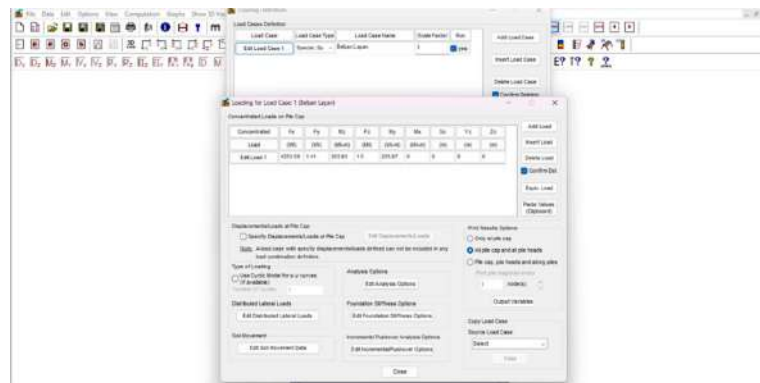
Pada pemodelan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.4 Sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Pemodelan Tanah Pada Software GROUP

3. Pemodelan Beban

Pada pemodelan beban dapat dilihat pada Gambar 4.5 Sebagai berikut.



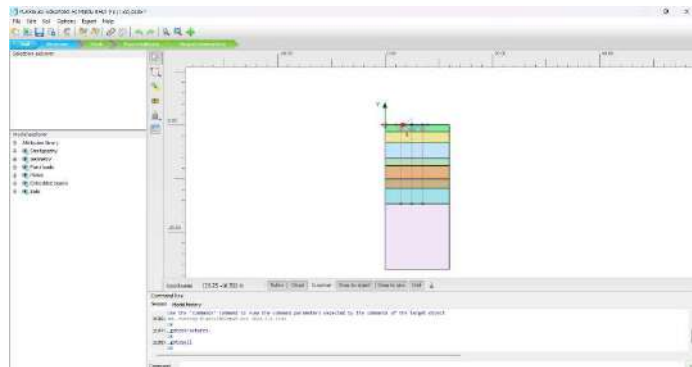
Gambar 4. 5 Pemodelan Beban Pada Software GROUP

4.5.2 Pemodelan PLAXIS

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP dimodelkan fondasi P3 joint label (1 dan 32) sebagai berikut.

1. Pemodelan 2D

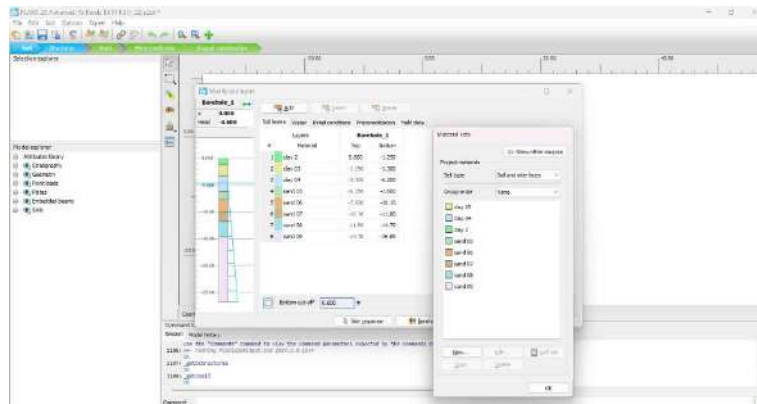
Pada pemodelan 2D dapat dilihat pada Gambar 4.6 Sebagai berikut.



Gambar 4. 6 Pemodelan 2D Fondasi P3 (1,32) Pada Plaxis

2. Pemodelan tanah

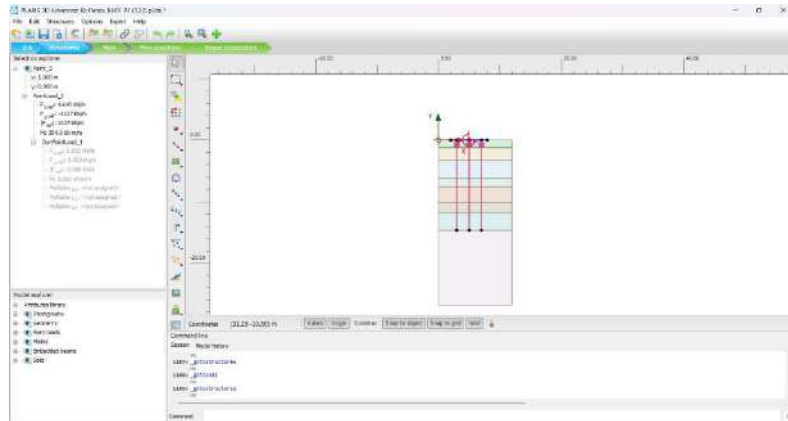
Pada pemodelan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.7 Sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Pemodelan Tanah BH-01 Pada Plaxis

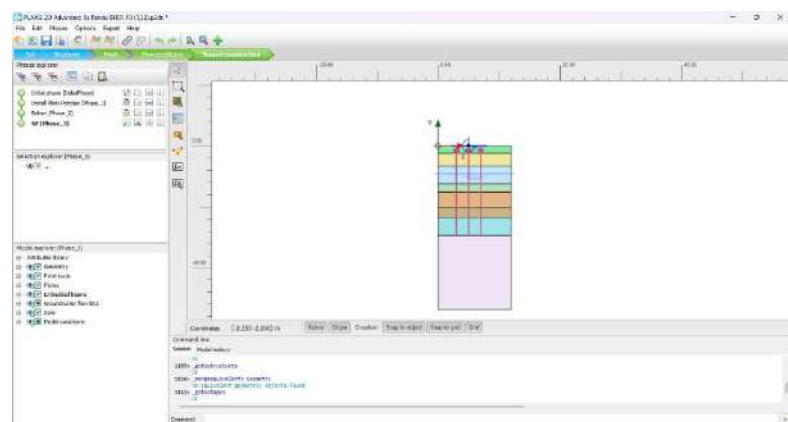
3. Pemodelan fondasi

Pada pemodelan fondasi P3 (1,32) dapat dilihat pada Gambar 4.8 Sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Pemodelan Fondasi P3 (1,32) dan Beban

4. Pemodelan tahapan konstruksi
 Pada pemodelan fondasi P3 (1,32) dapat dilihat pada Gambar 5.42 Sebagai berikut.

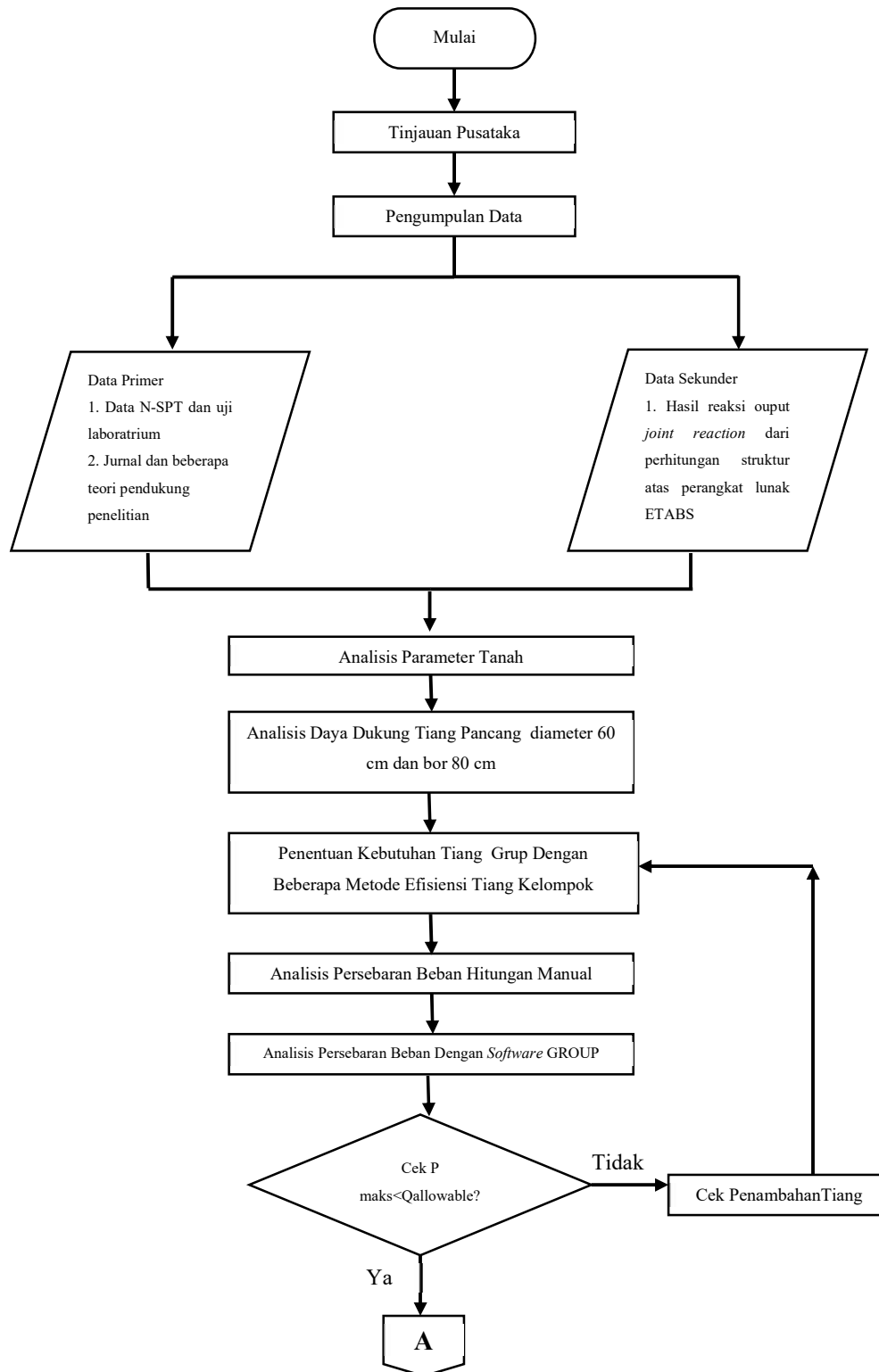


Gambar 4. 9 Pemodelan Tahapan Konstruksi

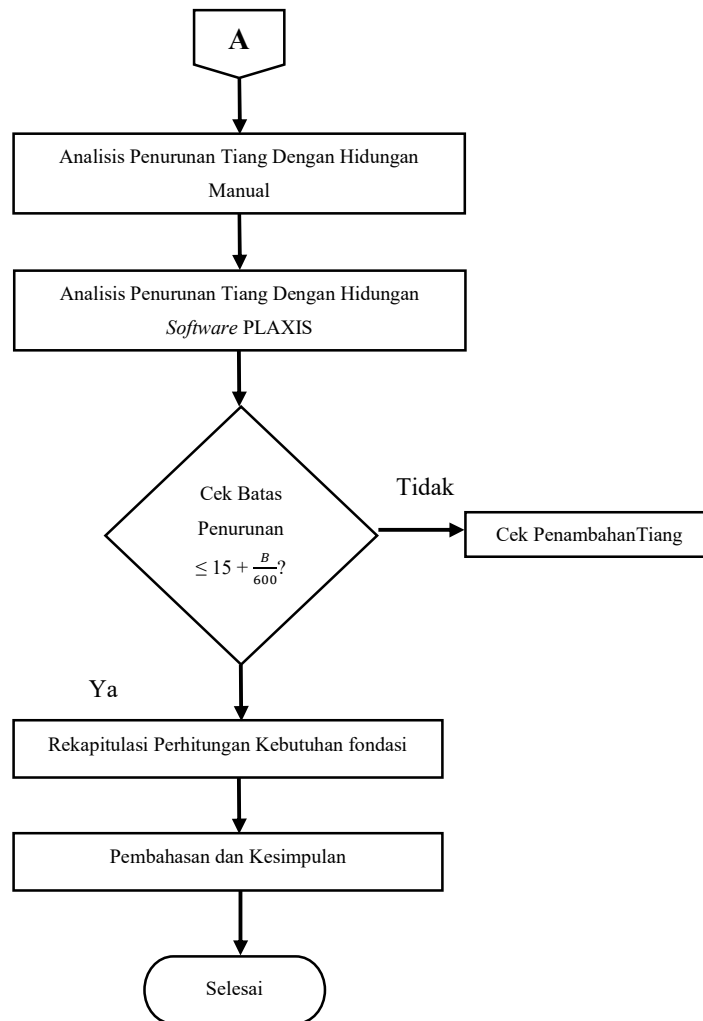
4.6 Diagram Alir Penelitian

Bagan alir penelitian disusun untuk menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis, mulai dari studi literatur, pengumpulan data, analisis, hingga penarikan kesimpulan. Bagan alir ini digunakan sebagai panduan dalam pelaksanaan penelitian agar setiap tahapan dilakukan secara terstruktur dan sesuai

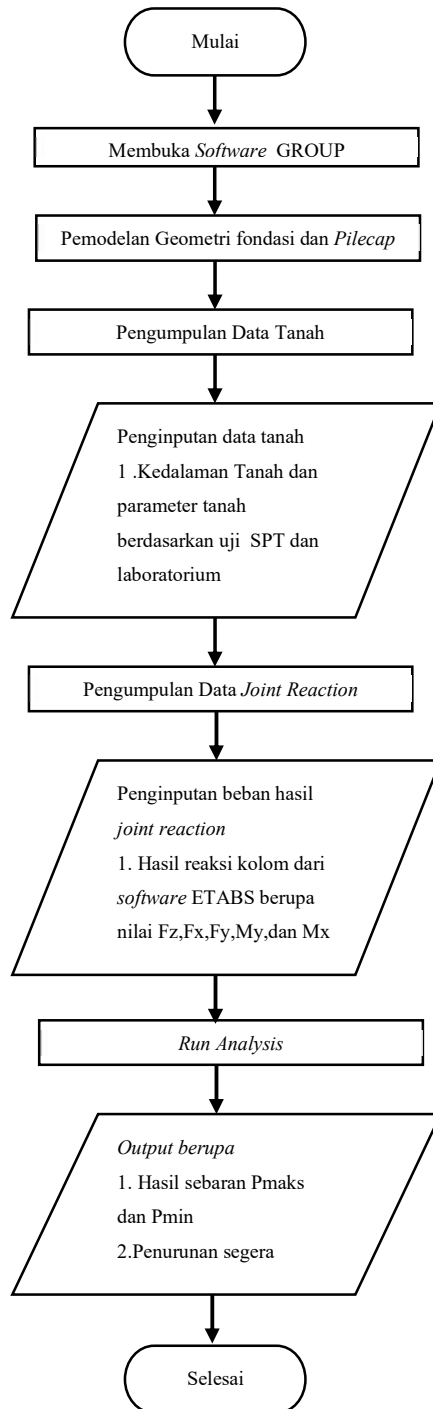
dengan tujuan penelitian. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



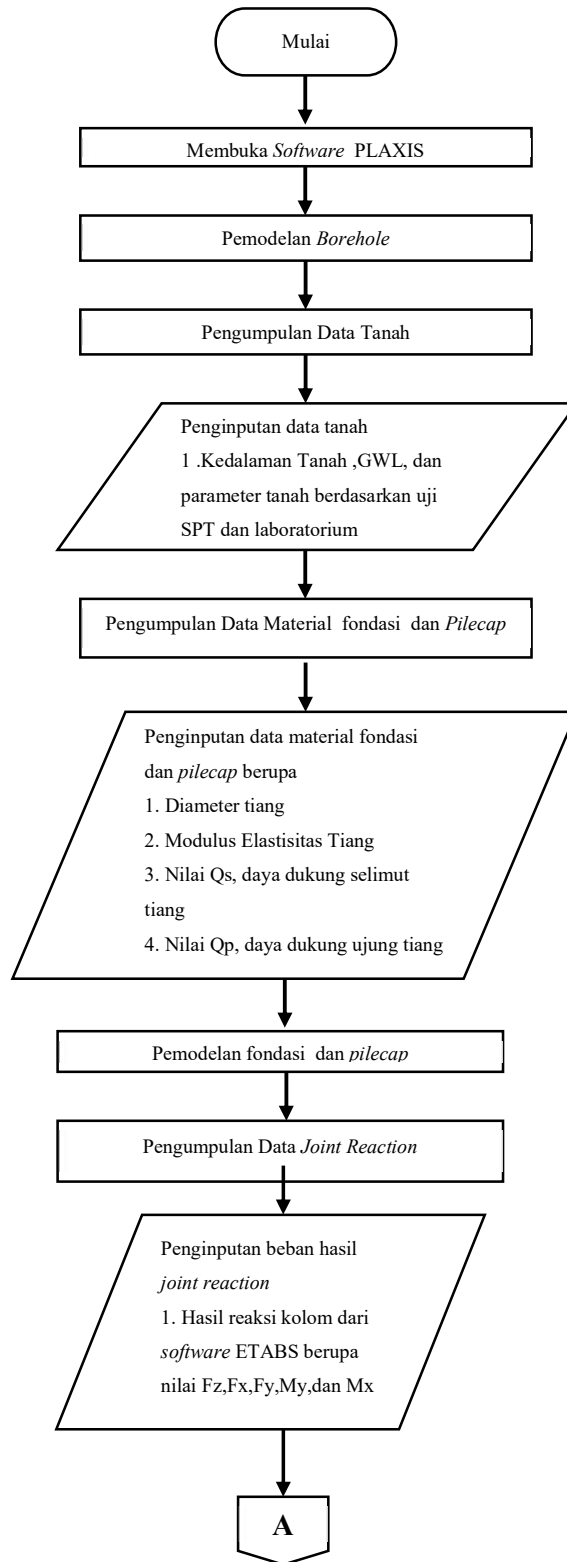
Gambar 4. 10 Diagram Alir Penelitian



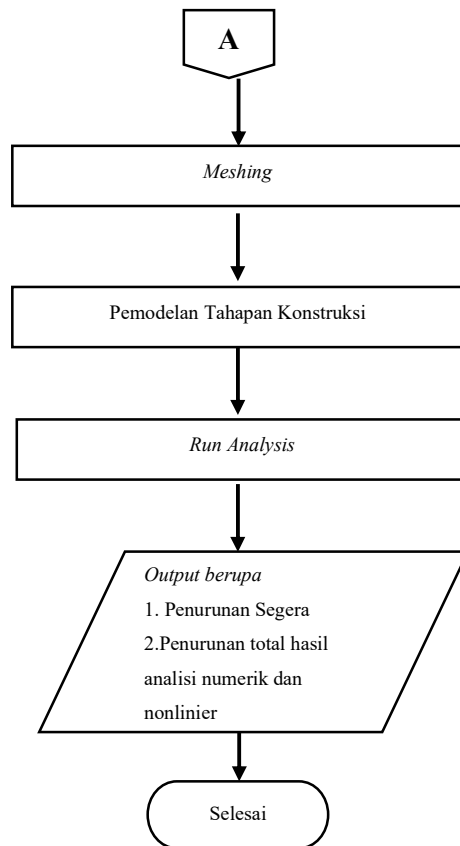
Lanjutan Gambar 4.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. 11 Diagram Alir Pemodelan Perangkat Lunak GROUP



Gambar 4. 12 Diagram Alir Pemodelan Perangkat Lunak PLAXIS



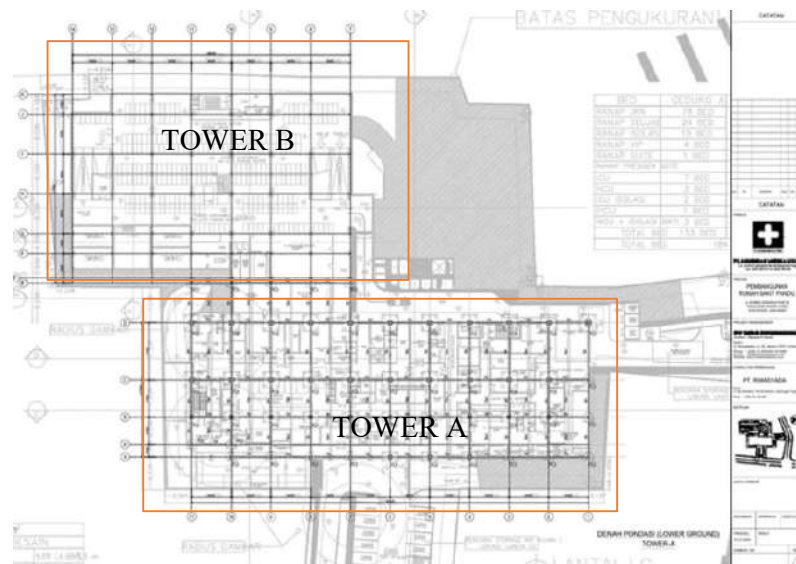
Lanjutan Gambar 4.12 Diagram Alir Pemodelan Perangkat Lunak PLAXIS

BAB V

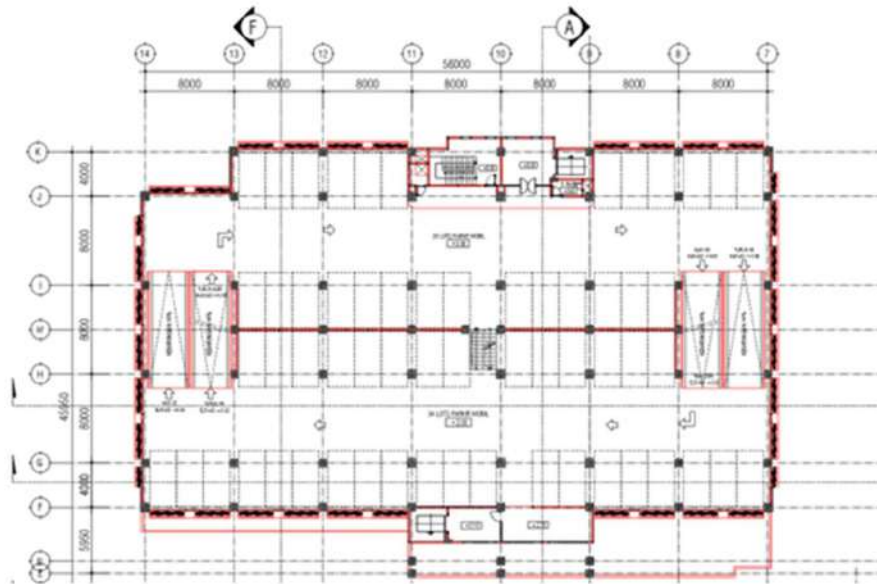
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Pembangunan Proyek Rumah Sakit Pandu ini berlokasi di Jalan Achmad Adnawijaya Nomor 58, Kelurahan Tegal Gundil Kecamatan Bogor Utara, Kabupaten Bogor, dimana rumah sakit ini memiliki total jumlah 9 lantai dengan 1 lantai *basement* dalam elevasi -3.00. Pembangunan rumah sakit ini terbagi menjadi 2 zona yakni zona Tower A dan Tower B yang mana *layout* kedua zona tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 sebagai berikut.



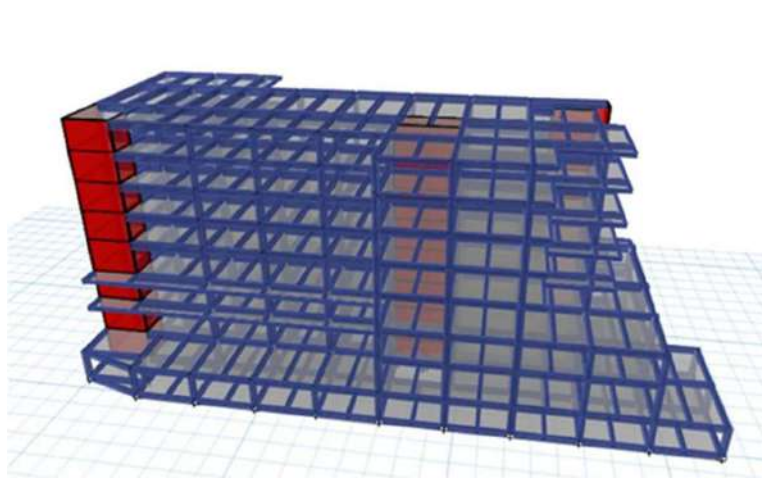
**Gambar 5. 1 Layout Denah Tower A Rumah Sakit Pandu (Sumber :
Laporan Struktur Tower A RS Pandu)**



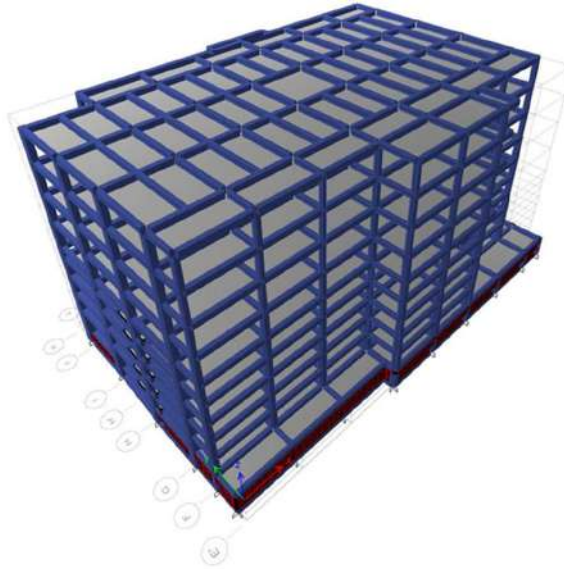
Gambar 5. 2 Layout Denah Tower B Rumah Sakit Pandu (Sumber : Laporan Struktur Bawah Tower B Rumah Sakit Pandu)

5.2 Pemodelan Struktur

Pada pemodelan struktur sendiri terdapat 2 proyek, yakni proyek tower A dan B melalui *software* ETABS. Untuk lebih jelasnya pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4 sebagai berikut.

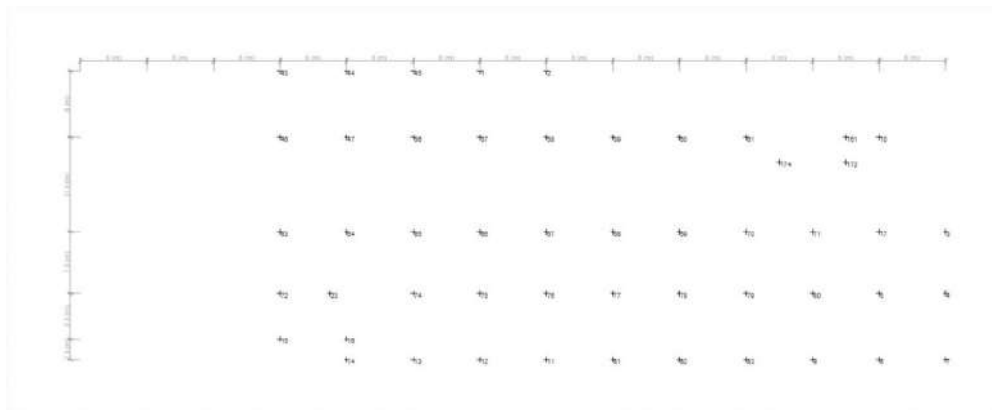


Gambar 5. 3 Pemodelan Stuktur Atas Melalui Software ETABS (Sumber : Laporan Struktur Tower A RS pandu)

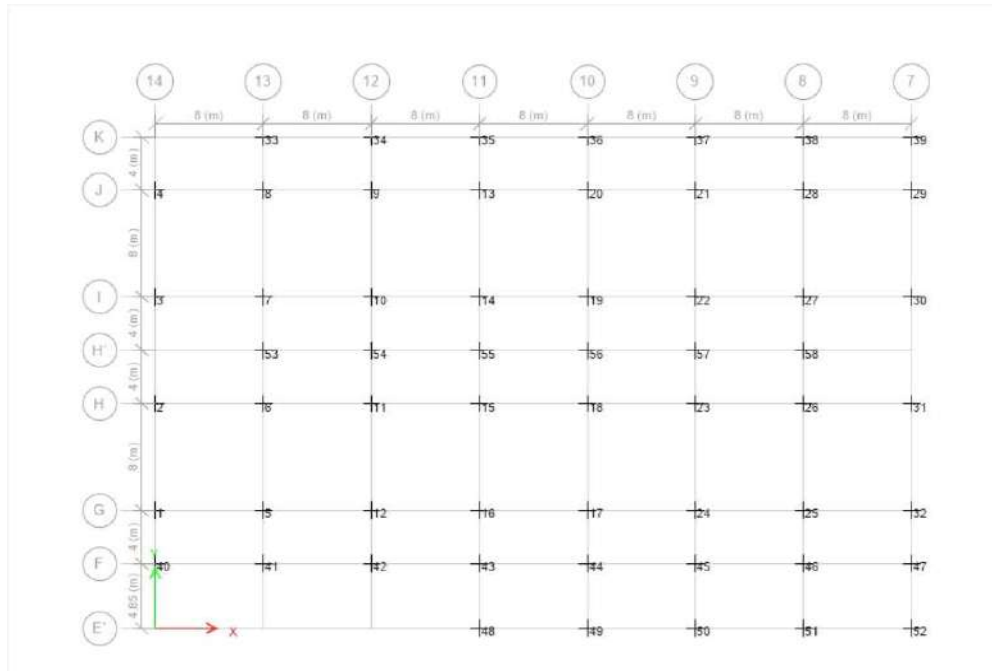


Gambar 5. 4 Pemodelan Struktur Atas Melalui Software ETABS (Sumber : Laporan Stuktur Bawah RS Pandu)

Pada hasil struktur tersebut didapati beberapa titik atau *joint* label yang mana sebelum perencanaan fondasi tentunya ditentukan terlebih dahulu melalui penyesuain pada titik *joint label* untuk didapai hasil reaksi titik. Untuk lebih jelasnya denah titik hasil reaksi (*joint reaction*) dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Denah *Joint* Label Pada Tower A (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur Bawah RS Pandu)



Gambar 5. 6 Denah Joint Label Pada Tower B ((Sumber : Laporan Perhitungan Struktur Bawah RS Pandu)

Pada hasil *output* reaksi yang dihasilkan pada pemodelan *software* ETABS didapati beberapa hasil untuk kombinasi beban layan, gempa nominal, dan gempa kuat. Nilai gaya reaksi tersebut ditentukan berdasarkan tiga kondisi pembebanan, yaitu kombinasi beban layan (*service load*), kombinasi beban nominal, dan kombinasi beban kuat (*ultimate load*). Selanjutnya, nilai gaya reaksi dari masing-masing kombinasi digunakan sebagai dasar dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi. Perbedaan dari ketiga kombinasi tersebut adalah variabel komposisi dalam penyusunan kombinasi pembebanan fondasi. Dalam sumber laporan struktur didapati informasi kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebagai berikut.

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 LL_{roof}
3. 1.2 DL + 1.0 LL + 1.6 LL_{roof}
4. (1.2 + 0.2 S_{ds}) DL + 1.0 LL ± 1.0 Ω_o RSX ± 0.3 Ω_o RSY
5. (1.2 + 0.2 SDS) DL + 1.0 LL ± 0.3 Ω_o RSX ± 1.0 Ω_o RSY

6. $(0.9 - 0.2 \text{ SDS}) \text{ DL} \pm 1.0 \Omega_0 \text{ RSX} \pm 0.3 \Omega_0 \text{ RSY} + 1.6 \text{ H}$
7. $(0.9 - 0.2 \text{ SDS}) \text{ DL} \pm 0.3 \Omega_0 \text{ RSX} \pm 1.0 \Omega_0 \text{ RSY} + 1.6 \text{ H}$
8. $0.9 \text{ DL} + 1.0 \text{ Fa}$

Keterangan:

- DL = Beban mati (*Dead Load*) (kN/m^3)
 LL = Beban hidup (*Live Load*) (kN/m^2)
 LLroof = Beban hidup atap (*Roof Live Load*) (kN/m^2)
 RSX = Gaya gempa rencana arah X (kN)
 RSY = Gaya gempa rencana arah Y (kN)
 Ω_0 = Faktor *overstrength* struktur
 SDS = Percepatan spektral desain periode pendek (g)
 H = Beban horizontal akibat tekanan tanah atau air (kN)
 Fa = Gaya angkat vertikal atas akibat tekanan air (kN)

5.2.1 Material Struktur

Untuk material struktur sendiri terutama diperuntukkan untuk beban mati dan parameter spesifikasi struktural adalah sebagai berikut.

1. Beton

Pada perencanaan struktur ini dipakai kuat desak beton $f'_c = 30 \text{ Mpa}$

2. Baja tulangan

Pada perencanaan struktur bangunan ini menggunakan 2 jenis baja tulangan, yakni baja ulir dengan $f_y = 420 \text{ Mpa}$ (BJTS 42) dan tulangan polos dengan $f_y = 280 \text{ Mpa}$ (BJTP 28)

3. Baja Profil

Untuk material baja profil yang dipakai pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit ini menggunakan spesifikasi ASTM A-36 dengan $f_y = 240 \text{ Mpa}$ dan $F_u = 370 \text{ Mpa}$

5.2.2 Beban Mati

Pada pembebanan berat sendiri bangunan atau beban mati (*Dead Load*) dapat dijabarkan pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Variabel Beban Mati (Dead Load) (Sumber : Laporan Struktur RS Pandu)

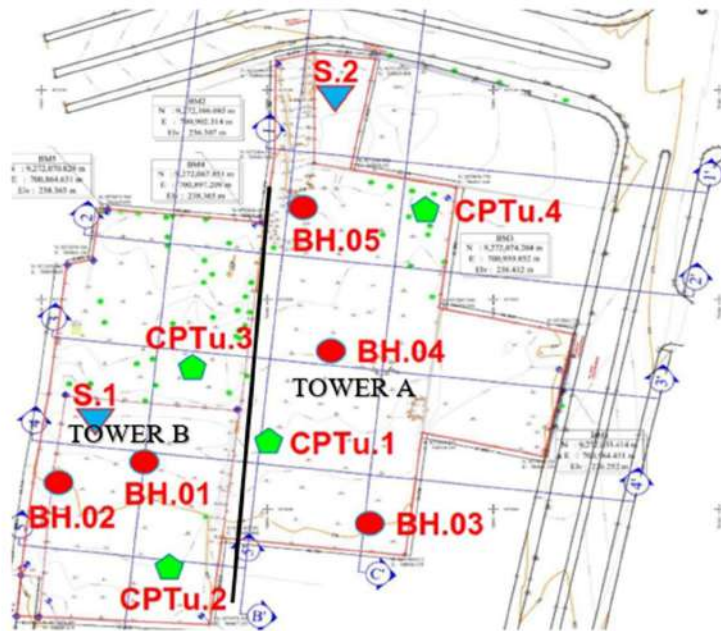
No	Jenis Material	Berat	Satuan
1	Beton Bertulang	24	kN/m ³
2	Dinding ½ Batu	2,5	kN/m ²
3	Plafon, Rangka, Penggantung	0,2	kN/m ²
4	Pasir	18	kN/m ³
5	Usuk, reng, genting	0,5	kN/m ²

5.2.3 Beban Hidup

Untuk pembebanan beban hidup berdasarkan sumber laporan perhitungan struktur RS Pandu, sendiri disesuaikan dengan ruangnya yakni, untuk area rumah sakit disamaratakan $QL = 300 \text{ kg/m}^2$. Pada area yang digunakan seperti area ruang genset, panel listrik, pompa, *chiller* (AHU) dan trafo digunakan $QL = 700 \text{ kg/m}^2$. Sedangkan pada ruang *driveaway*, yakni seperti jalur ambulans, kendaraan operasional rumah sakit, dan area *drop-off* serta *pick up* digunakan pembebanan $QL = 500 \text{ kg/m}^2$.

5.2.4 Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa sendiri sebelumnya diharuskan ditentukan melalui penentuan kelas situs terlebih dahulu. Kelas situs ini sendiri disesuaikan dengan parameter uji penyelidikan tanah yang disesuaikan dengan persyaratan SNI 1726:2019. Pada Proyek Pembangunan RS Pandu ini didapati 11 uji penyelidikan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Denah Titik Uji Penyelidikan (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Dalam denah titik uji terdapat 11 titik uji dengan 3 jenis pengujian, yakni pengujian SPT, CPT atau sondir, dan CPTu atau pengujian sondir dengan pengukuran tekanan air pori. Pada persyaratan SNI sendiri penentuan kelas situs sendiri berdasarkan parameter V_s (kecepatan gelombang geser) yang didapati dari pengujian in-situ salah satunya adalah SCPT (*Seismic CPT*), kemudian parameter \bar{N} yang mana parameter ini didapati dari pengujian in-situ uji SPT (*Standard Penetration Test*), dan parameter S_u (*Undrained Shear Strength*) yang didapati dari uji in-situ (*Field Vane Shear Test*). Dari ketiga jenis parameter tersebut didapati yang termasuk dalam pengujian kelas situs yakni nilai \bar{N} , sehingga penentuan kelas situ Proyek Pembangunan RS Pandu didasarkan pada rata nilai N-SPT pada kedalaman 30 m atas (\bar{N}). Untuk hubungan rentang nilai dan parameter nilai berdasarkan ketiga variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Penentuan Kelas Situs (Diadaptasi dari SNI 1726:2019)

<i>Kelas situs</i>	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SB (batuan)	750 sampai 1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus)	Setiap profil tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti tanah mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah; 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m); 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$); 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		

Dalam penentuan nilai \bar{N} sendiri ditentukan berdasarkan persamaan 5.1 yang mana dapat dihitung sebagai berikut.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m ti}{\sum_{i=1}^m \frac{ti}{\bar{N}}} \quad (5.1)$$

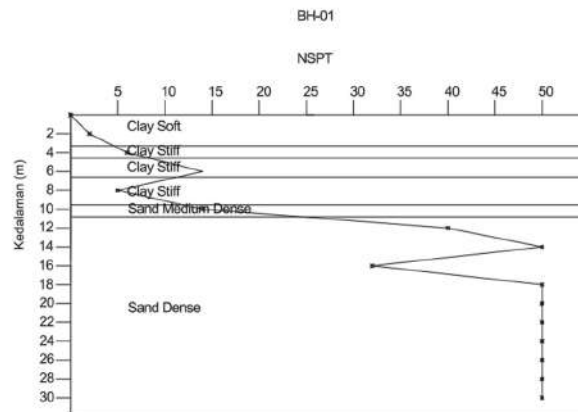
Dengan,

\bar{N} = Konsistensi tanah

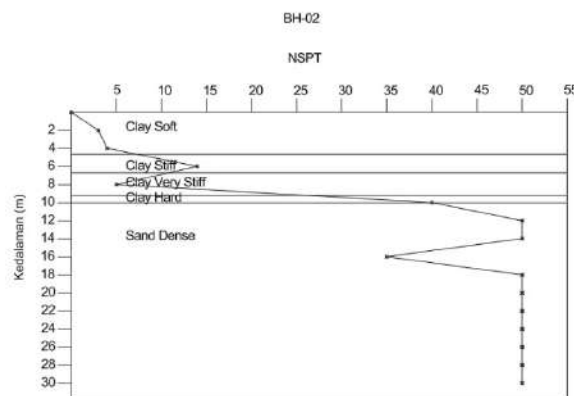
N = Nilai N-SPT

ti = Tebal lapisan tanah (m)

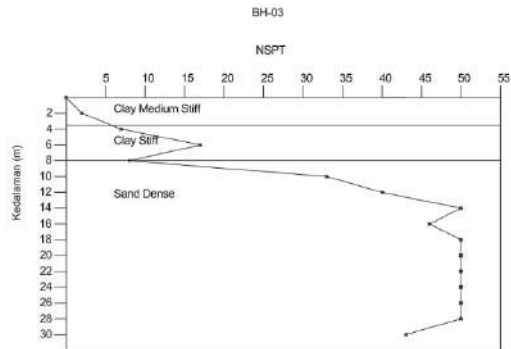
Dalam pengujian atau penyelidikan in-situ didapati beberapa data N-SPT dari data uji BH-01 hingga BH-05 yang mana dapat dilihat pada Gambar 5.8-5.12 sebagai berikut.



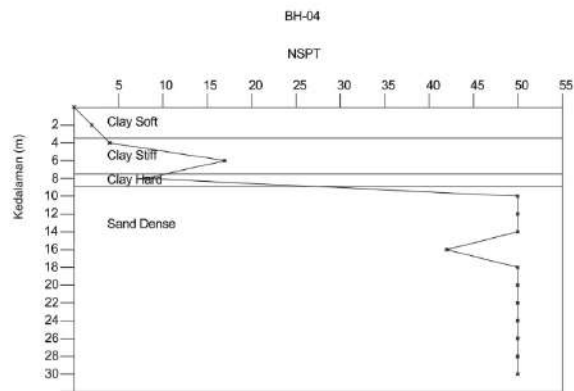
Gambar 5. 8 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-01



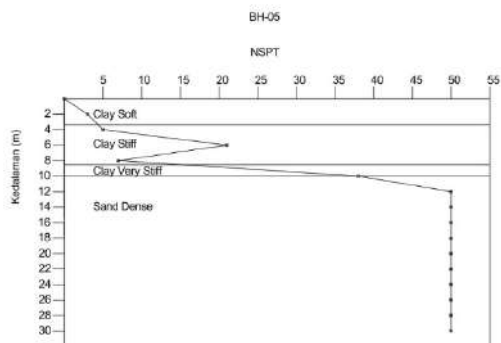
Gambar 5. 9 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-02



Gambar 5. 10 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-03



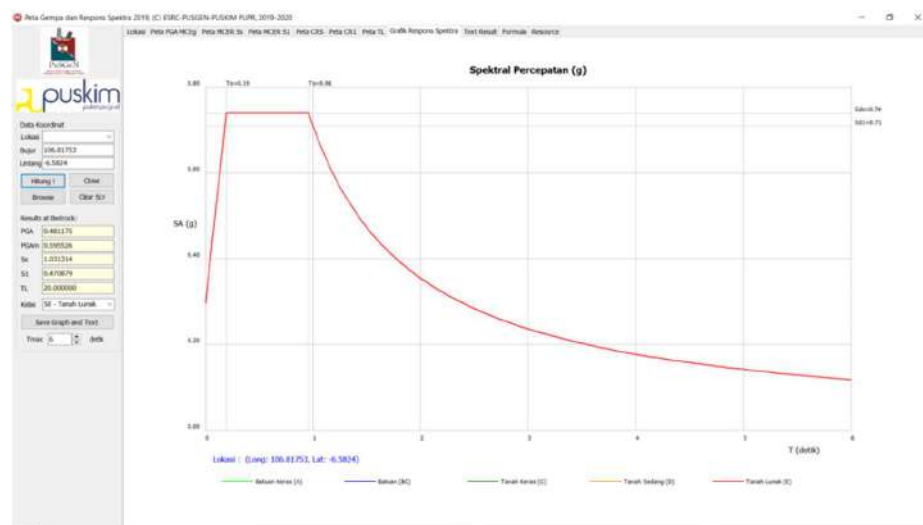
Gambar 5. 11 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-04



Gambar 5. 12 Hasil Penyelidikan Uji SPT BH-05

Dari kelima hasil uji SPT Proyek Pembangunan RS Pandu memiliki dalam laporan perhitungan struktur area proyek dominan kelas situs SE atau tanah lunak sehingga dalam perencanaan struktural gedung tahan gempa selanjutnya didasarkan pada kelas situs SE yang dimasukkan ke dalam aturan SNI 1726:2019

Dalam laporan perhitungan struktur RS Pandu didapati untuk parameter seismik yang didasari oleh SNI 1726:2019 bangunan Rumah Sakit Pandu yang dapat dilihat Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Spektrum Respon Desain (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)

Didapati dari gambar peta lokasi Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pandu diambil titik lokasi pada 106.82 BT dan 6.58 LS didapati bahwa lokasi tersebut memiliki peta SS dan S1 berturut-turut 1,03 dan 0,47 . Dari angka SS dan S1 tersebut dalam perhitungan analisis struktural berdasarkan SNI 1726:2019 dilanjutkan sesuai prosedural hingga mendapatkan variabel nilai SDS dan SD1, kategori desain seismik, nilai R, faktor keutamaan gempa, nilai R_x dan R_y , Ω , dan Cd. Dalam laporan perhitungan struktur RS Pandu didapati parameter seismik yang dapat diringkas pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Parameter Seismik Rumah Sakit Pandu (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)

No	Parameter Seismik	Hasil
1	Kategori Risiko	IV
2	I_e	1,5
3	Kategori Desain Seismik	D
4	Sds	0,74
5	Rx	7
6	Ry	7
7	Ω	2,5
8	Cd	5,5

Berdasarkan Laporan Perhitungan Struktur RS pandu tertulis bahwa untuk kombinasi dalam pembebanan gaya dasar lantai didasari oleh perhitungan reduksi beban hidup sebesar 0,3 sehingga nilai berat seismik atau (W) dinyatakan persamaan 5.2 sebagai berikut.

$$W = 100\%DL + 0,3 LL \quad (5.2)$$

Dengan,

W = Berat seismik (kN)

DL = Beban Mati (kN)

LL = Beban Hidup (kN)

Dari persamaan 5.2 kemudian selanjutnya dilakukan penginputan beban statik spektra yang searah dengan sumbu x dan y, kemudian dilanjut untuk pengecekan ketidakberatan horizontal dan vertikal. Dalam laporan perhitungan struktur RS Pandu didapati keterangan bahwa terdapat torsi ringan arah Y tetapi tidak ada torsi ekstrem sehingga untuk desain balok beban gempa dinaikkan 25%. Adanya torsi ringan arah Y ini sehingga analisis gempa didasari oleh analisis dinamik. Untuk

lebih jelasnya ketidakberaturan torsi dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.

Lantai ke	drift ratio X1	drift ratio X2	rata - rata	drift ratio max	1,2 rata-rata	Ket
8	0.001072	0.001505	0.0012885	0.001505	0.0015462	OK
7	0.001113	0.001563	0.001338	0.001563	0.0016056	OK
6	0.001119	0.001573	0.001346	0.001573	0.0016152	OK
5	0.001091	0.001534	0.0013125	0.001534	0.001575	OK
4	0.00101	0.001421	0.0012155	0.001421	0.0014586	OK
3	0.000844	0.001186	0.001015	0.001186	0.001218	OK
2	0.000612	0.000849	0.0007305	0.000849	0.0008766	OK
1	0.00026	0.000342	0.000301	0.000342	0.0003612	OK

Lantai ke	drift ratio y1	drift ratio y2	rata - rata	drift ratio max	1,2 rata-rata	Ket
8	0.000792	0.001278	0.001035	0.001278	0.001242	torsi
7	0.000812	0.001274	0.001043	0.001274	0.0012516	torsi
6	0.000809	0.001257	0.001033	0.001257	0.0012396	torsi
5	0.000779	0.001204	0.0009915	0.001204	0.0011898	torsi
4	0.000706	0.001118	0.000912	0.001118	0.0010944	torsi
3	0.000591	0.000978	0.0007845	0.000978	0.0009414	torsi
2	0.000424	0.000715	0.0005695	0.000715	0.0006834	torsi
1	0.000187	0.000309	0.000248	0.000309	0.0002976	torsi

Gambar 5. 14 Ketidakberaturan Horizontal Desain 3D RS Pandu (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)

Kemudian analisis dilanjut dalam perhitungan skala yang menjadi dasar perhitungan reaksi gempa untuk arah x dan y, yang mana untuk nilai penskalaan gaya gempa dinamik oleh statik dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Penskalaan Gaya Dinamik dan Statik (Sumber : Laporan Perhitungan Struktur RS Pandu)

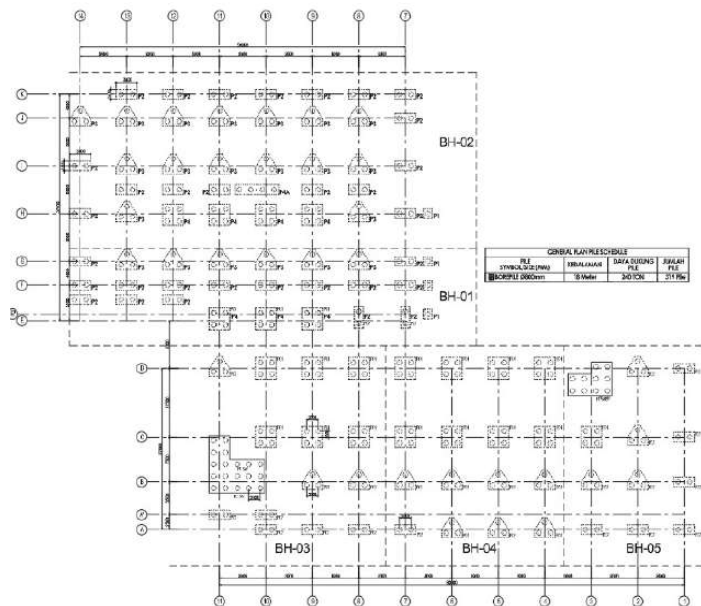
Parameter	V _x	V _y
V dinamik (kN)	11357	13922
V statik (kN)	23751	23751
Skala	2,09	1,71

Dari Tabel 5.4 didapati hasil skala gaya untuk analisis dinamik 2,09 untuk arah gaya seismik arah x dan 1,71 untuk arah gaya seismik arah y. Kedua skala ini nantinya

menjadi dasar untuk nilai komponen gaya seismik arah x yakni RSX dan y yakni RSY kemudian didapai hasil *joint reaction* untuk kombinasi gempa nominal dan kuat.

5.3 *Joint Reaction*

Hasil analisis dari struktur atas melalui *software* ETABS dapat dirinci yang terbagi menjadi 3 jenis kombinasi, yakni kombinasi beban layan, gempa nominal, dan gempa kuat. Penguraiannya sendiri didasari pada Gambar 4.2 yang mana dari dasar *layout* pada gambar tersebut, nantinya akan dilakukan uraian sesuai kodefikasi dan labelisasi pada penomoran *joint* sesuai pada Gambar 5.5 dan 5.6 yang disesuaikan pada zonasi *borehole*. Selain itu, uraian tipe fondasi sendiri telah diuraikan sesuai kategori kebutuhan jumlah *pile* pada tiap zonasi *borehole*. Untuk penjabarannya mengenai gambar zonasi *borehole* pada *layout* rencana awal fondasi dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Zonasi *Borehole* Pada *Layout* Rencana Awal Fondasi (Sumber : DED Pondasi RS Pandu)

Kelima *borehole* didapati bahwa untuk nilai BH-01 dan BH-02 tersebar pada gedung B sedangkan untuk BH-03, BH-04, dan BH-05 tersebar pada zonasi gedung A. Selanjutnya mengenai perincian beban nilai P, Mx, dan My dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Beban Layan

Hasil *joint reaction* kombinasi beban layan dapat diuraikan sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Beban Layan

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-01				
P2	1,32	4253.58	255.87	303.93
P3	5,12,16,17,24,25	6623.74	298.29	53.33
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	7558.41	182.03	204.83
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2357.70	141.95	153.47
P2	40,43	6493.50	11.36	110.99
P2	41,42,44,45,46,47	4988.25	26.76	147.25
BH-02				
P4	11,15,18,23	7976.94	257.28	1.30
P2	53,54,55,57,58	3514.15	3.81	176.62
P2	39	3045.72	4.83	47.69
P2	33,34,35,36,37,38	4487.77	19.05	56.31
P3	4,8	4350.40	203.35	241.43
P3	9,13,20,21,28	6066.55	257.01	40.27
P2	29	3638.17	192.10	294.89
P2	2,3,30	4652.43	171.53	328.49
P3	6,7,10,14,19,22,26,27	6792.76	374.22	129.66
P2	31	5423.48	185.86	117.09
BH-03				
PC2	12,13,14,15,16	726.85	163.42	129.36

Lanjutan Tabel 5.5 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Beban Layan

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH03				
PC3	74,75	4404.62	23.72	47.37
PC4	47,56,57,65,66	7854.15	358.25	46.50
SW1	23,63,72,64	20425.33	645.04	408.48
PC3	46	2648.52	204.29	378.43
BH-04				
PC2	11	356.91	163.19	4.15
PC3	76,77,78,79,81,82,83	5466.33	199.51	62.99
PC4	58,59,60,61,67,68,69,70	7851.31	504.95	161.43
BH05				
PC2	3,4,7,8,9, Grid 1D	1696.67	351.11	116.24
PC3	5,17,80	4917.08	64.48	251.19
PC3	10	2648.52	213.49	12.90
PC4	71	6819.58	27.76	7.79
SW2	161,172,174	10686.19	296.58	146.70

2. Gempa Nominal

Hasil *joint reaction* kombinasi gempa nominal dapat diuraikan sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Gempa Nominal

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-01				
P2	1,32	6647.58	548.57	409.30
P3	5,12,16,17,24,25	8608.35	400.54	216.37
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	11650.16	478.22	271.26

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Gempa Nominal

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-01				
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3820.20	430.59	504.58
P2	40,43	8524.24	316.35	149.48
P2	41,42,44,45,46,47	6516.60	53.50	198.41
BH-02				
P4	11,15,18,23	10354.17	346.59	161.05
P2	53,54,55,57,58	4591.69	39.17	241.22
P2	39	6246.59	246.75	100.03
P2	33,34,35,36,37,38	6275.48	252.09	213.64
P3	4,8	7294.73	531.63	326.00
P3	9,13,20,21,28	7891.28	343.20	206.47
P2	29	5954.46	453.84	396.28
P2	2,3,30	6646.42	544.12	442.39
P3	6,7,10,14,19,22,26,27	8831.72	501.63	308.37
P2	31	8596.97	251.50	158.90
BH-03				
PC2	12,13,14,15,16	1459.44	208.35	162.78
PC3	74,75	6496.77	29.66	131.94
PC4	47,56,57,65,66	10247.93	456.35	64.36
SW1	23,63,72,64	40509.39	806.90	520.41
PC3	46	7852.03	255.50	479.29
BH-04				
PC2	11	1399.57	208.02	5.33
PC3	76,77,78,79,81,82,83	7180.72	254.18	83.25
PC4	58,59,60,61,67,68,69,70	10381.68	640.75	206.23
BH05				
PC2	3,4,7,8,9, Grid 1D	2846.60	444.38	153.92
PC3	5,17,80	6999.44	92.05	318.41

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Gempa Nominal

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-05				
PC3	10	7852.03	267.90	16.48
PC4	71	7774.45	35.92	10.06
SW2	161,172,174	21414.23	376.71	184.67

3. Gempa Kuat

Hasil *joint reaction* kombinasi gempa kuat dapat diuraikan sebagai berikut

Tabel 5. 7 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Gempa Kuat

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-01				
P2	1,32	8698.28	1008.58	595.46
P3	5,12,16,17,24,25	8608.35	400.54	425.80
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	15598.98	587.38	658.66
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	5889.28	760.53	973.88
P2	40,43	10033.89	712.66	149.48
P2	41,42,44,45,46,47	6713.81	110.78	247.05
BH-02				
P4	11,15,18,23	10354.17	346.59	369.67
P2	53,54,55,57,58	4950.24	76.34	314.15
P2	39	9654.13	561.68	161.50
P2	33,34,35,36,37,38	8430.34	579.66	487.04
P3	4,8	10184.36	946.76	391.88
P3	9,13,20,21,28	7891.28	350.67	414.13
P2	29	8059.65	784.41	396.28
P2	2,3,30	8081.21	1029.22	442.39

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil *Joint Reaction* Kombinasi Gempa Kuat

Tipe Fondasi	Joint Label	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
BH-02				
P3	6,7,10,14,19,22,26,27	9141.55	501.63	522.84
P2	31	11148.57	321.32	158.90
BH-03				
PC2	12,13,14,15,16	2452.50	208.35	162.78
PC3	74,75	8183.91	29.66	131.94
PC4	47,56,57,65,66	11812.22	456.35	64.36
SW1	23,63,72,64	60304.91	823.35	520.41
PC3	46	12799.98	255.50	479.29
BH-04				
PC2	11	1567.18	208.02	5.33
PC3	76,77,78,79,81,82,83	8160.39	254.18	83.25
PC4	58,59,60,61,67,68,69,70	14132.48	640.75	206.23
BH-05				
PC2	3,4,7,8,9, Grid 1D	3919.42	444.38	153.92
PC3	5,17,80	8514.45	92.05	318.41
PC3	10	12799.98	267.90	16.48
PC4	71	12185.04	35.92	10.06
SW2	161,172,174	32152.42	376.71	184.67

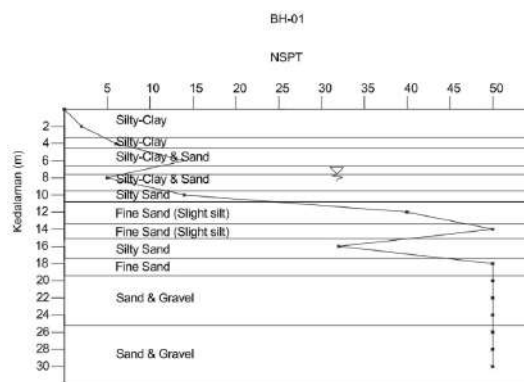
5.4 Data Parameter Tanah

Pembahasan data parameter tanah dalam penelitian ini didasarkan pada hasil uji Standard Penetration Test (SPT). Melalui pengujian tersebut diperoleh berbagai parameter tanah, baik yang berasal langsung dari hasil pengujian laboratorium maupun yang ditentukan melalui korelasi empiris terhadap nilai N-SPT. Parameter-parameter ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis teknis pada tahap perencanaan dan evaluasi fondasi. Adapun uraian mengenai data parameter tanah pada masing-masing titik bor disajikan sebagai berikut.

1. BH-01

Hasil uji SPT pada titik bor BH-01 diperoleh pada area Tower B, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.7. Data uji SPT pada titik ini memberikan gambaran kondisi dan karakteristik tanah di lokasi tersebut.

Pada uji SPT BH-01 sendiri didapati pada daerah Tower B yang mana dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 5.7. Untuk uraian mengenai data uji SPT dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



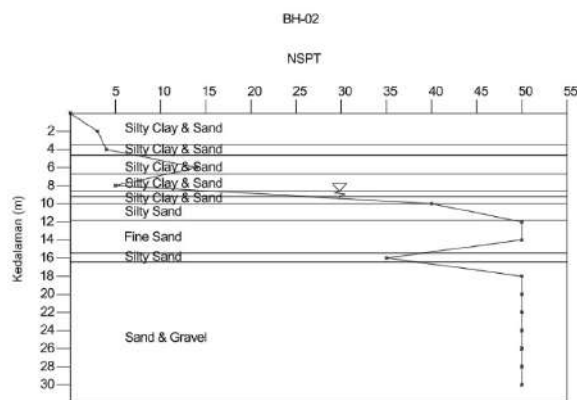
Gambar 5. 16 Design Line N-SPT BH-01

Pada Gambar 5.15 tertera bahwa pada lapisan dari 0-9,55 lapisan tanah dominan lempung (*clay*), terlihat pada lapisan 4,55-9,55 tanah memiliki lapisan lanau kelempungan dan kepasiran (*Silty Clay & Sand*), hal ini perlu di cek terlebih dahulu melalui tes yang dilakukan dari laboratrium, hasil laboratrium menyatakan untuk uji analisis distribusi ukuran tanah (*grain size distribution*) menyatakan bahwa pada tanah lapisan tersebut berturut-turut memiliki lapisan persentase 14,5% mengandung *sand*, 49% mengandung *silt*, dan 36,5% ,mengandung *clay* dan lapisan kedua adalah 15,5% *sand*, 45,5% *silt*, dan 36,5% *clay*. Selain itu, pada uji *atterberg limits* diketahui lapisan berturut-turun memiliki indeks plastisitas 38,09% dan 46,28% (>17), sehingga bisa diartikan bahwa kedua lapisan ini memiliki sifat dengan plastisitas tinggi yang manas masuk ke dalam kategori MH. Oleh karena itu 0-9,55 untuk mekanisme perhitungan daya dukung bisa dicondongkan untuk

tanah clay namun tetap disesuaikan dengan jenis kekerasan. Selain itu, juga didapati bahwa untuk muka air tanah (*Ground Water Level*) ditemukan pada elevasi -7,60, yang mana hal ini sangat penting untuk menentukan nilai berat volume jenuh.

2. BH-02

Pada uji SPT BH-02 sendiri terletak pada Tower B yang mana data NSPT sendiri dapat dilihat melalui Gambar 5.16 sebagai berikut.



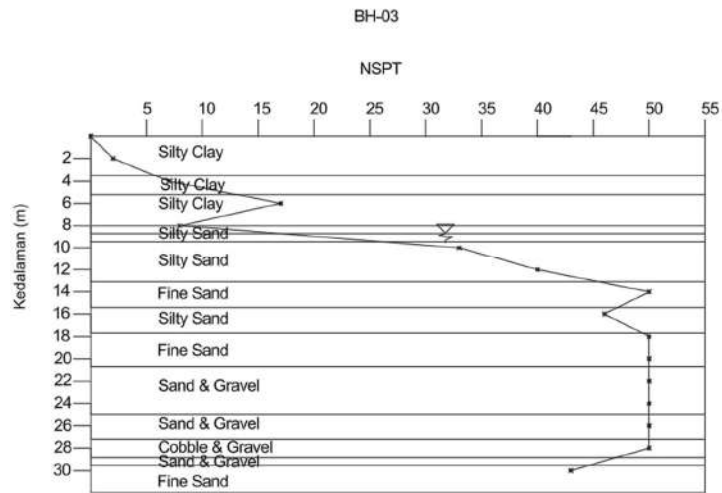
Gambar 5. 17 Design line N-SPT BH-02

Pada Gambar 5.16 tergambar bahwa pada BH-02 terdapat muka air tanah pada kedalaman -8,60 m dan dipati bahwa lapisan 0-10 m didapati lapisan *Silty Clay & Sand* yang mana hal ini harus diketahui nilai analisis distribusi butiran dan nilai batas *atterberg limits* untuk tahu jenis apa dalam lapisan tersebut. Dalam analisis uji batas *atterberg limits* diketahui berturut turut nilai indeks plastisitas yakni 45,08% (1,5-2.00 m), 44,33% (3,5-4.00 m), 33,14% (5,5-6.00 m), 34,23%(7,5-8,00 m), dan 28,85% (9,50-10,00 m). Selain itu, pada lapisan tersebut didapati perbandingan antara *clay* dan *sand* sesuai laporan laboratrium untuk analisis distibusi berturut-turut adalah 39%:20% (1,5-2.00 m), 40%:17,5% (2,5-4,00 m), 34%:15,50% (5,5-6,00), 36%:16,50% (7,5-8,00 m), dan 30%:21% (9,5-10 m). Dalam kedua analisis sehingga dapat disimpulkan lapisan 0-10 m tanah lanau lebih cenderung tanah lempung dan

bersifat plastis sehingga masuk kategori MH dengan indeks plastisitas lebih dari 17% (tinggi).

3. BH-03

Pada uji SPT BH-03 didapati dilakukan pada Tower A yang mana penjelasan mengenai hasil data uji SPT dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.

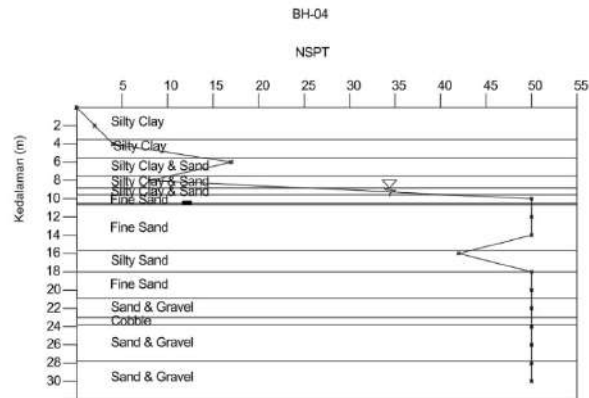


Gambar 5. 18 Design Line N-SPT BH-03

Pada Gambar 5.17 tertera bahwa pada kedalaman 0-8 m didapati bahwa lapisan memiliki jenis *silty clay*, yang mana hal ini sesuai dengan hasil laboratorium yang mana hasil dari lapisan ini berturut-turut memiliki indeks plastisitas sebesar 46,12% (1,5-2,00 m), 40,21% (3,5-4,00 m), 39,22% (5,5-6,00 m), dan 43,13% (7,50-8,00 m). Selain itu didapati bahwa untuk analisis distribusi butiran didapati perbandingan *clay* dan *sand* berturut-turut adalah 38%:9,00% (1,5-2,00 m), 34%:12,00%(3,5-4,00 m), 37%:11,00%(5,50-6,00 m), dan 41,00:9,00% (7,50-8,00 m). Dari analisis tersebut sehingga untuk lapisan dapat tersebut disimpulkan lebih bersifat lempung atau dengan jenis klasifikasi MH.

4. BH-04

Pada uji SPT BH-04 terletak pada Tower A. Untuk lebih jelasnya mengenai uraian data uji N-SPT BH-04 dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.

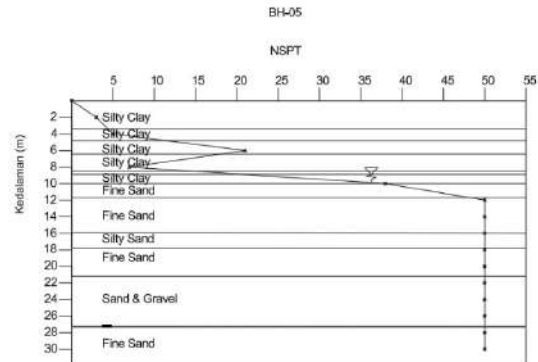


Gambar 5. 19 Design Line N-SPT BH-04

Pada uji SPT BH-04 didapati bahwa lapisan 5,5-9,55 memiliki lapisan *silty clay* dan *sand* hal ini menunjukkan pada titik BH-04 dan pada lapisan ini tanah tersebut memiliki komposisi campuran antara lempung dan pasir. Pada hasil laboratorium didapati bahwa pada lapisan 5,5-9,5 memiliki indeks plastisitas berturut-turut adalah 41,74% (5,5-6,00 m), 29,34% (7,5-8,00 m), dan 22,30% (9,00-9,50 m) sehingga dari hasil tersebut, lapisan 5,5-9,55 m memiliki sifat plastisitas yang tinggi (>17%). Dalam analisis butiran didapati pada lapisan tersebut memiliki perbandingan *clay* dan *sand* adalah 36%:12,5% (5,5-6,00 m), 26%:15,50% (7,50-8,00 m), dan 25,50%:24,00% (9,00-9,50 m). Dari hasil analisis tersebut berarti lapisan 5,5-9,55 bisa diartikan sebagai lanau berplastisitas tinggi atau MH, yang mana lapisan ini dapat dicondongkan dengan jenis tanah *clay*.

5. BH-05

Pada uji SPT BH-05 didapati pada Tower A, untuk lebih jelasnya mengenai data uji SPT BH-05 dapat dijelaskan pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5. 20 Design Line N-SPT BH-05

Pada uji SPT BH-05 tertera pada Gambar 5.19 menyatakan bahwa kedalaman 0-10.00 memiliki lapisan *silty clay* yang mana pada laporan laboratorium berturut-turut memiliki indeks plastisitas, yakni 43,02% (1,50-2,00 m), 48,12% (3,50-4,00 m), 42,92% (5,50-6,00 m), 48,13% (7,50-8,00 m), dan 32,46% (9,50-10,00 m). Selain itu pada analisis distribusi butiran didapati perbandingan antara *clay* dan *sand* berturut-turut, yakni 35,50%:12,00% (1,50-2,00 m), 40,50:10,50 (3,50-4,00 m), 38,00%:13,00% (5,50-6,00 m), 40,00%:11,00% (7,50-8,00 m), dan 27,00%:11,50% (9,50-10,00 m). Dari analisis laporan laboratorium tersebut bisa disimpulkan bahwa lapisan 0-10,00 m memiliki sifat plastisitas tinggi dan condong memiliki butiran *clay* sehingga dalam analisis fondasi lapisan tersebut dicondongkan ke jenis tanah *clay*.

Parameter yang didapatkan dari data N-SPT dan uji laboratorium ini yang nantinya menjadi dasar acuan dalam perhitungan analisis daya dukung serta penurunan dalam menggunakan *software* PLAXIS. Klasifikasi Parameter tanah dikelompokkan menjadi parameter fisik, parameter gradasi, dan parameter kuat geser untuk memudahkan analisis karakteristik, struktur butiran, serta kemampuan tanah dalam menahan beban dan deformasi. Untuk lebih lengkapnya data parameter tanah dari BH-01 hingga BH-05 dirangkum kedalam Tabel 5.5 hingga 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Parameter Fisik dan Indeks Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Kadar Air Alami	Berat Isi Basah	Berat Isi Kering	Berat Jenis Butiran Tanah	Angka Pori	Porositas	Derajat Kejuhan	Batas Atterberg			Klasifikasi Tanah (USCS)
		W _n	γ _t	γ _d	G _s	e	n	S _r	WL	WP	IP	Kelas
		%	t/m ³		-			%	%			-
BH01 (GWL - 7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	62,743	1,512	0,929	2,641	1,843	0,648	89,92	89,45	43,47	46,08	MH
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	59,473	1,521	0,954	2,634	1,761	0,638	88,93	82,30	45,28	37,02	MH
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	49,213	1,638	1,098	2,659	1,422	0,587	92,01	76,95	38,86	38,09	MH
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	61,477	1,552	0,961	2,645	1,752	0,637	92,81	89,95	43,67	46,28	MH
BH02 (GWL - 7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	60,554	1,510	0,940	2,675	1,844	0,648	87,83	92,50	47,42	45,08	MH
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	60,404	1,531	0,954	2,654	1,780	0,640	90,04	85,20	40,87	44,33	MH
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	49,770	1,647	1,100	2,676	1,433	0,589	92,92	75,80	42,06	33,14	MH
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	58,558	1,621	1,022	2,662	1,603	0,616	97,20	81,30	47,07	34,23	MH

Lanjutan Tabel 5.8 Parameter Fisik dan Indeks Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Kadar Air Alami	Berat Isi Basah	Berat Isi Kering	Berat Jenis Butiran Tanah	Angka Pori	Porositas	Derajat Kejenuhan	Batas Atterberg			Klasifikasi Tanah (USCS)
		W _n	γ_t	γ_d	G _s	e	n	S _r	WL	WP	IP	Kelas
		%	t/m ³		-			%	%			-
BH02 (GWL - 7,60 m)	Ds 1 (9,5-10,00 m)	65,025	1,387	0,840	2,633	2,133	0,681	80,27	73,20	44,35	28,85	MH
BH03 (GWL - 8,70 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	68,048	1,447	0,861	2,630	2,055	0,673	87,11	93,20	47,08	46,12	MH
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	62,652	1,523	0,936	2,645	1,825	0,646	90,82	90,05	49,84	40,21	MH
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	58,176	1,549	0,979	2,624	1,679	0,627	90,89	90,60	51,38	39,22	MH
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	55,340	1,561	1,005	2,662	1,649	0,623	89,33	91,80	48,67	43,13	MH
BH04 (GWL - 8,80 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	67,487	1,543	0,921	2,659	1,886	0,653	95,14	83,00	46,12	36,88	MH
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	64,334	1,580	0,961	2,674	1,781	0,640	96,59	81,30	42,87	38,43	MH

Lanjutan Tabel 5.8 Parameter Fisik dan Indeks Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Kadar Air Alami	Berat Isi Basah	Berat Isi Kering	Berat Jenis Butiran Tanah	Angka Pori	Porositas	Derajat Kejenuhan	Batas Atterberg			Klasifikasi Tanah (USCS)
		Wn	γ_t	γ_d	Gs	e	n	Sr	WL	WP	IP	Kelas
		%	t/m^3		-			%	%			-
BH04 (GWL - 8.80 m)	Uds 3 (5,50-6,00 m)	52,701	1,634	1,070	2,662	1,488	0,598	94,30	90,60	48,86	41,74	MH
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	64,647	1,555	0,944	2,658	1,815	0,645	94,70	73,60	44,26	29,34	MH
	Ds 1 (9,5-9,50 m)	58,409	1,601	1,011	2,674	1,646	0,622	94,91	67,50	45,20	22,30	MH
BH05 (GWL - 8,90 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	63,247	1,505	0,922	2,659	1,884	0,653	89,25	90,20	47,18	43,02	MH
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	61,016	1,532	0,951	2,650	1,785	0,641	90,57	98,30	50,18	48,12	MH
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	54,768	1,559	1,007	2,649	1,630	0,620	89,01	80,20	37,28	42,92	MH
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	65,033	1,480	0,897	2,648	1,953	0,661	88,19	99,30	51,17	48,13	MH
	Ds 1 (9,5-10,00 m)	66,672	1,502	0,901	2,679	1,972	0,664	90,55	81,90	49,44	32,46	MH

Tabel 5. 9 Parameter Gradasi Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Distribusi Ukuran Butir (% berat)			
		<i>Gravel</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>
		%			
BH01 (GWL -7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,00	12,50	49,50	38,00
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,00	13,00	51,00	36,00
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,00	14,50	49,00	36,50
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,00	15,50	45,50	39,00
BH02 (GWL -7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,00	20,00	41,00	39,00
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,00	17,50	42,50	40,00
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,00	15,50	50,50	34,00
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,00	16,50	47,50	36,00
	Ds 1 (9,5-10,00 m)	0,00	21,00	49,00	30,00
BH03 (GWL -8,70 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,00	9,00	53,00	38,00
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,00	12,00	54,00	34,00
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,00	11,00	52,00	37,00
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,00	9,00	50,00	41,00

Lanjutan Tabel 5.9 Parameter Gradasi Tanah (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Distribusi Ukuran Butir (% berat)			
		<i>Gravel</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>
		%			
BH04 (GWL -8,80 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,00	10,00	56,00	34,00
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,00	11,50	52,50	36,00
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,00	12,50	51,50	36,00
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,00	15,50	58,50	26,00
	Ds 1 (9,5-9,50 m)	0,00	24,00	50,50	25,50
BH05 (GWL - 8,90 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,00	12,00	52,50	35,50
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,00	10,50	49,00	40,50
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,00	13,00	49,00	38,00
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,00	11,00	49,00	40,00
	Ds 1 (9,5-10,00 m)	0,00	11,50	61,50	27,00

Tabel 5. 10 Parameter Kuat Geser dan Kompresibilitas (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Uji Tekan Bebas		Sensitivitas	Uji Triaksial CU (Konsolidasi-Niralir)		Tes Konsolidasi (Pembebanan Ulang)
		qu	qur		Kohesi	Sudut Geser Dalam	Indeks Kompresibilitas
		Kg/cm ²			-	kg/cm ²	°
BH01 (GWL - 7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	-	-	-	0,21	13,62	0,530
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,542	0,447	1,213	0,22	8,79	0,470
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	1,490	1,270	1,174	0,81	13,74	0,260
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	1,252	1,002	1,249	0,31	8,81	0,470
BH02 (GWL - 7,60 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,843	0,705	1,196	-	-	0,430
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,831	0,668	1,243	-	-	0,425

Lanjutan Tabel 5.10 Parameter Kuat Geser dan Kompresibilitas (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Uji Tekan Bebas		Sensitivitas	Uji Triaksial CU (Konsolidasi-Niralir)		Tes Konsolidasi (Pembebanan Ulang)
		qu	qur		Kohesi	Sudut Geser Dalam	Indeks Kompresibilitas
		Kg/cm ²			c	φ	Cc
					kg/cm ²	°	-
BH02 (GWL - 7,60 m)	Uds 3 (5,50-6,00 m)	1,490	1,314	1,196	-	-	0,385
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	1,079	0,824	1,243	-	-	0,320
	Ds 1 (9,5-10,00 m)	-	-	1,134	-	-	0,720
BH03 (GWL - 8,70 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	-	-	-	0,18	8,86	0,600
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,802	0,596	1,345	0,30	6,19	0,510
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,220	0,160	1,370	0,45	9,13	0,490
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,657	0,577	1,139	0,47	3,06	0,375

Lanjutan Tabel 5.10 Parameter Kuat Geser dan Kompresibilitas (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Uji Tekan Bebas		Sensitivitas	Uji Triaksial CU (Konsolidasi-Niralir)		Tes Konsolidasi (Pembebanan Ulang)
		qu	qur		Kohesi	Sudut Geser Dalam	Indeks Kompresibilitas
		Kg/cm ²			c	φ	Cc
					kg/cm ²	°	-
BH04 (GWL - 8,80 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	-	-	-	0,09	13,65	0,685
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,650	0,428	1,520	-	-	0,530
	Uds 3 (5,50-6,00 m)	-	-	-	0,23	7,02	0,380
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,220	0,163	1,351	-	-	0,665
	Ds 1 (9,5-9,50 m)	0,357	0,304	1,174	-	-	0,305
BH05 (GWL - 8,90 m)	Uds 1 (1,5-2,00 m)	0,200	0,176	1,138	0,26	16,59	0,48
	Uds 2 (3,5-4,00 m)	0,948	0,668	1,419	0,27	10,93	0,435

Lanjutan Tabel 5.10 Parameter Kuat Geser dan Kompresibilitas (Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah RS Pandu)

Nomor Bor dan elevasi muka air	Kode & Kedalaman Sampel	Uji Tekan Bebas		Sensitivitas	Uji Triaksial CU (Konsolidasi-Niralir)		Tes Konsolidasi (Pembebanan Ulang)
		qu	qur		Kohesi	Sudut Geser Dalam	Indeks Kompresibilitas
		kg/cm ²	kg/cm ²		c	φ	Cc
BH05 (GWL - 8,90 m)	Uds 3 (5,50-6,00 m)	0,588	0,447	1,316	0,14	8,58	0,260
	Uds 4 (7,50-8,00 m)	0,881	0,813	1,083	0,08	5,92	0,340
	Ds 1 (9,5-10,00 m)	0,298	0,220	1,357	0,07	5,23	0,630

5.5 Analisis Korelasi N-SPT dengan Uji Laboratorium dan CPT/CPTu

Pada subbab ini akan dijelaskan bagaimana hasil analisis korelasi antara hasil uji CPT/CPTu dengan nilai N-SPT. Perbandingan ini dianalisis hanya sebagai langkah pembanding dengan pendekatan empiris yang umum digunakan. Untuk lebih lengkapnya dapat diuraikan sebagai berikut.

5.5.1 Analisis Tegangan Geser Selimut CPT/CPTu Dengan Nilai N-SPT

Pada analisis korelasi nilai CPT/CPTu terbatas pada daya dukung selimut dikarenakan pada hasil uji CPT/CPTu berhenti rata rata pada kedalaman 10 m sehingga korelasi CPT/CPTu terbatas pada daya selimut pada lapisan *silty clay* pada kedalaman 0-10 m. Daerah sebaran uji CPT/CPTu sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.7. Untuk lebih jelasnya dapat diuraikan sebagai berikut.

1. CPTu 1

Pada daerah CPTu 1 berdekatan pada BH-03 sehingga uraian perhitungan dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Kedalaman 0-2 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$N-SPT = 2$$

$$u_2 = 0,5 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 0-2 m)}$$

$$a = 0,8$$

$$OCR = 4,45 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 0,3 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 0-2 m)}$$

$$q_t = q_c + u_2 \times (1 - \alpha)$$

$$= 0,3 + 0,5 \times (1 - 0,5)$$

$$= 0,55 \text{ Mpa}$$

$$F_s = 0,02 \times \alpha \times q_t (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,02 \times 0,5 \times 0,55$$

$$= 0,0055 \text{ Mpa}$$

$$= 0,0055 \times 10,197 \text{ (kg/cm}^2)$$

$$= 0,056 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,056 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,056 \times 10 \text{ t/m}^2$$

$$= 0,56 \text{ t/m}^2$$

b. Kedalaman 2-4 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\text{N-SPT} = 7$$

$$u_2 = 0,6 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 2-4 m)}$$

$$a = 0,8$$

$$\text{OCR} = 1,84 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 0,25 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 2-4 m)}$$

$$q_t = q_c + u_2 \times (1 - \alpha)$$

$$= 0,25 + 0,6 \times (1 - 0,5)$$

$$= 0,55 \text{ Mpa}$$

$$F_s = 0,02 \times \alpha \times q_t (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,02 \times 0,5 \times 0,55$$

$$= 0,0055 \text{ Mpa}$$

$$= 0,0055 \times 10,197 \text{ (kg/cm}^2)$$

$$= 0,056 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,056 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,056 \times 10 \text{ t/m}^2$$

$$= 0,56 \text{ t/m}^2$$

c. Kedalaman 4-6 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\text{N-SPT} = 17$$

$$u_2 = 0,6 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 4-6 m)}$$

$$a = 0,8$$

$$\text{OCR} = 1,36 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 2,25 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 4-6 m)}$$

$$q_t = q_c + u_2 \times (1 - \alpha)$$

$$= 2,25 + 0,6 \times (1 - 0,5)$$

$$= 2,55 \text{ Mpa}$$

$$F_s = 0,02 \times \alpha \times q_t (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,02 \times 0,5 \times 2,55$$

$$= 0,0255 \text{ Mpa}$$

$$= 0,0255 \times 10,197 \text{ (kg/cm}^2)$$

$$= 0,26 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,26 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,26 \times 10$$

$$= 2,6 \text{ t/m}^2$$

d. Kedalaman 6-8 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$N\text{-SPT} = 8$$

$$u_2 = 0,5 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 6-8 m)}$$

$$a = 0,8$$

$$OCR = 1,5 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 2 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 6-8 m)}$$

$$q_t = q_c + u_2 \times (1 - \alpha)$$

$$= 2 + 0,5 \times (1 - 0,5)$$

$$= 2,25 \text{ Mpa}$$

$$F_s = 0,02 \times \alpha \times q_t (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,02 \times 0,5 \times 2,25$$

$$= 0,0225 \text{ Mpa}$$

$$= 0,0225 \times 10,197 \text{ (kg/cm}^2)$$

$$= 0,229 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,229 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,229 \times 10 \text{ t/m}^2$$

$$= 2,29 \text{ t/m}^2$$

e. Kedalaman 8-10 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{N-SPT} &= 33 \\
 u_2 &= 0,67 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 8-10 m)} \\
 a &= 0,8 \\
 \text{OCR} &= 1 \text{ (asumsi penurunan OCR per kedalaman)} \\
 \alpha &= 1 \text{ (lempung NC)} \\
 q_c &= 4,5 \text{ Mpa (rata-rata pada grafik 8-10 m)} \\
 q_t &= q_c + u_2 \times (1 - \alpha) \\
 &= 4,5 + 0,67 \times (1 - 0,5) \\
 &= 4,5 \text{ Mpa} \\
 F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_t (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,02 \times 0,5 \times 4,5 \\
 &= 0,09 \text{ Mpa} \\
 &= 0,09 \times 10,197 \text{ (kg/cm}^2) \\
 &= 0,91 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,91 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,91 \times 10 \text{ (t/m}^2) \\
 &= 9,1 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Analog dengan perhitungan CPTu 1 yang telah diuraikan diatas sehingga didapati rekapitulasi untuk CPTu 1,2,3, dan 4 yang dapat dilihat pada Tabel 5.11, 5.12, 5.13, dan 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 1

CPTu 1						
Kedalaman (m)	N-SPT (BH-03)	u_2 (Mpa)	OCR	q_c (Mpa)	q_t (Mpa)	F_s (t/m ²)
0-2	2	0,5	4,45	0,3	0,55	0,56
2-4	7	0,6	1,84	0,25	0,55	0,56
4-6	17	0,6	1,36	2,25	2,55	2,60
6-8	8	0,5	1,5	2	2,25	2,29
8-10	33	0,67	1	4,5	4,5	9,18

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 2

CPTu 2						
Kedalaman (m)	N-SPT (BH02)	u2 (Mpa)	OCR	qc (Mpa)	qt (Mpa)	Fs (t/m ²)
0-2	3	0,1	7,39	0,25	0,3	0,31
2-4	4	0,1	3,96	0,3	0,35	0,36
4-6	14	0,3	0,85	2,25	2,25	4,59
6-8	5	0,65	1,33	2,5	2,83	2,88
8-10	40	0,45	1,09	4,5	4,73	4,82

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 3

CPTu 3						
Kedalaman (m)	N-SPT (BH01)	u2 (Mpa)	OCR	qc (Mpa)	qt (Mpa)	Fs (t/m ²)
0-2	2	-0,01	8,48	0,6	0,595	0,61
2-4	6	0,02	2,55	0,7	0,71	0,72
4-6	14	0,04	1,91	2,5	2,5	5,1

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CPTu 4

CPTu 4						
Kedalaman (m)	N-SPT (BH05)	u2 (Mpa)	OCR	qc (Mpa)	qt (Mpa)	Fs (t/m ²)
0-2	3	0,1	2,96	0,55	0,60	0,61
2-4	5	0,1	2,00	0,60	0,65	0,66
4-6	21	0,2	2,62	2,80	2,9	2,96
6-8	7	0,4	1,93	2,50	2,7	2,75
8-10	38	0,8	1,45	4,70	5,1	5,2

2. S1 (Sondir/CPT 1)

Dari hasil penyelidikan S1 pada Lampiran 6 berdekatan dengan BH01 didapati hasil analisis sebagai berikut.

a. Kedalaman 0-2 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\text{N-SPT} = 2$$

$$\text{OCR} = 8,48 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ (rata-rata pada grafik 0-2 m)}$$

$$\begin{aligned} F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_c (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0,02 \times 0,5 \times 10 \\ &= 0,1 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,056 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0,1 \times 10 \text{ t/m}^2 \\ &= 1 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 2-4 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\text{N-SPT} = 6$$

$$\text{OCR} = 2,55 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (lempung OC)}$$

$$q_c = 15 \text{ kg/cm}^2 \text{ (rata-rata pada grafik 2-4 m)}$$

$$\begin{aligned} F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_c (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0,02 \times 0,5 \times 15 \\ &= 0,15 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka dipakai } 0,056 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0,15 \times 10 \text{ t/m}^2 \\ &= 1,5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 4-6 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\text{N-SPT} = 14$$

$$\begin{aligned}
 \text{OCR} &= 1,91 \text{ (hasil laboratorium)} \\
 \alpha &= 0,5 \text{ (lempung OC)} \\
 q_c &= 30 \text{ kg/cm}^2 \text{ (rata-rata pada grafik 4-6 m)} \\
 F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_c (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,02 \times 0,5 \times 2,55 \\
 &= 0,3 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{maka dipakai } 0,26 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,3 \times 10 \\
 &= 3 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

d. Kedalaman 6-8 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{N-SPT} &= 5 \\
 \text{OCR} &= 1,19 \text{ (hasil laboratorium)} \\
 \alpha &= 0,5 \text{ (lempung OC)} \\
 q_c &= 40 \text{ kg/cm}^2 \text{ (rata-rata pada grafik 6-8 m)} \\
 F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_c (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,02 \times 0,5 \times 40 \\
 &= 0,4 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{maka dipakai } 0,229 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,4 \times 10 \text{ t/m}^2 \\
 &= 4 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

e. Kedalaman 8-10 m

Pada hasil penyelidikan CPTu 1 yang tertera pada Lampiran 6 didapati hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{N-SPT} &= 14 \\
 \text{OCR} &= 1 \text{ (asumsi penurunan OCR per kedalaman)} \\
 \alpha &= 1 \text{ (lempung NC)} \\
 q_c &= 125 \text{ kg/cm}^2 \text{ (rata-rata pada grafik 8-10 m)} \\
 F_s &= 0,02 \times \alpha \times q_c (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 0,02 \times 0,5 \times 4,5 \\
 &= 2,5 \text{ kg/cm}^2 (\leq 1,2 \text{ kg/cm}^2, \text{maka dipakai } 0,91 \text{ kg/cm}^2) \\
 &= 2,5 \times 10 \text{ (t/m}^2)
 \end{aligned}$$

$$= 25 \text{ t/m}^2$$

Analog dengan perhitungan S1 yang telah diuraikan diatas sehingga didapati rekapitulasi untuk S1 dan S2 yang dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan S1

S1/CPT 1				
Kedalaman	N-SPT (BH01)	OCR	qc (kg/cm ²)	Fs (t/m ²)
0-2	2	8,48	10	1
2-4	6	2,55	15	1,5
4-6	14	1,91	30	3
6-8	5	1,19	40	4
8-10	14	1	125	25

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan S2

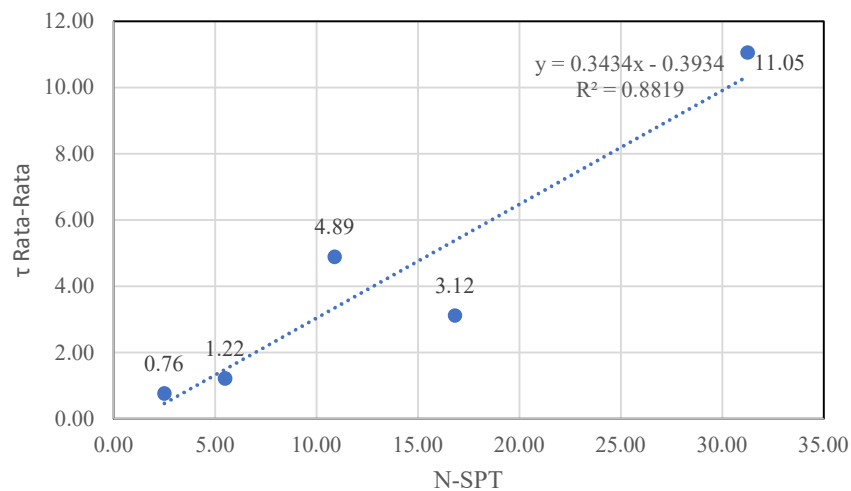
S2/CPT 2				
Kedalaman	N-SPT (BH05)	OCR	qc (kg/cm ²)	Fs (t/m ²)
0-2	2	2,96	15	1,5
2-4	6	2,00	35	3,5
4-6	14	2,62	30	3
6-8	5	1,93	125	12,5

Dari hasil uraian yang telah diuraikan selanjutnya dilanjutkan analisis rata-rata dikarenakan kedalaman lapisan 0-8 m tiap *borehole* memiliki tanah homogen dari tiap lapisan kedalaman, sehingga untuk keseluruhan daerah proyek yang dapat di rekapitulasi dalam bentuk Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Rata-Rata Hasil CPT dan CPTu

Kedalaman	τ Rata-Rata CPT/CPTu (t/m ²)	N-SPT Rata-Rata Tiap <i>Borehole</i>
0-2	0.76	2.50
2-4	1.22	5.50
4-6	3.12	16.83
6-8	4.89	10.90
8-10	11.05	31.25

Sehingga dari hasil rata-rata per lapisan didapati hasil korelasi dari analisis regresi per lapisan dengan N-SPT yang dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.

**Gambar 5. 21 Korelasi τ Rata-Rata CPT/CPTu Vs N-SPT**

Dari Gambar 5.21 diperoleh nilai korelasi grafik $y = 0,3434x - 0,3934$ dengan nilai $R^2 = 0,8819$ yang mana ini berarti nilai koefisien hubungan tegangan geser CPT/CPTu memiliki hubungan 0,343 N sehingga jika dibandingkan dengan pendekatan empiris didapati hasil faktor adhesi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 qs &= \alpha \times c \\
 \tau \text{ Rata-Rata CPT/CPTu} &= \alpha \times 0,6 \times \text{N-SPT} \\
 \text{Koefisien grafik} &= 0,343 \times \text{N-SPT} \\
 \text{Maka didapat faktor adhesi} \\
 \alpha &= \frac{0,343}{0,6} \\
 &= 0,572
 \end{aligned}$$

Dari hasil didapat faktor adhesi dari hasil korelasi tegangan rata-rata CPT dan CPTu sebesar 0,572

5.5.2 Analisis Korelasi Nilai Tegangan Geser Laboratorium Dengan N-SPT

Pada analisis korelasi ini diambil lapisan *silty clay* terbanyak yakni hingga pada kedalaman 8 m dikarenakan kedalaman 9,2 m terdapat *borehole* yang telah terdapat lapisan sand. Analisis korelasi nilai kohesi hasil uji laboratorium dengan N-SPT dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Nilai Kohesi Uji Laboratorium Tiap Kedalaman

Kedalaman	Nilai Kohesi (t/m ²)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	2.1	-	1.8	0.9	2.6
2-4	2.2	-	3	-	2.7
4-6	8.1	-	4.5	2.3	1.4
6-8	3.1	3.6	4.7	-	0.8

Kemudian didapat analisis nilai γ_{wet} dari analisis pengujian laboratorium yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Nilai γ_{wet} Laboratoirum Dengan Kedalaman

Kedalaman	Nilai γ_{wet} (t/m ³)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	1.512	1.51	1.447	1.543	1.505

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Nilai γ_{wet} Laboratoirum Dengan Kedalaman

Kedalaman	Nilai γ_{wet} (t/m ³)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
2-4	1.521	1.531	1.523	1.58	1.532
4-6	1.638	1.647	1.549	1.634	1.559
6-8	1.552	1.621	1.561	1.555	1.48

Sehingga dari tabel 5.19 didapati nilai tegangan *overburden* kondisi niralir yang diambil pada sampel BH01 dengan GWL -7.6 m sesuai pada Tabel 5.8 yang dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Kedalaman 0-2 m

$$\begin{aligned}\gamma_{wet} &= 1,512 \text{ t/m}^3 \\ z &= 2 \text{ m} \\ \sigma &= \gamma_{wet} \times z \\ &= 1,512 \times 2 \\ &= 3,024 \text{ t/ m}^2\end{aligned}$$

2. Kedalaman 2-4 m

$$\begin{aligned}\gamma_{wet} &= 1,521 \text{ t/m}^3 \\ z &= 2 \text{ m} \\ \sigma &= \gamma_{wet} \times z + (\sigma \text{ 0-2 m}) \\ &= 1,521 \times 2 + 3,024 \\ &= 6,066 \text{ t/ m}^2\end{aligned}$$

3. Kedalaman 4-6 m

$$\begin{aligned}\gamma_{wet} &= 1,638 \text{ t/m}^3 \\ z &= 2 \text{ m} \\ \sigma &= \gamma_{wet} \times z + (\sigma \text{ 2-4 m}) \\ &= 1,638 \times 2 + (\sigma \text{ 2-4 m}) \\ &= 9,342 \text{ t/ m}^2\end{aligned}$$

4. Kedalaman 6-8 m

$$\gamma_{wet} = 1,552 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 z &= 2 \text{ m} \\
 \sigma &= \gamma_{wet} \times z (6-7,6 \text{ m}) + (\sigma_{4-6 \text{ m}}) + ((\gamma_{sat} - \gamma_w) \times 0,4 \text{ m}) \\
 &= 1,552 \times 1,6 + (\sigma_{4-6 \text{ m}}) + ((1,598-1) \times 0,4) \\
 &= 11,464 \text{ t/ m}^2
 \end{aligned}$$

Analog dengan perhitungan BH-01 sehingga didapati rekapitulasi nilai tegangan *overburden* pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Nilai Tegangan *Overburden*

Kedalaman	Nilai σ (t/m ²)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	3.024	3.020	2.894	3.086	3.010
2-4	6.066	6.082	5.940	6.246	6.074
4-6	9.342	9.376	9.038	9.514	9.192
6-8	11.464	12.618	12.160	12.624	12.152

Selanjutnya untuk analisis nilai ϕ dari pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Nilai ϕ Pengujian Laboratorium

Kedalaman	Nilai ϕ (°)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	13.62	-	8.86	13.65	16.59
2-4	8.79	-	6.19	-	10.93
4-6	13.74	-	9.13	7.02	8.58
6-8	8.81	11.91	3.06	-	5.92

Sehingga dari parameter total Tabel 5.19 hingga 5.21 didapat nilai tegangan geser yang diambil sampel pada BH-01 dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Kedalaman 0-2 m
 - $c = 2.1 \text{ t/m}^2$
 - $\phi = 13.62$

$$\begin{aligned}\sigma &= 3,024 \text{ t/m}^2 \\ \tau &= c + \sigma \tan \varphi \\ &= 2.1 + 3,024 \tan (13,62) \\ &= 2,83 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

2. Kedalaman 2-4 m

$$\begin{aligned}c &= 2,2 \text{ t/m}^2 \\ \varphi &= 8,79 \\ \sigma &= 6,066 \text{ t/m}^2 \\ \tau &= c + \sigma \tan \varphi \\ &= 2.2 + 6,066 \tan (8,79) \\ &= 3,14 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

3. Kedalaman 4-6 m

$$\begin{aligned}c &= 8,1 \text{ t/m}^2 \\ \varphi &= 13,74 \\ \sigma &= 9,342 \text{ t/m}^2 \\ \tau &= c + \sigma \tan \varphi \\ &= 8,1 + 9,342 \tan (13,74) \\ &= 10,38 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

4. Kedalaman 6-8 m

$$\begin{aligned}c &= 3,1 \text{ t/m}^2 \\ \varphi &= 8,81 \\ \sigma &= 11,464 \text{ t/m}^2 \\ \tau &= c + \sigma \tan \varphi \\ &= 3,1 + 11,464 \tan (8,81) \\ &= 4,88 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Analog dengan perhitungan tegangan geser total pada BH-01 maka untuk tegangan geser BH-02 hingga BH-05 memiliki perhitungan yang sama, sehingga untuk nilai tegangan geser dari BH-01 hingga BH-05 didapat rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Nilai Tegangan Geser

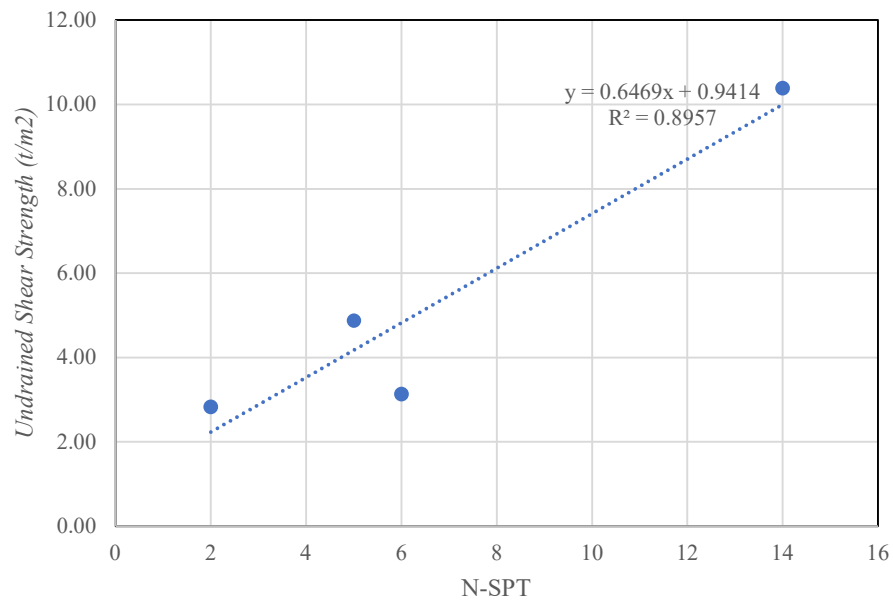
Kedalaman	Nilai τ (t/m ²)				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	2.83	-	2.25	1.65	3.50
2-4	3.14	-	3.64	-	3.87
4-6	10.38	-	5.95	3.47	2.79
6-8	4.88	6.26	5.35	-	2.06

Untuk mendapatkan korelasi dengan nilai N-SPT, maka selanjutnya dianalisis nilai N-SPT per interval 2 m yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

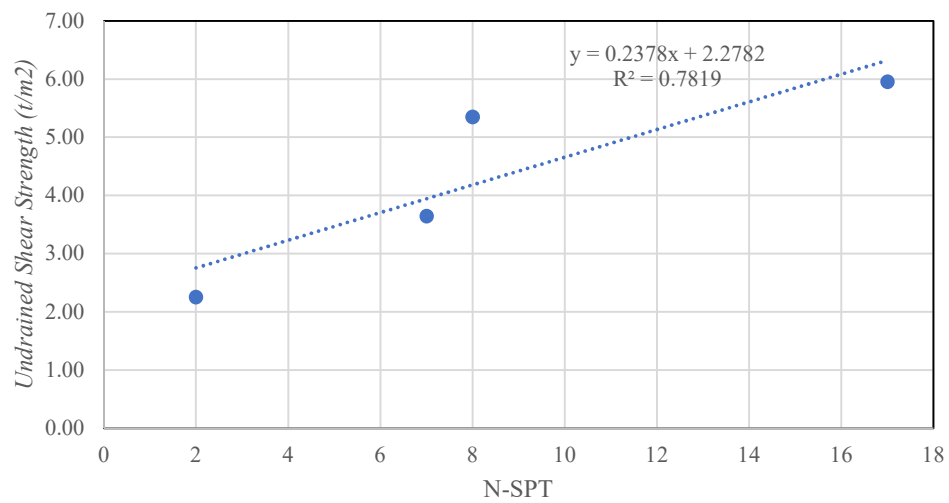
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Nilai N-SPT Interval 2 m

Kedalaman	Nilai N-SPT				
	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05
0-2	2	3	2	2	3
2-4	6	4	7	4	5
4-6	14	14	17	17	21
6-8	5	5	8	8	7

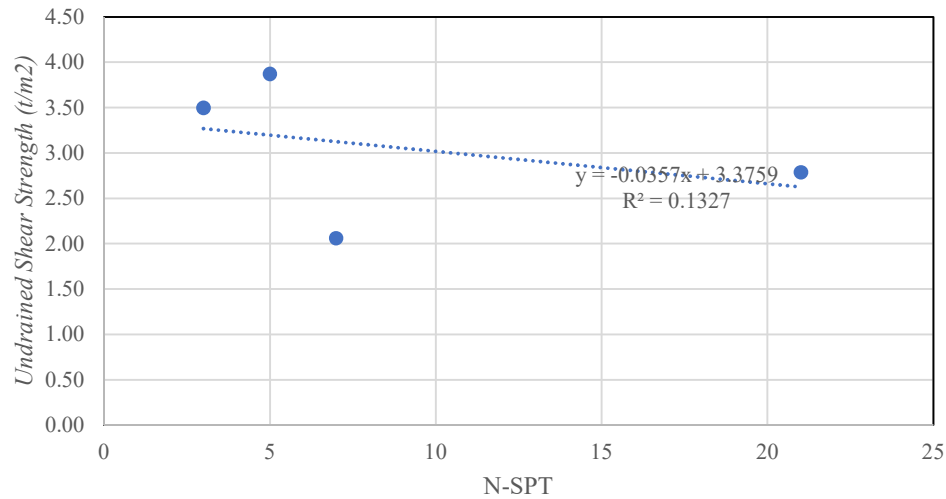
Dari Tabel 5.22 dan 5.23 nanti nya didapati nilai korelasi yang mana hal ini berdasar pada landasan teori yang mendapat korelasi yang umum digunakan yakni nilai *undrained shear strength* sebesar 0,6 N dengan satuan t/m². Nilai ini didapat pada tiap interval kedalaman yang kontinu. Sehingga dari uraian Tabel 5.22 dan 5.23 didapat nilai korelasi hubungan antara nilai N-SPT dengan tegangan geser, nilai ini hanya korelasi yang memiliki data kontinu sehingga untuk korelasi hanya diambil pada BH-01, BH-03, dan BH-05 yang dapat dilihat Gambar 5.22 , 5.23, dan 5.24 sebagai berikut



Gambar 5. 22 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-01



Gambar 5. 23 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-03



Gambar 5. 24 Korelasi Nilai Tegangan Geser Dengan N-SPT Pada BH-05

Dari Gambar 5.22 didapati hasil korelasi antara nilai kohesi laboratorium dengan nilai N-SPT didapat nilai $y = 0,6469 x$ dengan nilai $R^2 = 0,8957$, hal ini menandakan bahwa nilai koefisien pengali dari kohesi laboratorium dengan N-SPT sebesar 0,6469 atau dengan kata lain korelasi pada BH-01 dapat menggunakan korelasi 0,6 N dikarenakan juga pada Gambar 5.22 nilai R^2 kuat dengan nilai 0,8957 sehingga ini valid. Kemudian untuk Gambar 5.23 juga valid dengan nilai faktor determinasi R^2 cukup kuat dengan nilai 0,7819 sehingga persamaan $y = 0,2378 N$ atau 0,2 N bisa digunakan. Pada Gambar 5.24 yakni pada BH-05 memiliki faktor determinasi rendah dengan nilai R^2 senilai 0,1327 yang mana ini menandakan persamaan $y = -0,0357$ tidak valid.

5.5.3 Evaluasi Hasil Analisis Dengan Pendekatan Empiris

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara tegangan geser selimut (Q_s) yang diperoleh dari data CPT/CPTu dan nilai N-SPT, diperoleh hubungan dalam bentuk persamaan $Q_s = 0,3434N - 0,3934$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8819 yang menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara kedua parameter tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai N-SPT memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya tegangan geser selimut pada lokasi penelitian. Berdasarkan hubungan teoritis $\tau = \alpha c$ dengan $c = 0,6N$, diperoleh $\tau = 0,6\alpha N$,

sehingga dari kemiringan (*slope*) hasil regresi diperoleh nilai faktor adhesi $\alpha \approx 0,57$ yang masih berada dalam kisaran nilai yang umum digunakan dalam analisis daya dukung tiang.

Untuk hasil analisis korelasi antara nilai tegangan geser dan nilai N-SPT menunjukkan hubungan yang relatif lemah, dengan persamaan bermacam-macam yakni, pada Gambar 5.22 dan 5.23 didapati hasil korelasi antara nilai kohesi laboratorium dengan nilai N-SPT didapat nilai $y = 0,6469 x$ dengan nilai $R^2 = 0,8957$, hal ini menandakan bahwa nilai koefisien pengali dari kohesi laboratorium dengan N-SPT sebesar 0,6469 atau dengan kata lain korelasi pada BH-01 dapat menggunakan korelasi 0,6 N dikarenakan juga pada Gambar 5.22 nilai R^2 kuat dengan nilai 0,8957 sehingga ini valid. Kemudian untuk Gambar 5.23 juga valid dengan nilai faktor determinasi R^2 cukup kuat dengan nilai 0,7819 sehingga persamaan $y = 0,2378 N$ atau 0,2 N bisa digunakan. Pada Gambar 5.24 yakni pada BH-05 memiliki faktor determinasi rendah dengan nilai R^2 senilai 0,1327 yang mana ini menandakan persamaan $y = -0,0357$ tidak valid untuk digunakan sebagai acuan korelasi, sehingga untuk perhitungan BH-05 dapat menggunakan korelasi persamaan yang umum yakni 0,6 N. Sehingga untuk nilai BH-02 dan BH-04 dikarenakan data tidak kontinu dengan pengambilan nilai tanah dominan keras pada ujung tiang maka penggunaan 0,6 N juga dapat diterapkan pada perhitungan BH-02 dan BH-04.

5.6 Daya Dukung Tanah

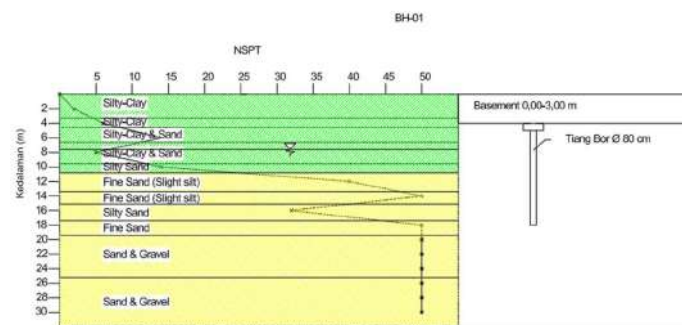
Perhitungan daya dukung tanah sendiri memiliki banyak persamaan dalam pencarian nilai. Dalam hal ini, peneliti menggunakan persamaan yang tercantum dalam persamaan yang telah dikutip pada subbab 3.6.1 hingga 3.6.5 yang terbatas hanya pada pendekatan uji SPT. Dalam pembagian lapisan tanah sendiri, peneliti menggunakan pendekatan sesuai kalsifikasi tanah (USCS) yang nanti tiap lapisan tersebut didapati nilai N-SPT dari pendekatan rata-rata atau interpolasi. Perhitungan daya dukung tanah sendiri dihitung berdasarkan penomoran uji bor yang nanti hasil daya dukung terkecil atau rata-rata dari kelima data *borehole* yang diambil dalam perhitungan kapasitas kelompok tiang. Dalam perhitungannya sendiri penelitian ini

akan membandingkan daya dukung tiang bor dengan diameter 80 cm dan tiang pancang 60 cm pada kedalaman 12 m, pemilihan kedalaman 12 m ini didasarkan pada pada kelima titik uji didapati kedalaman 12 m ditemukan lapisan keras serta pemilihan diameter 60 cm karena nilai daya dukung ujung tiang pancang yang lebih tinggi daripada tiang bor sehingga pemilihan 60 cm untuk tiang pancang dan 80 cm untuk tiang bor dirasa cukup sebanding .Untuk lebih jelasnya perhitungan daya dukung tanah dapat diuraikan sebagai berikut.

5.6.1 Tiang Bor 80 cm

1. BH01

Pada data uji SPT BH01 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 25 Rancangan Desain Fondasi Bor 80 cm pada BH01

Dari Gambar 5.20 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$C_{u1} = 0,22 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)}$$

$$= 21,582 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{21,582} \leq 1 \\ &= 1,41 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}As_1 &= \pi \times D \times L_1 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,25 \\ &= 3,14 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Qs_1 &= \alpha_1 \times Cu_1 \times As_1 \\ &= 1 \times 21,582 \times 3,14 \\ &= 67,802 \text{ kN}\end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned}Cu_2 &= 0,81 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 79,461 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{79,461} \leq 1 \\ &= 0,54 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,54)} \\ &= 0,54\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}As_2 &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,05 \\ &= 5,15 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Qs_2 &= \alpha_2 \times Cu_2 \times As_2 \\ &= 0,54 \times 79,461 \times 5,15 \\ &= 219,93 \text{ kN}\end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned}Cu_3 &= 0,31 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 30,411 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{30,411} \leq 1 \\
 &= 1,065 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As_3 &= \pi \times D \times L_3 \\
 &= \pi \times 0,8 \times 2,95 \\
 &= 7,41 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs_3 &= \alpha_3 \times Cu_3 \times As_3 \\
 &= 1 \times 30,411 \times 7,41 \\
 &= 225,472 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 4

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned}
 \tau_4 &= 0,1-0,32 \times N\text{-SPT} \\
 &= 0,25 \times 11 \text{ (pengambilan 0,25 karena tanah } \textit{sand medium} \\
 &\quad \textit{dense})} \\
 &= 2,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As_4 &= \pi \times D \times L_4 \\
 &= \pi \times 0,8 \times 1,35 \\
 &= 3,39 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs_4 &= \tau_4 \times As_4 \times g \\
 &= 2,75 \times 3,39 \times 9,81 \\
 &= 91,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 5

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned}
 \tau_5 &= (0,1-0,32) \times N\text{-SPT} \\
 &= 0,29 \times 34 \text{ (diambil 0,25 karena sand bersifat } \textit{dense})} \\
 &= 9,86
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As_5 &= \pi \times D \times L_5 \\
 &= \pi \times 0,8 \times 2,5 \\
 &= 6,28 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$Qs_5 = \tau_5 \times As_5 \times g$$

$$= 9,86 \times 6,28 \times 9,81$$

$$= 607,75 \text{ kN}$$

f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 6

$$\tau_6 = (0.1-0,32) \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense})$$

$$= 14,5$$

$$As_6 = \pi \times D \times L_6$$

$$= \pi \times 0,8 \times 1,7$$

$$= 4,27 \text{ m}^2$$

$$Qs_6 = \tau_6 \times As_6 \times g$$

$$= 14,5 \times 4,27 \times 9,81$$

$$= 607,75 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 7

$$\tau_7 = (0.1-0,32) \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,29 \times 32 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense})$$

$$= 9,28$$

$$As_7 = \pi \times D \times L_7$$

$$= \pi \times 0,8 \times 2,9$$

$$= 7,29 \text{ m}^2$$

$$Qs_7 = \tau_7 \times As_7 \times g$$

$$= 9,28 \times 7,29 \times 9,81$$

$$= 663,52 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp) lapisan 7

$$N_1 = \frac{14+40+50+32+50}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 37,2$$

$$N_2 = \frac{50+50+50}{3} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 50$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_1+N_2}{2}$$

$$= \frac{37,2+50}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 43,6 \\
 q_p &= 13 \times \text{N-SPT rata-rata (Persamaan NAVDOC)} \\
 &= 13 \times 43,6 \\
 &= 566,8 \\
 A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \\
 &= 0,503 \text{ m}^2 \\
 Q_p &= q_p \times A_p \times g \\
 &= 566,8 \times 0,503 \times 9,81 \\
 &= 2794,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

i. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

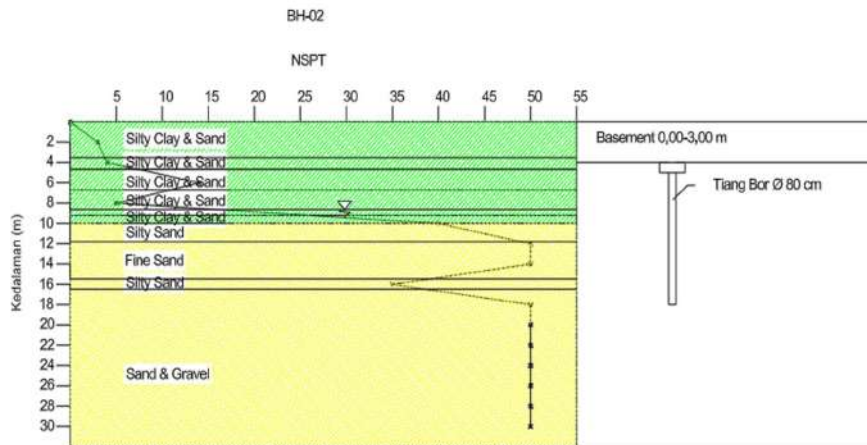
$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7} \\
 &= 2794,52 + 67,8 + 219,93 + 225,47 + 91,53 + \\
 &\quad 607,75 + 607,75 + 663,52 \\
 &= 5278,68 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

j. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{5278,68}{2,5} \\
 &= 2111,47 \text{ kN} \\
 &= \frac{2111,47}{9,81} \\
 &= 215,24 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

2. BH02

Pada data uji SPT BH02 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 26 Rancangan Desain Fondasi Bor 80 cm pada BH02

Dari Gambar 5.21 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,6 \times 4 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)} \\ &= 23,544 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{23,544} \leq 1 \\ &= 1,31 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,15 \\ &= 2,89 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha 1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 1 \times 23,544 \times 2,89 \\ &= 68,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu_2 &= 0,6 \times 14 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{ NSPT)} \\ &= 82,404 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{82,404} \leq 1 \\ &= 0,53 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,54)} \\ &= 0,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_2 &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,05 \\ &= 5,15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_2 &= \alpha_2 \times Cu_2 \times As_2 \\ &= 0,53 \times 82,404 \times 5,15 \\ &= 223,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu_3 &= 0,36 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 35,316 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{35,316} \leq 1 \\ &= 0,946 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,946)} \\ &= 0,946 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_3 &= \pi \times D \times L_3 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,5 \\ &= 6,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_3 &= \alpha_3 \times Cu_3 \times As_3 \\ &= 0,946 \times 35,316 \times 6,28 \\ &= 209,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu4 &= 0,36 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 35,316 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha4 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{35,316} \leq 1 \\ &= 0,946 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,946)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As4 &= \pi \times D \times L4 \\ &= \pi \times 0,8 \times 0,8 \\ &= 2,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs4 &= \alpha4 \times Cu4 \times As3 \\ &= 0,946 \times 35,316 \times 2,01 \\ &= 67,188 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 5

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau5 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 45 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\ &= 13,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As5 &= \pi \times D \times L5 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,8 \\ &= 2,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs5 &= \tau5 \times As5 \times g \\ &= 13,05 \times 2,01 \times 9,81 \\ &= 579,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 6

$$\begin{aligned} \tau6 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\ &= 14,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As6 &= \pi \times D \times L6 \\ &= \pi \times 0,8 \times 3,65 \\ &= 9,17 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs6 &= \tau6 \times As6 \times g \\
 &= 14,5 \times 9,17 \times 9,81 \\
 &= 1304,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

g. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 7

$$\begin{aligned}
 \tau7 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\
 &= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\
 &= 14,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As7 &= \pi \times D \times L7 \\
 &= \pi \times 0,8 \times 1 \\
 &= 2,51 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs7 &= \tau7 \times As7 \times g \\
 &= 14,5 \times 2,51 \times 9,81 \\
 &= 357,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

h. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 8

$$\begin{aligned}
 \tau8 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\
 &= 0,29 \times 35 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\
 &= 10,15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As8 &= \pi \times D \times L8 \\
 &= \pi \times 0,8 \times 1 \\
 &= 2,51 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs8 &= \tau8 \times As8 \times g \\
 &= 10,15 \times 2,51 \times 9,81 \\
 &= 387,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

i. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp) lapisan 8

$$\begin{aligned}
 N1 &= \frac{40+50+50+35+}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)} \\
 &= 45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N2 &= \frac{50+50+50}{3} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)} \\
 &= 50
 \end{aligned}$$

$$\text{N rata- rata} = \frac{N1+N2}{2}$$

$$= \frac{45+50}{2}$$

$$= 47,5$$

$$q_p = 13 \times \text{N-SPT rata-rata (Persamaan NAVDOC)}$$

$$= 13 \times 47,5$$

$$= 617,5$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$$

$$= 0,503 \text{ m}^2$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 617,5 \times 0,503 \times 9,81$$

$$= 3044,92 \text{ kN}$$

j. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7} + Q_{s8}$$

$$= 3044,92 + 68,05 + 223,12 + 209,96 + 67,188 +$$

$$579,15 + 1304,88 + 357,5 + 387,89$$

$$= 6242,65 \text{ kN}$$

k. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{6242,65}{2,5}$$

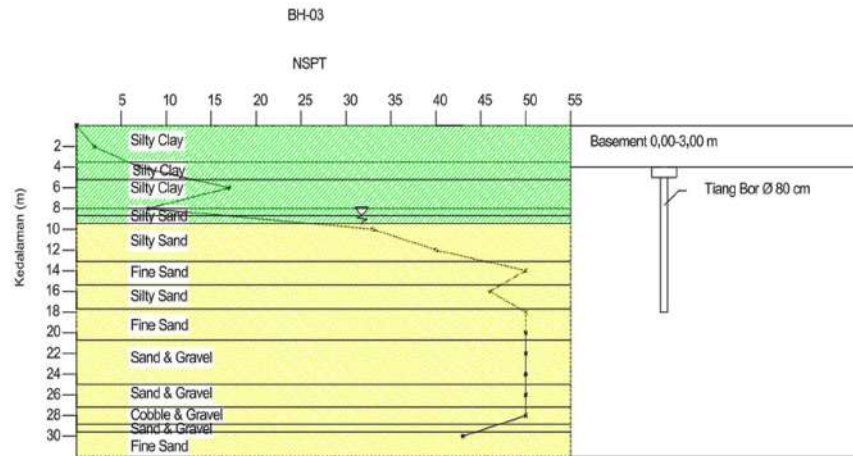
$$= 2497,06 \text{ kN}$$

$$= \frac{2497,06}{9,81}$$

$$= 254,54 \text{ ton}$$

3. BH03

Pada data uji SPT BH03 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 27 Desain Rancangan Fondasi Tiang Bor 80 cm Pada BH03

Dari Gambar 5.22 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,3 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 29,43 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{29,43} \leq 1 \\ &= 1,09 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,7 \\ &= 4,27 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha 1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 1 \times 29,43 \times 4,27 \\ &= 125,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu_2 &= 0,45 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 44,145 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{44,145} \leq 1 \\ &= 0,799 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,799)} \\ &= 0,799 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_2 &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,8 \\ &= 7,04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_2 &= \alpha_2 \times Cu_2 \times As_2 \\ &= 0,799 \times 44,145 \times 7,04 \\ &= 248,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau_5 &= (0,1-0,32) \times N\text{-SPT} \\ &= 0,22 \times 26 \text{ (diambil 0,22 karena sand bernilai NSPT 26)} \\ &= 5,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_5 &= \pi \times D \times L_5 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,45 \\ &= 3,644 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_5 &= \tau_5 \times As_5 \times g \\ &= 5,72 \times 3,644 \times 9,81 \\ &= 204,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau_5 &= (0,1-0,32) \times N\text{-SPT} \\ &= 0,29 \times 41 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\ &= 11,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s5} &= \pi \times D \times L5 \\ &= \pi \times 0,8 \times 3,65 \\ &= 9,17 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s5} &= \tau_5 \times A_{s5} \times g \\ &= 11,89 \times 9,17 \times 9,81 \\ &= 1069,9995 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 5

$$\begin{aligned} \tau_6 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 45 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense}) \\ &= 13,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s6} &= \pi \times D \times L6 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,3 \\ &= 5,78 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s6} &= \tau_6 \times A_{s6} \times g \\ &= 13,05 \times 5,78 \times 9,81 \\ &= 740,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 6

$$\begin{aligned} \tau_7 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 48 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense}) \\ &= 13,92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s7} &= \pi \times D \times L7 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,7 \\ &= 4,27 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s7} &= \tau_7 \times A_{s7} \times g \\ &= 13,92 \times 4,27 \times 9,81 \\ &= 583,44 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 7

$$\begin{aligned} \tau_8 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense}) \\ &= 14,5 \end{aligned}$$

$$A_{s8} = \pi \times D \times L8$$

$$= \pi \times 0,8 \times 0,9$$

$$= 2,26 \text{ m}^2$$

$$Q_{s8} = \tau_8 \times A_{s8} \times g$$

$$= 14,5 \times 2,26 \times 9,81$$

$$= 321,75 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 7

$$N_1 = \frac{33+40+50+46+50}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 43,8$$

$$N_2 = \frac{50+50+50}{3} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 50$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_1+N_2}{2}$$

$$= \frac{43,8+50}{2}$$

$$= 46,9$$

$$q_p = 13 \times N\text{-SPT rata-rata (Persamaan NAVDOC)}$$

$$= 13 \times 46,9$$

$$= 609,7$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$$

$$= 0,503 \text{ m}^2$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 609,7 \times 0,503 \times 9,81$$

$$= 3006,46 \text{ kN}$$

i. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7}$$

$$= 3006,46 + 125,74 + 248,2 + 204,49 + 1069,999 +$$

$$740,03 + 583,44 + 321,75$$

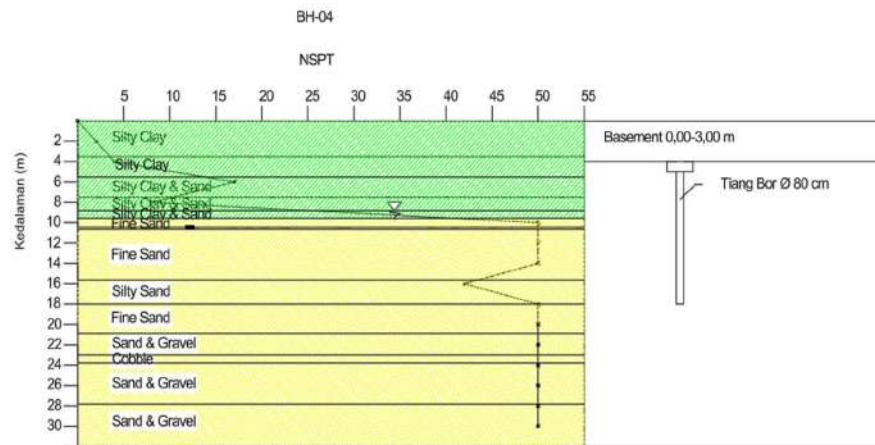
$$= 6300,111 \text{ kN}$$

j. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{6300,111}{2,5} \\
 &= 2520,044 \text{ kN} \\
 &= \frac{2520,044}{9,81} \\
 &= 256,885 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4. BH04

Pada data uji SPT BH04 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 28 Desain Rancang Fondasi Tiang Bor 80 cm BH04

Dari Gambar 5.23 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned}
 C_{u1} &= 0,6 \times 10,5 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)} \\
 &= 61,8 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = 0,21 + 0,26 \times \frac{P_a}{C_u} \leq 1$$

$$= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{61,8} \leq 1$$

$$= 0,63 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,63)}$$

$$= 0,63$$

$$As1 = \pi \times D \times L1$$

$$= \pi \times 0,8 \times 2$$

$$= 5,03 \text{ m}^2$$

$$Qs1 = \alpha1 \times Cu1 \times As1$$

$$= 0,63 \times 61,8 \times 5,03$$

$$= 195,93 \text{ kN}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$Cu2 = 0,23 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)}$$

$$= 22,54 \text{ kPa}$$

$$\alpha2 = 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1$$

$$= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{22,54} \leq 1$$

$$= 1,36 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)}$$

$$= 1$$

$$As2 = \pi \times D \times L2$$

$$= \pi \times 0,8 \times 2$$

$$= 5,03 \text{ m}^2$$

$$Qs2 = \alpha2 \times Cu2 \times As2$$

$$= 1 \times 22,54 \times 5,03$$

$$= 113,31 \text{ kN}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$Cu3 = 0,6 \times 38 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)}$$

$$= 223,668 \text{ kPa}$$

$$\alpha3 = 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1$$

$$= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{223,668} \leq 1$$

$$= 0,326 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,326)}$$

$$= 0,326$$

$$As_3 = \pi \times D \times L_3$$

$$= \pi \times 0,8 \times 1,35$$

$$= 3,39 \text{ m}^2$$

$$Qs_3 = \alpha_3 \times Cu_3 \times As_3$$

$$= 0,326 \times 223,67 \times 3,39$$

$$= 247,58 \text{ kN}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$Cu_4 = 0,6 \times 40 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)}$$

$$= 235,44 \text{ kPa}$$

$$\alpha_4 = 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1$$

$$= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{235,44} \leq 1$$

$$= 0,32 < 1 \text{ (kurang dari 1 maka dipakai 0,32)}$$

$$= 0,32$$

$$As_4 = \pi \times D \times L_4$$

$$= \pi \times 0,8 \times 0,7$$

$$= 1,75 \text{ m}^2$$

$$Qs_4 = \alpha_4 \times Cu_4 \times As_4$$

$$= 0,32 \times 235,44 \times 1,75$$

$$= 132,73 \text{ kN}$$

- e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 6

$$\tau_6 = (0,1-0,32) \times N\text{-SPT}$$

$$= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense)$$

$$= 14,5$$

$$As_6 = \pi \times D \times L_6$$

$$= \pi \times 0,8 \times 2,45$$

$$= 6,16 \text{ m}^2$$

$$Qs_6 = \tau_6 \times As_6 \times g$$

$$= 14,5 \times 6,16 \times 9,81$$

$$= 875,88 \text{ kN}$$

f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 7

$$\tau_7 = (0.1-0,32) \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense})$$

$$= 14,5$$

$$As_7 = \pi \times D \times L_7$$

$$= \pi \times 0,8 \times 3,65$$

$$= 9,17 \text{ m}^2$$

$$Qs_7 = \tau_7 \times As_7 \times g$$

$$= 14,5 \times 9,17 \times 9,81$$

$$= 1304,88 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 8

$$\tau_8 = (0.1-0,32) \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense})$$

$$= 14,5$$

$$As_8 = \pi \times D \times L_8$$

$$= \pi \times 0,8 \times 2,35$$

$$= 5,91 \text{ m}^2$$

$$Qs_8 = \tau_8 \times As_8 \times g$$

$$= 14,5 \times 5,91 \times 9,81$$

$$= 840,13 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp) lapisan 8

$$N_1 = \frac{50+50+50+42+5}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 48,4$$

$$N_2 = \frac{50+50+50}{3} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 50$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_1+N_2}{2}$$

$$= \frac{48,4+50}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 49,2 \\
 q_p &= 13 \times \text{N-SPT rata-rata (Persamaan NAVDOC)} \\
 &= 13 \times 49,2 \\
 &= 639,6 \\
 A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \\
 &= 0,503 \text{ m}^2 \\
 Q_p &= q_p \times A_p \times g \\
 &= 639,6 \times 0,503 \times 9,81 \\
 &= 3153,896 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

i. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

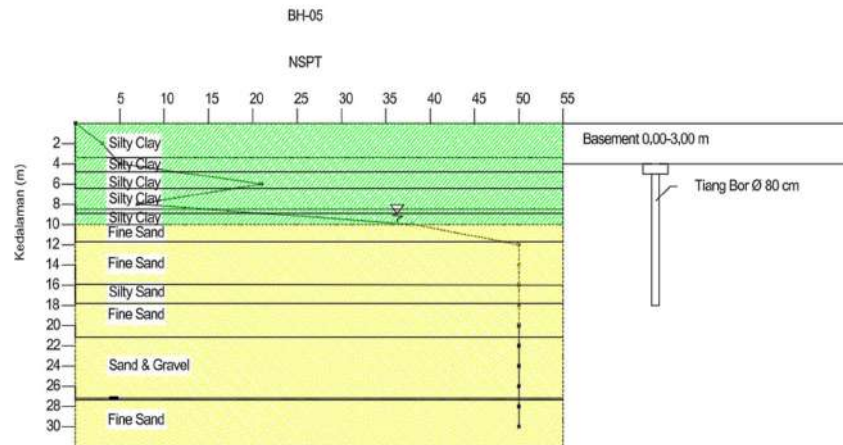
$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7} + \\
 &\quad Q_{s8} \\
 &= 3153,896 + 195,93 + 113,31 + 247,58 + 132,73 + \\
 &\quad 875,88 + 1304,88 + 840,13 \\
 &= 6864,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

j. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{6864,32}{2,5} \\
 &= 2745,73 \text{ kN} \\
 &= \frac{2745,73}{9,81} \\
 &= 279,89 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

5. BH05

Pada data uji SPT BH04 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 29 Desain Rancangan Fondasi Tiang Bor 80 cm Pada BH05

Dari Gambar 5.24 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,27 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 26,487 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{26,487} \leq 1 \\ &= 1,19 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,4 \\ &= 3,52 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha 1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 1 \times 26,487 \times 3,52 \\ &= 93,197 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu2 &= 0,14 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 13,73 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha2 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{13,73} \leq 1 \\ &= 2,1 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As2 &= \pi \times D \times L2 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,65 \\ &= 4,15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs2 &= \alpha2 \times Cu2 \times As2 \\ &= 1 \times 13,73 \times 4,15 \\ &= 56,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu3 &= 0,08 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 7,85 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha3 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{7,85} \leq 1 \\ &= 3,52 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As3 &= \pi \times D \times L3 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,05 \\ &= 5,15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs3 &= \alpha3 \times Cu3 \times As3 \\ &= 1 \times 7,85 \times 5,15 \\ &= 40,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu4 &= 0,07 \times 98,1 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)} \\ &= 6,87 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha4 &= 0,21 + 0,26 \times \frac{Pa}{Cu} \leq 1 \\ &= 0,21 + 0,26 \times \frac{100}{6,87} \leq 1 \\ &= 3,99 > 1 \text{ (lebih dari 1 maka dipakai 1)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As4 &= \pi \times D \times L4 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,5 \\ &= 3,77 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs4 &= \alpha4 \times Cu4 \times As4 \\ &= 1 \times 6,87 \times 3,77 \\ &= 25,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 5

$$\begin{aligned} \tau6 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 44 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\ &= 12,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As6 &= \pi \times D \times L6 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,7 \\ &= 4,27 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs6 &= \tau6 \times As6 \times g \\ &= 12,76 \times 4,27 \times 9,81 \\ &= 534,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 6

$$\begin{aligned} \tau6 &= (0.1-0,32) \times \text{N-SPT} \\ &= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \\ &= 14,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As6 &= \pi \times D \times L6 \\ &= \pi \times 0,8 \times 4,2 \\ &= 10,56 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$Qs6 = \tau6 \times As6 \times g$$

$$= 14,5 \times 10,56 \times 9,81$$

$$= 1501,5 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 7

$$\tau_8 = (0,1 - 0,32) \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,29 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } \textit{dense})$$

$$= 14,5$$

$$A_{s8} = \pi \times D \times L_8$$

$$= \pi \times 0,8 \times 3,28$$

$$= 8,24 \text{ m}^2$$

$$Q_{s8} = \tau_8 \times A_{s8} \times g$$

$$= 14,5 \times 8,24 \times 9,81$$

$$= 750,75 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 7

$$N_1 = \frac{38+50+50+50+}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 47,6$$

$$N_2 = \frac{50+50+50}{3} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 50$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

$$= \frac{47,6 + 50}{2}$$

$$= 48,8$$

$$q_p = 13 \times \text{N-SPT rata-rata (Persamaan NAVDOC)}$$

$$= 13 \times 48,8$$

$$= 634,4$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2$$

$$= 0,503 \text{ m}^2$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 634,4 \times 0,503 \times 9,81$$

$$= 3128,25 \text{ kN}$$

i. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7} + \\ & \quad Q_{s8} \\ &= 3128,25 + 93,197 + 56,95 + 40,43 + 25,89 + \\ & \quad 534,82 + 1501,5 + 750,75 \\ &= 6131,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

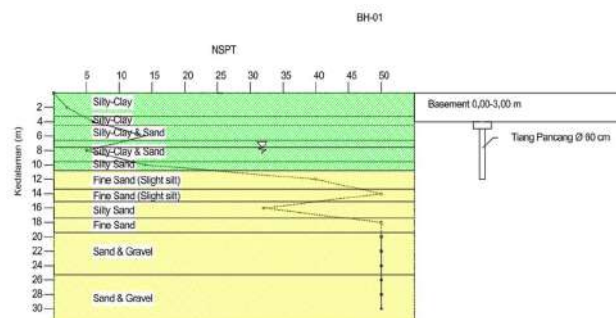
j. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{6131,8}{2,5} \\ &= 2452,72 \text{ kN} \\ &= \frac{2452,72}{9,81} \\ &= 250,02 \text{ ton} \end{aligned}$$

5.6.2 Tiang Pancang 60 cm

1. BH01

Pada data uji SPT BH01 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 30 Rancangan Desain Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH01

Dari Gambar 5.25 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk

lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} C_{u1} &= 0,22 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 21,582 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = 1 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \pi \times D \times L_1 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,25 \\ &= 3,14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s1} &= \alpha_1 \times C_{u1} \times A_{s1} \\ &= 1 \times 21,582 \times 3,14 \\ &= 67,787 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} C_{u2} &= 0,81 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 79,461 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = 0,5 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} A_{s2} &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2,05 \\ &= 3,86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s2} &= \alpha_2 \times C_{u2} \times A_{s2} \\ &= 0,5 \times 79,461 \times 3,86 \\ &= 153,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} C_{u3} &= 0,31 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 30,411 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \times (y_2 - y_1) \\ &= 1 + \frac{(30,411-25)}{(70-25)} \times (0,5 - 1) \end{aligned}$$

$$= 0,94 \text{ (interpolasi grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} A_{s3} &= \pi \times D \times L_3 \\ &= \pi \times 0,8 \times 2,95 \\ &= 7,41 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s3} &= \alpha_3 \times C_{u3} \times A_{s3} \\ &= 0,94 \times 30,411 \times 7,41 \\ &= 211,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau_4 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 11 \text{ (pengambilan 0,1 alasan konservatif)} \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s4} &= \pi \times D \times L_4 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,35 \\ &= 3,39 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s4} &= \tau_4 \times A_{s4} \times g \\ &= 1,1 \times 3,39 \times 9,81 \\ &= 27,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

- e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 5

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau_5 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 34 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s5} &= \pi \times D \times L_5 \\ &= \pi \times 0,8 \times 1,1 \\ &= 2,07 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s5} &= \tau_5 \times A_{s5} \times g \\ &= 2,4 \times 2,07 \times 9,81 \\ &= 69,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

- f. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 5

$$N1 = \frac{14+5+14+4}{4} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 18,25$$

$$N2 = \frac{50+40}{2} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 45$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N1+N2}{2}$$

$$= \frac{18,25+45}{2}$$

$$= 31,625 < 40 \text{ (kurang dari 40 maka diambil 31,625)}$$

$$= 31,625$$

$$q_p = 40 \times N\text{-SPT rata-rata} < 1600 \text{ t/m}^2 \text{ (Persamaan meyerhoff)}$$

$$= 40 \times 31,625$$

$$= 1265$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2$$

$$= 0,28 \text{ m}^2$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 1265 \times 0,28 \times 9,81$$

$$= 3508,75 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} + Q_{s7}$$

$$= 3508,75 + 50,85 + 153,53 + 158,94 + 27,46 + 69,16$$

$$= 3968,68 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{3968,68}{2,5}$$

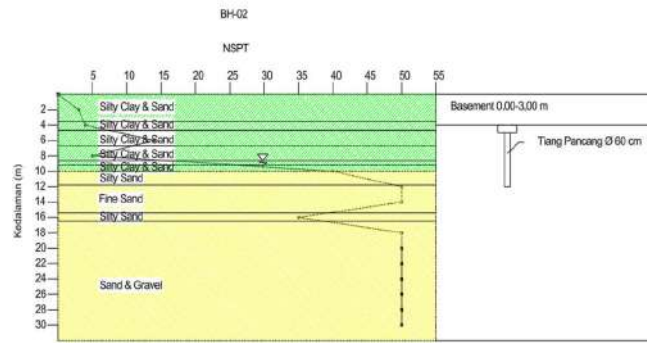
$$= 1587,47 \text{ kN}$$

$$= \frac{1587,47}{9,81}$$

$$= 161,82 \text{ ton}$$

2. BH02

Pada data uji SPT BH02 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 31 Rancangan Desain Fondasi Pancang 60 cm pada BH02

Dari Gambar 5.26 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,6 \times 4 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)} \\ &= 23,544 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha1 = 1 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,15 \\ &= 2,17 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 1 \times 23,544 \times 2,89 \\ &= 51,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$Cu2 = 0,6 \times 14 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)}$$

$$= 82,404 \text{ kPa}$$

$$\alpha_2 = 0,5 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} As_2 &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2,05 \\ &= 3,86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_2 &= \alpha_2 \times Cu_2 \times As_2 \\ &= 0,5 \times 82,404 \times 3,86 \\ &= 159,21 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu_3 &= 0,36 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 35,316 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \times (y_2 - y_1) \\ &= 1 + \frac{(35,316-2)}{(70-2)} \times (0,5 - 1) \\ &= 0,885 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_3 &= \pi \times D \times L_3 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2,5 \\ &= 4,71 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs_3 &= \alpha_3 \times Cu_3 \times As_3 \\ &= 0,885 \times 35,316 \times 4,71 \\ &= 147,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu_4 &= 0,36 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 35,316 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_4 &= y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \times (y_2 - y_1) \\ &= 1 + \frac{(35,316-2)}{(70-25)} \times (0,5 - 1) \\ &= 0,885 \end{aligned}$$

$$As_4 = \pi \times D \times L_4$$

$$= \pi \times 0,8 \times 0,8$$

$$= 2,01 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{s4} &= \alpha_4 \times C_{u4} \times A_{s4} \\ &= 0,885 \times 35,316 \times 2,01 \\ &= 47,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

- e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 5

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned} \tau_5 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 45 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\ &= 4,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s5} &= \pi \times D \times L_5 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,8 \\ &= 3,39 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s5} &= \tau_5 \times A_{s5} \times g \\ &= 4,5 \times 3,39 \times 9,81 \\ &= 149,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

- f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 6

$$\begin{aligned} \tau_6 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 50 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\ &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s6} &= \pi \times D \times L_6 \\ &= \pi \times 0,6 \times 0,2 \\ &= 0,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s6} &= \tau_6 \times A_{s6} \times g \\ &= 5 \times 0,38 \times 9,81 \\ &= 18,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

- g. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 6

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{14+5+40+5}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)} \\ &= 27,25 \end{aligned}$$

$$N_2 = \frac{50+50}{2} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 50$$

$$\begin{aligned} N \text{ rata-rata} &= \frac{N1+N2}{2} \\ &= \frac{27,25+50}{2} \\ &= 38,625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= 40 \times N\text{-SPT rata-rata (Persamaan Meyerhoff)} \\ &= 40 \times 38,625 \\ &= 1545 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \\ &= 0,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \times g \\ &= 1545 \times 0,28 \times 9,81 \\ &= 4285,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

h. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

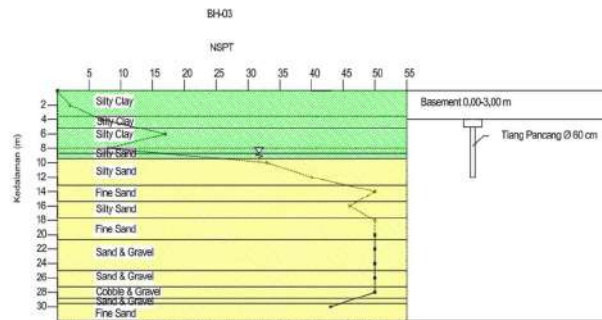
$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} \\ &= 4285,39 + 51,04 + 159,21 + 147,35 + 47,15 + \\ &\quad 149,78 + 18,49 \\ &= 4858,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

i. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{4858,4}{2,5} \\ &= 1943,36 \text{ kN} \\ &= \frac{1943,36}{9,81} \\ &= 198,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

3. BH03

Pada data uji SPT BH03 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 32 Desain Rancangan Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH03

Dari Gambar 5.27 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,3 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 29,43 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= y1 + \frac{(x-x1)}{(x2-x1)} \times (y2 - y1) \\ &= 1 + \frac{(29,43-2)}{(70-2)} \times (0,5 - 1) \\ &= 0,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,7 \\ &= 3,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha 1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 0,95 \times 29,43 \times 3,2 \\ &= 89,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$Cu2 = 0,45 \times 98,1 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 44,145 \text{ kPa} \\
 \alpha_2 &= y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \times (y_2 - y_1) \\
 &= 1 + \frac{(44,145-)}{(70-2)} \times (0,5 - 1) \\
 &= 0,79
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s2} &= \pi \times D \times L_2 \\
 &= \pi \times 0,6 \times 2,8 \\
 &= 5,28 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{s2} &= \alpha_2 \times C_{u2} \times A_{s2} \\
 &= 0,79 \times 44,145 \times 5,28 \\
 &= 183,43 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned}
 \tau_5 &= 0,1 \times \text{N-SPT} \\
 &= 0,1 \times 26 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\
 &= 2,6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s5} &= \pi \times D \times L_5 \\
 &= \pi \times 0,6 \times 1,45 \\
 &= 2,733 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{s5} &= \tau_5 \times A_{s5} \times g \\
 &= 2,6 \times 2,733 \times 9,81 \\
 &= 69,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Sand*

$$\begin{aligned}
 \tau_5 &= 0,1 \times \text{N-SPT} \\
 &= 0,1 \times 41 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\
 &= 4,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s5} &= \pi \times D \times L_5 \\
 &= \pi \times 0,6 \times 2,55 \\
 &= 4,81 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_{s5} = \tau_5 \times A_{s5} \times g$$

$$= 4,1 \times 4,81 \times 9,81$$

$$= 193,33 \text{ kN}$$

e. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 4

$$N_1 = \frac{17+8+33+40}{4} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)}$$

$$= 24,5$$

$$N_2 = \frac{40+5}{2} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)}$$

$$= 45$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_1+N_2}{2}$$

$$= \frac{24,5+45}{2}$$

$$= 34,75 < 40$$

$$q_p = 40 \times N\text{-SPT rata-rata (Persamaan Meyerhoff)}$$

$$= 40 \times 34,75$$

$$= 1390$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2$$

$$= 0,28 \text{ m}^2$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 1390 \times 0,28 \times 9,81$$

$$= 3855,46 \text{ kN}$$

f. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4}$$

$$= 3855,46 + 89,66 + 183,43 + 69,71 + 193,33$$

$$= 4391,59 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{4391,59}{2,5}$$

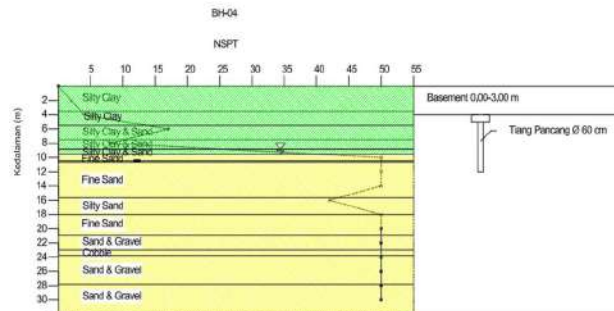
$$= 1756,64 \text{ kN}$$

$$= \frac{1756,64}{9,81}$$

$$= 179.07 \text{ ton}$$

4. BH04

Pada data uji SPT BH04 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 33 Desain Rancang Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH04

Dari Gambar 5.28 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,6 \times 10,5 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi } 0,6 \times \text{NSPT)} \\ &= 61,8 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha1 &= y1 + \frac{(x-x1)}{(x2-x1)} \times (y2 - y1) \\ &= 1 + \frac{(61,8-25)}{(70-2)} \times (0,5 - 1) \\ &= 0,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2 \\ &= 3,77 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 0,59 \times 61,8 \times 3,77 \end{aligned}$$

$$= 137,72 \text{ kN}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} \text{Cu}_2 &= 0,23 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 22,54 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = 1 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_2 &= \pi \times D \times L_2 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2 \\ &= 3,77 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qs}_2 &= \alpha_2 \times \text{Cu}_2 \times \text{As}_2 \\ &= 1 \times 22,54 \times 3,77 \\ &= 84,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} \text{Cu}_3 &= 0,6 \times 38 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)} \\ &= 223,668 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0,5 \text{ (dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_3 &= \pi \times D \times L_3 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,35 \\ &= 2,54 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qs}_3 &= \alpha_3 \times \text{Cu}_3 \times \text{As}_3 \\ &= 0,5 \times 223,668 \times 2,54 \\ &= 284,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} \text{Cu}_4 &= 0,6 \times 40 \times 9,81 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)} \\ &= 235,44 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_4 = 0,5 \text{ (didapat dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_4 &= \pi \times D \times L_4 \\ &= \pi \times 0,6 \times 0,7 \\ &= 1,32 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs4 &= \alpha_4 \times Cu_4 \times As_4 \\
 &= 0,5 \times 235,44 \times 1,32 \\
 &= 155,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Qs) lapisan 6

$$\begin{aligned}
 \tau_6 &= 0.1 \times N\text{-SPT} \\
 &= 0,1 \times 50 \text{ (diambil 0,1 alasan konservatif)} \\
 &= 5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As_6 &= \pi \times D \times L_6 \\
 &= \pi \times 0,6 \times 2,45 \\
 &= 4,62 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs_6 &= \tau_6 \times As_6 \times g \\
 &= 5 \times 4,62 \times 9,81 \\
 &= 226,52 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

f. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Qp) lapisan 7

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{17+8+50+5}{4} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)} \\
 &= 31,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_2 &= \frac{50+5}{2} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)} \\
 &= 50
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N \text{ rata-rata} &= \frac{N_1+N_2}{2} \\
 &= \frac{31,25+50}{2} \\
 &= 40,625 < 40 \text{ (karena lebih dari 40 maka diambil 40)} \\
 &= 40
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_p &= 40 \times N\text{-SPT rata-rata (Persamaan Meyerhoff)} \\
 &= 40 \times 40 \\
 &= 1600
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \\
 &= 0,28 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_p = q_p \times A_p \times g$$

$$= 1600 \times 0,28 \times 9,81$$

$$= 4437,94 \text{ kN}$$

g. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} \\ &= 4437,94 + 137,72 + 84,98 + 284,58 + 155,33 + \\ &\quad 226,52 \end{aligned}$$

$$= 5327,07 \text{ kN}$$

h. Kapasitas daya dukung izin tiang (Q_{all})

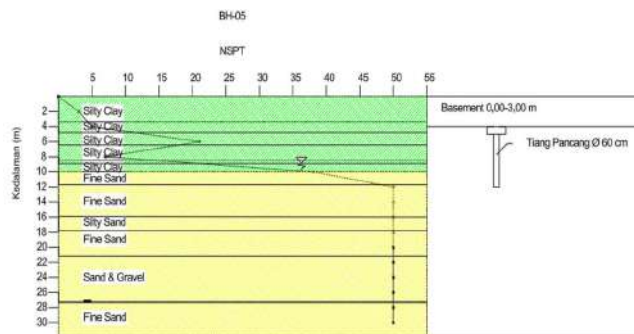
$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{5327,07}{2,5} \\ &= 2130,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$= \frac{2130,83}{9,81}$$

$$= 217,21 \text{ ton}$$

5. BH05

Pada data uji SPT BH04 didapati hasil uji SPT serta penggambaran rancangan fondasi sebagai berikut.



Gambar 5. 34 Desain Rancangan Fondasi Tiang Pancang 60 cm Pada BH05

Dari Gambar 5.29 didapati beberapa lapisan yang disesuaikan dengan jenis klasifikasi tanah (USCS), dengan *basement* kedalaman 3 m maka untuk

lapisan pertama diabaikan. Untuk selanjutnya dianalisis sesuai perhitungan daya dukung yang mana diuraikan sebagai berikut.

- a. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 1

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu1 &= 0,27 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 26,487 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha 1 &= y1 + \frac{(x-x1)}{(x2-x1)} \times (y2 - y1) \\ &= 1 + \frac{(26,487-25)}{(70-2)} \times (0,5 - 1) \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \pi \times D \times L1 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,4 \\ &= 2,64 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs1 &= \alpha 1 \times Cu1 \times As1 \\ &= 0,98 \times 26,487 \times 2,64 \\ &= 68,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 2

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu2 &= 0,14 \times 98,1 \text{ (hasil uji laboratorium)} \\ &= 13,73 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha 2 = 1 \text{ (didapat dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} As2 &= \pi \times D \times L2 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,65 \\ &= 3,11 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qs2 &= \alpha 2 \times Cu2 \times As2 \\ &= 1 \times 13,73 \times 3,11 \\ &= 42,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 3

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} Cu3 &= 0,08 \times 98,1 \text{ (hasil laboratorium)} \\ &= 7,85 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 1 \text{ (didapat dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} A_{s3} &= \pi \times D \times L_3 \\ &= \pi \times 0,6 \times 2,05 \\ &= 3,86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s3} &= \alpha_3 \times C_{u3} \times A_{s3} \\ &= 1 \times 7,85 \times 3,86 \\ &= 30,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 4

Jenis tanah = *Clay*

$$\begin{aligned} C_{u4} &= 0,07 \times 98,1 \text{ (hasil korelasi 0,6 NSPT)} \\ &= 6,87 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\alpha_4 = 1 \text{ (diapat dari grafik pada Gambar 3.8)}$$

$$\begin{aligned} A_{s4} &= \pi \times D \times L_4 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,5 \\ &= 2,83 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s4} &= \alpha_4 \times C_{u4} \times A_{s4} \\ &= 1 \times 6,87 \times 2,83 \\ &= 19,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

- e. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 5

$$\begin{aligned} \tau_6 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 44 \text{ (diambil 0,1 karena alasan konservatif)} \\ &= 4,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s6} &= \pi \times D \times L_6 \\ &= \pi \times 0,6 \times 1,7 \\ &= 3,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s6} &= \tau_6 \times A_{s6} \times g \\ &= 4,4 \times 3,2 \times 9,81 \\ &= 138,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

- f. Kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s) lapisan 6

$$\begin{aligned} \tau_6 &= 0,1 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,1 \times 50 \text{ (diambil 0,29 karena sand bersifat } dense) \end{aligned}$$

$$= 5$$

$$\begin{aligned} A_{s6} &= \pi \times D \times L_6 \\ &= \pi \times 0,6 \times 0,3 \\ &= 0,57 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{s6} &= \tau_6 \times A_{s6} \times g \\ &= 5 \times 0,57 \times 9,81 \\ &= 27,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) lapisan 6

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{21+7+38+5}{5} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 10D ke atas)} \\ &= 29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{50+}{2} \text{ (rata-rata ujung tiang hingga 4D ke bawah)} \\ &= 50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N \text{ rata-rata} &= \frac{N_1+N_2}{2} \\ &= \frac{29+50}{2} \\ &= 39,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= 40 \times N\text{-SPT rata-rata (Persamaan Meyerhoff)} \\ &= 40 \times 39,5 \\ &= 1580 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \\ &= 0,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \times g \\ &= 1580 \times 0,28 \times 9,81 \\ &= 4382,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

h. Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} \\ &= 4709,72 + 68,74 + 42,72 + 30,33 + 19,42 + \\ &\quad 138,32 + 27,74 \\ &= 4709,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

- i. Kapasitas daya dukung izin tiang (Qall)

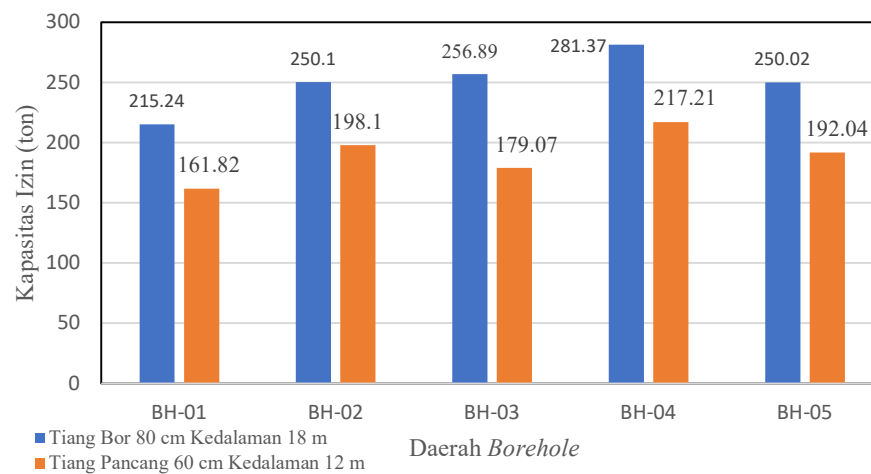
$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Qu}{SF} \\
 &= \frac{4709,72}{2,5} \\
 &= 1883,89 \text{ kN} \\
 &= \frac{1883,89}{9,81} \\
 &= 192,04 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

5.6.3 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang

Hasil perbandingan kapasitas izin dari analisis yang telah diuraikan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 24 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang Bor dan Pancang

Daerah <i>BoreHole</i>	Tiang Bor 80 cm	Tiang Pancang 60 cm
BH-01	215,24 ton	161,82 ton
BH-02	250,10 ton	198,10 ton
BH-03	256,89 ton	179,07 ton
BH-04	281,37 ton	217,21 ton
BH-05	250,02 ton	192,04 ton



Gambar 5. 35 Perbandingan Kapasitas Izin Tiang Bor 80 cm dan Pancang 60 cm

Dari Gambar 5.22 didapati bahwa seluruh rangkaian *borehole* dari BH01 hingga BH05 nilai daya dukung tiang bor 80 cm dengan kedalaman 18 m lebih besar daripada tiang pancang 60 cm dengan kedalaman 12 m. Terlihat daya dukung terendah terletak pada BH01 dengan daya dukung tiang bor 80 cm sebesar 215,24 ton dan 161,82 ton untuk tiang pancang 60 cm.

5.7 Analisis Kebutuhan Tiang Grup

Pada subbab sebelumnya telah dijelaskan uraian mengenai Untuk analisis perhitungan kebutuhan tiang grup jenis *bored pile* dan tiang pancang, selanjutnya dilanjutkan dengan mengambil sampel pada zonasi daerah *borehole* yakni BH-01 pada *grid* G-E pada Tower B yang tertera pada Gambar 5.15. Untuk analisis kebutuhan tiang grup diambil sampel pada tipe fondasi P2 pada *joint label* 1 dan 32 yang dapat diuraikan sebagai berikut.

5.7.1 Tiang Bor 80 cm

Untuk analisis kebutuhan tiang bor 80 cm dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Metode efisiensi converse-labarre

a. Beban Layan

$$Q_{all} \text{ BH-01} = 215,24 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all} \text{ BH-01}}$$

$$= \frac{433,60}{215,24}$$

$$= 2,01 \text{ tiang}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\eta \text{ (efisiensi)} = 1 - \left[\frac{(n_1-1) \times n_2 + (n_2-1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$= 1 - \left[\frac{(1-1) \times 3 + (3-1) \times 1}{90 \times 1 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,8}{2} \right)$$

$$= 0,84$$

Qall grup = Qall 1 tiang x η x jumlah tiang
 = 215,24 x 0,84 x 3
 = 567,5 t > Beban kolom (433,6 t), aman

b. Beban Gempa Nominal

Qall BH-01 = 215,24 x 1,3 (pembesaran 1,3 konsensus TABG-SG DKI Jakarta)
 = 279,81 ton

Beban Kolom = 677,63 t

D (diameter) = 0,8 m

d (spacing tiang) = 2,5 x D
 = 2,5 x 0,8 m
 = 2 m

N tiang (brutto) = $\frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-0}}$
 = $\frac{677,63}{215,24}$
 = 2,42 tiang
 = 3 tiang (pembulatan ke atas)

$n_1 \times n_2$ = 1 x 3 (baris x kolom)

η (efisiensi) = $1 - \left[\frac{(n_1-1) \times n_2 + (n_2-1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$
 = $1 - \left[\frac{(1-1) \times 3 + (3-1) \times 1}{90 \times 1 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,8}{2} \right)$
 = 0,84

Qall grup = Qall 1 tiang x η x jumlah tiang
 = 279,81 x 0,84 x 3
 = 703,86 t > Beban kolom (677,63 t), aman

c. Beban Gempa Kuat

Qall BH-01 = 215,24 x 1,56 (pembesaran 1,56 konsensus TABG-SG DKI Jakarta)
 = 335,77 ton

$$\text{Beban Kolom} = 886,67 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N \text{ tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all \text{ BH-01}}} \\ &= \frac{677,63}{215,24} \\ &= 2,64 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned} \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n_1-1) \times n_2 + (n_2-1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\ &= 1 - \left[\frac{(1-1) \times 3 + (3-1) \times 1}{90 \times 1 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,8}{2} \right) \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all \text{ grup}} &= Q_{all \text{ 1 tiang}} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 335,77 \times 0,84 \times 3 \\ &= 846,14 \text{ t} < \text{Beban kolom (886,67 t), harus} \\ &\text{ditambah tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tiang brutto} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all \text{ BH-01}}} \\ &= \frac{677,63}{215,24} \\ &= 2,64 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$= 4 \text{ tiang (penambahan 1 tiang dari awal estimasi)}$$

$$n_1 \times n_2 = 2 \times 2 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned} \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n_1-1) \times n_2 + (n_2-1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\ &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,8}{2} \right) \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all \text{ grup}} &= Q_{all \text{ 1 tiang}} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 335,77 \times 0,76 \times 4 \\ &= 1017,73 \text{ t} > 886,67 \text{ t (beban kolom), aman} \end{aligned}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban diambil tiang terbanyak, yakni 4 tiang

2. Metode efisiensi *Los Angeles group action equation*

a. Beban Layan

$$\text{Qall BH-01} = 215,24 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\ &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-0}}$$

$$= \frac{433,60}{215,24}$$

$$= 2,01 \text{ tiang}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n1 \times n2 = 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\begin{aligned} \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n1 \times n2} \times [n1 \times (n2 - 1) + n2 \times (n1 - 1) + \\ &\quad \sqrt{2} \times (n1 - 1) \times (n2 - 1)] \\ &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (3 - 1) + 3 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\ &\quad 1) \times (3 - 1)] \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

$$\text{Qall grup} = \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang}$$

$$= 215,24 \times 0,92 \times 3$$

$$= 590,9 \text{ t} > \text{Beban kolom (433,6 t), aman}$$

b. Beban Gempa Nominal

$$\begin{aligned} \text{Qall BH-01} &= 215,24 \times 1,3 \text{ (pembesaran 1,3 konsensus TABG-} \\ &\quad \text{SG DKI Jakarta)} \end{aligned}$$

$$= 279,81 \text{ ton}$$

$$\text{Beban Kolom} = 677,63 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$d \text{ (spacing tiang)} = 2,5 \times D$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\
 &= 2 \text{ m} \\
 \text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{677,63}{279,81} \\
 &= 2,42 \text{ tiang} \\
 &= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
 n_1 \times n_2 &= 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)} \\
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n_1 \times n_2} \times [n_1 \times (n_2 - 1) + n_2 \times (n_1 - 1) + \\
 &\quad \sqrt{2} \times (n_1 - 1) \times (n_2 - 1)] \\
 &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (3 - 1) + 3 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\
 &\quad 1) \times (3 - 1)] \\
 &= 0,92 \\
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 279,81 \times 0,92 \times 3 \\
 &= 768,17 \text{ t} > \text{Beban kolom (677,63 t), aman}
 \end{aligned}$$

c. Beban Gempa Kuat

$$\begin{aligned}
 \text{Qall BH-01} &= 215,24 \times 1,56 \text{ (pembesaran 1,56 konsensus} \\
 &\quad \text{TABG-SG DKI Jakarta)} \\
 &= 335,77 \text{ ton} \\
 \text{Beban Kolom} &= 886,67 \text{ t} \\
 \text{D (diameter)} &= 0,8 \text{ m} \\
 \text{d (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\
 &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\
 &= 2 \text{ m} \\
 \text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{886,67}{335,77} \\
 &= 2,9 \text{ tiang} \\
 &= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
 n_1 \times n_2 &= 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n_1 \times n_2} \times [n_1 \times (n_2 - 1) + n_2 \times (n_1 - 1) + \\
 &\quad \sqrt{2} \times (n_1 - 1) \times (n_2 - 1)] \\
 &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (3 - 1) + 3 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\
 &\quad 1) \times (3 - 1)] \\
 &= 0,92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 335,77 \times 0,92 \times 3 \\
 &= 921,8 \text{ t} > \text{Beban kolom (886,67 t), aman}
 \end{aligned}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban didapat 3 tiang

3. Metode efisiensi *Seiler-Keeney Equation*

1. Beban Layan

$$\text{Qall BH-01} = 215,24 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\
 &= 2,5 \times 0,8 \text{ m} \\
 &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N \text{ tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH}} \\
 &= \frac{433,60}{215,24} \\
 &= 2,01 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned}
 \eta \text{ (efisiensi)} &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2} \\
 &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 2}{7 \times (2^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{1 + 3 - 2}{1 + 3 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{1 + 3} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 215,24 \times 0,91 \times 3 \\
 &= 588,59 \text{ t} > \text{Beban kolom (433,6 t), aman}
 \end{aligned}$$

2. Beban Gempa Nominal

$$\text{Qall BH-01} = 215,24 \times 1,3 \text{ (pembesaran 1,3 konsensus TABG-SG DKI Jakarta)}$$

$$= 279,81 \text{ ton}$$

$$\text{Beban Kolom} = 677,63 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$d \text{ (spacing tiang)} = 2,5 \times D$$

$$= 2,5 \times 0,8 \text{ m}$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-0}}$$

$$= \frac{677,63}{279,81}$$

$$= 2,42 \text{ tiang}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n1 \times n2 = 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n1 + n2 - 2}{n1 + n2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n1 + n2}$$

$$= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 2}{7 \times (2^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{1 + 3 - 2}{1 + 3 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{1 + 3}$$

$$= 0,91$$

$$\text{Qall grup} = \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang}$$

$$= 279,81 \times 0,91 \times 3$$

$$= 782,83 \text{ t} > \text{Beban kolom (677,63 t), aman}$$

3. Beban Gempa Kuat

$$\text{Qall BH-01} = 215,24 \times 1,56 \text{ (pembesaran 1,56 konsensus TABG-SG DKI Jakarta)}$$

$$= 335,77 \text{ ton}$$

$$\text{Beban Kolom} = 886,67 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$d \text{ (spacing tiang)} = 2,5 \times D$$

$$= 2,5 \times 0,8 \text{ m}$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-0}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{677,63}{215,24} \\
&= 2,64 \text{ tiang} \\
&= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
n_1 \times n_2 &= 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)} \\
\eta \text{ (efisiensi)} &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2} \\
&= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 2}{7 \times (2^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{1 + 3 - 2}{1 + 3 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{1 + 3} \\
&= 0,91 \\
\text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
&= 335,77 \times 0,91 \times 3 \\
&= 918,2 \text{ t} > \text{Beban kolom (886,67 t), aman}
\end{aligned}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban didapat 3 tiang

Dari uraian yang telah diuraikan, dan dengan metode yang sama dilanjut melakukan analisis perhitungan untuk tipe fondasi lainnya pada zonasi *borehole 1*, sehingga didapati rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.21, 5.22, 5.23, dan 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cmBH-01 Metode Efisiensi Converse Labarre

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	4	4254	5567	OK	6648	6905	OK	8698	9984	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6	6624	9088	OK	8608	12088	OK	8608	14178	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	8	7558	9088	OK	11650	12088	OK	15599	18372	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	5311	OK	3820	7064	OK	5889	8286	OK
P2	40,43	6	6493	9088	OK	8524	12088	OK	10034	14976	OK
P2	41,42,44,45,46,47	3	4988	5311	OK	6517	7064	OK	6714	8286	OK

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01 Metode Efisiensi Los Angeles Group Action Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	3	4254	5797	OK	6648	7536	OK	8698	9043	OK

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01 Metode Efisiensi Los Angeles Group
Action Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P3	5,12,16,17,24,25	4	6624	6990	OK	8608	9087	OK	8608	10905	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	8	7558	10027	OK	11650	13035	OK	15599	20378	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	5797	OK	3820	7536	OK	5889	9043	OK
P2	40,43	4	6493	6990	OK	8524	9087	OK	10034	10905	OK
P2	41,42,44,45,46,47	3	4988	5797	OK	6517	7536	OK	6714	9043	OK

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01 Metode Efisiensi Seiler-Keeney Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	4	4254	5774	OK	6648	7506	OK	8698	9008	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6	6624	7699	OK	8608	10008	OK	8608	12010	OK

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm BH-01 Metode Efisiensi Seiler-Keeney Equation

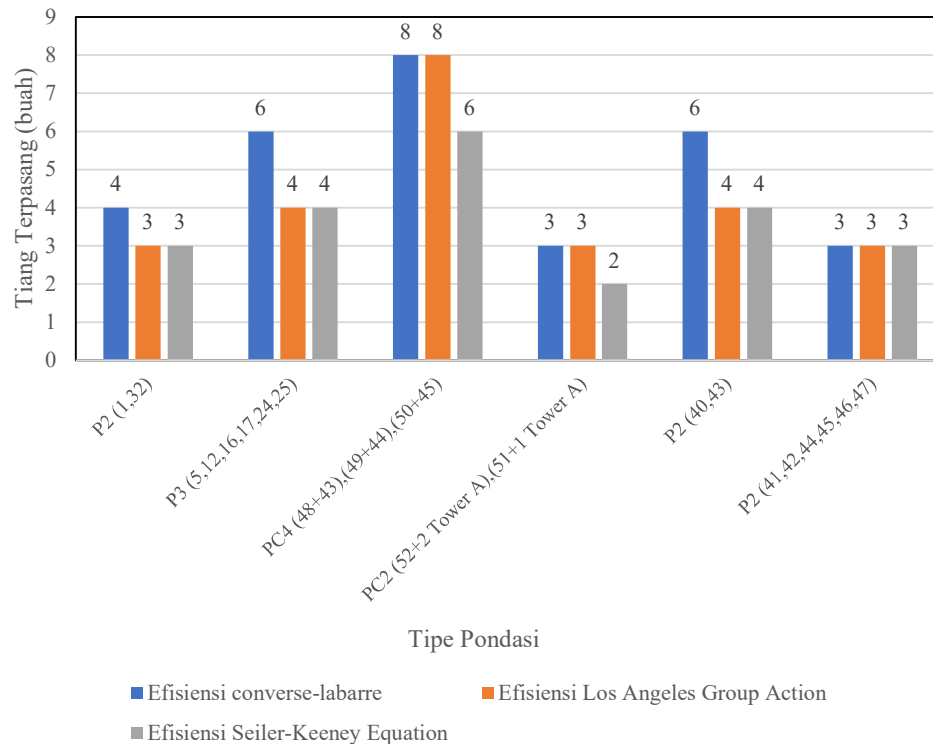
Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	8	7558	11099	OK	11650	14429	OK	15599	17315	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	4128	OK	3820	5366	OK	5889	6439	OK
P2	40,43	6	6493	7699	OK	8524	10008	OK	10034	12010	OK
P2	41,42,44,45,46,47	3	4988	5774	OK	6517	7506	OK	6714	9008	OK

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Bor 80 cm Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Jumlah Tipe	Jumlah Tiang Terpasang			Total		
			Efisiensi converse-labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group Action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>	Efisiensi Converse-Labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>
P2	1,32	2	4	3	3	8	6	6

Lanjutan Tabel 5.24 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Bor 80 cm Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Jumlah Tipe	Jumlah Tiang Terpasang			Total		
			Efisiensi converse-labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group Action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>	Efisiensi Converse-Labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>
P3	5,12,16,17,24,25	6	6	4	4	36	24	24
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	3	8	8	6	24	24	18
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2	3	3	2	6	6	4
P2	40,43	2	6	4	4	12	8	8
P2	41,42,44,45,46,47	6	3	3	3	18	18	18
Total						104	86	78



Gambar 5. 36 Perbandingan Kebutuhan Tiang Bor 80 cm Pada BH-01

Dari Gambar 5.34 terlihat bahwa grafik dengan jumlah tertinggi diperoleh efisiensi converse-labarre dan yang terkecil adalah efisiensi Seiler-Keeney Equation diikuti efisiensi *Los Angeles Group Action* yang memiliki nilai tengah sehingga dari hasil yang diuraikan didapati bahwa metode efisiensi converse-labarre menghasilkan kebutuhan tiang paling banyak yakni dengan total 104 buah pada zona BH-01, sedangkan paling rendah didapati pada efisiensi Seiler-Keeney dengan jumlah total 78 buah dan diikuti jumlah menengah yakni efisiensi *Los Angeles Group Action* dengan jumlah 86 tiang, sehingga untuk analisis fondasi selanjutnya dipakai kebutuhan tiang dengan efisiensi *Los Angeles Group Action* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

1. Pada hasil SPT didapati bahwa rata rata lapisan pada tiang bor sudah memiliki dominan tanah keras yakni dengan jenis *sand dense* walaupun lapisan atas masih terdapat lapisan lunak, sehingga hal ini memberikan konklusi bahwa

tanah tidak lemah atau tidak terlalu sangat kuat. Oleh karena itu analisis kebutuhan tiang diambil jumlah yang sedang

2. Hasil analisis kebutuhan tiang didapati untuk satu zona BH-01 dengan efisiensi converse-labarre didapati bahwa jumlah tiang memiliki 104 tiang, jika mengambil efisiensi ini maka kebutuhan dianggap terlalu konservatif dan menimbulkan pemborosan biaya struktur bawah. Pada efisiensi Seiler-Keeney didapati jumlah tiang sebesar 78 tiang, pengambilan metode ini diperlukan jika tanah benar-benar memiliki lapisan yang dominan kaku hingga keras. Oleh karena itu, pengambilan metode Los Angeles Group dapat mewakili perhitungan fondasi pada Proyek Pembangunan RS Pandu.

5.7.2 Tiang Pancang 60 cm

Untuk analisis kebutuhan tiang pancang 60 cm dapat diuraikan sebagai berikut.

4. Metode efisiensi converse-labarre

d. Beban Layan

$$Q_{all} \text{ BH-01} = 161,82 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N \text{ tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all} \text{ BH-0}} \\ &= \frac{433,60}{161,82} \\ &= 2,61 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned} \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n_1-1) \times n_2 + (n_2-1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\ &= 1 - \left[\frac{(1-1) \times 3 + (3-1) \times 1}{90 \times 1 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 161,82 \times 0,84 \times 3 \\
 &= 407,78 \text{ t} < \text{Beban kolom (433,6 t), harus ditambah} \\
 &\text{tiang}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{433,60}{161,82} \\
 &= 2,61 \text{ tiang} \\
 &= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}
 \end{aligned}$$

$$n1 \times n2 = 2 \times 2 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned}
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\
 &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\
 &= 0,76
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 161,82 \times 0,76 \times 4 \\
 &= 491,93 \text{ t} > \text{Beban kolom (433,6 t), aman}
 \end{aligned}$$

e. Beban Gempa Nominal

$$\begin{aligned}
 \text{Qall BH-01} &= 161,82 \times 1,3 \text{ (pembesaran 1,3 konsensus TABG-} \\
 &\text{SG DKI Jakarta)} \\
 &= 210,37 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Kolom} = 677,63 \text{ t}$$

$$\text{D (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d (spacing tiang)} &= 2,5 \times \text{D} \\
 &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\
 &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{677,63}{210,37} \\
 &= 3,22 \text{ tiang} \\
 &= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}
 \end{aligned}$$

$$n1 \times n2 = 2 \times 2 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned}\eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\ &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\ &= 0,76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 210,37 \times 0,76 \times 4 \\ &= 639,53 \text{ t} < \text{Beban kolom (677,63 t), harus} \\ &\text{ditambah tiang}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-0}} \\ &= \frac{677,63}{210,37} \\ &= 3,22 \text{ tiang} \\ &= 6 \text{ tiang (pembulatan ke atas bilangan genap)}\end{aligned}$$

$$n1 \times n2 = 2 \times 3 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned}\eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\ &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 3 + (3-1) \times 2}{90 \times 2 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\ &= 0,72\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 210,37 \times 0,72 \times 6 \\ &= 905,5 \text{ t} > \text{Beban kolom (677,63 t), aman}\end{aligned}$$

f. **Beban Gempa Kuat**

$$\begin{aligned}\text{Qall BH-01} &= 161,82 \times 1,56 \text{ (pembesaran 1,56 konsensus} \\ &\text{TABG-SG DKI Jakarta)} \\ &= 252,44 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\text{Beban Kolom} = 886,67 \text{ t}$$

$$\text{D (diameter)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{N tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{886,67}{252,44} \\
 &= 3,5 \text{ tiang} \\
 &= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
 n1 \times n2 &= 2 \times 2 \text{ (baris x kolom)} \\
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\
 &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\
 &= 0,76 \\
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 252,44 \times 0,76 \times 4 \\
 &= 767,42 \text{ t} < \text{Beban kolom (886,67 t), harus} \\
 &\text{ditambah tiang} \\
 n \text{ tiang brutto} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{677,63}{215,24} \\
 &= 2,64 \text{ tiang} \\
 &= 6 \text{ tiang (pembulatan ke bilangan genap)} \\
 n1 \times n2 &= 2 \times 3 \text{ (baris x kolom)} \\
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \left[\frac{(n1-1) \times n2 + (n2-1) \times n1}{90 \times n1 \times n2} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \\
 &= 1 - \left[\frac{(2-1) \times 3 + (3-1) \times 2}{90 \times 2 \times 3} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,5} \right) \\
 &= 0,72 \\
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 252,44 \times 0,72 \times 6 \\
 &= 1086,6 \text{ t} > 886,67 \text{ t (beban kolom), aman}
 \end{aligned}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban diambil tiang terbanyak, yakni 6 tiang

5. Metode efisiensi *Los Angeles group action equation*

d. Beban Layan

$$\text{Qall BH-01} = 161,82 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N \text{ tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all \text{ BH-01}}} \\ &= \frac{433,60}{161,82} \\ &= 2,68 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\begin{aligned} \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n_1 \times n_2} \times [n_1 \times (n_2 - 1) + n_2 \times (n_1 - 1) + \\ &\quad \sqrt{2} \times (n_1 - 1) \times (n_2 - 1)] \\ &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (3 - 1) + 3 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\ &\quad 1) \times (3 - 1)] \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all \text{ grup}} &= Q_{all \text{ 1 tiang}} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 161,82 \times 0,92 \times 3 \\ &= 444,25 \text{ t} > \text{Beban kolom (433,6 t), aman} \end{aligned}$$

e. Beban Gempa Nominal

$$\begin{aligned} Q_{all \text{ BH-01}} &= 161,82 \times 1,3 \text{ (pembesaran 1,3 konsensus TABG-} \\ &\quad \text{SG DKI Jakarta)} \\ &= 210,37 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Kolom} = 677,63 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N \text{ tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{Q_{all \text{ BH-0}}} \\ &= \frac{677,63}{210,37} \\ &= 3,22 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
 n1 \times n2 &= 1 \times 4 \text{ (baris x kolom)} \\
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n1 \times n2} \times [n1 \times (n2 - 1) + n2 \times (n1 - 1) + \\
 &\quad \sqrt{2} \times (n1 - 1) \times (n2 - 1)] \\
 &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (4 - 1) + 4 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\
 &\quad 1) \times (4 - 1)] \\
 &= 0,905 \\
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\
 &= 210,37 \times 0,905 \times 4 \\
 &= 770,04 \text{ t} > \text{Beban kolom (677,63 t), aman}
 \end{aligned}$$

f. **Beban Gempa Kuat**

$$\begin{aligned}
 \text{Qall BH-01} &= 161,82 \times 1,56 \text{ (pembesaran 1,56 konsensus} \\
 &\quad \text{TABG-SG DKI Jakarta)} \\
 &= 252,44 \text{ ton} \\
 \text{Beban Kolom} &= 886,67 \text{ t} \\
 \text{D (diameter)} &= 0,6 \text{ m} \\
 \text{d (spacing tiang)} &= 2,5 \times \text{D} \\
 &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\
 &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\
 &= \frac{886,67}{252,44} \\
 &= 3,5 \text{ tiang} \\
 &= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)} \\
 n1 \times n2 &= 1 \times 4 \text{ (baris x kolom)} \\
 \eta \text{ (efisiensi)} &= 1 - \frac{D}{\pi \times d \times n1 \times n2} \times [n1 \times (n2 - 1) + n2 \times (n1 - 1) + \\
 &\quad \sqrt{2} \times (n1 - 1) \times (n2 - 1)] \\
 &= 1 - \frac{0,8}{\pi \times 2 \times 1 \times 3} \times [1 \times (4 - 1) + 4 \times (1 - 1) + \sqrt{2} \times (1 - \\
 &\quad 1) \times (4 - 1)] \\
 &= 0,905 \\
 \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang}
 \end{aligned}$$

$$= 252,44 \times 0,905 \times 4$$

$$= 924,05 \text{ t} > \text{Beban kolom (886,67 t), aman}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban didapat 4 tiang

6. Metode efisiensi *Seiler-Keeney Equation*

4. Beban Layan

$$\text{Qall BH-01} = 161,82 \text{ t}$$

$$\text{Beban Kolom} = 433,60 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$d \text{ (spacing tiang)} = 2,5 \times D$$

$$= 2,5 \times 0,6 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}}$$

$$= \frac{433,60}{161,82}$$

$$= 2,68 \text{ tiang}$$

$$= 3 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 1 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2}$$

$$= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 1,5}{7 \times (1,5^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{1 + 3 - 2}{1 + 3 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{1 + 3}$$

$$= 0,85$$

$$\text{Qall grup} = \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang}$$

$$= 161,82 \times 0,85 \times 3$$

$$= 414,08 \text{ t} < \text{Beban kolom (433,6 t), harus ditambah}$$

tiang

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}}$$

$$= \frac{433,60}{161,82}$$

$$= 2,68 \text{ tiang}$$

$$= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 2 \times 2 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\begin{aligned}\eta \text{ (efisiensi)} &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2} \\ &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 1,5}{7 \times (1,5^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{2+2-2}{2+2-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{2+2} \\ &= 0,85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 161,82 \times 0,85 \times 4 \\ &= 552,11 \text{ t} > \text{Beban kolom (433,6 t), aman}\end{aligned}$$

5. Beban Gempa Nominal

$$\begin{aligned}\text{Qall BH-01} &= 161,82 \times 1,3 \text{ (pembesaran 1,3 konsensus TABG-} \\ &\quad \text{SG DKI Jakarta)} \\ &= 210,37 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\text{Beban Kolom} = 677,63 \text{ t}$$

$$\text{D (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}d \text{ (spacing tiang)} &= 2,5 \times D \\ &= 2,5 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{N tiang (brutto)} &= \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}} \\ &= \frac{677,63}{210,37} \\ &= 3,22 \text{ tiang}\end{aligned}$$

$$= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n_1 \times n_2 = 2 \times 2 \text{ (baris} \times \text{kolom)}$$

$$\begin{aligned}\eta \text{ (efisiensi)} &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n_1 + n_2} \\ &= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 1,5}{7 \times (1,5^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{2+2-2}{2+2-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{2+2} \\ &= 0,85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 210,37 \times 0,85 \times 4 \\ &= 717,74 \text{ t} > \text{Beban kolom (677,63 t), aman}\end{aligned}$$

6. Beban Gempa Kuat

$$\begin{aligned} \text{Qall BH-01} &= 161,82 \times 1,56 \text{ (pembesaran 1,56 konsensus} \\ &\text{TABG-SG DKI Jakarta)} \end{aligned}$$

$$= 252,44 \text{ ton}$$

$$\text{Beban Kolom} = 886,67 \text{ t}$$

$$D \text{ (diameter)} = 0,6 \text{ m}$$

$$d \text{ (spacing tiang)} = 2,5 \times D$$

$$= 2,5 \times 0,6 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}$$

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}}$$

$$= \frac{677,63}{252,44}$$

$$= 3,5 \text{ tiang}$$

$$= 4 \text{ tiang (pembulatan ke atas)}$$

$$n1 \times n2 = 2 \times 2 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n1+n2-2}{n1+n2-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n1+n2}$$

$$= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 1,5}{7 \times (1,5^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{2+2-2}{2+2-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{2+2}$$

$$= 0,85$$

$$\text{Qall grup} = \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang}$$

$$= 252,44 \times 0,85 \times 4$$

$$= 861,29 \text{ t} < \text{Beban kolom (886,67 t), harus}$$

ditambah tiang

$$N \text{ tiang (brutto)} = \frac{\text{Beban Kolom}}{\text{Qall BH-01}}$$

$$= \frac{677,63}{252,44}$$

$$= 3,5 \text{ tiang}$$

$$= 6 \text{ tiang (pembulatan ke atas bilangan genap)}$$

$$n1 \times n2 = 2 \times 3 \text{ (baris x kolom)}$$

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times d}{7 \times (d^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{n1+n2-2}{n1+n2-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{n1+n2}$$

$$= \left\{ 1 - \left[\frac{11 \times 1,5}{7 \times (1,5^2 - 1)} \right] \times \left[\frac{2+3-2}{2+3-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{2+3}$$

$$= 0,81$$

$$\begin{aligned} \text{Qall grup} &= \text{Qall 1 tiang} \times \eta \times \text{jumlah tiang} \\ &= 252,44 \times 0,81 \times 6 \\ &= 1227,17 \text{ t} < \text{Beban kolom (886,67 t), aman} \end{aligned}$$

Hasil uraian yang memenuhi ketiga kombinasi beban didapat 6 tiang

Dari uraian yang telah diuraikan, dan dengan metode yang sama dilanjut melakukan analisis perhitungan untuk tipe fondasi lainnya pada zonasi *borehole 1*, sehingga didapati rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.25, 5.26, 5.27, dan 5.28 sebagai berikut.

Tabel 5. 29 Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode Efisiensi Converse Labarre

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	6	4254	4812	OK	6648	8883	OK	8698	10659	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6	6624	6833	OK	8608	9088	OK	8608	10659	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	10	7558	8854	OK	11650	11776	OK	15599	16966	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	3993	OK	3820	5311	OK	5889	6230	OK
P2	40,43	6	6493	6833	OK	8524	9088	OK	10034	11259	OK
P2	41,42,44,45,46,47	4	4988	5196	OK	6517	6911	OK	6714	8106	OK

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode Efisiensi Los Angeles Group Action Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	4	4254	4358	OK	6648	7554	OK	8698	9065	OK

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode Efisiensi Los Angeles Group
Action Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang (buah)	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P3	5,12,16,17,24,25	6	6624	7538	OK	8608	9800	OK	8608	11760	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	10	7558	9821	OK	11650	12767	OK	15599	18882	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	4358	OK	3820	5666	OK	5889	6799	OK
P2	40,43	6	6493	7538	OK	8524	9800	OK	10034	11760	OK
P2	41,42,44,45,46,47	4	4988	5256	OK	6517	6832	OK	6714	8199	OK

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode Efisiensi Seiler-Keeney Equation

Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
P2	1,32	6	4254	5416	OK	6648	7041	OK	8698	12039	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6	6624	7717	OK	8608	10032	OK	8608	12039	OK

Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm BH-01 Metode Efisiensi *Seiler-Keeney**Equation*

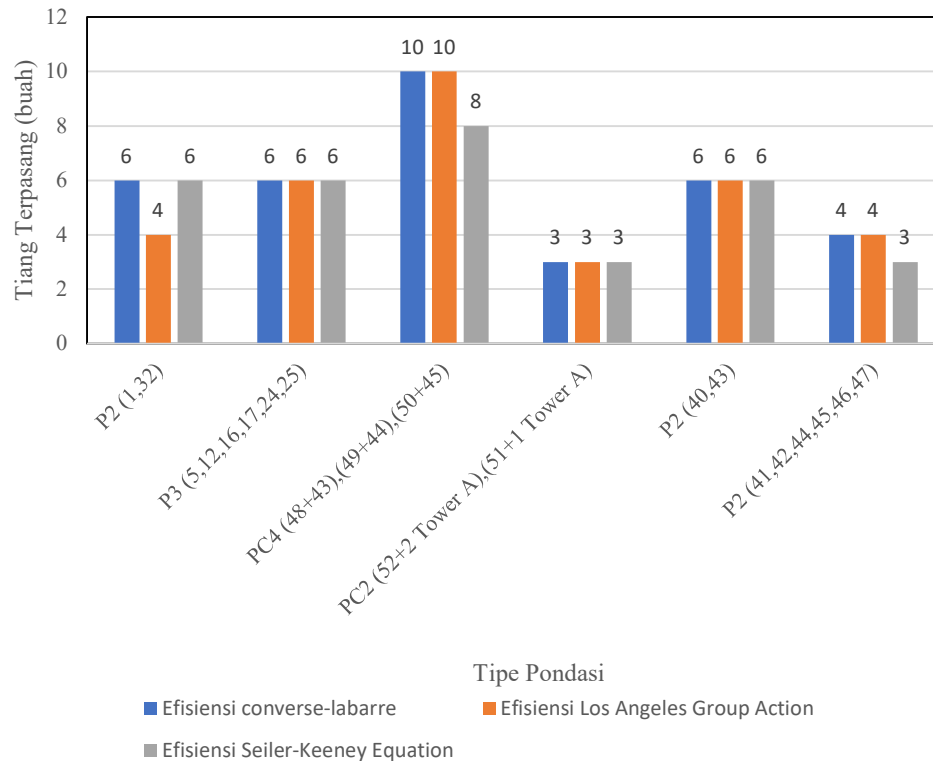
Tipe Fondasi	Joint Label	Tiang Terpasang	Beban Layan (kN)			Gempa Nominal (kN)			Gempa Kuat (kN)		
			P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P	P	Qall grup	Qall Grup>P
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	8	7558	11099	OK	11650	14429	OK	15599	17315	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3	2358	4128	OK	3820	5366	OK	5889	6439	OK
P2	40,43	6	6493	7699	OK	8524	10008	OK	10034	12010	OK
P2	41,42,44,45,46,47	3	4988	5774	OK	6517	7506	OK	6714	9008	OK

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Pancang 60 cm Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Jumlah Tipe	Jumlah Tiang Terpasang			Total		
			Efisiensi converse-labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group Action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>	Efisiensi Converse-Labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>
P2	1,32	2	6	4	6	12	8	12

Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Grup Pancang 60 cm Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Jumlah Tipe	Jumlah Tiang Terpasang			Total		
			Efisiensi converse-labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group Action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>	Efisiensi Converse-Labarre	Efisiensi <i>Los Angeles Group action</i>	Efisiensi <i>Seiler-Keeney Equation</i>
P3	5,12,16,17,24,25	6	6	6	6	36	36	36
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	3	10	10	8	30	30	24
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2	3	3	3	6	6	6
P2	40,43	2	6	6	6	12	12	12
P2	41,42,44,45,46,47	6	4	4	3	24	24	18
Total						120	116	120



Gambar 5. 37 Perbandingan Kebutuhan Tiang Pancang 60 cm Pada BH-01

Dari Gambar 5.34 terlihat bahwa grafik dengan jumlah tertinggi diperoleh efisiensi converse-labarre dan *Seiler-Keeney Equation* diikuti efisiensi *Los Angeles Group Action* yang memiliki nilai terkecil sehingga dari hasil yang diuraikan didapati bahwa metode efisiensi converse-labarre dan *Seiler-Keeney Equation* menghasilkan kebutuhan tiang paling banyak yakni dengan total 120 buah pada zona BH-01, sedangkan paling rendah didapati pada efisiensi *Los Angeles Group Action* dengan jumlah total 116 buah.

5.8 Evaluasi Perbandingan Tiang Bor 80 cm dengan Tiang Pancang 60 cm

Pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.33 teruraikan bahwa untuk nilai daya dukung tiap *borehole* untuk tiang bor dengan diameter 80 cm dengan kedalaman 18 m memiliki nilai daya dukung yang lebih besar daripada tiang pancang diameter 60 cm. Selain itu sesuai hasil analisis kebutuhan tiang pada sub bab sebelumnya

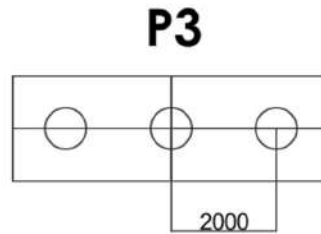
didapati bahwa untuk nilai kebutuhan tiang bor 80 cm didapati jumlah 86 buah dan tiang pancang 60 cm berjumlah paling sedikit 116 buah dengan metode Los Angeles, sehingga untuk perencanaan fondasi lebih dipilih tiang bor dengan ukuran 80 cm dikarenakan beberapa hal sebagai berikut,

1. Daya dukung tiang bor 80 cm dengan kedalaman 18 m memiliki daya dukung izin yang lebih tinggi dari tiang pancang 60 cm dengan kedalaman 12 m, sehingga kebutuhan jumlah pile tiang bor 80 cm lebih sedikit daripada tiang pancang 60 cm.
2. Lokasi proyek yang sangat padat pemukiman menjadi faktor utama dalam isu lingkungan sosial karena metode pemancangan dapat mengakibatkan getaran, kebisingan, hingga *soil heaving* yang dapat mengganggu fondasi bangunan sekitar.
3. Jumlah titik pemancangan dengan jumlah 116 buah lebih banyak daripada tiang bor 80 cm dengan jumlah 86 tiang. Hal ini tentunya dalam metode pelaksanaan lebih mudah karena jumlah titik pekerjaan.

Dari uraian yang telah dijelaskan diatas, sehingga untuk analisis selanjutnya dilanjut dengan perhitungan tiang bor 80 cm dengan kedalaman 18 m yang mana pemilihan ini juga sesuai dengan perencanaan fondasi pada Proyek Pembangunan RS Pandu.

5.9 Persebaran Beban

Perhitungan persebaran beban diambil sampel sama seperti subbab sebelumnya yakni P2 joint label 1 dan 32 yang berganti menjadi P3, karena kodefikasi mengikuti jumlah tiang. Untuk lebih jelasnya analisis persebaran beban P2 joint label 1 dan 32 dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5. 38 Detail Pondai P2 (Joint 1 dan 32) Pada BH-01

1. Beban Layan

$$P \text{ kolom} = 4253,58 \text{ kN}$$

$$M_x = 255,87 \text{ kNm}$$

$$M_y = 303,93 \text{ kNm}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

$$x \text{ maks} = 2 \text{ m}$$

$$y \text{ maks} = 0$$

$$\sum x^2 = 2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 4$$

$$\sum y^2 = 0$$

$$Q_{\text{tarik}} = 0,7 \times Q_s \text{ total BH-01}$$

$$= 0,7 \times 3088,75 \text{ kN}$$

$$= 2162,09 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{tarik ijin}} = \frac{2162,09}{2,5}$$

$$= 846,89 \text{ kN}$$

$$P_{\text{maks}} = \frac{P \text{ kolom}}{n} + \frac{M_x \times y \text{ maks}}{\sum y^2} + \frac{M_y \times x \text{ maks}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{4253,58}{3} + \frac{255,87 \times 0}{0} + \frac{303,93 \times 2}{4}$$

$$= 1493,84 < 2111,47 \text{ kN (Qall BH-01), aman}$$

$$P_{\text{min}} = \frac{P \text{ kolom}}{n} - \frac{M_x \times y \text{ maks}}{\sum y^2} - \frac{M_y \times x \text{ maks}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{4253,58}{3} - \frac{255,87 \times 0}{0} - \frac{303,93 \times 2}{4}$$

$$= 1341,88 \text{ kN (Pmin positif, tidak ada tegangan tarik)}$$

2. Gempa Nominal

$$P \text{ kolom} = 6647,58 \text{ kN}$$

$$M_x = 548,57 \text{ kNm}$$

$$M_y = 409,3 \text{ kNm}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

$$x \text{ maks} = 2 \text{ m}$$

$$y \text{ maks} = 0$$

$$\begin{aligned} \sum x^2 &= 2 \times 2 \text{ m} \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$\sum y^2 = 0$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{tarik}} &= 0,7 \times Q_s \text{ total BH-01} \\ &= 0,7 \times 3088,75 \text{ kN} \\ &= 2162,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{tarik ijin}} &= \frac{2162,09}{2,5} \times 1,3 \text{ (Pembesaran 1,3 diselaraskan dengan kapasitas aksial tiang)} \\ &= 1124,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= \frac{P \text{ kolom}}{n} + \frac{M_x \times y \text{ maks}}{\sum y^2} + \frac{M_y \times x \text{ maks}}{\sum x^2} \\ &= \frac{6647,58}{3} + \frac{548,57 \times 0}{0} + \frac{409,3 \times 2}{4} \\ &= 2318,187 < 2744,9 \text{ kN (Qall gempa nominal BH-01), aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{min}} &= \frac{P \text{ kolom}}{n} - \frac{M_x \times y \text{ maks}}{\sum y^2} - \frac{M_y \times x \text{ maks}}{\sum x^2} \\ &= \frac{6647,58}{3} - \frac{548,57 \times 0}{0} - \frac{409,3 \times 2}{4} \\ &= 2113,53 \text{ kN (Pmin positif, tidak ada tegangan tarik)} \end{aligned}$$

3. Gempa Kuat

$$P \text{ kolom} = 8698,3 \text{ kN}$$

$$M_x = 1008,58 \text{ kNm}$$

$$M_y = 595,46 \text{ kNm}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

$$x \text{ maks} = 2 \text{ m}$$

$$y \text{ maks} = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma x^2 &= 2 \times 2 \text{ m} \\ &= 4\end{aligned}$$

$$\Sigma y^2 = 0$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{tarik}} &= 0,7 \times Q_s \text{ total BH-01} \\ &= 0,7 \times 3088,75 \text{ kN} \\ &= 2162,09 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{tarik ijin}} &= \frac{2162,09}{2,5} \times 1,56 \text{ (Pembesaran 1,56 diselaraskan dengan} \\ &\text{kapasitas dukung aksial tiang)} \\ &= 1349,22 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{maks}} &= \frac{P \text{ kolom}}{n} + \frac{Mx \times y \text{ maks}}{\Sigma y^2} + \frac{My \times x \text{ maks}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{8698,28}{3} + \frac{1008,58 \times 0}{0} + \frac{595,46 \times 2}{4} \\ &= 3048,29 \text{ kN} < 3293,89 \text{ kN (Qall gempa kuat BH-01), aman}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{min}} &= \frac{P \text{ kolom}}{n} - \frac{Mx \times y \text{ maks}}{\Sigma y^2} - \frac{My \times x \text{ maks}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{8698,28}{3} - \frac{1008,58 \times 0}{0} - \frac{595,46 \times 2}{4} \\ &= 2750,56 \text{ kN (Pmin positif, tidak ada tegangan tarik)}\end{aligned}$$

Dari hasil di atas, didapati rekapitulasi hasil perhitungan persebaran beban fondasi zona BH-01 yang dapat dilihat pada Tabel 5.16-5.18 sebagai berikut.

Tabel 5. 33 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Layan Fondasi Pada Zona BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Pkolom (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Pmaks (kN)	Pmin (kN)	Terjadi Tegangan Tarik?	Pmaks<Qall?
P2	1,32	4254	256	304	1494	1342	Tidak	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6624	298	53	1744	1568	Tidak	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	7558	182	205	983	907	Tidak	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2358	142	153	824	748	Tidak	OK
P2	40 (4 tiang formasi 1x4)	6493	11	111	1759	1488	Tidak	OK
P2	43 (4 tiang formasi 2x2)	6493	11	111	1640	1607	Tidak	OK
P3	41,42,44,45,46,47	4988	27	147	1700	1626	Tidak	OK

Tabel 5. 34 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Gempa Nominal Fondasi Pada Zona BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Pkolom (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Pmaks (kN)	Pmin (kN)	Terjadi Tegangan Tarik?	Pmaks<Qall?
P2	1,32	6648	549	409	2318	2114	Tidak	OK
P3	5,12,16,17,24,25	8608	401	216	2306	1998	Tidak	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	11650	478	271	1536	1376	Tidak	OK

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Gempa Nominal Fondasi Pada Zona BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Pkolom (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Pmaks (kN)	Pmin (kN)	Terjadi Tegangan Tarik?	Pmaks<Qall?
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3820	431	505	1400	1147	Tidak	OK
P2	40 (4 tiang formasi 2x2)	8524	316	149	2248	2015	Tidak	OK
P2	43 (4 tiang formasi 1x4)	8524	316	149	2153	2109	Tidak	OK
P3	41,42,44,45,46,47	6517	53	198	2222	2123	Tidak	OK

Tabel 5. 35 Rekapitulasi Analisis Persebaran Beban Gempa Kuat Fondasi Pada Zona BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Pkolom (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Pmaks (kN)	Pmin (kN)	Terjadi Tegangan Tarik?	Pmaks<Qall?
P2	1,32	4254	256	304	1494	1342	Tidak	OK
P3	5,12,16,17,24,25	6624	298	53	1744	1568	Tidak	OK
PC4	(48+43),(49+44),(50+45)	7558	182	205	983	907	Tidak	OK
PC2	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2358	142	153	824	748	Tidak	OK
P2	40 (4 tiang formasi 2x2)	6493	11	111	1759	1488	Tidak	OK
P2	43 (4 tiang formasi 1x4)	6493	11	111	1640	1607	Tidak	OK
P3	41,42,44,45,46,47	4988	27	147	1700	1626	Tidak	OK

5.10 Penurunan Tiang

Pada analisis perhitungan penurunan tiang diambil sampel pada fondasi yang digunakan analisis pada sub bab sebelumnya yakni fondasi P2 pada joint label 1 dan 32. Penurunan tiang pada Proyek Pembangunan RS Pandu, dari kelima *Borehole* didapati bahwa ujung tiang memiliki jenis *sand dense*, sehingga untuk jenis tiang menjadi tiang ujung bukan tiang friksi (mengapung) dan analisis penurunan hanya penurunan elastik dan tidak ada penurunan konsolidasi karena ujung tiang sudah berada pada tanah pasir. Untuk lebih jelasnya berikut merupakan uraian perhitungan penurunan tiang fondasi P2 pada joint label 1 dan 32.

Tabel 5. 36 Parameter Tanah BH-01 Dalam Analisis Penurunan Tiang

N-SPT	Ketebalan Lapisan,H (m)	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	E	v
5	3,3	0-3,3	Clay-soft	5000	0,3
10	1,25	3,3-4,55	Clay-stiff	15000	0,3
8.3	2,05	4,55-6,6	Clay-Medium Stiff	10000	0,3
11	2,95	6.6-9,55	Clay-Medium Stiff	10000	0,45
11	1,35	9,55-10,9	Sand-Medium Dense	50000	0,28
34	1,1	10,9-12	Sand-Dense	50000	0,28
50	1,7	13,4-15,1	Sand-Dense	50000	0,28
32	2,9	15,1-18	Sand-Dense	50000	0,28

Dari uraian Tabel 5.19 didapat uraian perhitungan penurunan tiang sebagai berikut.

$$P \text{ kolom (beban layan)} = 4253,58 \text{ kN}$$

$$D_b \text{ (diameter ujung tiang)} = 0,8 \text{ m}$$

$$E_s \text{ rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times E}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

$$\begin{aligned}
 &= \\
 &= \frac{(5000 \times 3,3) + (15000 \times 1,25) + (10000 \times 2,05) + (10000 \times 2,95) + (50000 \times 1,35) + (50000 \times 1,1) + (50000 \times 1,7) + (50000 \times 2,9)}{(3,3 + 1,25 + 2,05 + 2,95 + 1,35 + 1,1 + 1,7 + 2,9)} \\
 &= 26370.48 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{v rata-rata} &= \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times v}{\sum_{i=1}^n H_i} \\
 &= \\
 &= \frac{(0,3 \times 3,3) + (0,3 \times 1,25) + (0,3 \times 2,05) + (0,45 \times 2,95) + (0,28 \times 1,35) + (0,28 \times 1,1) + (0,28 \times 1,7) + (0,28 \times 2,9)}{(3,3 + 1,25 + 2,05 + 2,95 + 1,35 + 1,1 + 1,7 + 2,9)} \\
 &= 0,32 \\
 \text{F}'c \text{ pile} &= 52 \text{ Mpa} \\
 \text{Ep} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{52} \\
 &= 33892.18 \text{ Mpa} \\
 &= 33892.18 \times 1000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 33892181.99 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{k} &= \frac{Ep}{Es} \\
 &= \frac{33892181.99}{26370.48} \\
 &= 1285,23 \\
 \text{L} &= 14 \text{ m (di bawah basement -3,00 m)} \\
 \text{D (diameter kepala tiang)} &= 0,8 \text{ m} \\
 \text{d (spasi tiang)} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Bg} &= (n \text{ baris} - 1) \times d + 2 \times (D/2) \\
 &= (1 - 1) \times 2 + 2 \times (0,8/2) \\
 &= 0,8 \text{ m} \\
 \text{B (lebar bangunan)} &= 35 \text{ m} \\
 \text{L/d} &= \frac{14}{0,8} \\
 &= 17,5 \\
 \text{D/Db} &= \frac{0,8}{0,8} \\
 &= 1 \\
 \text{Eb (modulus dasar tiang)} &= 50000 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Eb/Es} &= \frac{50000}{26370.48}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,896 \\
 \text{Q 1 tiang (beban layan)} &= \frac{P \text{ kolom}}{\text{Jumlah Tiang}} \\
 &= \frac{4253,58}{3} \\
 &= 1417,86 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

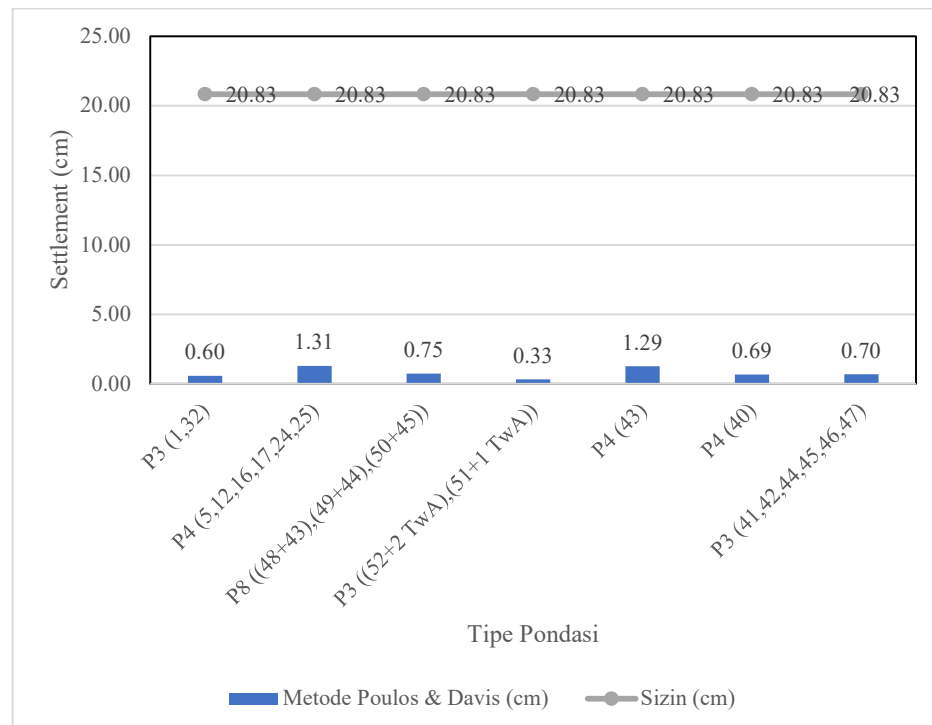
Dari parameter yang telah diuraikan dilanjut dengan pemeriksaan grafik yang tertera pada Gambar 3.10, 3.11, 3.13, dan 3.14

$$\begin{aligned}
 I_0 &= 0,09 \text{ (dari Gambar 3.10 dengan } L/d = 17,5) \\
 R_k &= 1,1 \text{ (dari Gambar 3.11 dengan interpolasi nilai } L/d = 10 \text{ dan } 25) \\
 R_{\mu} &= 0,93 \text{ (dari Gambar 3.13 dengan nilai poisson } = 0,32) \\
 R_b &= 0,97 \text{ (dari Gambar 3.14 dengan nilai } E_b/E_s = 1,896) \\
 I &= I_0 \times R_k \times R_b \times R_{\mu} \\
 &= 0,09 \times 1,1 \times 0,97 \times 0,93 \\
 &= 0,089 \\
 \text{S elastik 1 tiang} &= \frac{1417,86 \times 0,089}{26370,48 \times 0,8} \\
 &= 0,006 \text{ m} \\
 \text{S tiang grup} &= S \text{ 1 tiang} \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,006 \times \sqrt{\frac{0,8}{0,8}} \\
 &= 0,006 \text{ m} \\
 &= 0,6 \text{ cm} \\
 \text{S izin} &= 15 \text{ cm} + \frac{B}{600} \\
 &= 15 \text{ cm} + \frac{35 \text{ m} \times 100 \text{ (cm)}}{600} \\
 &= 20,83 \text{ cm} > 0,6 \text{ cm (S tiang grup), aman}
 \end{aligned}$$

Dari hasil uraian diatas sehingga dilanjutkan analisis perhitungan sesuai pada kodefikasi masing masing tipe, sehingga didapati rekapitulasi perhitungan pada fondasi BH-01 yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Bor Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	P kolom, beban layan (kN)	S grup (cm)	S izin (cm)	Cek S grup < Sizin?
P2	1,32	4253.6	0.60	20.83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	6623.7	1.31	20.83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	7558.4	0.75	20.83	OK
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2357.7	0.33	20.83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	6493.5	1.29	20.83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	6493.5	0.69	20.83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	4988.3	0.70	20.83	OK



Gambar 5. 39 Hasil Penurunan Tiang BH-01

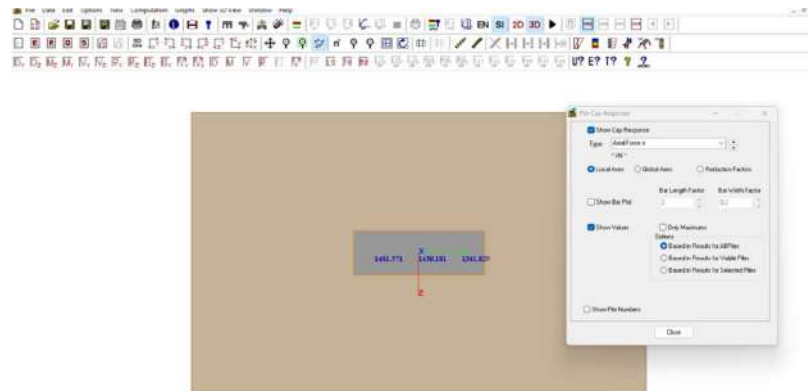
Dari Gambar 5.34 didapati hasil untuk penurunan segera dengan metode Paulos dan Davis (1980) telah memenuhi syarat penurunan dengan nilai tertinggi sebesar 1,32 cm pada pondasi P4 (5,12,16,17,24,25) dan memiliki nilai penurunan terendah pada pondasi P3 (52+2 TwA, 51+1 TwA).

5.11 Hasil Perangkat Lunak GROUP dan PLAXIS

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP dan PLAXIS, digunakan beban layan karena analisis yang dilakukan terdapat pengaruh displacement lateral, sehingga perhitungan didasarkan pada sistem *Serviceability Limit State* (SLS).

5.9.1 Perangkat Lunak GROUP

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP dimodelkan fondasi P3 joint label (1 dan 32) dan didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 5. 40 Output Persebaran Beban Fondasi P3 (1,32) Pada *Software* GROUP

Dari Gambar 5.35 didapati hasil dari pemodelan P3 (1,32) didapat hasil untuk nilai Pmaks sebesar 1481,571 kN dan nilai Pmin sebesar 1341,83 kN, sehingga dari uraian pemodelan yang telah diterangkan sehingga didapati rekapitulasi hasil analisis pada tipe-tipe fondasi BH-01 yang dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Software* GROUP

Tipe Fondasi	Joint Label	P maks (kN)	P min (kN)	Settlement (cm)	S izin (cm)	Cek Settlement < S izin
P2	1,32	1481,57	1341,83	0,205	20,83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	1763,2	1543,88	0,228	20,83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	980,78	908,71	0,12	20,83	OK
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	821,22	750,58	0,099	20,83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	1649,61	1697,14	0,2	20,83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	1638,04	1608,71	0,22	20,83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	1694,41	1631,08	0,23	20,83	OK

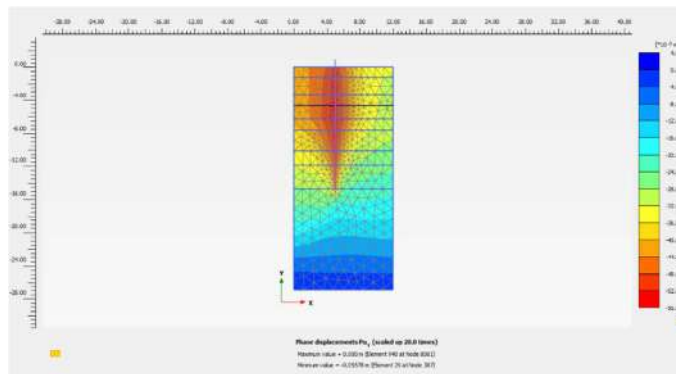
5.9.2 Perangkat Lunak PLAXIS

Pada pemodelan perangkat lunak PLAXIS dimodelkan fondasi P3 joint label (1 dan 32) yang sebelumnya diberi pembebanan pada Tabel 5.5 yakni pada kondisi layan dan didapatkan hasil pada Gambar 5.39 . Pemodelan ini menggunakan pemodelan *Hardening Soil* dengan jenis *Undrained B* untuk tanah *clay* dan *drained* untuk *sand* .Sebelum itu didapati rekapitulasi parameter tanah yang dipakai dalam program PLAXIS yang dapat dilihat pada 5.34 sebagai berikut

Tabel 5. 39 Parameter Tanah Dalam Perangkat Lunak PLAXIS Pada BH01

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ_b (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	e	v	E (Mpa)	E50 (Mpa)	Su/Cu (kPa)	ϕ (°)	OCR
0-3.3	<i>Clay-soft</i>	14.83272	15.4724	1.843	0.3	5,000	3333.333	20.601	13.62	8.478261
3.3-4.55	<i>Clay-stiff</i>	14.92101	15.6157	1.761	0.3	15,000	10000	21.582	8.79	2.54717
4.55-6.6	<i>Clay-Medium Stiff</i>	16.06878	16.52957	1.422	0.3	10,000	6666.667	79.461	13.74	1.906977
6.6-9.55	<i>Clay-Medium Stiff</i>	15.22512	15.6739	1.752	0.45	10,000	6666.667	30.411	8.81	1.196581
9.55-10.9	<i>Sand-Medium Dense</i>	17	19.5	0.4	0.28	50,000	33333.33	-	26.48913	1
10.9-12	<i>Sand-Dense</i>	17	19.5	0.4	0.28	50,000	33333.33	-	35.19901	1
13.4-15.1	<i>Sand-Dense</i>	17	19.5	0.4	0.28	50,000	33333.33	-	39.4949	1
15.1-30	<i>Sand-Dense</i>	17	19.5	0.4	0.28	50,000	33333.33	-	34.59592	1

Pada uraian Tabel 5.35 pengambilan parameter berasal dari pengujian laboratorium dan pengambilan didasari pada literatur seperti nilai modulus elastisitas yang sesuai pada Tabel 3.1. Kemudian dalam analisis selanjutnya dicoba untuk pemodelan 1 tiang dengan nilai P (*load*) sebesar nilai P maks sesuai dengan analisis persebaran beban sebelumnya, langkah ini nantinya dicoba diverifikasi dengan pemodelan grup dengan analisis *plane strain*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5. 41 Hasil Output Pemodelan 1 Tiang P3 (1,32) Pada BH-01

Pada Gambar 5.39 didapati hasil penurunan pada P3 (1,32) dengan pemodelan 1 tiang dan nilai beban sebesar P maks didapati penurunan sebesar 5,6 cm. Selanjutnya analisis dilanjut untuk tipe pondasi lainnya dan didapati rekapitulasi hasil penurunan PLAXIS dengan pemodelan 1 tiang yang dapat dilihat pada Tabel 5.36 sebagai berikut.

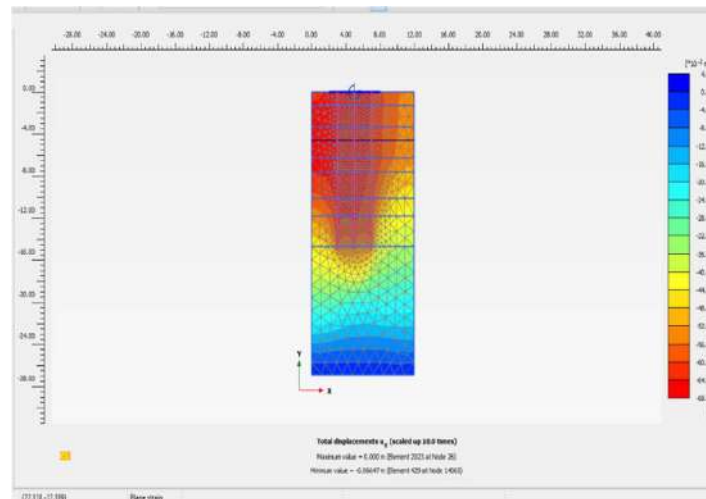
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Hasil Penurunan Pemodelan 1 Tiang Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Penurunan 1 Tiang (cm)	S izin (cm)	Cek Settlement < S izin
P2	1,32	5,6	20,83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	7,5	20,83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	3,97	20,83	OK

Lanjutan Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Penurunan Pemodelan 1 Tiang Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Penurunan 1 Tiang (cm)	S izin (cm)	Cek Settlement < S izin
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3,5	20,83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	7,2	20,83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	6,2	20,83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	7,2	20,83	OK

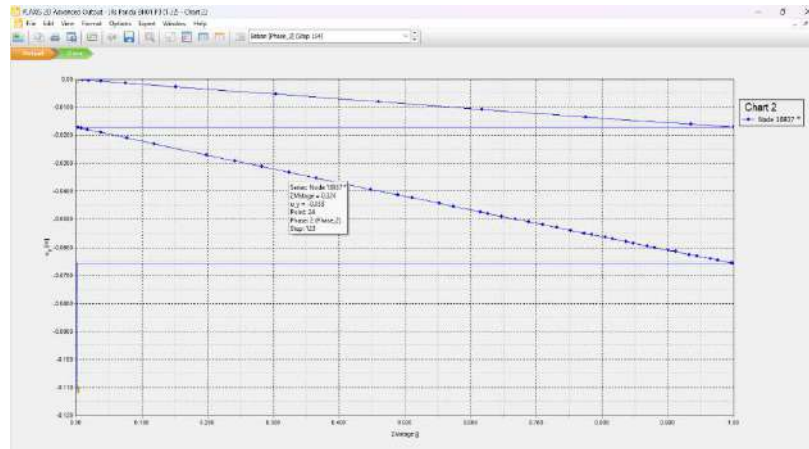
Selanjutnya dicoba analisis dengan pemodelan tiang grup dengan model *plain strain* yang memiliki nilai P atau beban langsung dari beban kolom *joint reaction* beban layan dan dibagi per lebar *pile cap*. Untuk hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.40 sebagai berikut.



Gambar 5. 42 Hasil Output dan Displacement P3 (1,32) Pada BH-01

Dari Gambar 5.40 didapati hasil dari pemodelan P3 (1,32) pada perangkat lunak PLAXIS didapat hasil penurunan total sebesar 6,6 cm, penurunan ini merupakan penurunan total dari penurunan seketika hingga penurunan dari deformasi keruntuhan analisis nonlinier tanah, sedangkan pada kondisi tanah yang

masih dalam kondisi elastis maka diambil $Mstage = 0,1-0,35$ yang dapat dilihat pada Gambar 5.37 sebagai berikut.



Gambar 5. 43 Grafik Mstage dan Titik Node Pada Fondasi P1(1,32)

Pada Gambar 5.37 terlihat bahwa sumbu x memiliki grafik Mstage dan sumbu y memiliki grafi uy yang berarti deformasi pada sumbu y, dari analisis penurunan penurunan menggunakan metode elemen hingga dilakukan secara bertahap dengan faktor pembebanan (Mstage). Pada tahap pembebanan awal (Mstage 0,1–0,35), respon tanah menunjukkan deformasi yang relatif kecil dan masih berada dalam rentang perilaku elastis, seiring dengan tingkat tegangan yang belum melampaui kondisi leleh tanah. Tahap ini digunakan untuk menggambarkan respon awal tanah terhadap pembebanan. Namun demikian, perbandingan dengan metode analitis yang dikemukakan oleh Poulos dan Davis tidak dilakukan pada tahap pembebanan awal tersebut karena perbedaan tingkat pembebanan. Oleh karena itu, nilai penurunan yang digunakan dalam perbandingan adalah hasil analisis pada kondisi pembebanan penuh ($Mstage = 1$), sehingga diperoleh kesesuaian kondisi pembebanan antara metode numerik dan metode analitis. Mstage di rentang sekitar 0,1-0,35 didapati hasil dari tahap pembebanan (*Load*) pada PLAXIS, diperoleh analisis penurunan pada pendekatan dari tahap $Mstage = 0,1-0,35$, yakni pada $Mstage = 0,324$, dan dari Mstage tersebut diperoleh penurunan deformasi (uy) sebesar 3,3 cm, sehingga dari yang telah diuraikan diatas didapati rekapitulasi

penurunan tanah dalam kondisi elastik dengan pembebanan pada $Mstage=0,1-0,35$ untuk keseluruhan tipe fondasi BH-01 sebagai berikut.

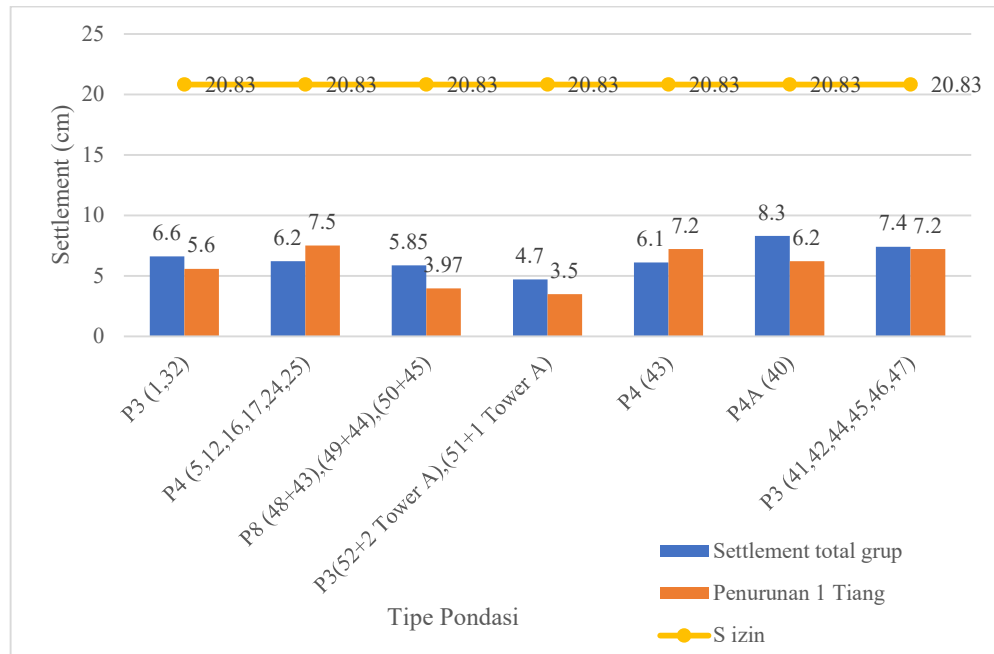
Tabel 5. 41 Hasil Rekapitulasi PLAXIS Pada BH-01

Tipe Fondasi	Joint Label	Settlement (cm) (Mstage 0,1-0,35)	Settlement Total (Mstage =1) (cm)	S izin (cm)	Cek Settlement < S izin
P2	1,32	3,3	6,6	20,83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	3,02	11,1	20,83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	2,85	9,2	20,83	OK
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	2,98	4,7	20,83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	3,03	10,7	20,83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	3,12	8,3	20,83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	2,99	7,4	20,83	OK

Dari percobaan pemodelan 1 tiang dengan tiang grup didapati hasil rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.38 dan Gambar 5.42 sebagai berikut.

Tabel 5. 42 Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan PLAXIS

Tipe Fondasi	Joint Label	Settlement 1 Tiang (cm)	Settlement Total grup	S izin (cm)	Cek Settlement < S izin
P2	1,32	5,6	6,6	20,83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	7,5	11,1	20,83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	3,97	9,2	20,83	OK
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	3,5	4,7	20,83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	7,2	10,7	20,83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	6,2	8,3	20,83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	7,2	7,4	20,83	OK



Gambar 5. 44 Rekapitulasi Perbandingan Pemodelan PLAXIS

Hasil analisis Gambar 5.42 menunjukkan bahwa secara umum penurunan yang diperoleh dari pemodelan satu tiang dengan pembebanan maksimum (P_{maks}) cenderung lebih kecil dibandingkan dengan penurunan pada pemodelan kelompok tiang. Hal ini disebabkan oleh adanya interaksi antar tiang dalam kelompok yang mengakibatkan terjadinya *overlap* zona tegangan (*stress bulb*), sehingga meningkatkan tegangan dalam tanah dan memperbesar deformasi yang terjadi. Selain itu, pengaruh pile cap juga menyebabkan redistribusi beban yang mempengaruhi respons keseluruhan sistem pondasi.

Namun demikian, pada beberapa kondisi tertentu ditemukan bahwa penurunan tiang tunggal dapat lebih besar dibandingkan kelompok tiang. Hal ini disebabkan karena pada pemodelan tiang tunggal, beban maksimum (P_{maks}) bekerja secara langsung pada satu tiang tanpa adanya redistribusi beban ke tiang lainnya, sehingga menghasilkan kondisi pembebanan yang lebih kritis atau dengan kata lain nilai beban lebih tinggi daripada nilai P per lebar *pile cap*. Dengan demikian, perbedaan hasil yang diperoleh mencerminkan pengaruh kombinasi antara distribusi beban, interaksi tanah–struktur, serta konfigurasi kelompok tiang

dalam sistem pondasi yang ditinjau. Oleh karena itu, analisis pemodelan tetap digunakan pada pemodelan grup karena lebih aktual dan terdapat analisis interaksi tanah dan tiang terutama reaksi *overlap*.

5.12 Perbandingan Hasil Perangkat Lunak dan Manual

Untuk hasil perbandingan perhitungan manual dengan hasil perangkat lunak dapat dilihat sebagai berikut.

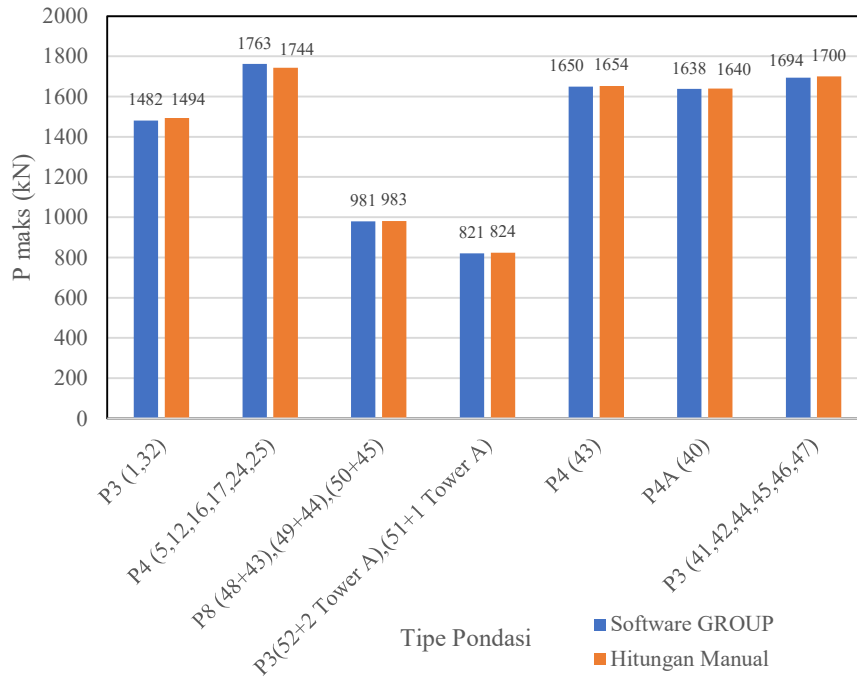
5.10.1 Perbandingan Nilai Persebaran Beban

Untuk hasil perbandingan nilai persebaran beban tiang bor dengan diameter 80 cm antara *Software GROUP* vs hitungan manual dapat dilihat pada Tabel 5.23 serta Gambar 5.45 dan 5.46 sebagai berikut.

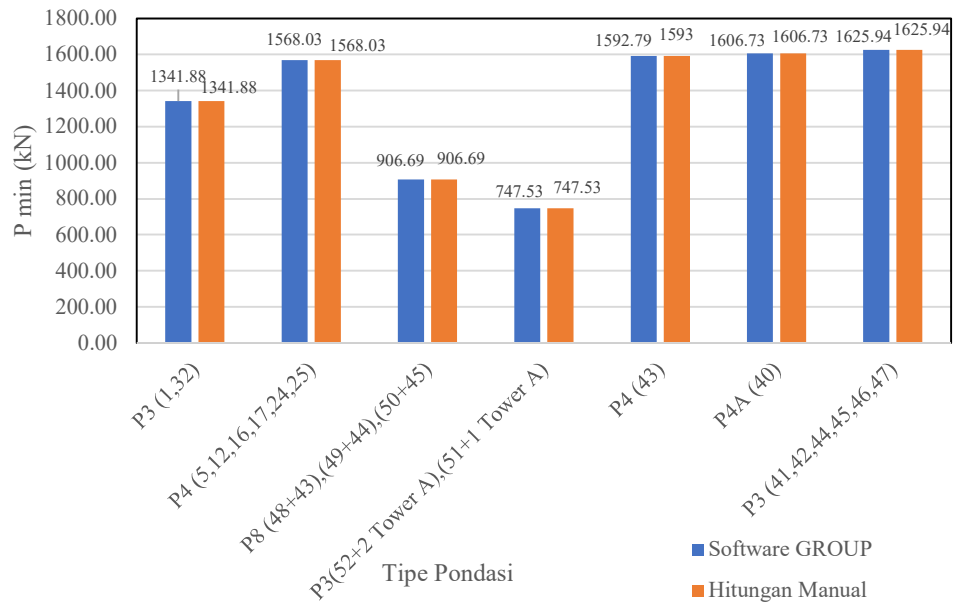
Tabel 5. 43 Perbandingan Hitungan Nilai P maks dan Pmin Software GROUP vs Manual Tiang Bor 80 cm

Tipe Fondasi	Joint Label	GROUP		Hitungan Manual	
		P maks (kN)	P min (kN)	Pmaks (kN)	Pmin (kN)
P2	1,32	1481,57	1341.88	1493.842	1341.83
P4	5,12,16,17,24,25	1763,2	1568.03	1743.84	1543.88
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	980,78	906.69	982.9169	908.71
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	821,22	747.53	824.2682	750.58
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	1649,61	1592.79	1653.962	1697.14
P4A (40)	40 (4 tiang formasi 1x4)	1638	1606.73	1640	1606.73
P3 (41,42,44,45,46,47)	41,42,44,45,46,47	1694	1625.94	1700	1625.94

Sehingga dari uraian tabel 5.23 diperoleh perbandingan grafik P maks dan P min yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan 5.39 sebagai berikut.



Gambar 5. 45 Perbandingan Nilai P maks GROUP vs Hitungan Manual Tiang Bor 80 cm



Gambar 5. 46 Perbandingan Nilai P min GROUP vs Hitungan Manual Tiang Bor 80 cm

Dari Gambar 5.38 dan 5.39 didapati hasil bahwa hitungan manual atau metode analitis dengan pemodelan numerik pada *Software* GROUP didapat hasil yang hampir sama, sehingga untuk perhitungan manual dan GROUP sudah selaras dengan konsep yang ada. Dari hasil perhitungan manual dan pemodelan numerik GROUP didapat hasil untuk P_{maks} keseluruhan tipe pondasi pada BH-01 memenuhi kapasitas izin sedangkan P_{min} tidak hasil hitungan manual dan pemodelan numerik GROUP menyatakan tidak ada tiang yang dalam kondisi tarik.

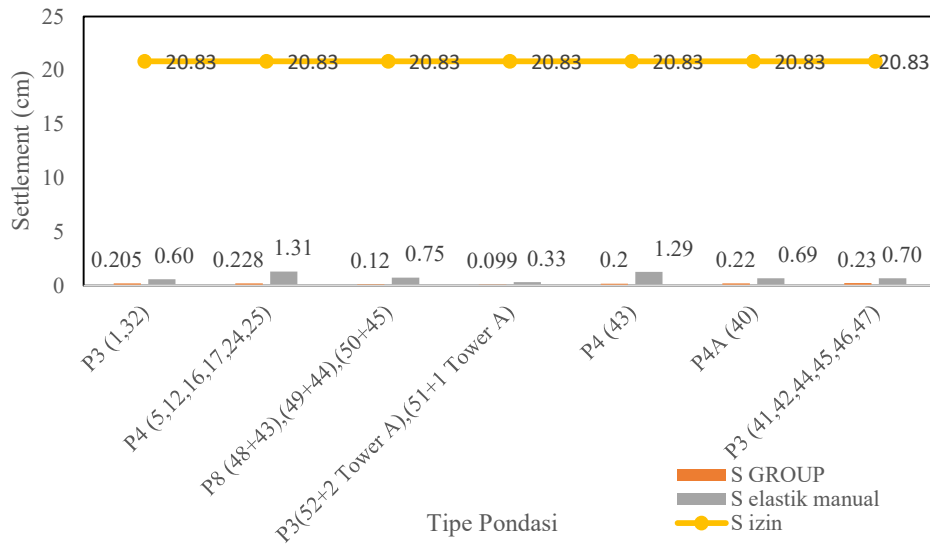
5.10.11 Perbandingan *Settlement*

Untuk hasil perbandingan nilai *settlement* antara *Software* GROUP, PLAXIS vs hitungan manual, serta hasil penurunan total PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 5.24 serta Gambar 5.47 dan 5.48

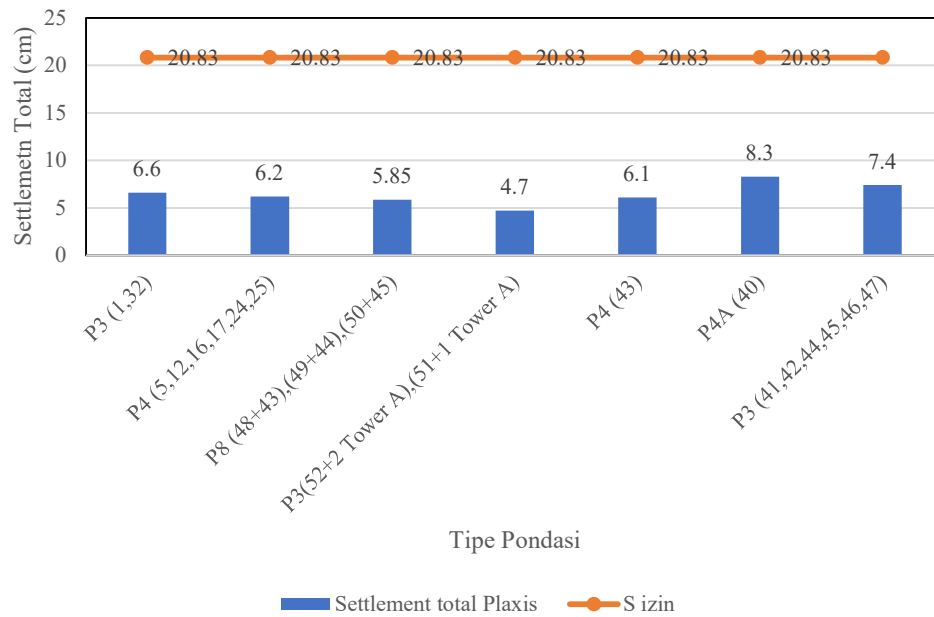
Tabel 5. 44 Perbandingan Settlement Hitungan Manual vs Software GROUP dan PLAXIS

Tipe Fondasi	Joint Label	S elastik manual	S GROUP	Settlement total Plaxis	S izin (cm)	Cek S total Plaxis < S izin?
P2	1,32	0.60	0,205	6.6	20,83	OK
P4	5,12,16,17,24,25	1.31	0,228	6.2	20,83	OK
P8	(48+43),(49+44),(50+45)	0.75	0,12	5.85	20,83	OK
P3	(52+2 Tower A),(51+1 Tower A)	0.33	0,099	4.7	20,83	OK
P4	43 (4 tiang formasi 2x2)	1.29	0,2	6.1	20,83	OK
P4	40 (4 tiang formasi 1x4)	0.69	0,22	8.3	20,83	OK
P3	41,42,44,45,46,47	0.70	0,23	7,4	20,83	OK

Dari tabel 5.24 selanjutnya dibuat perbandingan grafik penurunan (*settlement*) yang dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan 5.41 sebagai berikut.



Gambar 5. 47 Perbandingan Settlement Elastik Software GROUP vs Hitungan Manual



Gambar 5. 48 Hasil Settlement Total PLAXIS

Dari Gambar 5.40 didapatkan hasil untuk penurunan segera atau elastik pada metode analitis maupun numerik memberikan hasil yang memenuhi syarat dari

kapasitas penurunan Sizin sebesar 20,83 cm, kemudian dari Gambar 5.41 memberikan hasil untuk *settlement* dari pemodelan numerik PLAXIS juga memberikan hasil yang memenuhi syarat dari kapasitas penurunan Sizin sebesar 20,83 cm dengan penurunan total terbesar 8,3 cm pada tipe pondasi P4A (40) . Oleh karena itu hasil penurunan keseluruhan diambil dari penurunan total pendekatan numerik PLAXIS karena memiliki hasil yang lebih akurat dan konservatif dengan mempertimbangkan analisis non linier tanah dan interaksi tanah tiang selain penurunan segera atau elastik.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dijelaskan dan diuraikan pada bab sebelumnya didapati beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil 5 uji NSPT didapati bahwa untuk lapisan atas hingga kedalaman 9-10 m, karakteristik tanah memiliki jenis *silty clay* yang mana dari hasil analisis *atterberg limits* memiliki karakteristik tinggi plastisitas dan dari analisis butiran kandungan *clay* lebih tinggi dari *sand*, sehingga karakteristik tanah pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pandu dari lapisan 0-10 m termasuk jenis *clay*, kemudian untuk nilai 10 m hingga 30 m karakteristik tanah dominan tanah pasir bersifat *sand dense*.
2. Dari hasil analisis uji perhitungan daya dukung didapati bahwa dari kelima data *borehole*, yakni BH-01 hingga BH-05 didapati pada perhitungan pancang diameter 60 cm dengan kedalaman 12 m, memiliki daya dukung berturut-turut, 161,82 t, 198,1 t, 179,07 t, 217,21 t, 192,04 t. Dari tiang bor 80 cm dengan kedalaman 18 m, berturut-turut dari BH-01 hingga BH-05, yakni 215,24 t, 250,1 t, 256,89 t, 281,37 t, 250,02 t. Secara perhitungan daya dukung tiang bor 80 cm dan pancang 60 cm didapati bahwa untuk tiang bor ukuran 80 cm kedalaman 18 m memiliki daya dukung tanah lebih tinggi dengan daya dukung terendah pada BH-01 sebesar 215,24 t. Selain itu, jumlah kebutuhan tiang bor 80 cm lebih sedikit dengan jumlah 86 buah dibanding pancang 60 cm dengan jumlah 116 buah.
3. Dari hasil perhitungan didapat untuk daerah BH-01 tipe pondasi P2 (1,32), P3 (5,12,16,17,24,25), PC4 (48+43, 49+44, 50+45), P2 (40,43), dan P2 (41,42,44,45,46,46,47) berturut-turut memiliki kapasitas izin layan sebesar 5797 kN, 6990 kN, 10027 kN, 5797 kN, 6990 kN, dan 5797 kN.
4. Pada pengambilan sampel daerah BH-01 didapati pada hasil *joint* setelah dilakukan perhitungan dengan metode korelasi NSPT dan beberapa efisiensi,

yakni efisiensi *coverse-labarre*, *los angeles action equation*, dan Seiler-Keeney didapat bahwa jumlah tiang terbanyak didapat pada efisiensi *coverse-labarre* dengan jumlah tiang sebesar 104 buah, kemudian yang terkecil yakni efisiensi Seiler-Keeney sebesar 78 buah dan dengan jumlah moderat didapat efisiensi *Los Angeles Group Action Equation* dengan jumlah tiang 86 buah. Dari ketiga efisiensi tersebut dipilih jumlah moderat yakni metode efisiensi *Los Angeles Group Action Equation* dengan jumlah tiang 86 buah. Pemilihan ini berdasarkan jenis tanah yang dominan tanah kaku-keras tapi masih terdapat tanah lunak bagian atas, sehingga pemilihan tidak terlalu konservatif dan pengambilan asumsi daya dukung ujung yang kurang konservatif.

5. Pada analisis persebaran beban hitungan manual atau GROUP, didapat nilai P maks terbesar 1763 kN pada tipe fondasi P4 (5,12,12,17,24,25) yang mana nilai P maks ini masih memenuhi, yakni kurang dari kapasitas ijin sebesar 2111,5 kN. Dari analisis persebaran didapat nilai P min terendah sebesar 748 kN pada P3 joint label ((52+2) dan (51+1)), sehingga tidak terjadi tegangan tarik pada tiang
6. Hasil analisis penurunan secara manual, PLAXIS, dan GROUP menunjukkan bahwa ujung tiang berada pada lapisan *sand dense*, sehingga secara teori penurunan yang terjadi didominasi oleh penurunan elastik (segera). Penurunan terbesar hasil perhitungan manual dan GROUP sebesar 3,3 cm (tipe P3), sedangkan analisis PLAXIS menghasilkan penurunan maksimum sebesar 8,3 cm (tipe P4A). Seluruh nilai tersebut masih lebih kecil dari penurunan izin sebesar 20,83 cm sehingga fondasi dinyatakan aman terhadap kriteria servisabilitas. Hasil GROUP relatif mendekati metode Poulos & Davis karena sama-sama berbasis asumsi elastis linier, sedangkan PLAXIS memberikan nilai lebih besar akibat mempertimbangkan perilaku tanah nonlinier dan interaksi tanah–struktur secara lebih realistis.

6.2 Saran

Saran yang ditujukan penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan pendekatan analisis yang lebih beragam, khususnya untuk membandingkan metode berbasis elastis linier dan metode elemen hingga non-linier, guna memperoleh gambaran perilaku penurunan fondasi tiang yang lebih komprehensif.
2. Kemudian disarankan dilakukan evaluasi sensitivitas terhadap parameter tanah, terutama parameter kekakuan tanah seperti modulus elastisitas dan tegangan geser kondisi niralir, karena variasi nilai parameter tersebut terbukti berpengaruh signifikan terhadap besarnya penurunan yang dihasilkan dari masing-masing metode analisis.
3. Perencanaan fondasi pada penelitian berikutnya disarankan untuk mengevaluasi variasi jumlah dan konfigurasi tiang secara lebih konservatif, serta tidak terlalu bergantung pada kontribusi daya dukung ujung, agar diperoleh kinerja fondasi yang lebih aman dan andal.

DAFTAR PUSTAKA

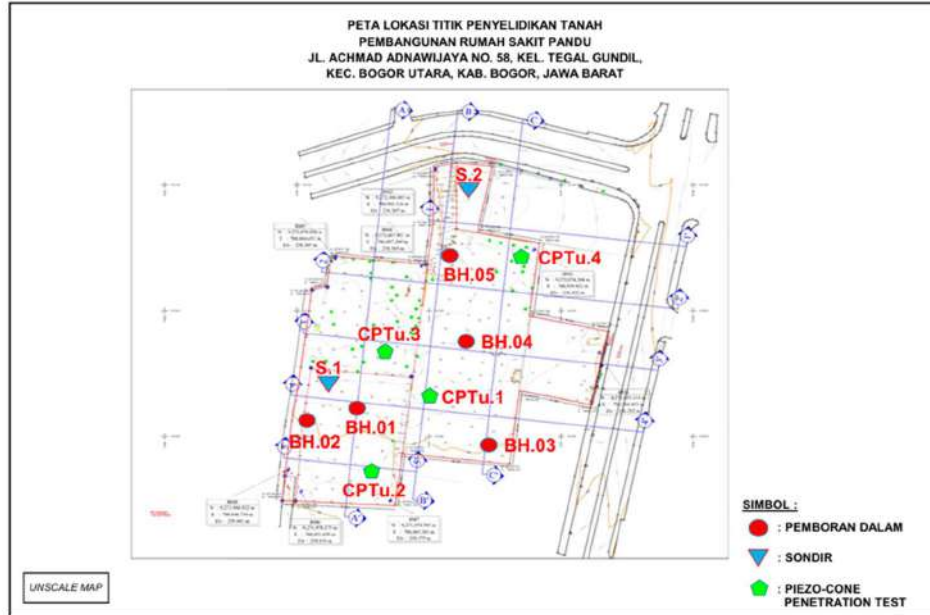
- Al Zahwa, A., Kautsar, A., dan Hsb, N. A. 2025. Analisis pengaruh jumlah penduduk terhadap jumlah fasilitas kesehatan, angka fertilitas, dan mortalitas di Kecamatan Medan Amplas tahun 2024. *Triwikrama: Jurnal Multidisiplin Ilmu Sosial*. 6(8).
- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1988. *Manual on Subsurface Investigations*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bimantara Daksa, D., Munajir, A., dan Panjaitan, M. 2023. Kajian studi fondasi tiang pancang di SMPN 18 Balikpapan menggunakan software Plaxis 2D. *Jurnal Teknik Sipil*. 11(1), 9–28.
- Bowles, J. E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. New York: McGraw-Hill.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
- Das, B. M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th Edition. Cengage Learning.
- Das, B. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Cengage Learning. Boston.
- Dika Famel Alamsah, & Yuki Achmad Yakin. (2023). *Analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada tanah lempung lunak (Studi kasus Masjid Al-Marwah Ciledug, Tangerang Selatan)*. Prosiding Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir FTSP, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Gwizdała, K., & Jacobsen, M. 1992. *Bearing Capacity and Settlements of Piles*. Aalborg, Denmark: Aalborg University.

- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi*. Bagian II. Edisi ke-2. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah II*, edisi ke-3. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Indah Sari, K. 2022. Analisis daya dukung fondasi tiang pancang beton pada proyek pembangunan rumah sakit di Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Teknik Sipil dan Ilmu Sipil (JTSIP)*. 1(1), 44–50.
- Irsyam, M. 2014. *Bahan Ajar Pondasi Dalam*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Look, B. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor and Francis/Balkema. Leiden.
- Mayne, P. W., Christopher, B. R., dan DeJong, J. 2001. *Manual on Subsurface Investigations*. National Highway Institute, Federal Highway Administration. Washington, DC.
- Muhsin, R. A., Mochtar, I. B., dan Khoiri, M. 2023. Efisiensi daya dukung tiang dalam grup menggunakan pendekatan analisa FEM 3D. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*. 21(1): Februari 2023.
- Poulos, H. G., dan Davis, E. H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley & Sons. New York.
- Prakoso, W. A. 2022. *Aspek Desain Fondasi dalam SNI 1726:2019*. Materi Presentasi GeoTalk XIX HATTI, Juli 2022.
- Pribadi, G., Prima, Y., dan Rumbyarso, A. 2023. Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor dengan perhitungan manual dan software ALLPILE. *Jurnal Teslink: Teknik Sipil dan Lingkungan*. 5(2), 16–20.
- Ramadhan, M. N. D., Solin, D. P., dan Astawa, M. D. 2022. Analisis pengaruh variasi bentuk dan variasi dimensi terhadap daya dukung fondasi tiang pancang pada gedung kuliah bersama dan laboratorium FEB UPN “Veteran” Jawa Timur. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. 11(2), 245–252.
- Robertson, P. K., dan Cabal, K. 2022. *Guide to In-Situ Testing*. Second Edition. Gregg Drilling LLC.

- Sulistianto, D., dan Yufitra Rus, T. 2024. Analisis daya dukung fondasi dan perencanaan konstruksi di gudang bahan peledak, Samboja, Kutai Kartanegara. *Jurnal Sains Terapan*. 10(2), 91–100.
- Vidayanti, D., Simatupang, P. T., dan Silalahi, S. 2013. Korelasi nilai N-SPT dengan parameter kuat geser tanah untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta, 24–26 Oktober 2013. Hal. G-99–G-107.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Persebaran Penyelidikan Tanah



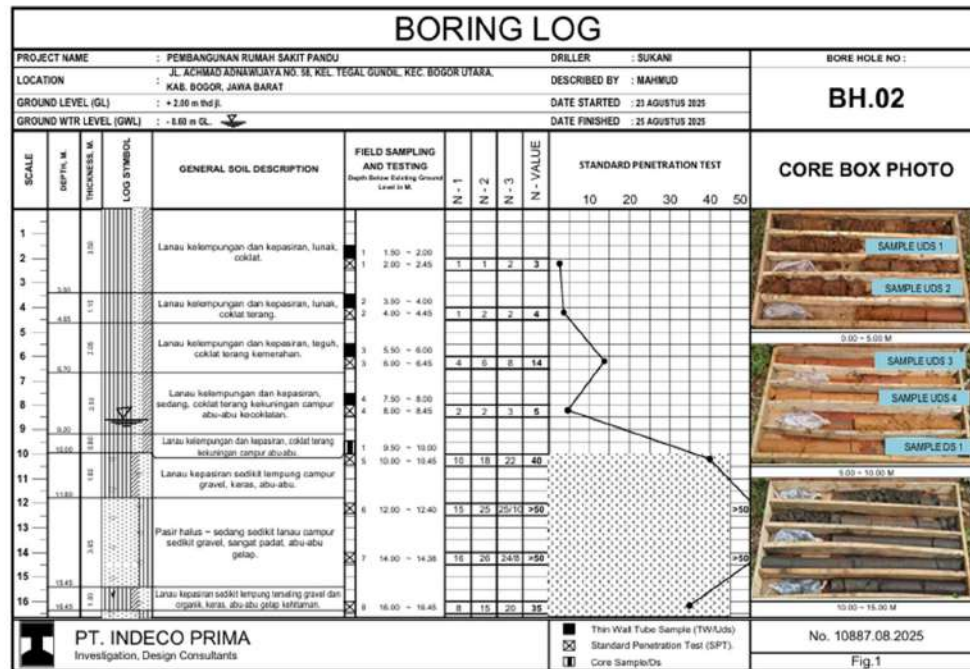
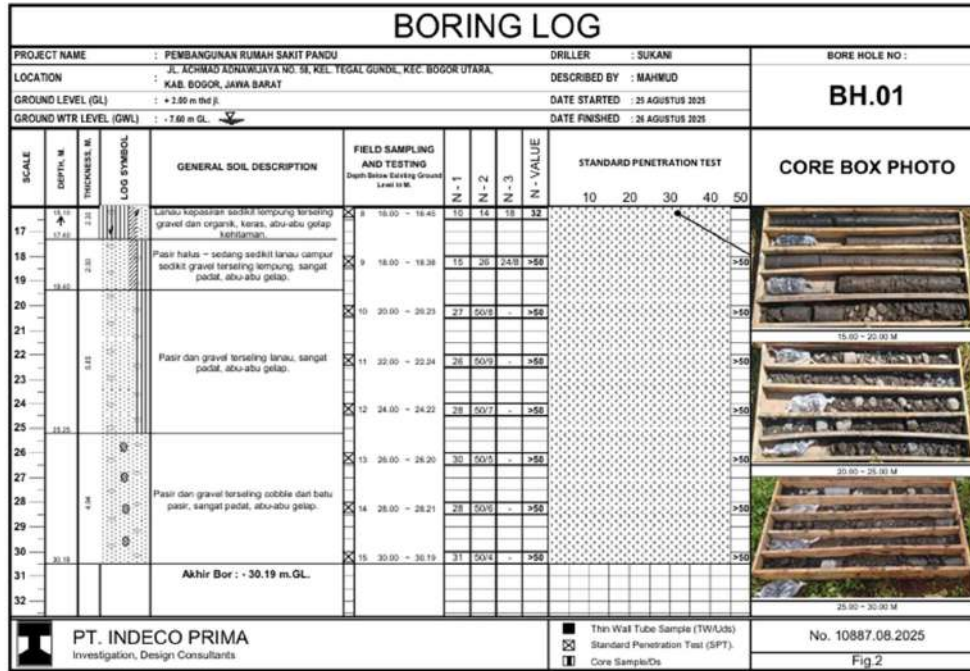
Lampiran 2 Data SPT

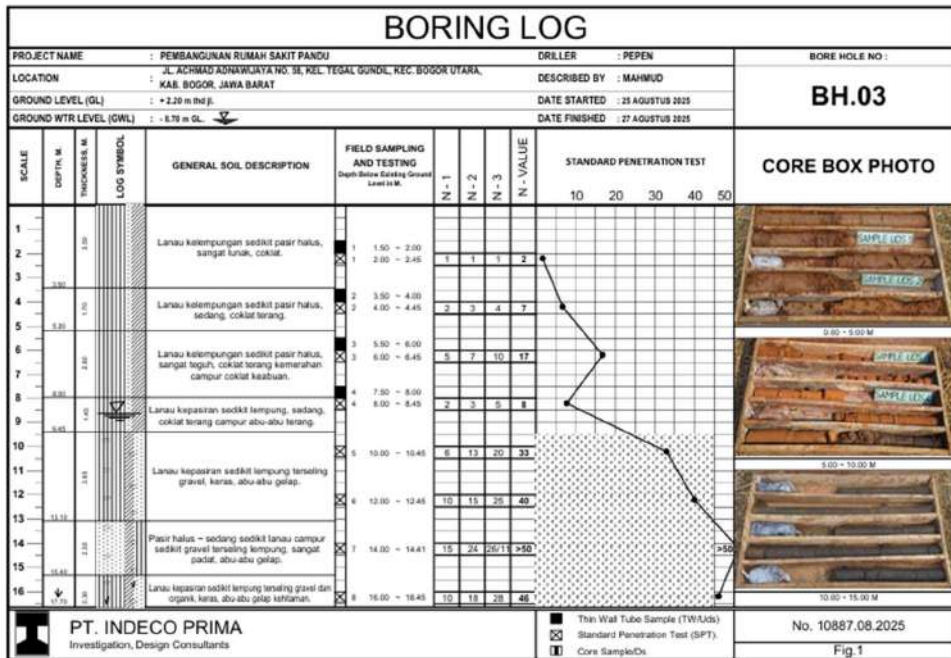
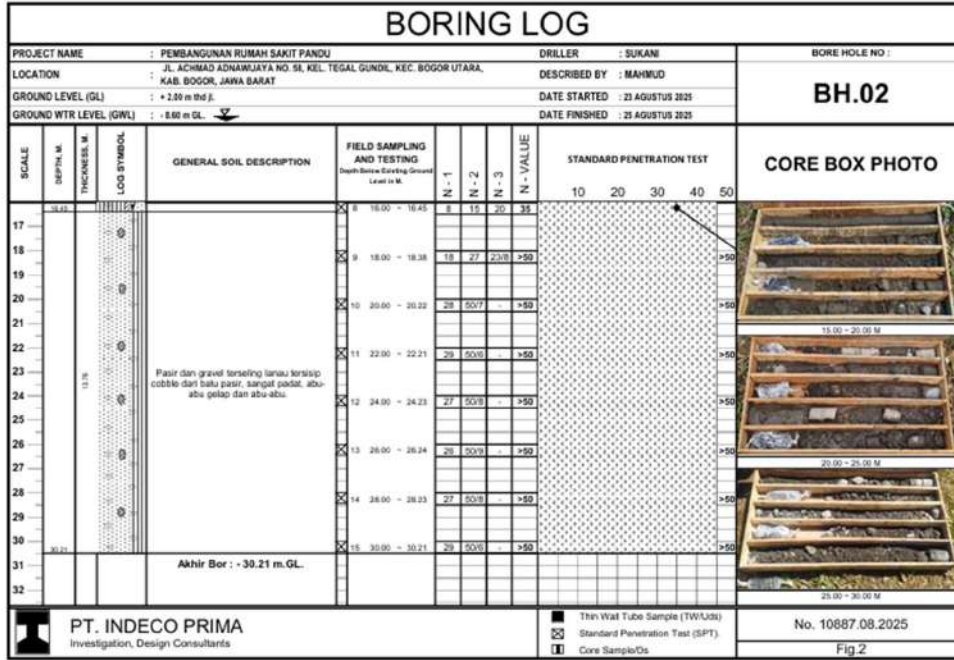
BORING LOG											
PROJECT NAME : PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT PANDU					DRILLER : SUKANI			BORE HOLE NO :			
LOCATION : JL. ACHMAD ADNAWJAYA NO. 58, KEL. TEGAL GUNDIL, KEC. BOGOR UTARA, KAB. BOGOR, JAWA BARAT					DESCRIBED BY : MAHMUD			BH.01			
GROUND LEVEL (GL) : + 2.89 m thd p.					DATE STARTED : 21 AGUSTUS 2025						
GROUND WTR LEVEL (GWL) : - 7.60 m GL					DATE FINISHED : 21 AGUSTUS 2025						
SCALE	DEPTH, M	THICKNESS, M	LOG SYMBOL	GENERAL SOIL DESCRIPTION	FIELD SAMPLING AND TESTING Depth Below Ground Level (m)	N-1	N-2	N-3	N-VALUE	STANDARD PENETRATION TEST 10 20 30 40 50	CORE BOX PHOTO
1	0.00	0.50		Lantau kelimpungan sedikit pasir halus, sangat lunak, coklat.	1 1.50 - 2.00	1	1	1	2		
2	0.50	1.00		Lantau kelimpungan sedikit pasir halus, sedang, coklat terang.	2 2.00 - 2.45	1	1	1	2		
3	1.00	1.50		Lantau kelimpungan dan kapasan, leguh, coklat terang kemerahan campur coklat keabuan.	3 3.50 - 4.00	1	2	4	6		
4	1.50	2.00		Lantau kelimpungan dan kapasan, sedang, coklat terang kekuningan.	4 4.00 - 4.45	1	2	4	6		
5	2.00	2.50		Lantau kapasan sedikit lempung terasing gravel (10.00 - 10.90 m), leguh, coklat dan abu-abu gelap.	5 5.00 - 6.00	4	6	8	14		
6	2.50	3.00		Lantau kapasan sedikit lempung terasing gravel (10.00 - 10.90 m), leguh, coklat dan abu-abu gelap.	6 6.00 - 6.45	4	6	8	14		
7	3.00	3.50		Pasir halus sedikit lanau terasing lempung campur gravel, padat, abu-abu gelap.	7 7.00 - 8.00	1	2	3	5		
8	3.50	4.00		Pasir halus - sedang sedikit lanau terasing lempung campur gravel, sangat padat, abu-abu gelap.	8 8.00 - 8.45	1	2	3	5		
9	4.00	4.50		Lantau kapasan sedikit lempung terasing gravel dan organik, keras, abu-abu gelap kehitaman.	9 10.00 - 10.45	3	5	9	14		
10	4.50	5.00		Lantau kapasan sedikit lempung terasing gravel dan organik, keras, abu-abu gelap kehitaman.	10 10.00 - 10.45	3	5	9	14		
11	5.00	5.50			11 12.00 - 12.45	10	16	24	40		
12	5.50	6.00			12 12.00 - 12.45	10	16	24	40		
13	6.00	6.50			13 14.00 - 14.40	18	24	20	10	>50	
14	6.50	7.00			14 14.00 - 14.40	18	24	20	10	>50	
15	7.00	7.50			15 16.00 - 16.45	10	14	18	32		
16	7.50	8.00			16 16.00 - 16.45	10	14	18	32		

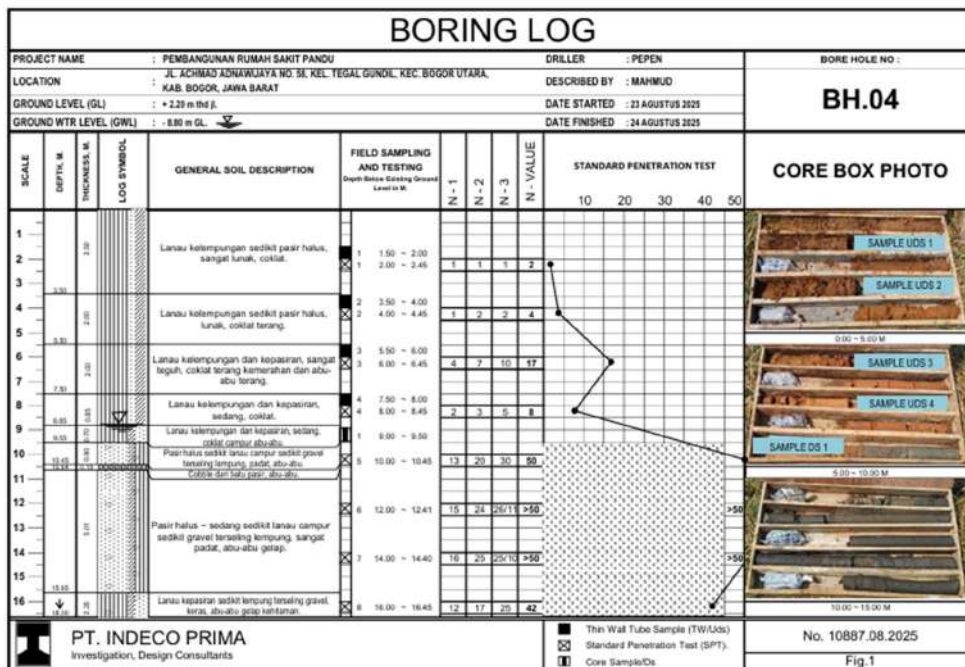
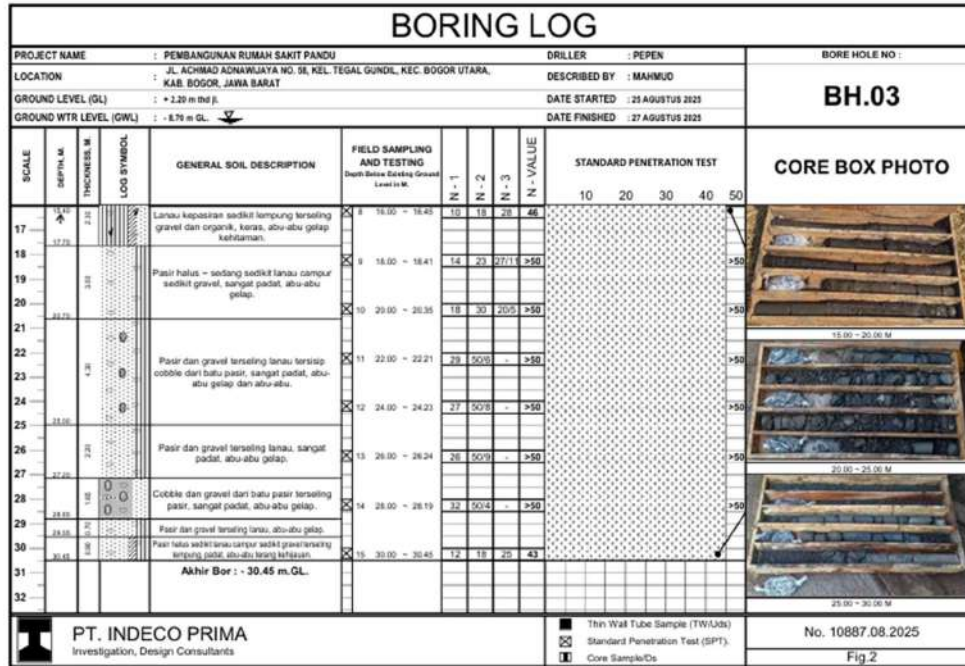
PT. INDECO PRIMA
Investigation, Design Consultants

Thin Wall Tube Sample (TWUds)
 Standard Penetration Test (SPT)
 Core Sample/Ds

No. 10887.08.2025
Fig.1



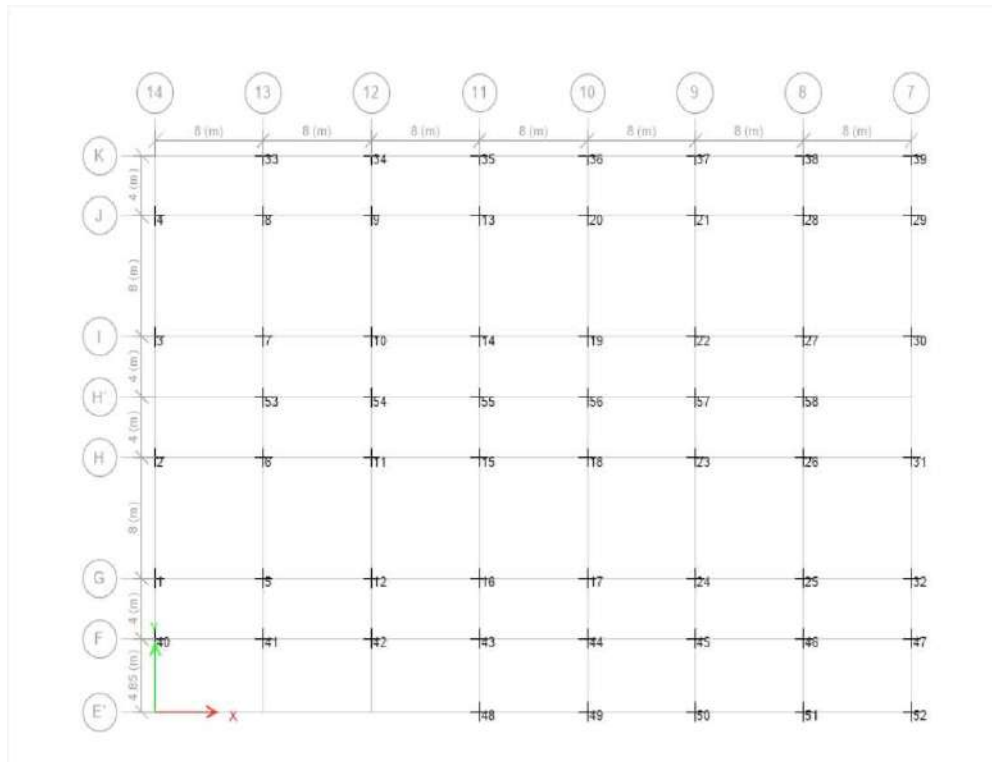
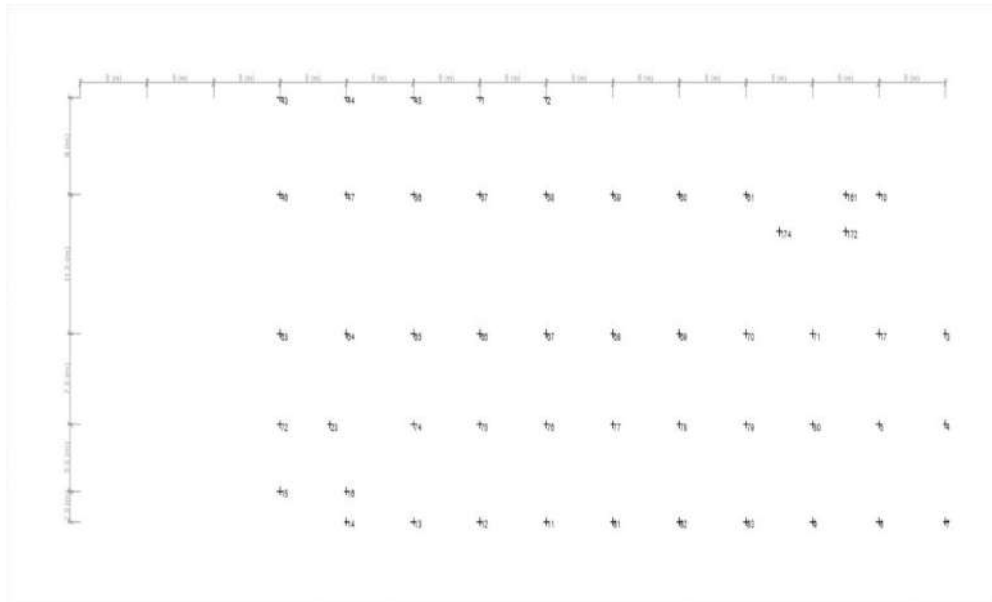




BORING No. AND SAMPLE CODE	SAMPLE DEPTH (Meter)	Natural Water Content	Wet Density	Dry Density	Specific Gravity	Void Ratio	Porosity	Degree of Saturation	ATTEMBERG LIMITS				GRAIN SIZE DISTRIBUTION (% by Weight)				Dynamic Cone Test		Unconfined Comp. Test		Sensitivity	TRIAXIAL UU - CU* Direct Shear**		Comol. Relead*	NOTES			
									W _L	W _P	I _p	Class	Gravel	Sand	Silt	Clay	O _g	q _u	q _{ur}	σ _r		c	φ			C _c	C _u	OTHER TEST
BH.03	GWL : 4.76 M																											
Ud. 1	1.50 ~ 2.00	68.048	1.447	0.861	2.630	2.055	0.673	87.11	93.28	47.08	46.12	MH	0.00	9.60	53.00	38.00	-	-	-	-	0.18	8.86	0.600					
Ud. 2	3.50 ~ 4.00	62.652	1.523	0.936	2.645	1.825	0.646	90.82	90.05	49.84	40.21	MH	0.00	12.00	54.00	34.00	-	0.802	0.596	1.345	0.30	6.19	0.510					
Ud. 3	5.50 ~ 6.00	55.176	1.549	0.979	2.624	1.679	0.627	90.80	90.60	51.38	39.22	MH	0.00	11.00	52.00	37.00	-	0.220	0.160	1.370	0.45	9.13	0.490					
Ud. 4	7.50 ~ 8.00	55.340	1.561	1.005	2.642	1.649	0.623	89.33	91.80	49.67	43.13	MH	0.00	9.00	50.00	41.00	-	0.657	0.577	1.179	0.47	3.06	0.375					
BH.04	GWL : 8.80 M																											
Ud. 1	1.50 ~ 2.00	67.487	1.543	0.921	2.609	1.886	0.653	95.14	83.00	46.12	36.88	MH	0.00	10.00	56.00	34.00	-	-	-	-	0.09	13.65	0.685					
Ud. 2	3.50 ~ 4.00	64.334	1.580	0.961	2.674	1.781	0.640	96.50	81.30	42.87	38.43	MH	0.00	11.50	52.50	36.00	-	0.650	0.428	1.520	-	-	0.730					
Ud. 3	5.50 ~ 6.00	52.701	1.634	1.070	2.642	1.488	0.708	94.30	90.60	48.86	41.74	MH	0.00	12.50	51.50	36.00	-	-	-	-	0.23	7.02	0.380					
Ud. 4	7.50 ~ 8.00	64.647	1.535	0.944	2.658	1.815	0.645	94.70	73.60	44.26	29.34	MH	0.00	13.50	58.50	26.00	-	0.220	0.163	1.355	-	-	0.665					
Ds. 1	9.00 ~ 9.50	58.409	1.661	1.011	2.674	1.646	0.622	94.91	67.50	45.20	22.50	MH	0.00	24.00	50.50	25.50	-	0.357	0.304	1.174	-	-	0.305					
PT. INDECO PRIMA Investigation, Design Consultants		PROJECT LOCATION : PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT PANDE : JL. ACHMAD ADNAWIYAYA NO.58, TEGAL GUNDIL, BOGOR UTARA, JAWA BARAT.										Tested by : <u>Ar/Cs</u> Date of Test : <u>Agst. Sept. 2021</u> Checked by : <u>JBS</u>		No. 10887.08.2025 Fig.														

BORING No. AND SAMPLE CODE	SAMPLE DEPTH (Meter)	Natural Water Content	Wet Density	Dry Density	Specific Gravity	Void Ratio	Porosity	Degree of Saturation	ATTEMBERG LIMITS				GRAIN SIZE DISTRIBUTION (% by Weight)				Dynamic Cone Test		Unconfined Comp. Test		Sensitivity	TRIAXIAL UU - CU* Direct Shear**		Comol. Relead*	NOTES			
									W _L	W _P	I _p	Class	Gravel	Sand	Silt	Clay	O _g	q _u	q _{ur}	σ _r		c	φ			C _c	C _u	OTHER TEST
BH.05	GWL : 8.90 M																											
Ud. 1	1.50 ~ 2.00	63.247	1.505	0.922	2.609	1.884	0.653	89.25	90.20	47.18	43.02	MH	0.00	12.00	52.50	35.50	-	0.200	0.176	1.318	0.26	16.59	0.480					
Ud. 2	3.50 ~ 4.00	61.016	1.512	0.951	2.650	1.785	0.641	90.57	98.30	50.18	48.12	MH	0.00	10.50	49.00	40.50	-	0.948	0.668	1.419	0.27	10.93	0.435					
Ud. 3	5.50 ~ 6.00	54.508	1.559	1.007	2.649	1.630	0.620	89.81	80.20	37.28	42.92	MH	0.00	13.00	49.00	38.00	-	0.588	0.447	1.316	0.14	8.58	0.260					
Ud. 4	7.50 ~ 8.00	65.033	1.480	0.897	2.648	1.955	0.661	88.19	99.30	51.17	48.13	MH	0.00	11.00	49.00	40.00	-	0.881	0.813	1.083	0.08	5.92	0.340					
Ds. 1	9.50 ~ 10.00	66.672	1.502	0.901	2.679	1.972	0.664	90.55	81.80	48.44	32.46	MH	0.00	11.50	61.50	27.00	-	0.298	0.220	1.337	0.07	5.23	0.650					
PT. INDECO PRIMA Investigation, Design Consultants		PROJECT LOCATION : PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT PANDE : JL. ACHMAD ADNAWIYAYA NO.58, TEGAL GUNDIL, BOGOR UTARA, JAWA BARAT.										Tested by : <u>Ar/Cs</u> Date of Test : <u>Agst. Sept. 2021</u> Checked by : <u>JBS</u>		No. 10887.08.2025 Fig.														

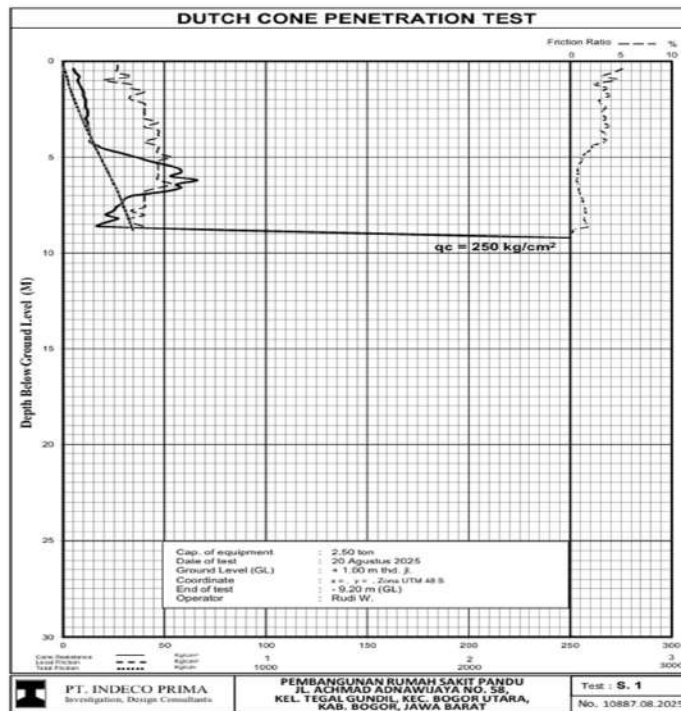
Lampiran 5 Joint Reaction

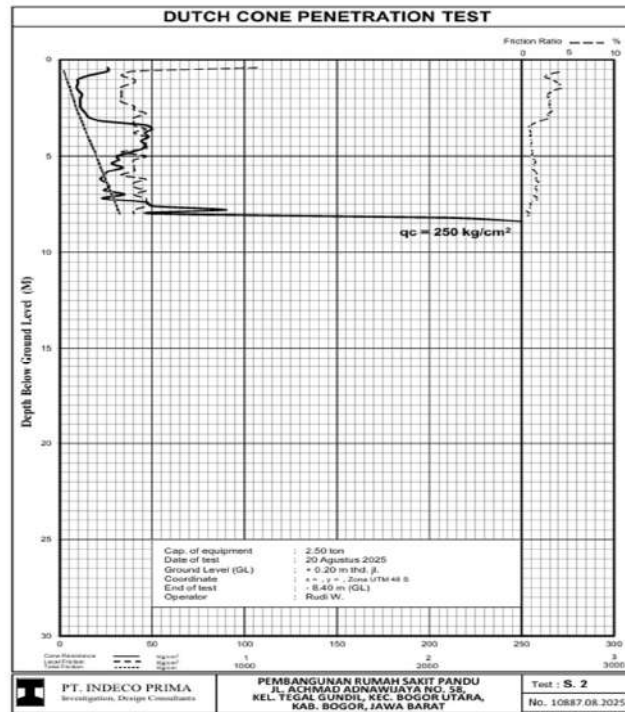


Reaction (TDL+ULL)

Slab	Story	Point	Pilcap	Kombinas	Core Type	Fx	Fy	Fz	Tiang Rangkap	Data/Durasi Abstr
						kN	kN	kN	Diameter (Ø) cm	2400
2D	Baso	27	PC	4	Gravitasi	0.1755	0.380	1380.771	Ø 80 cm	2400
4D	Baso	36	PC	4	Gravitasi	0.1527	0.2545	1122.891	Ø 80 cm	2400
11E	Baso	716	PC	4	Gravitasi	0.3494	0.7018	605.413	Ø 80 cm	2400
11E	Baso	717	PC	4	Gravitasi	0.3317	0.7006	611.7453	Ø 80 cm	2400
11E	Baso	718	PC	4	Gravitasi	0.3393	0.6867	618.8923	Ø 80 cm	2400
11E	Baso	719	PC	4	Gravitasi	0.336	0.6612	621.6801	Ø 80 cm	2400
10B	Baso	1	PC	4	Gravitasi	0.0884	1.0423	811.6121	Ø 80 cm	2400
10B	Baso	2	PC	4	Gravitasi	0.1157	1.0466	801.4471	Ø 80 cm	2400
10B	Baso	3	PC	4	Gravitasi	0.1928	0.8117	882.2933	Ø 80 cm	2400
10B	Baso	4	PC	4	Gravitasi	0.0712	0.7123	894.8623	Ø 80 cm	2400
0E	Baso	63	PC	4	Gravitasi	0.2485	1.0545	701.5819	Ø 80 cm	2400
0E	Baso	71	PC	4	Gravitasi	0.0536	1.0585	728.8922	Ø 80 cm	2400
0E	Baso	80	PC	4	Gravitasi	0.0223	0.8701	813.2481	Ø 80 cm	2400
0E	Baso	85	PC	4	Gravitasi	0.2129	0.8661	895.2784	Ø 80 cm	2400
10D	Baso	117	PC	4	Gravitasi	0.0316	0.7874	1061.98	Ø 80 cm	2400
10D	Baso	118	PC	4	Gravitasi	0.3328	0.1148	1002.43	Ø 80 cm	2400
10D	Baso	119	PC	2	Gravitasi	0.3624	0.1051	1008.786	Ø 80 cm	2400
10D	Baso	120	PC	2	Gravitasi	0.0125	0.111	1048.892	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	147	PC	2	Gravitasi	0.3987	0.8449	1006.141	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	148	PC	2	Gravitasi	0.1489	0.8423	1004.64	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	149	PC	2	Gravitasi	0.2081	0.1778	1015.751	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	150	PC	2	Gravitasi	0.3503	0.1617	1007.685	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	178	PC	2	Gravitasi	0.3071	0.9096	1129.899	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	179	PC	2	Gravitasi	0.2289	0.9081	1100.977	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	181	PC	2	Gravitasi	0.0718	0.3191	1775.679	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	182	PC	2	Gravitasi	0.2316	0.3039	1778.828	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	205	PC	2	Gravitasi	0.3646	1.0145	1087.371	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	208	PC	2	Gravitasi	0.0911	0.8673	1126.237	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	209	PC	2	Gravitasi	0.0924	0.4388	1172.548	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	207	PC	2	Gravitasi	0.2712	0.8106	1149.125	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	228	PC	2	Gravitasi	0.4322	0.8112	1412.054	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	229	PC	2	Gravitasi	0.1195	0.8132	1445.892	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	230	PC	2	Gravitasi	0.0528	0.8068	1378.11	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	231	PC	2	Gravitasi	0.3511	0.8542	1343.651	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	815	PC	2	Gravitasi	0.248	0.1494	1812.181	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	816	PC	2	Gravitasi	0.1889	0.1281	1727.075	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	817	PC	2	Gravitasi	0.8471	0.8389	1611.132	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	818	PC	2	Gravitasi	0.2185	0.818	1742.548	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	819	PC	2	Gravitasi	0.1638	0.8022	1625.448	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	840	PC	2	Gravitasi	0.2703	0.1864	1926.095	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	841	PC	2	Gravitasi	0.3117	0.8048	1820.831	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	842	PC	2	Gravitasi	0.1936	0.8473	1830.686	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	863	PC	2	Gravitasi	0.1639	0.1222	2008.848	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	864	PC	2	Gravitasi	0.1812	0.1171	2002.576	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	865	PC	2	Gravitasi	0.3805	0.8313	1917.628	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	866	PC	2	Gravitasi	0.1915	0.8339	1904.996	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	867	PC	2	Gravitasi	0.2338	0.9022	1907.612	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	868	PC	2	Gravitasi	0.3786	0.9842	2004.426	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	869	PC	2	Gravitasi	0.1611	0.8087	1926.095	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	890	PC	2	Gravitasi	0.2654	0.1516	1811.776	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	911	PC	2	Gravitasi	0.2126	0.8207	1908.906	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	912	PC	2	Gravitasi	0.2385	0.8225	1919.626	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	913	PC	2	Gravitasi	0.2281	0.8094	1879.238	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	914	PC	2	Gravitasi	0.2377	0.8089	1872.181	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	915	PC	2	Gravitasi	0.2219	0.2007	1876.628	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	916	PC	2	Gravitasi	0.2445	0.2065	1886.137	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	917	PC	2	Gravitasi	0.2379	0.4762	1877.758	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	918	PC	2	Gravitasi	0.2388	0.4889	1871.373	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	919	PC	2	Gravitasi	0.4876	0.8112	1741.282	Ø 80 cm	2400
0D	Baso	960	PC	2	Gravitasi	0.0503	0.2932	1790.388	Ø 80 cm	2400

Lampiran 6 CPT dan CPTu





PT. INDECO PRIMA	PIEZO-CONE PENETRATION TEST (CPTU)	
PROJECT : PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT PANDU LOCATION : KEL. TEGAL GUNDIL, KEC. BOGOR UTARA, KAB. BOGOR, JAWA BARAT POINT NO. : CPTu-01	COORDINATE : X = - m E; Y = - m S; Z = - m TEST DATE : 29 AGUSTUS 2025 ENGINEER : RIKY ARNATA, ST.	

