

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI
BORED PILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN
PEKERJA INDUSTRI BATANG I**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2022

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI
BORED PILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN
PEKERJA INDUSTRI BATANG I**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



**Disusun Oleh :
Alvin Fa'qu Rohman**

NIM : 30201800015

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI *BORED PILE* PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN PEKERJA INDUSTRI BATANG I



Alvin Fa'qu Rohman
NIM : 30201800015

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601
2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**
NIDN: 0605016802
3. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST, Ph.D.**
NIDN: 0627115501

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 40 / A.2 / SA – T / VIII / 2022

Pada hari ini tanggal Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

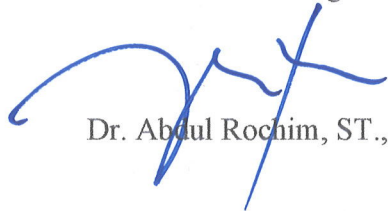
Alvin Fa'qu Rohman
NIM : 30201800015

Judul : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I
Dengan tahapan sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing		ACC
2.	Seminar Proposal		
3.	Pengumpulan data		
4.	Analisis data		
5.	Penyusunan laporan		ACC
6.	Selesai laporan		

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama



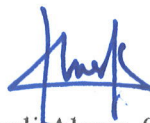
Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Dosen Pembimbing Pendamping



Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I.

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”

(Q.S. Ali Imran : 110)

“Tidak ada dua hal yang digabungkan lebih baik daripada pengetahuan dan kesabaran.”

(Nabi Muhammad SAW)

“Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan pada ilmu pengetahuan.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Ilmu pengetahuan adalah kehidupan pikiran. Tanpa ilmu, amal itu tidak ada gunanya. Sedangkan ilmu tanpa amal adalah hal yang sia-sia.”

(Abu Bakar Ash-Shiddiq)

“Allah tidak membebani seorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Q.S. Al Baqarah : 286)

“Maka Sesungguhnya bersama kesulitan pasti ada kemudahan, Sesungguhnya bersama kesulitan pasti ada kemudahan”

(Qs. Al – Insyirah : 5 - 6)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.”

(Q.S Ar-Ra'd : 11)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Edy Sutrisno dan Ibu saya Sri Marsuni yang selalu memberikan dukungan moral maupun material, kasih sayang, semangat, kesabaran dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
2. Ketiga saudara kandung saya, Zulfa, Reza, Rizky dan keluarga besar tercinta saya yang telah memberikan dukungan, semangat, motivasi dan do'a kepada saya.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan kepada saya agar bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang penuh manfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Diri saya sendiri yang telah memberikan semangat kepada diri saya sendiri, selalu berjuang dan mampu bertahan sampai di titik saat ini.
6. Saudara Rega Syafira, Nabilla Grace, Dimas Galang, dan Riky Dwi Hermawan atas semua bantuan, perhatian, dukungan, dan semangatnya.
7. Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2018 yang turut memberikan dukungan dan semangat kepada saya.
8. Semua Pengurus HMJ*S UNISSULA Periode 2020/2021 yang turut memberikan dukungan dan semangat kepada saya.

Alvin Fa'qu Rohman

NIM : 30201800015

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terselasaikan dengan baik tentang “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batanag I”. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada saya agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada saya agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan semangat, do'a, dan motivasi.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Semarang, Agustus 2022

Penulis

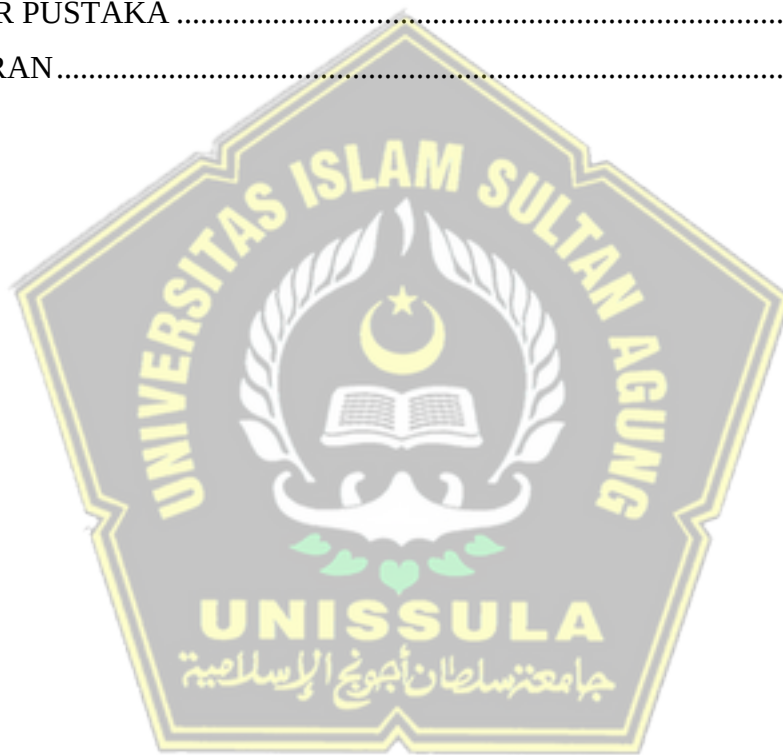
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
ABSTRAK.....	xvi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 6
2.1 Tanah.....	6
2.2 Penyelidikan Tanah.....	7
2.2.1 Penyelidikan Tanah dengan Sondir.....	8
2.2.2 Penyelidikan Tanah dengan Bor Mesin	10
2.2.2.1 <i>Standart Penetration Test (SPT)</i>	11
2.3 Pengertian Fondasi.....	11
2.4 Jenis – Jenis Fondasi	12

2.5	Fondasi <i>Bored Pile</i>	14
2.6	Distribusi Beban	17
2.7	Kapasitas Daya Dukung	19
2.7.1	Daya Dukung Aksial	19
2.7.1.1	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> dari Hasil Sondir	20
2.7.1.2	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> dari N-SPT	23
2.7.1.3	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> Berdasarkan Kuat Geser Tanah	26
2.7.1.4	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> Tahanan Ujung Ultimit	28
2.7.1.5	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> Berdasarkan Kekuatan Bahan	30
2.7.2	Daya Dukung Lateral	31
2.7.2.1	Daya Dukung Lateral Metode Brooms	31
2.8	Efisiensi dan Kapasitas Kelompok Tiang	31
2.9	Penurunan Elastis Tiang Tunggal (<i>Single Pile</i>)	37
2.10	Penurunan yang Diizinkan	40
2.11	Faktor Keamanan	40
2.12	Program Allpile	42
2.13	<i>Negative Skin Friction</i> (Gesekan Negatif)	42
2.13.1	Metode Evaluasi Gesekan Negatif pada Fondasi	44
2.13.2	Metode β Evaluasi Gesekan Negatif	44
BAB III METODOLOGI		47
3.1	Data Umum	47
3.2	Data Teknis	47
3.3	Pengumpulan Data	47
3.4	Analisis Data	48
3.5	Metode Penyusunan Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Pendahuluan	50
4.2	Pemodelan Struktur	50

4.2.1	Pemodelan Struktur Atas Menggunakan Program ETABS V.18	50
4.2.2	Desain Pemodelan Struktur.....	51
4.3	Pembebanan Struktur	52
4.3.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	52
4.3.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	52
4.3.3	Beban Gempa	52
4.4	Hasil Output Pembebanan.....	56
4.5	Data Perencanaan	61
4.6	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Fondasi <i>Bored Pile</i>	62
4.6.1	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Data Sondir atau <i>Cone Penetration Test</i> (CPT)	64
4.6.1.1	Metode <i>Aoki de Alencar</i>	64
4.6.1.2	Metode Langsung.....	66
4.6.2	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Hasil <i>Standart</i> <i>Penetration Test</i> (SPT)	66
4.6.2.1	Metode <i>Reese and Wright</i> (1977)	66
4.6.2.2	Metode <i>Mayerhoff</i>	69
4.7	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Bored Pile</i>	71
4.8	Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang.....	74
4.8.1	Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-2.....	74
4.8.2	Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1.....	76
4.9	Perhitungan Penurunan Elastis Tiang Tungga (<i>Single Pile</i>).....	78
4.10	Analisis Pemodelan dengan Program Allpile	80
4.11	Perhitungan <i>Negative Skin Friction</i> (NSF)	87
4.12	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Mengakomodasikan <i>Negative</i> <i>Skin Friction</i> (NSF)	89
4.12.1	Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-2 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 1 Tiang.....	90
4.12.2	Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 1 Tiang.....	92

4.12.3 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 2 Tiang.....	94
4.13 Perbandingan Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal.....	96
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	98
5.1 Kesimpulan	98
5.2 Saran.....	99
 DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN.....	103



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Empirik F_b dan F_s	21
Tabel 2.2 Faktor Empirik Tanah a_s	22
Tabel 2.3 Faktor Daya Dukung Mayerhoff.....	30
Tabel 2.4 Nilai – nilai K_1 yang disarankan oleh <i>Terzaghi</i> (1955).....	32
Tabel 2.5 Nilai Koefisien Empiris (C_p)	39
Tabel 2.6 Faktor keamanan <i>Reese & O'Neill</i>	34
Tabel 2.7 Nilai β Sesuai Jenis Tanah	45
Tabel 4.1 Kategori Resiko.....	53
Tabel 4.2 Faktor Keutamaan Gempa	54
Tabel 4.3 Nilai Percepatan Spektral Desain.....	54
Tabel 4.4 Faktor Reduksi Gempa	56
Tabel 4.5 Nilai Beban Fondasi.....	61
Tabel 4.6 Nilai q_c Didasar tiang	64
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode <i>Aoki de Alencar</i>	69
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode Langsung	69
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode <i>Reese and Wright</i> (1977)	70
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode <i>Mayerhoff</i>	70
Tabel 4.11 Nilai-nilai K_1 yang disarankan oleh <i>Terzaghi</i> (1955)	71
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial dengan Manual dan Program	86
Tabel 4.13 Hasil Total Penurunan Tiang Tunggal dengan Manual dan Program..	86
Tabel 4.14 Berat Jenis Tanah	88
Tabel 4.15 Nilai β Sesuai Jenis Tanah Metode β	88
Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fondasi <i>Bored Pile</i>	14
Gambar 2.2 Metode Pelaksanaan Fondasi <i>Bored Pile</i>	15
Gambar 2.3 Jenis-jenis Fondasi <i>Bored Pile</i>	16
Gambar 2.4 Tahanan Ujung Fondasi Tiang	18
Gambar 2.5 Tahanan Gesek Fondasi Tiang	18
Gambar 2.6 Tahanan Lekatan Fondasi Tiang	19
Gambar 2.7 Daya Dukung Ujung Tiang (<i>Reese and Wright, 1977</i>)	24
Gambar 2.8 Daya Dukung Kulit Tiang (<i>Reese and Wright, 1977</i>)	25
Gambar 2.9 Faktor Korelasi ϕ dan Nq^*	27
Gambar 2.10 Grafik Daya Dukung Tanah Mayerhoff	29
Gambar 2.11 Hubungan Tahanan Momen Ultimit dengan Tahanan Lateral Ultimit (Grafik Metode <i>Brooms</i>)	34
Gambar 2.12 Pola Kelompok Tiang	36
Gambar 2.13 Variasi Jenis Bentuk Unit Tahanan Friksi Alami Terdistribusi Sepanjang Tiang Tertanam ke Dalam Tanah (<i>Bowles, 1993</i>)	39
Gambar 2.14 Skema Gesekan Negatif pada Fondasi Tiang	44
Gambar 3.1 Bagan Alir Pelaksanaan	49
Gambar 4.1 Pemodelan 3D Struktur Atas dengan Etabs V.18	51
Gambar 4.2 Respon Spektral Desain	54
Gambar 4.3 Hasil Output Joint Reaction	57
Gambar 4.4 Hasil Output Joint Reaction – Parsial 1	58
Gambar 4.5 Hasil Output Joint Reaction – Parsial 2	59
Gambar 4.6 Hasil Output Joint Reaction – Parsial 3	60
Gambar 4.7 Data Tanah	62
Gambar 4.8 Penentuan Parameter Tanah	63
Gambar 4.9 Grafik Metode <i>Brooms</i>	73
Gambar 4.10 Kelompok Tiang PC-2	74
Gambar 4.11 Kelompok Tiang PC-1	76

Gambar 4.12 <i>Pile Type</i>	80
Gambar 4.13 <i>Pile Profil</i>	81
Gambar 4.14 <i>Pile Properties</i>	81
Gambar 4.15 <i>Setting Kedalaman Fondasi</i>	82
Gambar 4.16 <i>Load and Group</i>	83
Gambar 4.17 <i>Soil Properties</i>	83
Gambar 4.18 <i>Advanced Page</i>	84
Gambar 4.19 Hasil Analisis Vertikal Allpile	85
Gambar 4.20 Hasil Analisis Lateral Allpile	87
Gambar 4.21 Kelompok Tiang PC-2 dengan Penambahan 1 Tiang	90
Gambar 4.22 Kelompok Tiang PC-1 dengan Penambahan 1 Tiang	92
Gambar 4.23 Kelompok Tiang PC-1 dengan Penambahan 2 Tiang	94



ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI *BORED PILE* PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN PEKERJA INDUSTRI BATANG I

Alvin Fa'qu Rohman¹⁾, Abdul Rochim²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

ABSTRAK

Fondasi adalah struktur paling dasar suatu bangunan yang berperan untuk meneruskan beban struktur atas ke dalam tanah. Pada proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I, untuk perkuatan struktur bawah menggunakan fondasi *bored pile*. Agar konstruksi memiliki bangunan yang kokoh dan kuat, diperlukan perencanaan fondasi yang baik dan fondasi harus diperhitungkan secara matang untuk dapat menjamin kestabilan bangunan tanpa terjadi keruntuhan tanah dan penurunan yang melebihi batas yang diizinkan.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis daya dukung aksial fondasi *bored pile* dengan metode *Aoki de Alencar*, langsung, *Reese and Wright*, *Mayerhoff*, dan daya dukung lateral dengan metode *Brooms*, analisis efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang, analisis penurunan elastis tiang tunggal, analisis pemodelan dengan program *Allpile*, serta menganalisis daya dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction*.

Dari penelitian ini diperoleh daya dukung ijin (Q_{all}) tiang tunggal fondasi *bored pile* pada kedalaman 10 meter dengan metode *Aoki de Alencar* sebesar $Q_{all} = 305,66$ kN, metode langsung sebesar $Q_{all} = 537,67$ kN, metode *Reese and Wright* sebesar $Q_{all} = 970,78$ kN, metode *Mayerhoff* sebesar $Q_{all} = 970,80$ kN, dengan program *Allpile* sebesar $Q_{all} = 627,92$ kN, daya dukung lateral metode *Brooms* dengan cara analitis diperoleh $H_u = 273,14$ kN, dengan cara grafis diperoleh $H_u = 275,90$ kN. Kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) pada PC-2 sebesar $Q_g = 1371,06$ kN $> 1351,33$ kN, pada PC-1 sebesar $Q_g = 2645,34$ kN $> 2577,60$ kN. Total penurunan elastis tiang tunggal secara manual diperoleh sebesar 1,51 cm, dengan program *Allpile* sebesar 1,94 cm. Daya dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction* pada PC-2 dilakukan penambahan 1 tiang diperoleh $Q_g = 1401,75$ kN $> 1351,33$ kN, pada PC-1 dilakukan penambahan 2 tiang diperoleh $Q_g = 2605,61$ kN $> 2577,60$ kN.

Kata Kunci : *Fondasi; Bored Pile; Daya Dukung; Penurunan; Negative Skin Friction*

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu pembangunan konstruksi, yang pertama dilaksanakan dan dikerjakan di lapangan adalah pekerjaan fondasi (struktur bawah). Dalam sebuah konstruksi bangunan, fondasi merupakan suatu pekerjaan yang memiliki peranan sangat penting, karena fondasi inilah yang menopang dan menahan suatu beban yang bekerja di atasnya yaitu beban konstruksi atas (struktur atas). Fondasi adalah suatu bagian struktur bawah dari konstruksi bangunan yang memiliki fungsi utama untuk meneruskan beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*) maupun beban gempa pada bangunan di suatu daerah tertentu, lalu disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar melalui fondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya *differential settlement* pada sistem strukturnya.

Secara umum fondasi sebagai struktur bawah ini dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Penentuan pemilihan fondasi ini tergantung pada beban bangunan di atasnya dan juga tergantung dari karakteristik jenis tanahnya. Untuk konstruksi dengan beban bangunan ringan biasanya menggunakan fondasi dangkal, tetapi untuk konstruksi dengan beban bangunan cukup berat maka pemilihan yang tepat adalah menggunakan fondasi dalam.

Penentuan pemilihan jenis fondasi yang akan digunakan pada suatu konstruksi bangunan, harus dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu. Penyelidikan tanah bertujuan untuk mengetahui keadaan, sifat, susunan struktur, jenis karakteristik tanah serta daya dukungnya. Penyelidikan tanah untuk menentukan daya dukung ini ada dua metode yang dapat dilakukan yaitu metode statis dan metode dinamis. Penyelidikan tanah dengan metode statis dapat dilakukan dengan pekerjaan sondir dan pekerjaan bor mesin. Sedangkan penyelidikan tanah dengan metode dinamis dapat dilakukan dengan pengujian SPT. Manfaat dari penyelidikan tanah ini untuk mendapatkan hasil yang akurat, aman, hemat dan ekonomis.

Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang direncanakan oleh Pemerintah melalui

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dan dikembangkan oleh PT. Kawasan Industri Terpadu Batang. Proyek ini merupakan salah satu upaya pemerintah dalam mewujudkan Pemulihan Ekonomi Nasional (PEN) di Indonesia terlebih lagi akibat pandemi covid-19. Tujuan utama pembangunan proyek ini yaitu sebagai fasilitas penunjang untuk tempat tinggal atau hunian bagi para pekerja industri yang bekerja di Kawasan Industri Terpadu Batang (KITB).

Agar konstruksi ini memiliki bangunan yang kokoh dan kuat, maka dibutuhkan perencanaan fondasi yang baik dan fondasi harus diperhitungkan secara matang untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban - beban bangunan, dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain. Pada proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I ini untuk perkuatan fondasi (struktur bawah) menggunakan jenis fondasi dalam yaitu fondasi *bored pile*. Dari penjelasan diatas, Tugas Akhir (TA) ini difokuskan pada analisis daya dukung dan penurunan pada fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* dirancang untuk menahan gaya vertikal dan gaya lateral pada bangunan yang ditimbulkan dari angin kencang, gempa bumi, ataupun faktor lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Berapa besarnya beban maksimum yang diterima tiang fondasi *bored pile* pada proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I
2. Berapa nilai daya dukung aksial dan lateral pada fondasi *bored pile* dengan indikator data sondir dan N-SPT,
3. Berapa nilai efisiensi dan kapasitas daya dukung kelompok tiang pada fondasi *bored pile*,
4. Berapa hasil penurunan elastis tiang tunggal (*Single Pile*),
5. Bagaimana analisis pemodelan fondasi *bored pile* dengan program aplikasi Allpile.
6. Bagaimana analisis efisiensi dan kapasitas daya dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction*.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian tanah berlokasi di proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I,
2. Struktur fondasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan fondasi *bored pile*,
3. Rencana pembebanan bangunan mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung,
4. Program yang digunakan untuk analisis pemodelan struktur dan pembebanan proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I adalah Etabs,
5. Data penyelidikan tanah menggunakan hasil uji sondir dan bor mesin,
6. Analisis kekuatan nilai daya dukung aksial dan lateral fondasi *bored pile*,
7. Analisis nilai efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang fondasi *bored pile*,
8. Metode yang digunakan untuk perhitungan daya dukung aksial yaitu: Metode *Aoki de Alencar*, *Langsung*, *Reese and Wright* (1977), dan *Mayerhoff*,
9. Metode yang digunakan untuk perhitungan daya dukung lateral yaitu: Metode *Brooms*,
10. Metode yang digunakan untuk perhitungan efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tang yaitu Metode *Converse-Labarre* dan *Los Angeles Group*,
11. Analisis penurunan elastis tiang tunggal (*Single Pile*),
12. Program yang digunakan untuk analisis pemodelan fondasi adalah Allpile.
13. Analisis nilai efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction*.

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk tujuan penelitian tugas akhir ini bisa disimpulkan sebagai berikut :

1. Mengetahui beban maksimum struktur atas pada proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I,
2. Mengetahui nilai daya dukung aksial dan daya dukung lateral fondasi *bored pile* dari hasil data sondir dan SPT,

3. Mengetahui nilai efisiensi dan kapasitas dukung tiang kelompok fondasi *bored pile*,
4. Mengetahui hasil penurunan elastis tiang tunggal (*Single Pile*),
5. Mengetahui hasil *run analysis* pemodelan fondasi dengan program Allpile,
6. Mengetahui nilai efisiensi dan kapasitas dukung tiang kelompok dengan mengakomodasikan *negative skin friction*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini menghasilkan beberapa manfaat antara lain:

1. Menambah wawasan, pengetahuan, dan ilmu yang bermanfaat khususnya mengenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi,
2. Bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dibidang analisis geoteknik, khususnya fondasi *bored pile* bagi penulis maupun pihak lain, dan
3. Sebagai bahan referensi atau acuan bagi mahasiswa maupun pihak lain yang membaca dan membuat laporan tugas akhir dengan mengambil studi penelitian yang sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan dalam tahapan rencana penyusunan penulisan Tugas Akhir ini terdapat 5 (lima) bab, yang akan dijelaskan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang gambaran informasi awal penelitian ini yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang diperoleh dari buku literatur, tulisan ilmiah, website, jurnal, dan hasil penulisan sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang data umum, data teknis, pengumpulan data, analisis data, dan metodologi penyusunan penelitian serta skema pelaksanaan studi penelitian dalam menyusun penelitian Tugas Akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang pembahasan mengenai hasil analisis dari pemodelan struktur, perhitungan kapasitas daya dukung aksial dan daya dukung lateral, efisiensi dan kapasitas dukung tiang kelompok, penurunan elastis tiang tunggal, analisis pemodelan dengan program aplikasi, dan analisis efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis pengolahan data dari penelitian penyusunan laporan Tugas Akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan dasar suatu struktur atau konstruksi, yang memiliki peranan sangat penting dalam dunia teknik sipil. Tanah didefinisikan sebagai susunan material yang terdiri dari berbagai butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia antar partikelnya dan terbentuk dari berbagai bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga kosong di antara partikel padat tersebut merupakan definisi dari tanah (Das, 1985). Ukuran tiap mineral padat pada tanah sangat bervariasi dan sifat serta karakter tanah sangat bergantung dari factor-faktor ukuran, bentuk dan komposisi kimia dari butiran.

Dalam pengertian teknik, tanah adalah susunan partikel mineral yang tersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain yang terbentuk akibat terjadinya pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis dapat diakibatkan karena erosi oleh air, angin atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan. Sedangkan cara kimiawi, mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbon dioksida dari udara membentuk asam-asam karbon yang kemudian bereaksi dengan mineral-mineral batuan dan membentuk mineral-mineral baru ditambah garam-garam terlarut. Akibat dari pembentukan tanah secara kimiawi, maka tanah mempunyai struktur dan sifat-sifat yang berbeda (Das, 1985).

Dalam ilmu mekanika tanah yang disebut “tanah” merupakan semua endapan alam yang berkaitan dengan teknik sipil, kecuali batuan tetap. Batuan tetap menjadi ilmu tersendiri yaitu mekanika batuan (*rock mechanics*). Endapan alam tersebut mencakup semua bahan, dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (*boulder*). Ukuran dari partikel tanah memiliki ragam variasi yang cukup besar. Lapisan tanah umumnya dapat dibedakan menjadi kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tiap lapisan tanah tersebut.

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan dalam ilmu Teknik Sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campuran tersebut kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya. Contohnya seperti tanah lanau berlempung adalah tanah lanau yang mengandung lempung dengan material utamanya adalah lanau dan sebagainya.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Jika rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah tersebut termasuk dalam kondisi jenuh. Jika rongga terisi udara dan air, tanah tersebut termasuk dalam kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

2.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan fase awal dalam desain konstruksi sipil, seperti contohnya dalam perencanaan fondasi, pemadatan timbunan, bendungan maupun kestabilan lereng. Pekerjaan penyelidikan tanah merupakan salah satu pekerjaan yang menghasilkan data-data penunjang dalam pekerjaan perencanaan suatu bangunan. Didalam kegiatan perencanaan, penyelidikan tanah harus dilakukan secara baik sehingga dihasilkan gambaran yang jelas mengenai *index properties* dan *engineering properties* dari tanah. Secara umum tujuan dari pekerjaan penyelidikan tanah adalah untuk mendapatkan data teknis atau parameter tanah yang dapat mewakili kondisi tanah setempat untuk digunakan sebagai parameter desain.

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) adalah proses pengambilan contoh (*sample*) tanah yang bertujuan untuk menyelidiki karakteristik tanah tersebut. Dalam merancang fondasi, bagi para *engineer* penting untuk mengetahui keadaan dan susunan struktur tanah serta sifat setiap lapisan tanahnya (seperti berat isi tanah, daya dukung, ataupun daya rembes) dan juga ketinggian muka air tanah. Oleh sebab itu, *soil investigation*

adalah pekerjaan awal yang harus dilakukan sebelum memutuskan akan menggunakan jenis fondasi dangkal atau fondasi dalam.

Penyelidikan tanah untuk menentukan daya dukung fondasi borepile pada proyek ini ada dua metode yang dilakukan yaitu metode statis dan metode dinamis. Penyelidikan tanah dengan metode statis dilakukan dengan pekerjaan sondir dan pekerjaan bor mesin. Sedangkan penyelidikan tanah dengan metode dinamis dilakukan dengan pengujian SPT.

2.2.1 Penyelidikan Tanah dengan Sondir

Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan metode uji penekanan yang dilakukan untuk menganalisis daya dukung tanah dan mengukur kedalaman lapisan tanah keras atau pendukung yang biasanya disebut tanah sondir. Dengan mengetahui kedalaman tanah keras yang dijadikan tumpuan untuk tiang pancang maka dapat membuat desain fondasi yang sesuai dengan standart keamanan untuk menahan beban kolom bangunan (Sihotang, 2009).

Penyelidikan tanah di proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I ini, pada pekerjaan sondir alat yang dipergunakan adalah sondir ringan manual *type Gouda / Dutch Cone Penetrometer* dengan kapasitas 2,50 ton dan tahanan konus (*conus resistance*) $q_c = 250,0 \text{ kg/cm}^2$

Tujuan dari penyelidikan sondir adalah untuk mendapatkan nilai pengukuran langsung tahanan ujung ($q_c =$ dalam kg/cm^2) sepanjang lubang setelah dilewati konus. Pengujian sondir dilakukan dengan kecepatan konstan sebesar 2cm/dtk setiap interval 20 cm. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Alat sondir manual (keadaan baik) dengan kapasitas 2,50 ton.
- Stang sondir sebanyak 25 (dua puluh lima) batang, dengan panjang masing-masing 1,00 meter.
- Manometer 2 (dua) buah yaitu manometer kapasitas 0-60 kg/cm^2 dan manometer kapasitas 0 – 250 kg/cm^2 .
- 1 (satu) buah bikonus dan 1 (satu) *single* konus.

- 1 (satu) set angker terdiri dari 4 (empat) buah angker dan besi kanal penjepit (penahan).
- Kunci – kunci dan perlengkapan lain yang digunakan untuk menunjang pekerjaan.

Prosedur pelaksanaan penyelidikan tanah dengan uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) adalah sebagai berikut :

- Mesin sondir dipasang dengan posisi tegak lurus dengan dasar tanah dan ditahan oleh angker dan besi kanal dalam keadaan stabil,
- Oli dalam piston dalam kondisi penuh, baru stang dan konus dipasang, manometer pada kondisi awal dalam keadaan baik,
- Pembacaan dilaksanakan pada penekanan pertama, dari ujung konus dan penekanan kedua adalah pembacaan ujung konus dan mantel,
- Penekanan stang dilaksanakan pada setiap jarak (interval) kedalaman 20 cm,
- Pekerjaan sondir dihentikan apabila dalam keadaan :
 - Pembacaan manometer tiga kali berturut-turut menunjukkan nilai konus (q_c) $> 200 \text{ kg/cm}^2$.
 - Pembacaan manometer menunjukkan hasil konus (q_c) kecil tetapi nilai total lekatan (jumlah hambatan pelek) besar ($> 1000 \text{ kg/cm}^2$), sehingga mengakibatkan angker terangkat, maka kanal penahan diberi beban (pemberat).
 - Apabila pada kedalaman kurang dari 2,00 meter sudah mencapai tekanan (nilai) konus $q_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, maka untuk menyakinkan hasil sondir yang akurat alat sondir digeser sejauh $\pm 2,00$ meter,
 - Tetapi apabila kondisinya sama, maka pekerjaan dihentikan dan lapisan tanah dapat diyakini dalam kondisi padat atau keras.

Data dari hasil pengujian sondir disajikan dengan beberapa penggambaran grafik yaitu meliputi :

- Grafik tahanan konus (*conus resistance*) terhadap kedalaman
- Grafik lekatan setempat (*local friction*)
- Grafik jumlah hambatan lekat (*total friction*)

2.2.2 Penyelidikan Tanah dengan Bor Mesin

Pada penyelidikan tanah dengan bor mesin ini, pekerjaan bor alat yang dipergunakan adalah bor mesin (*Drilling Bore*) dengan diameter 3 inchi. Peralatan yang digunakan pekerjaan bor mesin antara lain :

- *Rotary Drilling Bore (Longer 24)*
- *Drilling Pump merk sunchin*
- *Core barrel type single tube core barrels*
- *Rod*
- *Casing*
- *Drive Pile*
- *Standart split barrel & drive weight*
- *Tabung sampel*

Berikut langkah cara kerja penyelidikan tanah dengan sistem pekerjaan bor mesin, yaitu :

- Pemboran dilakukan dengan menggunakan *single tube barrels*, berdiameter 76 mm dan panjang 100 cm.
- Pemboran dilakukan dengan cara pemboran bermesin dengan cara memutar stang bor beserta tabung sampel dengan menggunakan mesin sebagai penggerak.
- Pengambilan contoh tanah dilakukan secara menerus (*continue*) agar didapat susunan lapisan tanah.
- Sampel tanah pemboran disimpan dalam kotak inti (*core box*) yang masing – masing mempunyai 5 (lima) jalur penyimpanan dengan panjang 1,0 m dan tebal ± 7 cm, sehingga tiap kotak menyimpan 5,0 m contoh tanah. Setiap kotak diberi tanda No. boring, lokasi, kedalaman, tanggal, master bor, dll.
- Dari hasil bor dilakukan deskripsi lapisan tanah, kedalaman air tanah, dan hal – hal lain yang perlu. Deskripsi tanah mengacu pada prosedur SNI 03-4148-1996.
- Bersamaan dengan pelaksanaan boring dilakukan pengambilan undisturbed sample, test kadar air, dan uji test SPT.

2.2.2.1 *Standart Penetration Test (SPT)*

Standart Penetration Test (SPT) merupakan metode pemancangan batang kedalam tanah dengan menggunakan pukulan palu dan mengukur jumlah pukulan perkedalaman penetrasi sesuai dengan prosedur ASTM D.1586-67. Pengujian SPT dilakukan dengan maksud untuk mengetahui besaran daya dukung tanah (*N – value*) secara empiris yang pada dasarnya hasil penelitian ini dapat juga dipakai sebagai pembanding terhadap hasil penelitian laboratorium (Sihotang, 2009).

Peralatan yang digunakan pada pengujian *Standart Penetration Test (SPT)* yaitu :

- Palu atau *Hammer* 63,50 kg (140 lb)
- *Split Spoon Sampler*
- Kop penumbuk

Berikut cara kerja penyelidikan tanah dengan pengujian *Standar Penetration Test (SPT)* sebagai berikut :

- Pengujian SPT dilakukan setiap interval -2,00 m, dan setiap pengujian dilakukan *Split Spoon Sampler* dengan perantara stang bor.
- *Split Spoon Sampler* ditumbuk dengan palu (*hammer*) dengan tinggi jatuh 75 cm.
- Nilai N-SPT dihitung banyaknya tumbukan yang diperlukan untuk memasukkan *split spoon* 30 cm yang terakhir.
- Interpretasi stratifikasi berdasarkan N-SPT dilakukan dengan menggunakan N-SPT yang telah terkoreksi.

2.3 **Pengertian Fondasi**

Fondasi adalah suatu bagian struktur yang paling dasar dari konstruksi sebuah bangunan yang menjadi struktur bagian bawah bangunan (*sub-structure*) dan berfungsi meneruskan beban secara merata dari struktur bagian atas bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada dibawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan tanah, dan penurunan (*settlement*) tanah/fondasi yang berlebihan. Adapun pengertian dan definisi fondasi dari beberapa sumber, yaitu sebagai berikut :

- Menurut Sardjono (1988), fondasi adalah salah satu dari konstruksi bangunan yang terletak dibagian bawah sebuah konstruksi, fondasi mempunyai peran penting

terhadap sebuah bangunan, dimana fondasi menanggung semua beban konstruksi bagian atas ke lapisan tanah yang berada di bagian bawahnya.

- Menurut Gunawan (1991), fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya.
- Menurut Hardiyatmo (2002), fondasi adalah komponen struktur terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya.

Karena kekuatan dari *sub-structure* ini tergantung pada karakteristik tanah pendukung dan pengaruh dari *upper-structure*, maka struktur fondasi dan lapisan tanah harus diperhitungkan sebagai satu kesatuan. Fondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban - beban bangunan, dan gaya-gaya luar seperti : tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain.

2.4 Jenis – Jenis Fondasi

Pada umumnya fondasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam, dan tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman lebar fondasi. Pengertian fondasi dangkal adalah fondasi yang mampu menerima beban relatif kecil serta menahan beban secara langsung yang biasanya kedalamannya kurang atau sama dengan lebar fondasi dan digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan fondasi dalam adalah fondasi yang mampu menerima beban besar dan meneruskan beban tersebut ke lapisan tanah keras yang terletak jauh dari permukaan tanah. Berikut adalah penjelasan mengenai macam jenis fondasi :

1. Fondasi Dangkal

a. Fondasi Setempat

Fondasi setempat dikenal dengan fondasi telapak (*foot plate*). Fondasi setempat merupakan jenis fondasi dangkal yang bekerja menahan beban secara terpusat dari kolom suatu konstruksi bangunan sehingga penempatannya sama persis atau dengan titik kolom bangunan. Fondasi telapak terbuat dari beton bertulang yang

umumnya berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang. Untuk fondasi jenis ini biasanya digunakan untuk fondasi rumah tinggal, gedung bertingkat, ataupun gudang.

b. Fondasi Menerus

Fondasi menerus atau biasanya disebut dengan fondasi batu kali. Fondasi menerus merupakan jenis fondasi dangkal yang digunakan pada tanah yang mempunyai nilai daya dukung yang seragam pada suatu lokasi. Fondasi menerus biasanya digunakan untuk menahan struktur dinding yang memanjang dan kolom yang relatif berdekatan. Fondasi ini menggunakan batu pecah atau batu kali sebagai bahan utamanya dan dikerjakan dengan cor beton tanpa tulangan. Untuk fondasi jenis ini biasanya digunakan untuk fondasi rumah tinggal sederhana.

c. Fondasi Rakit

Fondasi rakit adalah jenis fondasi dangkal yang merupakan fondasi plat beton yang dibuat seluas bangunan di atasnya atau disebut dengan fondasi plat setempat yang luas sekali. Fondasi ini digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga menggunakan fondasi telapak, sisinya berhimpit satu sama lain.

2. Fondasi Dalam

a. Fondasi Sumuran

Fondasi Sumuran adalah jenis fondasi dalam yang pelaksanaannya dengan dicor ditempat dengan menggunakan komponen beton dan batu belah sebagai pengisinya. Pada umumnya fondasi ini terbuat dari beton bertulang atau beton pracetak, dari silinder beton bertulang dengan diameter tertentu, sehingga fondasi sumuran ini struktur utamanya seperti pipa beton yang ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam mencapai lapisan tanah dasar atau tanah keras yang berada dibawah.

b. Fondasi Tiang

Fondasi Tiang adalah jenis fondasi yang digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya

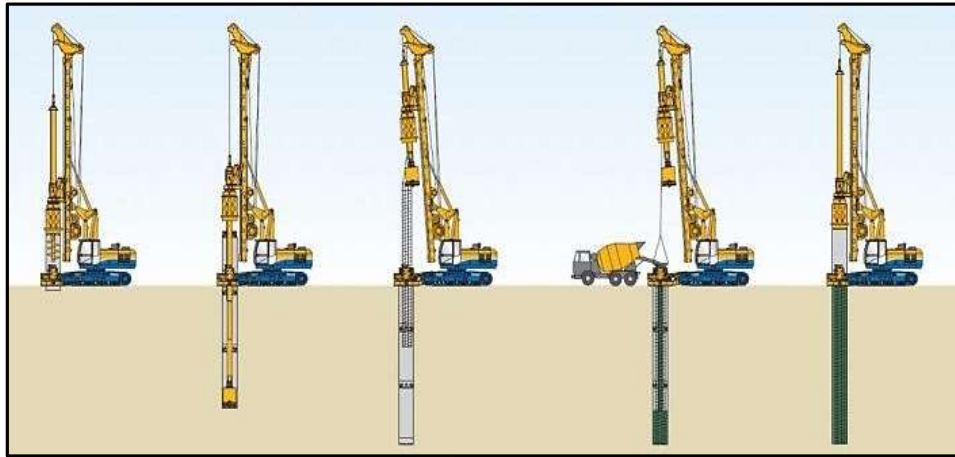
terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pada fondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan fondasi sumuran. Penggunaan fondasi ini umumnya cocok digunakan pada konstruksi bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya akibat beban horizontal.

2.5 Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2002). Pada proses pelaksanaannya, fondasi *bored pile* ini dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, kemudian diisi dengan tulangan lalu dilakukan pengecoran. Perhatikan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Fondasi *Bored Pile*

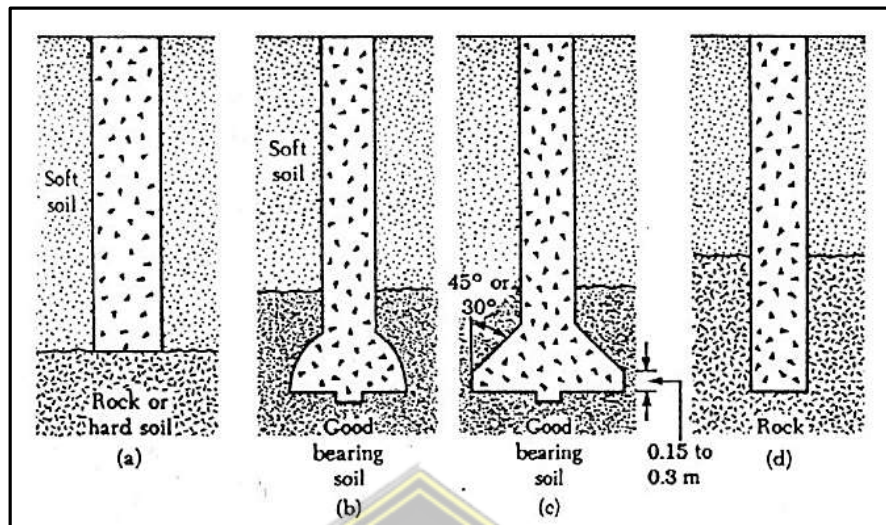


Gambar 2.2 Metode Pelaksanaan Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* ini salah satu jenis alternatif fondasi yang digunakan ketika dalam pengerjaan pembuatan fondasi bangunan tidak memungkinkan untuk menggunakan fondasi tiang pancang dikarenakan lokasi yang sempit dan kondisi lain yang dapat mempengaruhi pengerjaan proyek bangunan. Fondasi *bored pile* ini biasanya digunakan pada tanah stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran dan pipa ini di tarik ke atas pada waktu pengecoran beton. (Hardiyatmo, 2010).

Fondasi *bored pile* atau fondasi tiang bor diklasifikasikan menjadi beberapa jenis sesuai dengan rancangan untuk meneruskan beban struktur ke lapisan tanah keras. Jenis-jenis fondasi *bored pile* ini yaitu (lihat Gambar 2.3) :

- a. *Bored pile* lurus untuk tanah keras;
- b. *Bored pile* yang pada bagian ujungnya diperbesar dan berbentuk seperti bel;
- c. *Bored pile* yang pada bagian ujungnya diperbesar berbentuk trapezium;
- d. *Bored pile* lurus untuk tanah berbatu-batuan.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Fondasi *Bored Pile*

Dari sisi teknologi ataupun penggunaan fondasi *bored pile* yang digunakan pada suatu konstruksi bangunan ini memiliki keunggulan, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan. Berikut adalah keunggulan dan kelemahan penggunaan fondasi borepile.

a. Keunggulan penggunaan fondasi *bored pile* yaitu :

1. Pelaksanaan pembuatan tiang bor dilakukan langsung di lokasi pekerjaan.
2. Tiang bor ini tidak perlu diangkat, jadi tidak ada resiko rusak dalam transpot.
3. Panjang tiang bor dapat disesuaikan dengan keadaan di lapangan.
4. Pada saat pelaksanaan tidak menimbulkan getaran dan suara yang dapat mengganggu lingkungan sekitar.
5. Jika diinginkan dasar tiang bor dapat diperbesar.
6. Karena dasar tiang fondasi *bored pile* dapat diperbesar, maka akan menambah ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
7. Permukaan diatas dimana dasar fondasi *bored pile* didirikan dapat diperiksa secara langsung.
8. Fondasi *bored pile* memiliki ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.
9. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
10. Pada fondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping, hal ini tidak terjadi pada konstruksi fondasi *bored pile*.

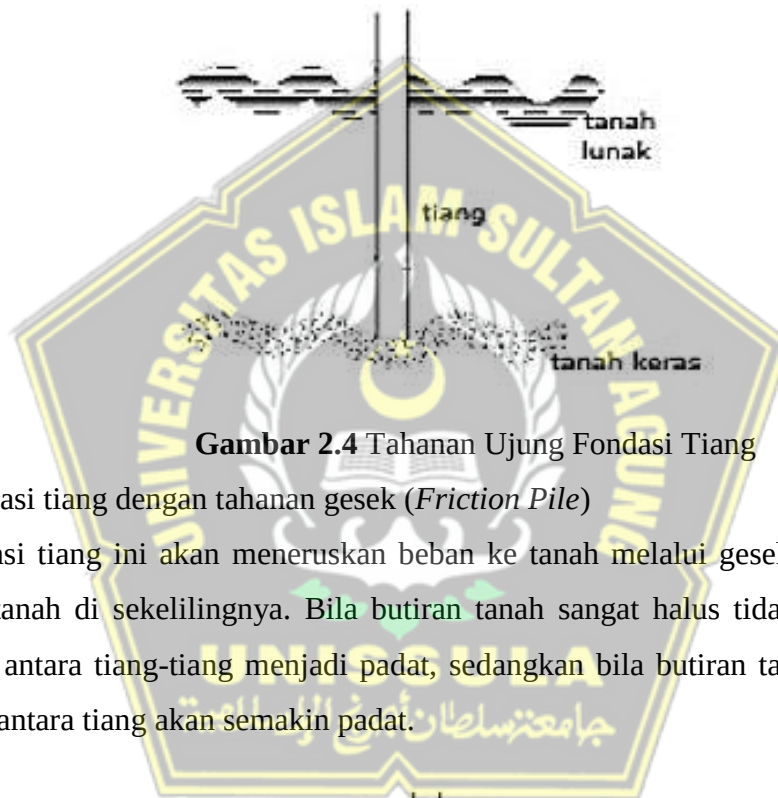
11. *Bored pile* tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau pile cap.
 12. Selama pelaksanaan fondasi *bored pile* tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan fondasi tiang pancang.
- b. Kelemahan penggunaan fondasi borepile yaitu :
1. Pada proses pembuatan lubang, membuat keadaan sekelilingnya menjadi kotor akibat tanah yang diangkut dari hasil pengeboran tanah tersebut.
 2. Pelaksanaan fondasi *bored pile* ini memerlukan peralatan yang khusus.
 3. Beton yang dikerjakan secara *cast in place* tidak dapat dikontrol pada keadaan cuaca yang buruk dan akan mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan cara menunda pengeboran sampai keadaan cuaca memungkinkan atau memasang tenda sebagai penutup.
 4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil maka menggunakan *bentonite* sebagai penahan longsor.
 5. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik maka diatasi dengan cara ujung pipa *tremie* berjarak 25 - 50 cm dari dasar lubang fondasi.
 6. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, maka air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali ke dalam kolam air.
 7. Akan terjadi tanah runtuh (*ground loss*) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang casing untuk mencegah kelongsoran.
 8. Walaupun penetrasi sampai ke tanah pendukung fondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar, maka dipasang pipa paralon pada tulangan *bored pile* untuk pekerjaan *basegrouting*.

2.6 Distribusi Beban

Menurut cara penyaluran bebannya ke tanah, distribusi beban pada fondasi dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

a. Fondasi tiang dengan tahanan ujung (*End Bearing Pile*)

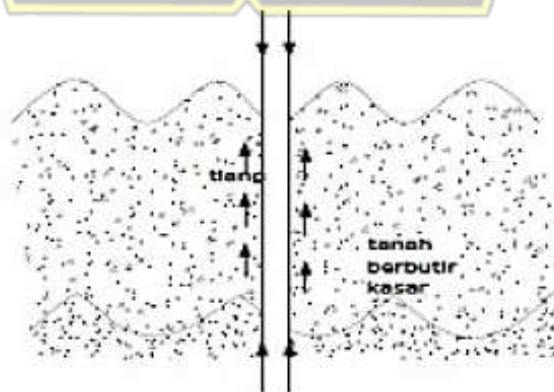
Fondasi tiang ini akan meneruskan beban melalui tahanan ujung tiang ke lapisan tanah pendukung. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zona tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang.



Gambar 2.4 Tahanan Ujung Fondasi Tiang

b. Fondasi tiang dengan tahanan gesek (*Friction Pile*)

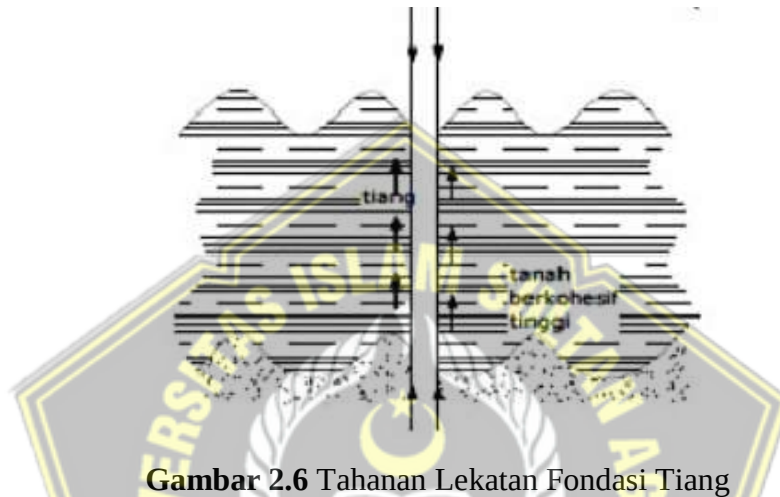
Fondasi tiang ini akan meneruskan beban ke tanah melalui gesekan antara tiang dengan tanah di sekelilingnya. Bila butiran tanah sangat halus tidak menyebabkan tanah di antara tiang-tiang menjadi padat, sedangkan bila butiran tanah kasar maka tanah di antara tiang akan semakin padat.



Gambar 2.5 Tahanan Gesek Fondasi Tiang

c. Fondasi tiang dengan tahanan lekatan (*Adhesive Pile*)

Bila tiang ini pada dasar tanah fondasi yang memiliki nilai kohesi tinggi, maka beban yang diterima oleh tiang akan ditahan oleh lekatan antara tanah disekitar dan permukaan tiang. Dalam daya dukung fondasi tiang, pentransferan beban juga terjadi pada fondasi tiang, dimana terjadi pentransferan beban *friction* dan pentransferan beban *end bearing*.



Gambar 2.6 Tahanan Lekatan Fondasi Tiang

2.7 Kapasitas Daya Dukung

Analisis kapasitas daya dukung pada tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban dari struktur-struktur yang terletak diatasnya dan untuk menahan beban fondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang diisyaratkan, termasuk faktor aman terhadap keruntuhan. Pada penelitian ini, untuk mengetahui kapasitas daya dukung dilakukanlah analisis dari daya dukung aksial dan daya dukung lateral fondasi.

2.7.1 Daya dukung aksial

Daya dukung aksial merupakan kemampuan tanah dibawah fondasi untuk menahan gaya-gaya dari luar yang bekerja dengan arah tegak lurus terhadap fondasi tersebut. Untuk mendapatkan nilai daya dukung aksial, memerlukan hasil analisis data menurut data lapangan dan juga data laboratorium. Data lapangan meliputi dari data hasil sondir

dan N-SPT. Data laboratorium meliputi dari hasil analisis data berdasarkan kuat geser tanah dan tahanan ujung ultimit.

2.7.1.1 Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) sering digunakan dan dipertimbangkan berperan dalam perencanaan geoteknik. Sondir ini pada pelaksanaannya sangat cepat, sederhana, serta ekonomis dan hasil tesnya dapat dipercaya dilapangan dan dilakukan pengukuran secara bertahap dari permukaan tanah dasar. Pada perencanaan fondasi bore pile, data sondir ini sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari fondasi sebelum pembangunan dimulai untuk menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari fondasi bore pile. Kapasitas daya dukung ultimit ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s = q_p \cdot A_p + f \cdot A_s \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang bor (kN)

Q_p = Kapasitas daya dukung ujung (kN)

Q_s = Kapasitas daya dukung kulit (kN)

q_p = Kapasitas daya dukung diujung tiang persatuan luas (kN/m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

f = Daya dukung kulit persatuan luas (kN/m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

Untuk menghitung daya dukung *bored pile* berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu :

a. Metode Aoki dan De Alencar

Menurut Aoki dan Alencar, Kapasitas dukung ultimit dari data sondir mempunyai persamaan solusi. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_p) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_p = \frac{q_{ca(base)}}{F_b} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$q_c(base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang dan adalah empirik daya dukung ujung tergantung pada tipe tiang.

F_b = Faktor empirik daya dukung ujung tiang tergantung pada tipe tiang.

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

$$f = q_c(side) \frac{a_s}{F_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$q_c(side)$ = Perlawanan konus rata-rata pada setiap lapisan sepanjang tiang.

a_s = nilai faktor empirik tanah

F_s = Faktor empirik daya dukung kulit tiang tergantung pada tipe tiang.

F_b = Faktor empirik daya dukung ujung tiang yang tergantung pada tipe tiang.

Faktor F_b dan F_s dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan nilai faktor empirik tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.1 Faktor Empirik F_b dan F_s

Tipe Tiang Pancang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Tabel 2.2 Faktor Empirik Tanah a_s

Tipe Tanah	a_s (%)	Tipe Tanah	a_s (%)	Tipe Tanah	a_s (%)
Pasir	1.4	Pasir berlanau	2.2	Lempung berpasir	2.4
Pasir Kelanauan	2.0	Pasir dengan lempung	2.8	Lempung berpasir dengan lanau	2.8
Pasir kelanauan dengan lempung	2.4	Lanau	3.0	Lempung berlanau dengan pasir	3.0
Pasir berlempung dengan lanau	2.8	Lanau berlempung dengan pasir	3.0	Lempung berlanau	4.0
Pasir berlempung	3.0	Lanau berlempung	3.4	Lempung	6.0

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Pada umumnya nilai a_s untuk pasir = 1,4 %, nilai a_s untuk lanau = 3,0 % dan nilai a_s untuk lempung = 2,4 - 6%.

b. Metode Langsung

Metode langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya : Mayerhoff, Tomlinson, dan Begemann.

Daya dukung fondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_u = q_c \times A_p + JHL \times K \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung tiang (kN)

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm²)

K = Keliling tiang (m)

Daya dukung ijin fondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_u \text{ Ijin} = \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K}{5} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

Q_u Ijin = Kapasitas daya dukung ijin tiang (kN)

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm²)

K = Keliling tiang (m)

3 = Faktor keamanan untuk daya dukung tiang

5 = Faktor keamanan untuk gesekan pada selimut tiang

2.7.1.2 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile dari Hasil N-SPT

Standard Penetration Test (SPT) adalah uji percobaan penetrasi dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon kedalam tanah yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah pada tiang fondasi. Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari daya dukung ujung tiang / *end bearing pile* (Q_p) dan daya dukung selimut tiang / *skin friction pile* (Q_s). Untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang *bored pile* dari hasil N-SPT dapat dilakukan perhitungan menggunakan beberapa metode, yaitu :

a. Metode Reese and Wright (1977)

Daya dukung ujung tiang (*end bearing*)

$$Q_p = q_p \times A_p \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Q_p = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

q_p = Daya dukung ujung per satuan luas (kN/m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

Untuk tanah kohesif :

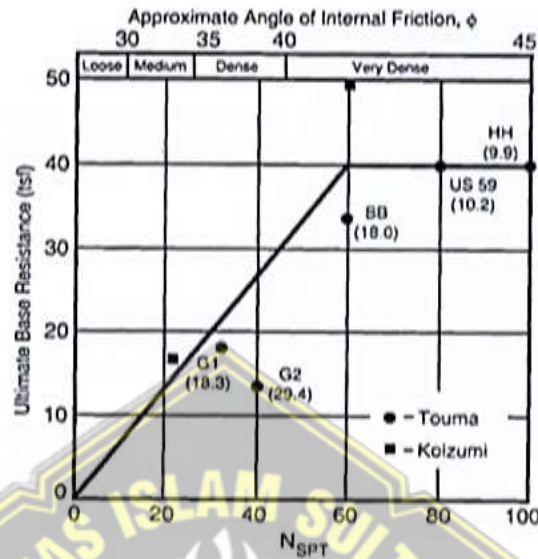
$$q_p = 9 \times c_u \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : c_u = Kohesi tanah (kN/m²)

$$= NSPT \times \frac{2}{3} \times 10 \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk tanah non-kohesif :

Reese and Wright (1977) mengusulkan korelasi antara q_p dan N-SPT seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Daya Dukung Ujung Tiang

(Reese and Wright, 1977)

Untuk $N < 60$ maka $q_p = 7 N \text{ (kN/m}^2\text{)} < 400 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Untuk $N > 60$ maka $q_p = 400 \text{ (kN/m}^2\text{)}$.

Dimana : N = Nilai rata-rata SPT.

Daya dukung selimut *Bored Pile (skin friction)*

$$Q_s = f_s \times A_s \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Q_s = Kapasitas daya dukung kulit tiang (kN)

f_s = Gesekan selimut tiang per satuan luas (kN/m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

Untuk tanah kohesif :

$$f_s = a \times C_u \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

a = Faktor adhesi

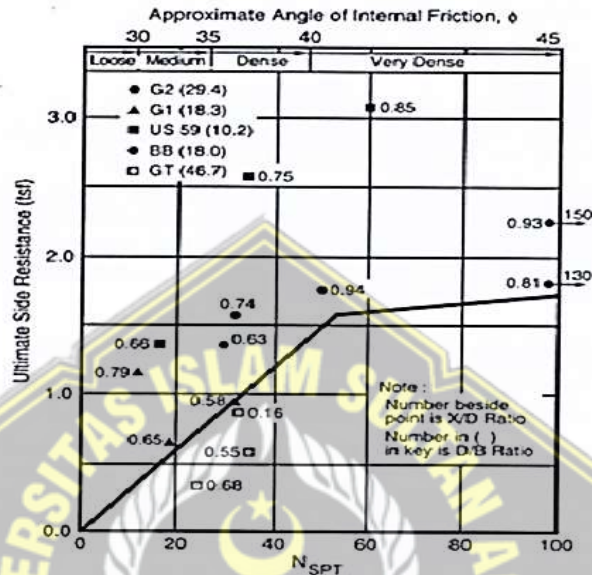
(Berdasarkan penelitian Reese and Wright, 1977 untuk $a = 0,55$)

C_u = Kohesi tanah (kN/m²)

Untuk tanah non-kohefif :

Untuk $N < 53$ maka $f_s = 0,32 \text{ N-SPT (kN/m}^2\text{)}$

Untuk $53 < N < 100$ maka f_s diperoleh dari korelasi langsung dengan NSPT (Reese dan Wright, 1977) mengenai tahanan geser selimut tiang seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Daya Dukung Kulit Tiang
(Reese and Wright, 1977)

b. Metode Mayerhoff

Daya dukung ujung tiang (*end bearing*) pada tanah non – kohefif

$$Q_p = 40 \times NSPT \times A_p \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

$NSPT$ = Nilai Nspt pada elevasi dasar tiang (kN/m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

Daya dukung ujung tiang (*end bearing*) pada tanah kohefif

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

A_p = Luas penampang tiang (m²)

$$c_u = \text{Kohesi tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$= N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10$$

Daya dukung selimut tiang (*skin friction*) pada tanah non-kohefif

$$Q_s = 2 \times NSPT \times p \times L \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

L = Panjang lapisan tanah (m)

p = Keliling tiang bor (m)

Daya dukung selimut tiang *bored pile (skin friction)* pada tanah kohefif c_u

$$Q_s = a \times C_u \times p \times L \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

a = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang (0,55)

$$C_u = \text{Kohesi tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$= N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10$$

p = Keliling tiang (m)

L = Panjang lapisan tanah (m)

2.7.1.3 Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* Berdasarkan Kuat Geser Tanah

Dari beberapa percobaan yang dilakukan dari hasil pemeriksaan tanah dari uji SPT , akan didapatkan indeks densitas, nilai berat isi tanah (γ), nilai kohesif tanah (c) serta nilai sudut geser tanah (ϕ).

Berdasarkan pada data parameter kuat geser tanah, perkiraan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada tanah kohefif dan non-kohefif dapat dihitung dengan dengan rumus sebagai berikut :

Daya dukung ujung fondasi *bored pile (end bearing)*

Untuk tanah kohefif :

$$Q_p = A_p \times C_u \times N_c^* \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luas ujung tiang pancang (m²)

C_u = Undrained cohesive (kN/m²)

N_c^* = Faktor daya dukung tanah, untuk fondasi *bored pile* nilai $N_c^* = 9$

Untuk mencari nilai c_u (*Undrained Cohesion*), dapat digunakan persamaan :

$$a^* = 0.21 + 0.25 \frac{P_a}{c_u} \leq 1 \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

a^* = Faktor adhesi = 0,4

P_a = Tekanan atmosfer = 1.058 ton/ft² = 101.3 kN/m²

Untuk tanah non-koheusif :

$$Q_p = A_p \times q' (N_q^* - 1) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

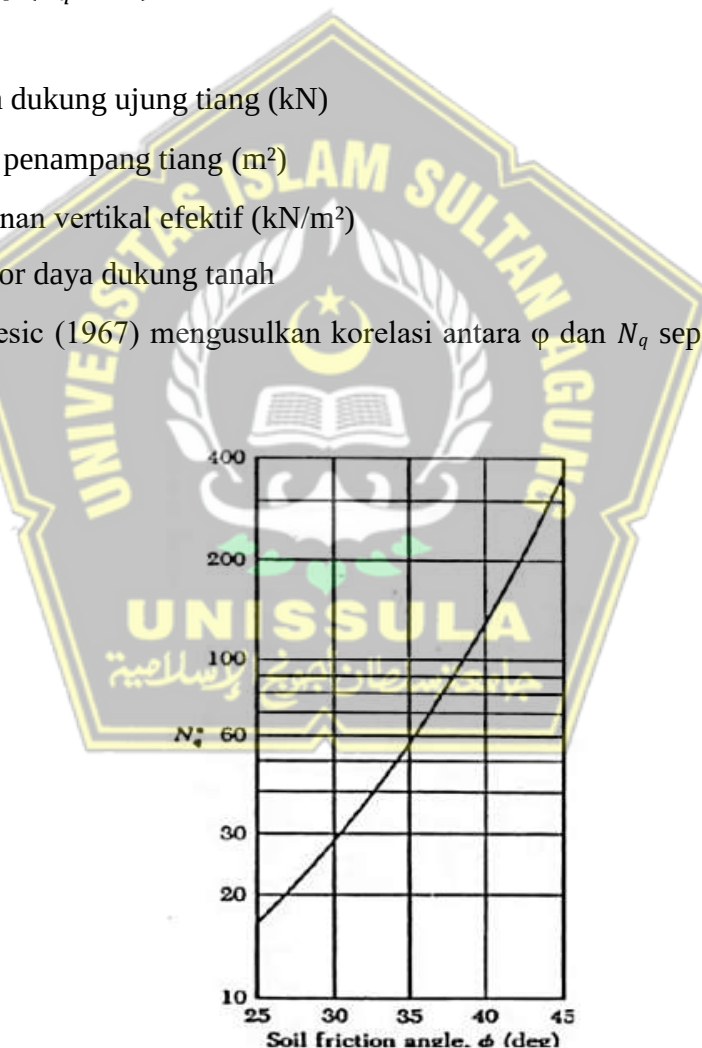
Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

q' = Tekanan vertikal efektif (kN/m²)

N_q^* = Faktor daya dukung tanah

Menurut Vesic (1967) mengusulkan korelasi antara ϕ dan N_q seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Faktor Korelasi ϕ dan N_q^*

Daya dukung selimut tiang *bored pile* (*skin friction*)

$$Q_s = f_i \cdot L_i \cdot p \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

f_i = Daya dukung kulit persatuan luas (kN /m²)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

p = Keliling tiang (m)

Q_s = Daya dukung kulit tiang (kN)

Pada tanah kohesif :

$$f_i = a_i^* \cdot c_u \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

a_i^* = Faktor adhesi, 0,55

c_u = *Undrained cohesion* (kN/m²)

Pada tanah non kohesif :

$$f_i = K_0 \cdot \sigma_{v'} \cdot \tan \delta \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

K_0 = Koefisien tekanan tanah

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

$\sigma_{v'}$ = Tegangan vertikal efektif tanah (ton/m²)

$$\sigma_{v'} = \gamma \cdot L'$$

$$L' = 15D$$

D = Diameter (m)

$$\delta = 0.8 \cdot \phi$$

2.7.1.4 Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* Tahanan Ujung Ultimit

Kapasitas maksimum tahanan ujung dari sebuah fondasi *bored pile* dihitung dengan menggunakan data uji laboratorium maupun data pengujian penetrasi. Jika menggunakan data laboratorium maka perhitungan kapasitas tahanan ujung ultimit berdasarkan Meyerhoff sebagai berikut :

$$P_{pu} = A_p (C \cdot N_c + \eta \cdot q' \cdot N_q) \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

P_{pu} = Kapasitas *ultimate* tahan ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang tiang pancang (m^2)

C = Kohesi tanah (kN/m^2)

N_c = Faktor kapasitas daya dukung, tergantung dari pada sudut geser tanah (ϕ)

N_q = Faktor kapasitas daya dukung, tergantung pada harga $L/B > 1$ dan tergantung sudut geser tanah (ϕ)

q' = Tegangan vertikal efektif pada titik tiang pancang (kg/cm^2)

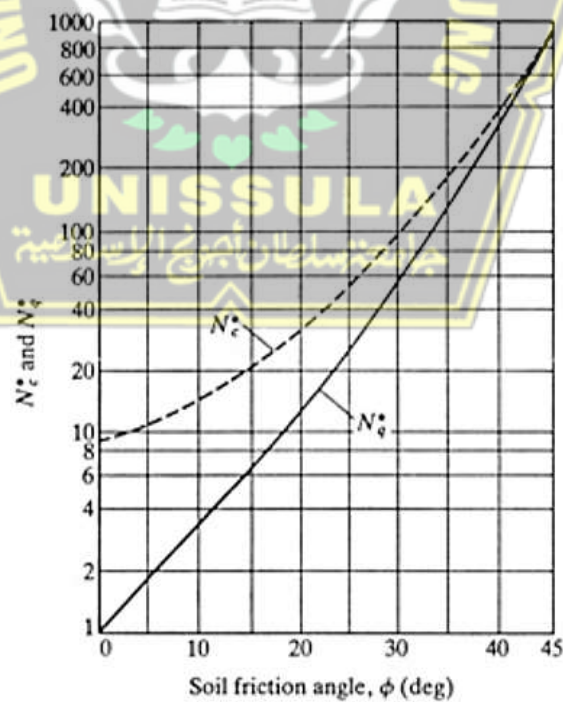
η = 1 untuk semua kecuali faktor – faktor dimana

$$\eta = \frac{1+2K_0}{3}$$

K_0 = Koefisien tanah dalam keadaan diam

$$K_0 = (1 - \sin \phi) \sqrt{OCR}$$

Faktor – faktor kapasitas daya dukung (N_c dan N_q) dapat dihitung berdasarkan Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Grafik Daya Dukung Tanah Mayerhoff

Sesuai dengan grafik diatas, untuk nilai faktor daya dukung dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Faktor Daya Dukung Mayerhoff

ϕ	N_c	N_q	N_r	ϕ	N_c	N_q	N_r	ϕ	N_c	N_q	N_r
0	5.14	1.00	0.00	17	12.34	4.77	1.66	34	42.16	29.44	31.15
1	5.38	1.09	0.002	18	13.10	5.26	2.00	35	46.12	33.30	37.15
2	5.63	1.20	0.01	19	13.93	5.80	2.40	36	50.59	37.75	44.43
3	5.90	1.31	0.02	20	14.83	6.40	2.87	37	55.63	42.92	53.27
4	6.19	1.43	0.04	21	15.82	7.07	3.42	38	61.35	48.93	64.07
5	6.49	1.57	0.07	22	16.88	7.82	4.07	39	67.87	55.96	77.33
6	6.81	1.72	0.11	23	18.05	8.66	4.82	40	75.31	64.20	93.69
7	7.16	1.88	0.15	24	19.32	9.60	5.72	41	83.86	73.90	113.99
8	7.53	2.06	0.21	25	20.72	10.66	6.77	42	93.71	85.38	139.32
9	7.92	2.25	0.28	26	22.25	11.85	8.00	43	105.11	99.02	171.14
10	8.35	2.47	0.37	27	23.94	13.20	9.46	44	118.37	115.31	211.41
11	8.80	2.71	0.47	28	25.80	14.72	11.19	45	133.88	134.88	262.74
12	9.28	2.97	0.60	29	27.86	16.44	13.24	46	152.10	158.51	328.73
13	9.81	3.26	0.74	30	30.14	18.40	15.67	47	173.64	187.21	414.32
14	10.37	3.59	0.92	31	32.67	20.63	18.56	48	199.26	222.31	526.44
15	10.98	3.94	1.13	32	35.49	23.18	22.02	49	229.93	265.51	674.91
16	11.63	4.34	1.38	33	38.64	26.09	26.17	50	266.89	319.07	873.84

2.7.1.5 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile Berdasarkan Kekuatan Bahan

Nilai daya dukung aksial pada tiang *bored pile* berdasarkan kekuatan bahan dapat diperoleh dengan rumus :

$$P = A_p \cdot f_c' + A_s \cdot f_y' \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

P = Kekuatan pikul *bored pile* yang diijinkan

A_p = Luas penampang *bored pile* (m²)

A_s = Luas tulangan (m²)

f_c' = Tegangan ijin beton (kN/m²)

f_y' = Tegangan ijin tulangan (kN/m²)

Atau dapat juga dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = A \times f_c' - W \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

P = Daya dukung ijin tiang *bored pile*

A = Luas penampang *bored pile* (m^2)

f_c' = Tegangan ijin beton (kN/m^2)

W = Berat tiang (kN)

2.7.2 Daya Dukung Lateral

Daya dukung lateral merupakan kemampuan tanah mendukung beban dibawah fondasi untuk menahan beban atau gaya-gaya luar yang memiliki arah horizontal atau terjadi dengan arah sejajar terhadap fondasi tersebut. Beban atau gaya-gaya dari luar tersebut contohnya seperti beban angin, beban gempa, tekanan arah lateral, dan lain-lain.

Beban lateral yang diterima oleh fondasi tiang akan bergantung pada struktur bangunan yang akan meneruskan gaya lateral yang diterima ke kolom bagian paling bawah dari upper struktur dan diteruskan pada kelompok tiang fondasi.

Untuk mendapatkan daya dukung lateral, salah satunya dengan menggunakan metode *Brooms*.

2.7.2.1 Kapasitas Daya Dukung Lateral dengan Metode Brooms

Metode perhitungan ini menggunakan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang reaksi atau tahanan tanah mencapai nilai *ultimate*. Berikut ini adalah beberapa keuntungan menggunakan metode *Brooms* :

- Dapat digunakan pada tiang panjang maupun tiang pendek.
- Dapat digunakan pada kondisi kepala tiang terjepit maupun bebas.

Selain itu ada pula beberapa kerugian dalam penggunaan metode Brooms, diantaranya yaitu :

- Hanya berlaku untuk lapisan tanah yang homogen, yaitu tanah kohesif saja atau tanah non-kohesif saja.
- Tidak dapat digunakan pada tanah berlapis

Brooms membedakan antara perilaku tiang pendek (kaku) dan panjang (elastis) serta membedakan kondisi kepala tiang dalam keadaan bebas (*free head*) dan kepala tiang terjepit (*fixed head*).

Berikut ini adalah tahapan dalam menentukan daya dukung lateral dengan metode *Brooms* :

➤ **Menentukan Tiang Panjang atau Tiang Pendek**

Untuk tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan faktor tak berdimensi βL adalah sebagai berikut :

$$\beta = \left(\frac{K_h \times d}{4 \times E_p \times I_p} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$K_h = \frac{K_1}{1,5} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

K_h = Modulus subgrade lateral (kN/m³)

K_1 = Modulus subgrade *Terzaghi* (kN/m³)

β = Koefisien untuk tanah kohesif

d = Diameter tiang (m)

E_p = Modulus elastis tiang (kN/m²)

I_p = Momen inersia penampang tiang (m⁴)

Nilai-nilai k_1 yang disarankan oleh *Terzaghi* (1955), ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai-nilai K_1 yang disarankan oleh *Terzaghi* (1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
Kohesi Undrained(Cu) kn/m ²	100 - 200	200 - 400	> 400
K_1 , MN/m ³	18 - 36	36 - 72	> 72
K_1 direkomendasikan, MN/m ³	27	54	> 108

Syarat penentuan tiang panjang atau pendek :

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 1,5$
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 0,5$
- Tiang ujung bebas dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 2,5$
- Tiang ujung jepit dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 1,5$

➤ **Menentukan Tahanan Momen**

$$W = \frac{I_p}{d/2} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

W = Tahanan momen tiang (m^3)

I_p = Momen Inersia tiang (m^4)

d = diameter tiang (m)

➤ **Menentukan Momen Maksimum Tiang**

$$M_y = f_b \times W \dots\dots\dots(2.27)$$

Untuk mencari nilai f_b :

$$f_b = 0,4 \times f_c' \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

M_y = Momen maksimum tiang (kN.m)

W = Tahanan Momen (m^3)

f_b = Kuat lentur beban tiang (kN/ m^2)

f_c' = Mutu beton tiang

➤ **Menentukan Nilai Kapasitas Daya Dukung Lateral (H_u)**

$$H_u = \frac{2 M_y}{(e + 1,5 d + 0,5 f)} \dots\dots\dots(2.29)$$

Untuk mendapat nilai f :

$$f = \frac{H_u}{9.C_u.d} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

H_u = Daya dukung lateral ultimit tiang (kN)

M_y = Momen maksimum tiang (kN.m)

d = Diameter tiang (m)

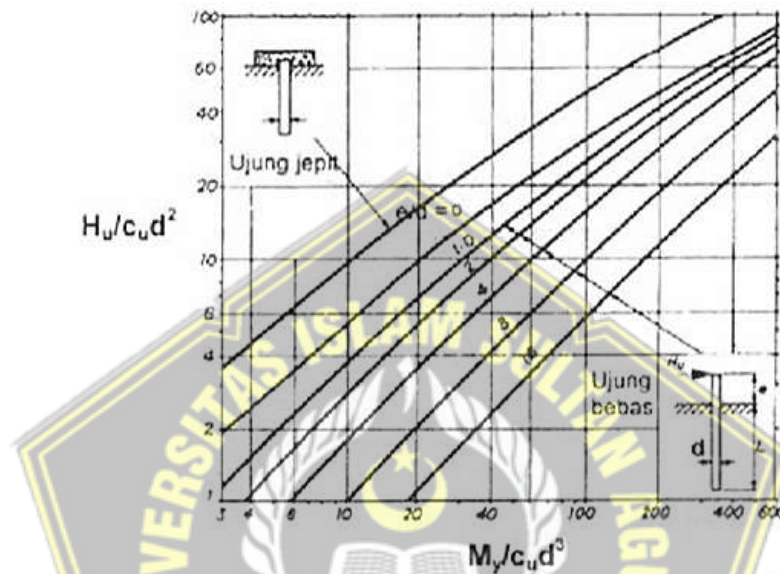
f = Letak momen maks di lintang nol (m)

C_u = *Kohesi undrained* (kN/ m^2)

e = jarak beban lateral dari permukaan tanah (m) = 0

Persamaan untuk menghitung nilai H_u dalam tinjauan tiang panjang diplot dalam grafik metode *Brooms* hubungan tahanan lateral ultimit $H_u/(C_u.D^2)$ dan tahanan momen ultimit $M_y/(C_u.D^3)$, yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

➤ Tahanan momen ultimit = $\frac{M_y}{C_u \times d^3}$ (2.31)



Gambar 2.11 Hubungan Tahanan Momen Ultimit dengan Tahanan Lateral Ultimit (Grafik Metode Brooms)

2.8 Efisiensi dan Kapasitas Kelompok Tiang

Kelompok tiang adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu di bagian atasnya dengan menggunakan pile cap. Pada dasarnya, kelompok tiang biasanya bertumpu pada lapisan lempung lunak, sehingga faktor keamanan terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan dengan baik, terutama pada tiang – tiang yang jaraknya berdekatan.

Untuk memperhitungkan nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, dan susunan tiang.

Gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut yaitu :

a. Jarak Tiang (S)

Pada prinsipnya jarak tiang (S) yang semakin rapat, ukuran pile cap semakin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. Pada umumnya, jarak antara 2 (dua) tiang dalam kelompok diisyaratkan minimum 0,60 meter dan maksimum 2,00 meter.

Dalam mempertimbangkan jarak tiang fondasi pada kelompok tiang, ada beberapa ketentuan yang harus diperhatikan, yaitu sebagai berikut :

- Bila jarak antar tiang $S < 2,5D$ kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipasang terlalu berdekatan. Selain itu juga dapat menyebabkan tiang-tiang yang telah terpasang lebih dahulu yang berada di sekitarnya akan terangkat.
- Bila jarak antar tiang $S > 3D$ akan menyebabkan perencanaan menjadi tidak ekonomis dan boros, karena akan memperbesar ukuran atau dimensi dari poer (*footing*), sehingga biayanya pun juga membesar.

b. Jumlah Tiang (n)

Dalam menentukan jumlah tiang yang akan dipakai dalam perencanaan fondasi, didasarkan pada beban yang bekerja pada fondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka dari itu rumus persamaan yang dipakai yaitu sebagai berikut :

$$n = \frac{p}{Qa} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana :

P = Beban yang berkerja (kN)

Qa = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)

c. Susunan Tiang

Susunan tiang pada suatu fondasi memiliki pengaruh terhadap luas denah pile cap, yang secara tidak langsung tergantung juga pada jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah pile cap pun akan bertambah besar dan

mengakibatkan volume beton menjadi semakin besar sehingga biaya konstruksi pun juga akan semakin bertambah besar.

Menurut Coduto (1983), efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor yaitu :

1. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
2. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
4. Urutan pemasangan tiang
5. Jenis tanah
6. Waktu setelah pemasangan
7. Interaksi antara pelat penutup pile cap dengan tanah.



Gambar 2.12 Pola Kelompok Tiang

Metode perhitungan didasarkan pada susunan tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Berikut ini beberapa metode dalam perhitungan efisiensi tiang :

➤ **Metode Converse-Labarre**

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi Tiang (%)

θ = Arc tan d/s (dalam derajat)

m = Jumlah tiang searah sumbu x

n = Jumlah tiang searah sumbu y

➤ **Metode Los Angeles**

$$E_g = 1 - \frac{d}{\pi.s.m.n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi Tiang (%)

d = Diameter tiang

s = Jarak antar tiang

m = Jumlah tiang searah sumbu x

n = Jumlah tiang searah sumbu y

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan (ton)

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Daya dukung ijin tiang (kN)

2.9 Penurunan Elastis Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Penurunan segera atau biasanya disebut dengan penurunan elastis merupakan penurunan fondasi yang terjadi pada lapisan tanah yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh yang terjadi segera sesudah beban bekerja. Untuk menghitung penurunan elastis tiang tunggal pada suatu fondasi dapat dibagi menjadi tiga komponen. Sehingga dapat diketahui penurunan total yang terjadi yaitu hasil dari

jumlah dari ketiga komponen tersebut. Penurunan total dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini sebagai berikut :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana :

S_e = Penurunan Total

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis dari tiang

$S_{e(2)}$ = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

$S_{e(3)}$ = Penurunan tiang akibat beban di sepanjang batang

Untuk mendapatkan nilai $S_{e(1)}$, $S_{e(2)}$, $S_{e(3)}$ menggunakan rumus :

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$S_{e(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$S_{e(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana :

Q_{wp} = daya dukung yang bekerja pada ujung tiang - daya dukung selimut (kN)

Q_{ws} = daya dukung selimut (kN)

A_p = luas penampang tiang (m^2)

L = panjang tiang (m)

E_p = modulus elastisitas dari bahan tiang (kN/m^2)

$$E_p = 4700\sqrt{f'c} \dots\dots\dots(2.40)$$

ξ = koefisien dari *skin friction*

D = diameter tiang (m)

q_p = daya dukung ultimit (kN)

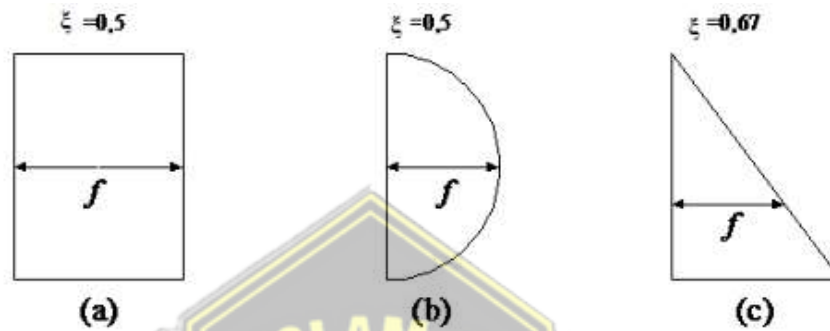
C_p = koefisien empiris

C_s = konstanta empiris

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}).C_p \dots\dots\dots(2.41)$$

Nilai ξ tergantung dari unit tahanan friksi (kulit) alami (*the nature of unit friction resistance*) di sepanjang tiang di dalam tanah. Nilai $\xi = 0,5$ untuk bentuk unit tahanan

friksi alaminya berbentuk seragam atau simetris, seperti persegi panjang atau parabolik seragam, umumnya pada tanah lempung atau lanau. Sedangkan untuk tanah pasir nilai $\xi = 0,67$ untuk bentuk unit tahanan friksi alaminya berbentuk segitiga. Pada Gambar 2.13 akan ditunjukkan bentuk unit tahanan friksi dan untuk melihat nilai koefisien empirisnya dapat dilihat pada Tabel 2.5.



Gambar 2.13 Variasi Jenis Bentuk Unit Tahanan Friksi Alami Terdistribusi Sepanjang Tiang Tertanam ke Dalam Tanah (Bowles, 1993).

Tabel 2.5 Nilai Koefisien Empiris (C_p)

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Dari persamaan tersebut, total penurunan pada tiang fondasi tunggal dapat di ketahui. Dalam penurunan fondasi *bored pile* juga memperhatikan batasan-batasan yang harus di perhatikan, agar penurunan tidak melebihi dari nilai penurunan yang di ijin. Untuk mengetahui besar nilai penurunan yang diijinkan menurut *Terzaghi* (1969), dapat di hitung menggunakan rumus :

$$S_{ijin} = 10\% \times D \dots\dots\dots(2.42)$$

$$S_{total} \leq S_{ijin} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana nilai D didapat dari diameter fondasi. Dan nilai dari total penurunan harus lebih kecil dari nilai penurunan yang diijinkan.

2.10 Penurunan yang Diizinkan

Penurunan yang diizinkan pada suatu konstruksi bangunan tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain : jenis, tinggi, fungsi bangunan, dan besar serta kecepatan penurunan dan distribusinya. Apabila penurunan yang terjadi berjalan lambat maka akan semakin besar kemungkinan struktur bisa menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya keruntuhan konstruksi ataupun kerusakan struktur akibat pengaruh *creep*. Maka dari itu kriteria penurunan fondasi yang terjadi pada tanah pasir dan tanah lempung itu berbeda.

Untuk memperkirakan atau memprediksikan penurunan maksimum dapat diasumsikan dengan ketepatan yang sama, dan pada umumnya dapat diadakan korelasi hubungan antara penurunan maksimum dengan penurunan yang diizinkan. Dimana untuk syarat penurunan yang dinyatakan aman yaitu sebagai berikut :

$$S_{total} \leq S_{ijin} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$S_{ijin} = 10\% \cdot D \dots\dots\dots(2.45)$$

Dimana:

D = Diameter tiang

2.11 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ujung tiang, maka dari itu diperlukan suatu angka pembagi kapasitas ultimate yang disebut dengan faktor keamanan tertentu.

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor keamanan (F) untuk perencanaan fondasi tiang dapat di pertimbangkan dari faktor – faktor sebagai berikut dan lihat Tabel 2.6 :

1. Tipe dan kepentingan dari struktur,
2. Variabilitas tanah (tanah tidak uniform),

3. Ketelitian penyelidikan tanah,
4. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan,
5. Ketersediaan tanah ditempat (uji beban tiang),
6. Pengawasan / control kualitas dilapangan,
7. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur (Hardiyatmo, 2015).

Tabel 2.6 Faktor keamanan *Reese & O'Neill*

Klasifikasi struktur	Faktor keamanan (F)			
	Kontrol baik	Kontrol Normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2.3	3	3.5	4
Paramanen	2	2.5	2.8	3.4
Sementara	1.4	2	2.3	2.8

Besarnya beban bekerja atau kapasitas tiang izin dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimate (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Tomlinson (1977) menyarankan faktor aman untuk tiang bor sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots(2.42)$$

Beberapa peneliti menyarankan faktor keamanan yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas izin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots\dots\dots(2.43)$$

Penggunaan faktor keamanan 1.5 untuk daya dukung selimut (Q_s) yang nilainya lebih kecil daripada faktor keamanan tahanan ujung yang besarnya 3, karena nilai puncak tahanan gesek dinding dicapai bila tiang mengalami penurunan 2-7mm, sedangkan Daya dukung ujung (Q_p) membutuhkan penurunan yang lebih besar agar tahanan ujungnya bekerja secara penuh. Oleh karena itu, faktor keamanan sangat penting untuk

digunakan agar bisa mendapatkan keamanan tiang tersebut terhadap keruntuhan struktur dengan mempertimbangkan penurunan tiang akibat beban fondasi sendiri.

2.12 Program Allpile

Allpile adalah program *software* atau perangkat lunak komputer yang dapat digunakan untuk menganalisis atau merencanakan sebuah fondasi pada suatu bangunan. Salah satu keunggulan utama dari program Allpile ini dibandingkan dengan program analisis tiang fondasi lainnya adalah mengkombinasikan sebagian besar analisis tiang fondasi dalam satu program. Allpile ini digunakan untuk menghitung kompresi (dengan penurunan), pengangkatan, kapasitas lateral, dan analisis kelompok bersama-sama.

Penggunaan Allpile ini cukup mudah dan sederhana, hanya perlu memasukkan data sekali, bukan beberapa kali dalam program yang berbeda. Allpile membuat analisis tiang fondasi menjadi mudah, ekonomis, dan hemat waktu. Allpile sering digunakan karena mudah digunakan dan output kalkulasi yang sangat cepat.

Penggunaan program Allpile ini untuk memodelkan fondasi *bored pile*, dengan menginput atau memasukkan data pada fondasi yang direncanakan dan data tanah yang telah didapat pada lokasi penelitian. Dalam penginputan data pada Allpile ini harus memperhatikan berbagai indikator seperti *soil properties*, beban lateral, beban vertikal, *ground water level*, dan lain-lain.

Output yang akan dihasilkan setelah dilakukan *run analysis* pada Allpile akan didapat hasil analisis vertikal dan hasil analisis lateral yang dapat diketahui nilai daya dukung fondasi serta penurunan yang terjadi pada fondasi sesuai yang direncanakan.

2.13 Negative Skin Friction (Gesekan Negatif)

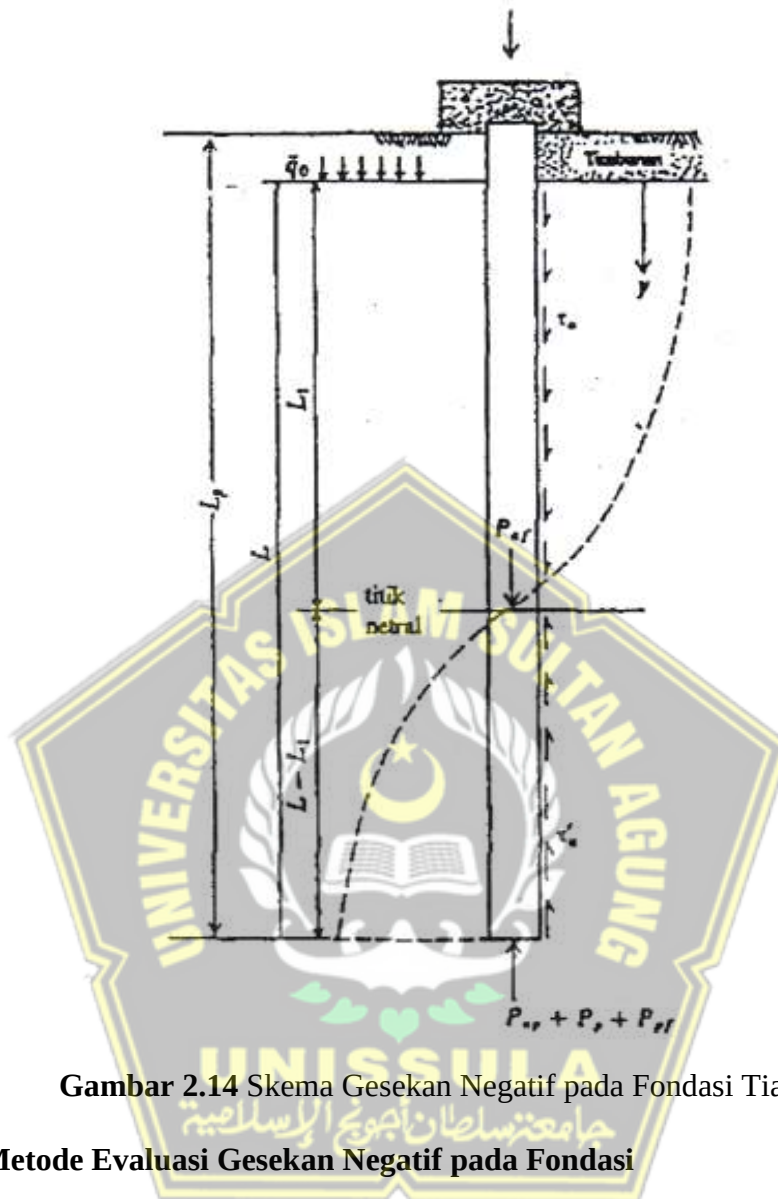
Negative skin friction adalah suatu gaya yang bekerja pada sisi tiang fondasi dimana gaya tersebut justru bekerja kearah bawah sehingga memberikan penambahan beban secara vertikal selain beban dari luar yang bekerja. Apabila suatu tiang fondasi ditempatkan di atas tanah yang kompresibel dan berada di dalam tanah timbunan yang cukup tebal, maka tanah cenderung akan bergerak ke bawah. Akibat beban timbunan, maka akan terjadi peningkatan tekanan air pori sehingga tanah tersebut mengalami

konsolidasi dan penurunan yang cukup besar. Apabila terjadi penurunan tanah di sekitar tiang lebih besar daripada penurunan tiang yang terjadi, maka akan timbul adanya geseran antara selimut tiang dengan tanah ke arah bawah yang dapat menyebabkan tiang fondasi tertarik ke bawah. Gaya geser ke bawah ini disebut juga dengan gesekan negatif (*negative skin friction*) atau *downdrag*.

Dalam berbagai macam kondisi, khususnya pada tanah *clay* atau lempung, penyaluram atau distribusi penurunan tanah akan berubah terhadap waktu karena adanya perubahan tekanan pori yang mengakibatkan terjadinya konsolidasi pada tanah.

Terkait oleh sebab terjadinya penurunan tanah, besarnya gesekan negatif bertambah dengan besarnya gerakan relatif antara selimut tiang dan tanah. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan penurunan tanah adalah profil tanah dan elevasi muka air tanah, sifat-sifat tanah (kompresibilitas dan konsolidasi), serta besarnya beban dan lamanya pembebanan.

Dengan adanya gesekan selimut negatif, akan mengakibatkan bertambahnya beban aksial pada tiang dan berkurangnya tegangan efektif pada ujung tiang yang disertai juga berkurangnya nilai kapasitas daya dukung ultimit. Dengan bertambahnya beban aksial pada tiang, mengakibatkan bertambahnya penurunan tiang yang disebabkan oleh pemendekan aksial tiang fondasi di bawah titik netral (*neutral point*). Titik netral atau *neutral point* ini merupakan elevasi pada tiang dimana tidak terjadi geseran antara selimut tiang dengan tanah atau suatu titik batas dimana terjadi perubahan menjadi gesekan selimut negative, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 Skema Gesekan Negatif pada Fondasi Tiang

2.13.1 Metode Evaluasi Gesekan Negatif pada Fondasi

Besarnya gesekan negatif merupakan jumlah gaya geser yang terjadi di sepanjang tiang. Pada tiang tunggal besaran tersebut pada kedalaman z adalah :

$$P = \int_0^z \tau_a \cdot p \cdot dz$$

dimana :

τ_a = Tegangan geser antara tiang dengan tanah.

p = Keliling tiang.

Tegangan geser diperoleh dari persamaan *Coulomb* :

$$\tau_a = C_a + K_s \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta$$

dimana :

C_a = Adhesi antara tiang dan tanah (drained soil).

K_s = Koefisien tekanan tanah.

σ'_v = Tegangan vertikal efektif

δ = Sudut geser antara tiang dan tanah.

2.13.2 Metode β Gesekan Negatif

Metoda β merupakan metode semi empiris untuk tiang fondasi tunggal yang dikembangkan oleh *Garlenger* (1973). Harga β diambil sebesar $K_s \cdot \tan \phi$. Harga β tergantung pada jenis tanah seperti pada Tabel 2.7. Asumsi yang digunakan adalah bahwa gaya geser pada selimut tiang berkaitan dengan tegangan efektif vertikal secara empiris untuk menentukan harga konstanta $K \tan \delta$ dan gesekan negatif hanya bekerja sampai titik netral.

Tabel 2.7 Nilai β Sesuai Jenis Tanah

Jenis Tanah	β
Lempung	0,20 - 0,25
Lanau	0,25 - 0,35
Pasir	0,35 - 0,50

Untuk memperkirakan besarnya gesekan negatif , langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Memperkirakan penurunan tanah yang akan terjadi setelah pemasangan tiang dan memeriksa apakah penurunan yang terjadi cukup besar sehingga menyebabkan adanya gesekan negatif yang hebat (lebih besar dari 5 cm),
2. Menentukan dimensi tiang dan elevasi tiang,
3. Menentukan profil dan parameter tanah,
4. Menghitung tegangan efektif vertical σ'_v di sepanjang tiap lapisan tanah,

5. Menghitung besarnya gesekan negatif maksimum pada sepanjang tiap lapisan tanah,

$$f = \beta \cdot \sigma'_v$$

6. Menghitung gaya gesekan negatif P_N , yang merupakan kontribusi dari pada tiap-tiap lapisan tanah.

$$P_N = f \cdot p \cdot h$$

dimana :

p = Keliling tiang

h = Ketebalan lapisan tiang



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Umum

Data umum dari Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I adalah sebagai berikut :

1. Nama Proyek : Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I (JTGRSN21-01) Kawasan Industri Terpadu Batang
2. Lokasi Proyek : Desa Ketanggan, Kec. Gringsing, Kab. Batang, Jawa Tengah, Kawasan Industri Terpadu Batang.
3. Pemilik Proyek : Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Perumahan Jawa Tengah
4. Konsultan Perencana : PT. Concept Design Architect
5. Konsultan MK : PT. Rancang Persada
6. Kontraktor : PT. PP (Persero) Tbk. – Divisi Gedung

3.2 Data Teknis

Untuk data teknis didapat dari lapangan dan menurut perhitungan dari kontraktor dan telah disetujui oleh pihak konsultan, sebagai berikut :

1. Kedalaman Fondasi *Bored Pile* : ± 10 m
2. Diameter Fondasi *Bored Pile* : 50 cm
3. Mutu Beton Fondasi *Bored pile* : Beton K-350/ F_c' 30 Mpa

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PT.PP (Persero) Tbk proyek pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I. Data sekunder ini berupa data penyelidikan tanah yaitu sondir dan SPT, serta gambar struktur, desain dan spesifikasi fondasi *bored pile*.

3.4 Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data yang dilakukan ada 2 cara, yaitu :

1. Manual

Analisis data dengan cara manual ini dilakukan dengan menganalisis perhitungan kapasitas daya dukung aksial dan daya dukung lateral fondasi, perhitungan efisiensi dan kapasitas kelompok tiang, dan perhitungan penurunan elastis tiang tunggal.

2. Program

Analisis data dengan cara program ini dilakukan dengan menganalisis beban struktur atas menggunakan program aplikasi Etabs dan menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan menggunakan program aplikasi Allpile.

3.5 Metode Penyusunan Penelitian

Untuk dapat mencapai maksud dan tujuan studi ini, maka perlu dilakukan beberapa tahapan yaitu antara lain : menentukan lokasi pengambilan data pada proyek terkait.

Tahap awal yaitu melakukan survei lokasi penelitian serta menentukan lokasi pengambilan data pada proyek terkait.

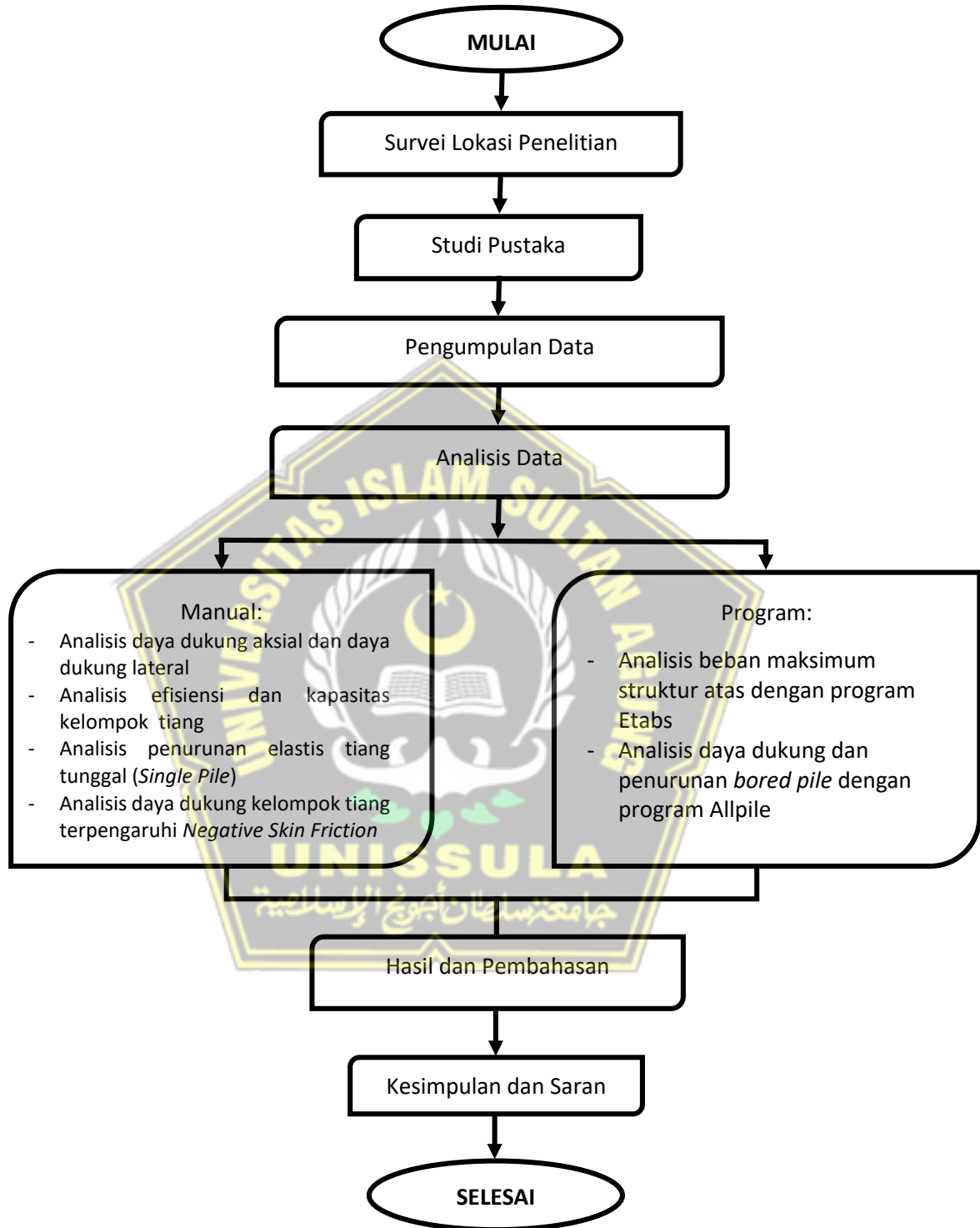
Tahap kedua yaitu melakukan studi kepustakaan terhadap *textbook* dan referensi jurnal-jurnal terkait mengenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile*.

Tahap ketiga yaitu mengumpulkan data-data yang diperlukan dari pihak kontraktor yaitu PT.PP Persero Tbk.

Tahap keempat yaitu melakukan analisis terhadap data-data yang sudah diperoleh dan mengacu pada teori-teori yang terkait.

Tahap kelima yaitu melakukan analisis permodelan struktur, analisis perhitungan dan membuat kesimpulan dari hasil analisis tersebut.

Skema pelaksanaan studi ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Pelaksanaan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

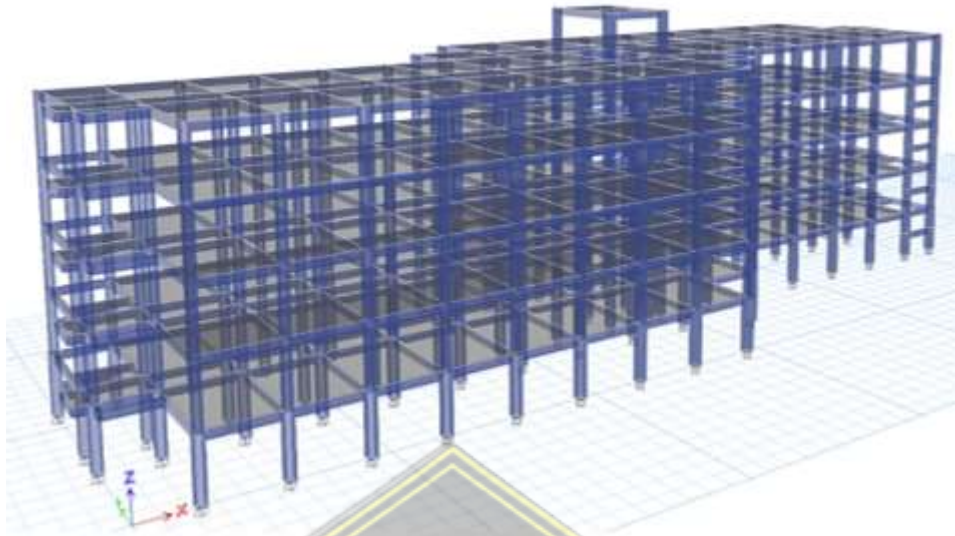
Pada bab ini, akan membahas perhitungan mengenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi, dengan mengolah data yang telah didapat dari proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I yang terletak di Desa Ketanggan, Kec. Grinsing, Kab. Batang, Jawa Tengah, Kawasan Industri Terpadu Batang. Untuk struktur fondasinya, pada proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I menggunakan jenis fondasi tiang yaitu fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* yang digunakan berdiameter 50 cm. Perhitungan analisis daya dukung tiang pada struktur fondasi *bored pile* ini memerlukan data hasil sondir yaitu tahanan ujung (qc) dan friksi tanah (fs) dan juga menggunakan data N-SPT yaitu jumlah pukulan palu (N – Value) serta perhitungan daya dukung menggunakan perhitungan manual.

Perhitungan analisis daya dukung dan penurunan fondasi juga dapat dianalisis menggunakan aplikasi program yaitu Allpile. Program tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan analisis vertikal dan analisis lateral pada tiang fondasi yang direncanakan.

4.2 Pemodelan Struktur

4.2.1 Pemodelan Struktur Atas Menggunakan Program ETABS V.18

Pada suatu struktur bangunan gedung, untuk mengetahui besarnya gaya yang terjadi digunakanlah pemodelan struktur. Gaya-gaya yang terjadi pada gedung inilah yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan analisis daya dukung fondasi. Pemodelan struktur atas ini menggunakan program ETABS V.18. Pada pemodelan struktur ini untuk struktur kolom dan balok digambarkan sebagai *frame* dan struktur plat lantai digambarkan sebagai *shell* seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemodelan 3D Struktur Atas dengan Etabs V.18

4.2.2 Desain Pemodelan Struktur

Data material yang digunakan pada desain pemodelan struktur ini adalah sebagai berikut :

- Berat Jenis Beton Bertulang = 2400 kg/m^3
- Tebal Plat Lantai = $12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$
- Mutu Beton = $f_c' 30 \text{ MPa} = \text{K-350}$
- Modulus Elastisitas Beton = $4700\sqrt{f_c'} = 25742.96 \text{ MPa}$
- Berat Jenis Baja Tulangan = 7850 kg/m^3
- Mutu Baja Tulangan = $f_y 420 \text{ Mpa}$
- Modulus Elastisitas Baja Tulangan = 200000 MPa
- Dimensi Kolom :
 - K1A = $400 \times 600 \text{ mm}$
 - K1B = $500 \times 600 \text{ mm}$
- Dimensi Balok :
 - BX = $250 \times 450 \text{ mm}$
 - BY = $250 \times 450 \text{ mm}$

4.3 Pembebanan Struktur

4.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layanan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727-2020:21). Beban mati / berat sendiri bangunan (DL) dihitung secara otomatis oleh program ETABS V.18 berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan. Untuk beban mati tambahan (SIDL) yang diperhitungkan adalah beban dinding yaitu 4 kN/m dan beban atap yaitu 1,5 kN/m².

4.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727-2020:25). Beban hidup lantai yang diperhitungkan adalah 2,5 kN/m² dan untuk beban hidup atap yang diperhitungkan adalah 1 kN/m².

4.3.3 Beban Gempa

Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726 - 2019 sebagai berikut:

1. Kategori Resiko

Untuk struktur bangunan rumah susun termasuk dalam Kategori Resiko II, seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kategori Resiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

2. Faktor Keutamaan Gempa

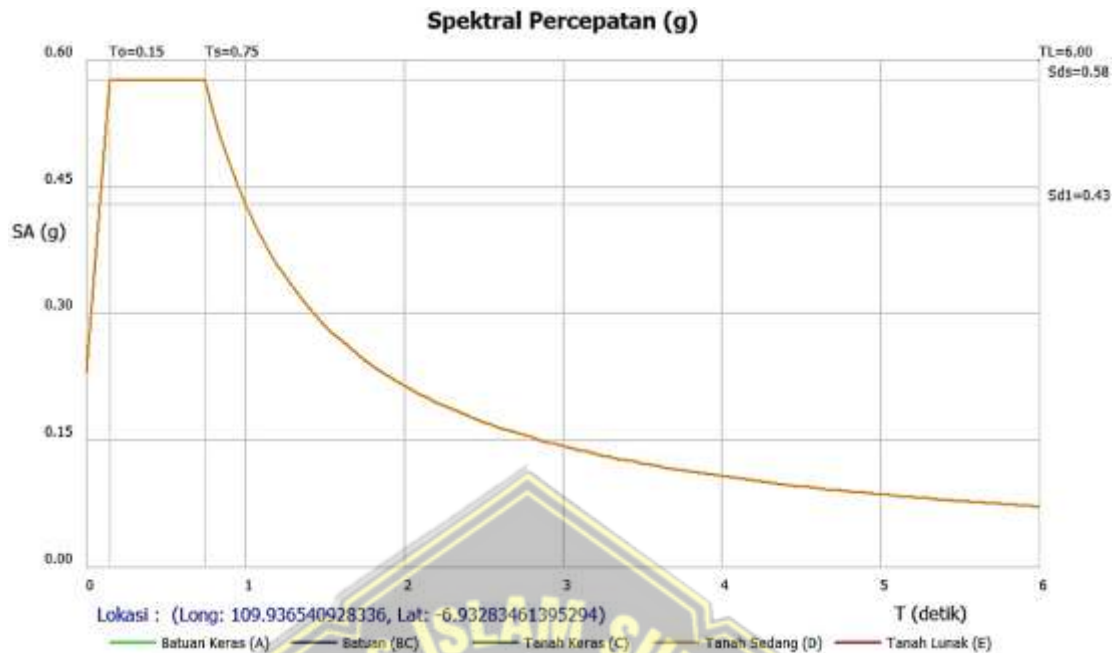
Pada struktur dengan Kategori Risiko II memiliki Faktor Keutamaan Gempa, yaitu $I_e = 1,0$ seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3. Percepatan Spektral Desain

Dalam menentukan spektral desain, peta gempa yang digunakan untuk lokasi proyek ini mengacu pada kurva spektrum respon desain sesuai dengan peta gempa SNI-03-1726- 2019 pasal 6.4 yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Respon Spektral Desain

(Sumber : Data proyek Rusun KITB)

Tabel 4.3 Nilai Percepatan Spektral Desain

Kelas	T0	Ts	Sds	Sd1
SD	0,15	0,75	0,58	0,43
Bujur	109,936540928336			
Lintang	-6,93283461395294			
Pga	0.3125			
Ss	0,6944			
s1	0,3271			
TL	6			

Dan untuk nilai percepatan spektral dapat dilihat pada Tabel 4.3 diatas sebagai berikut :

- Percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta, $PGA (g) = 0,3125$
- Percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, $SS (g) = 0,6944$

- c. Percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik S_1 (g) = 0,3271
- d. Percepatan respon spektral pada periode pendek, SDS (g) = 0,58
- e. Percepatan respon spektral pada periode 1 detik, SD_1 (g) = 0,43
- f. T_0 (detik) = 0,15
- g. T_S (detik) = 0,75

Keterangan :

MCE : gempa maksimum yang dipertimbangkan

MCE_G : nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum

T_0 : $0,2 \frac{SD_1}{SDS}$

T_S : $\frac{SD_1}{SDS}$

4. Sistem Struktur

Pada perencanaan konstruksi bangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I sistem struktur yang digunakan untuk struktur rangka beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur beton bertulang SRPMK memiliki parameter sistem struktur sebagai berikut (seperti pada Tabel 4.4) :

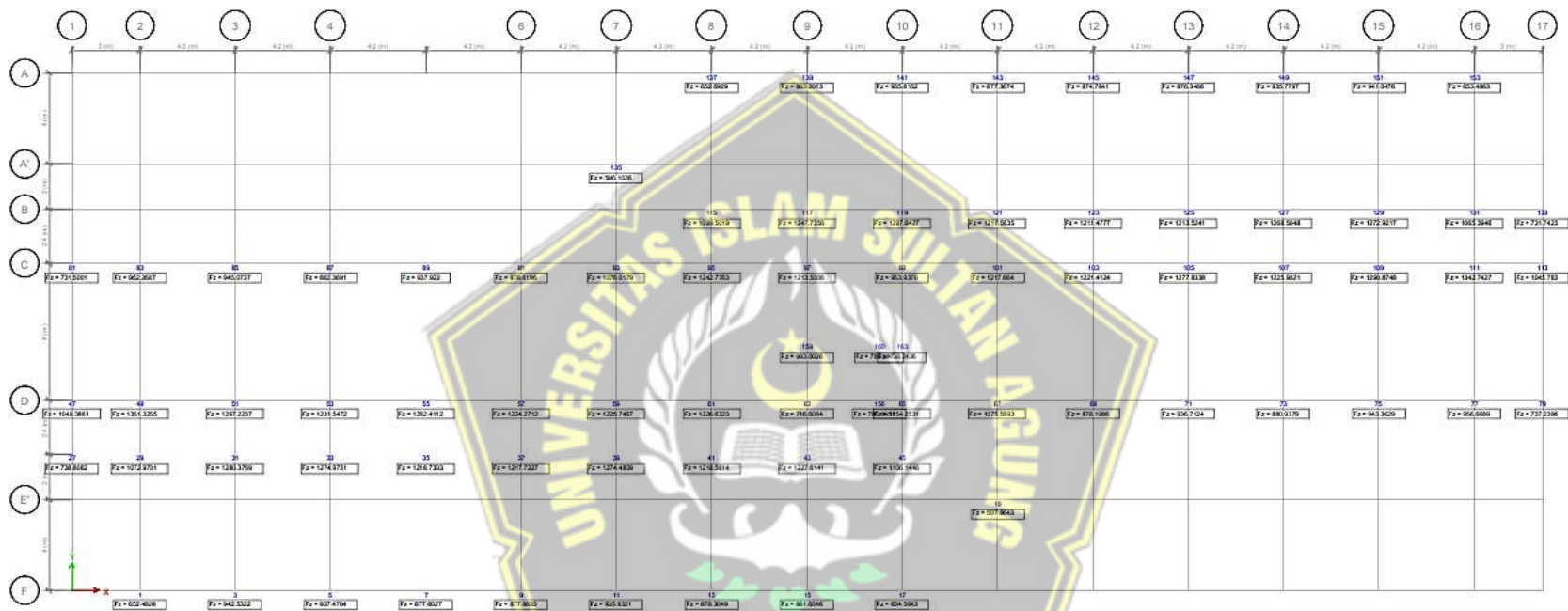
- Koefisien modifikasi respons, R : 8
- Faktor kuat lebih, Ω_0 : 3
- Faktor Pembesaran Defleksi, C_d : 5,5

Tabel 4.4 Faktor Reduksi Gempa

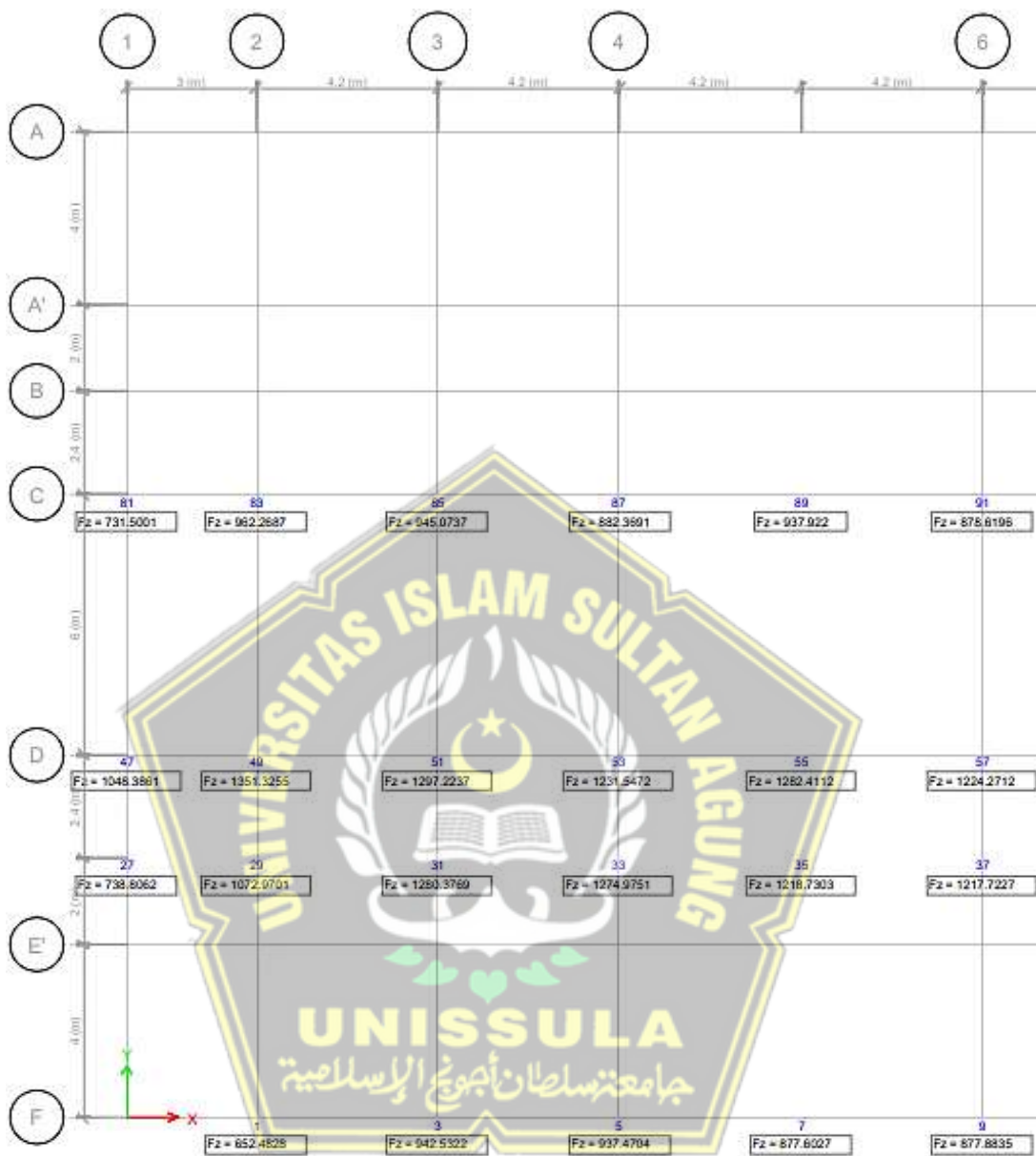
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D*	E*	F'
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2%	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10*	TI*	TI*
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI*	TI*	TI*
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus*	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI

4.4 Hasil Output Pembebanan

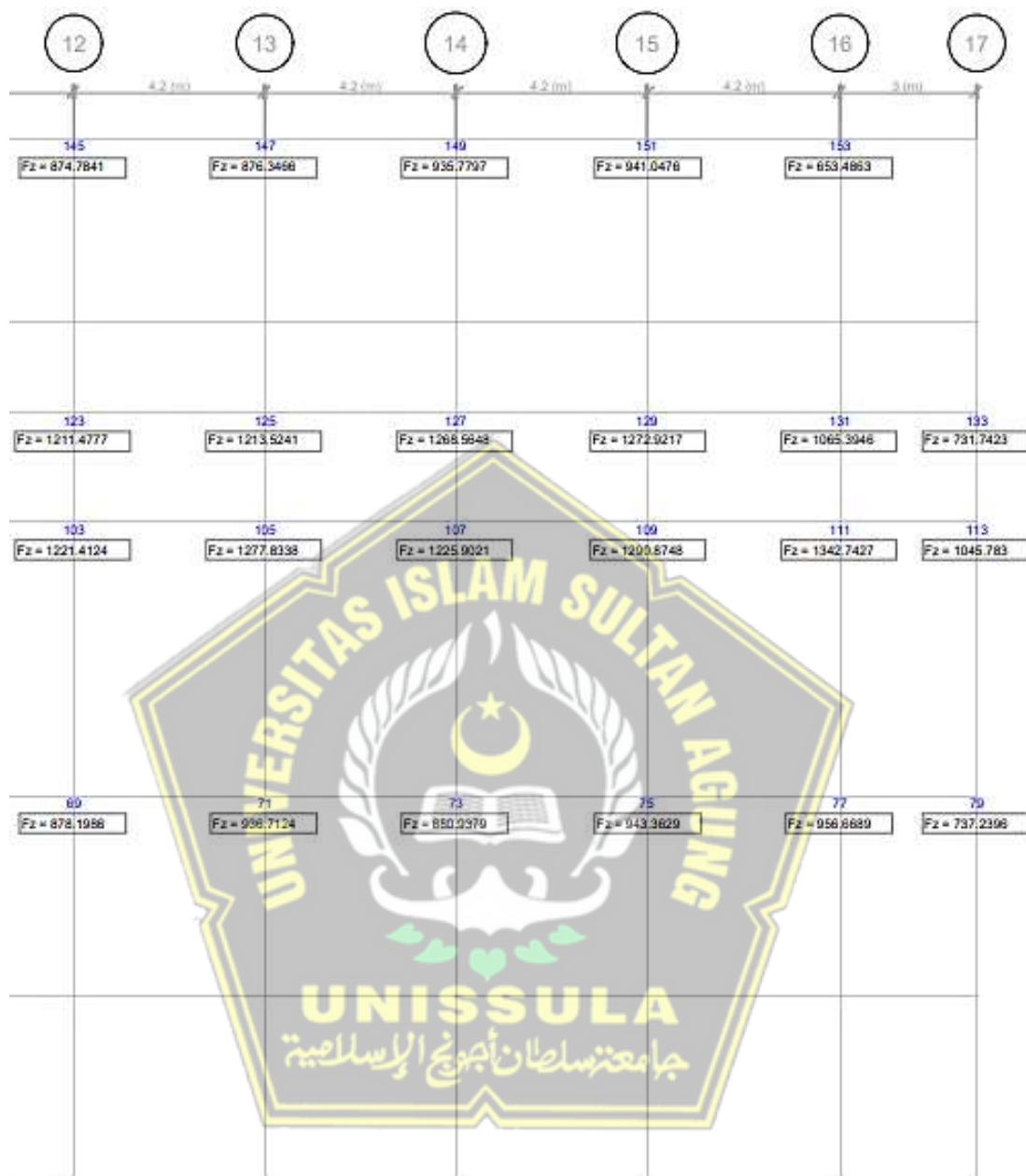
Dari data parameter gempa yang telah diperoleh lalu dimasukkan dalam data gempa pada program ETABS V.18, setelah itu semua beban di input kedalam permodelan struktur menggunakan program ETABS V.18 dan didapatkan hasil output joint reaction yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan untuk mengetahui besarnya nilai beban dari struktur atas dan beban tiap fondasi yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 4.5.



Gambar 4.3 Hasil Output Joint Reaction



Gambar 4.4 Hasil Output Joint Reaction - Parsial 1



Gambar 4.6 Hasil Output Joint Reaction - Parsial 3

Tabel 4.5 Nilai Beban Fondasi

Joint	Beban (kN)	Joint	Beban (kN)	Joint	Beban (kN)	Joint	Beban (kN)
1	652,48	47	1048,39	87	882,37	127	1268,56
3	942,53	49	1351,33	89	937,92	129	1272,92
5	937,47	51	1297,22	91	878,62	131	1065,39
7	877,60	53	1231,55	93	1076,02	133	731,74
9	877,88	55	1282,41	95	1242,78	135	506,10
11	935,93	57	1224,27	97	1213,50	137	652,69
13	878,30	59	1225,75	99	953,94	139	883,20
15	881,65	61	1226,63	101	1217,66	141	935,62
17	654,56	63	716,61	103	1221,41	143	877,37
19	507,86	65	1054,25	105	1277,83	145	874,78
45	1106,14	67	1075,57	107	1225,90	147	876,35
43	1227,61	69	878,20	109	1290,88	149	935,78
41	1218,56	71	936,71	111	1342,74	151	941,05
27	738,81	73	880,94	113	1045,78	153	653,49
29	1072,97	75	943,36	115	1099,50	156	780,70
31	1280,38	77	956,67	117	1247,74	159	993,00
33	1274,98	79	737,24	119	1297,64	160	780,97
35	1218,73	81	731,50	121	1217,56	163	838,24
37	1217,72	83	962,27	123	1211,48		
39	1274,48	85	945,07	125	1213,52		

Dari hasil output joint reaction, dapat diketahui besarnya beban maksimum fondasi yang diperoleh dari perhitungan pemodelan struktur menggunakan program ETABS V.18 yaitu $P = 1351,33 \text{ kN}$.

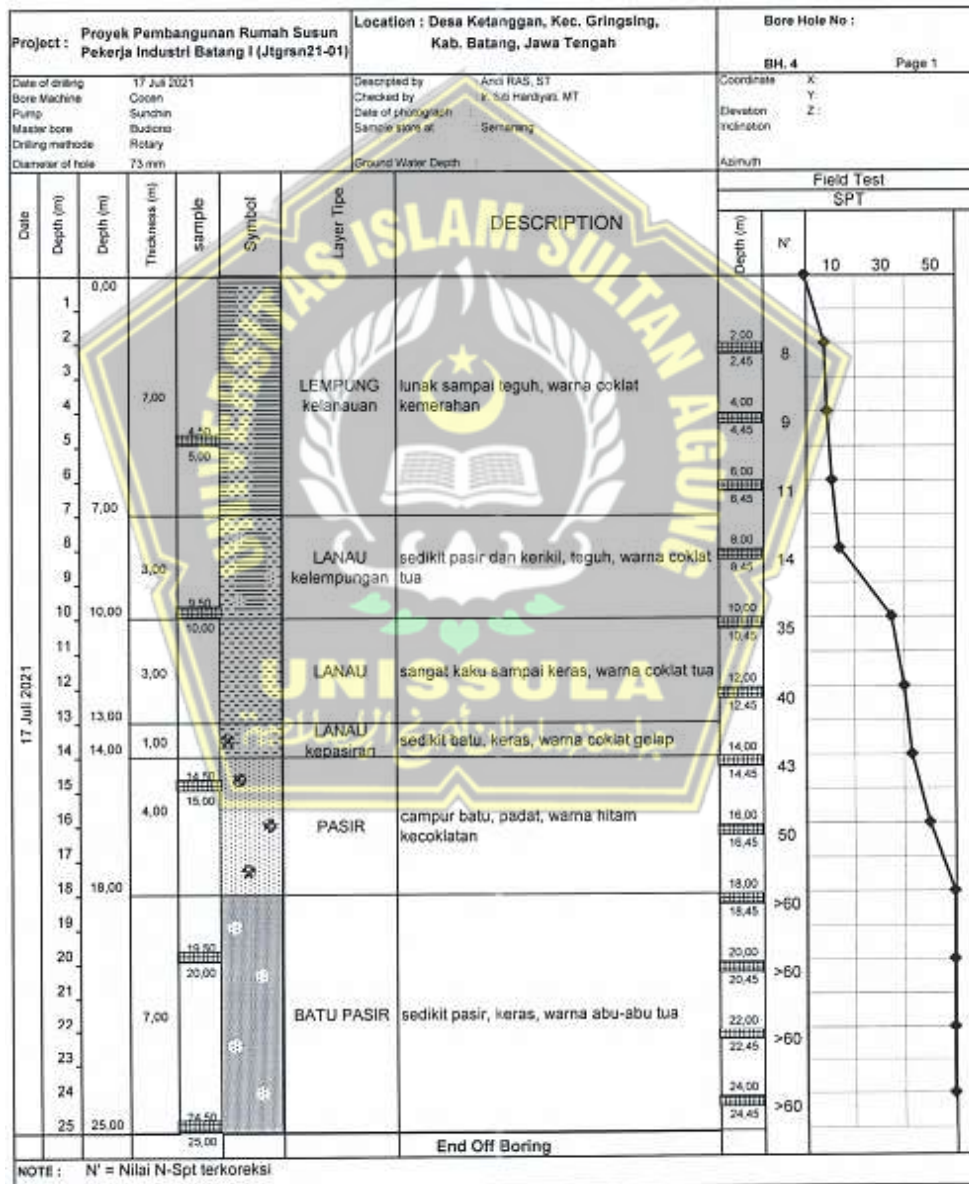
4.5 Data Perencanaan

Spesifikasi umum pada data perencanaan ini adalah sebagai berikut :

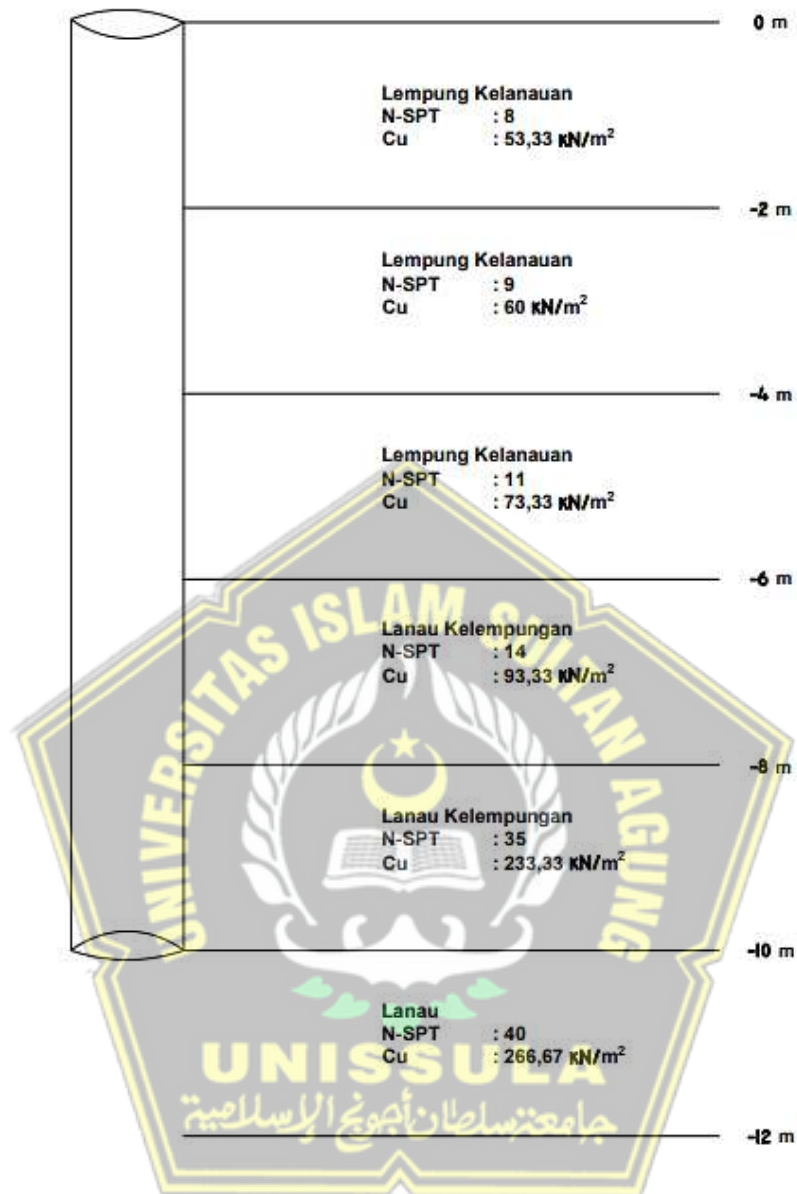
1. Tinggi Bangunan = 20 m
2. Panjang Bangunan = 64,8 m
3. Lebar Bangunan = 22,8 m
4. Jumlah Lantai = 5 Lantai
5. Fungsi Bangunan = Rumah Susun

6. Jenis Konstruksi = Beton Bertulang
7. Konstruksi Atap = Dak Beton dan Baja
8. Struktur Bawah = Fondasi *Bored Pile*
9. Diameter Boredpile = 50 cm
10. Mutu Beton = $F_c'30 \text{ MPa} = K 350$

4.6 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Fondasi *Bored Pile*



Gambar 4.7 Data Tanah



Gambar 4.8 Penentuan Parameter Tanah

Data fondasi *bored pile* :

1. Diameter (d) = 50 cm = 0,5 m
2. Kedalaman (L) = 1000 cm = 10 m
3. Keliling tiang (K) = $\pi \times d$
= 3,14 x 50
= 157 cm = 1,57m
4. Luas selimut tiang (As) = $\pi \times d \times L$

$$= 3,14 \times 50 \times 1000$$

$$= 157000 \text{ cm}^2 = 15,7 \text{ m}^2$$

5. Luas penampang tiang (A_p)

$$= 1/4 \pi d^2$$

$$= 1/4 \times 3,14 \times 50^2$$

$$= 1962,5 \text{ cm}^2 = 0,19625 \text{ m}^2$$

4.6.1 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Data Sondir atau Cone Penetration Test (CPT)

4.6.1.1 Metode Aoki de Alencar

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung aksial berdasarkan data sondir / Cone Penetration Test (CPT) dengan metode Aoki de Alencar sebagai berikut :

- Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) pada tanah kohesif
Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang dan 1,5D di bawah ujung tiang.

Tabel 4.6 Nilai q_c Didasar Tiang

No.	Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)
1	9,20	48,00
2	9,40	62,00
3	9,60	55,00
4	9,80	49,00
5	10,00	70,00
6	10,20	85,00
7	10,40	85,00
8	10,60	88,00
9	10,8	97
Σq_c		639,00 kg/cm ²

Maka nilai q_c rata-rata adalah:

$$q_{c1} = \frac{\Sigma q_c}{n} = \frac{639}{9} = 71 \text{ kg/cm}^2$$

Dari persamaan (2.2) , kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_p):

$$q_p = \frac{q_c(\text{base})}{F_b} \text{ (Nilai } F_b \text{ dari Tabel 2.1, tiang bor} = 3.5)$$

$$q_p = \frac{71}{3.5} = 20.29 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \\ &= 20,29 \times 1962,5 \\ &= 39819,125 \text{ kg} \\ &= 398,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Q_s) pada tanah kohesif

Dari persamaan (2.3), kapasitas dukung kulit persatuan luas (f) pada kedalaman fondasi $L = 10 \text{ m}$

$qc \text{ (side)}$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang

$$qc \text{ (side)} = \frac{18+42+94+48+70}{5} = 54,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = qc \text{ (side)} \frac{a_s}{F_s} \text{ (Nilai } F_s \text{ dan } a_s \text{ dari Tabel 2.1 dan Tabel 2.2)}$$

$$f = 54,4 \cdot \frac{0.03}{7} = 0,233 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s)

$$\begin{aligned} Q_s &= f \times A_s \\ &= 0,233 \times 157000 \\ &= 36581 \text{ kg} \\ &= 365,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 398,19 + 365,81 \\ &= 764 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan Kapasitas Dukung Ijin (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{764}{2,5} \\ &= 305,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan kapasitas daya dukung berdasarkan data sondir / CPT dengan metode Aoki dan De Alencar dapat dilihat pada Tabel 4.7.

4.6.1.2 Metode Langsung

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung aksial berdasarkan data sondir / *Cone Penetration Test* (CPT) dengan metode langsung sebagai berikut :

- a. Perhitungan Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u) pada kedalaman fondasi 10 m :

$$\begin{aligned} Q_u &= q_c \times A_p + JHL \times K \\ &= 70 \times 1962,5 + 254 \times 157 \\ &= 137375 + 39878 \\ &= 177253 \text{ kg} \\ &= 1772,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Kapasitas Dukung Ijin (Q_{all}) pada kedalaman fondasi 10 m :

$$\begin{aligned} Q_u \text{ Ijin} &= \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K}{5} \\ &= \frac{70 \times 1962,5}{3} + \frac{254 \times 157}{5} \\ &= 45791,67 + 7975,6 \\ &= 53767,27 \text{ kg} \\ &= 537,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan kapasitas daya dukung aksial berdasarkan data sondir / CPT dengan Metode Langsung dapat dilihat pada Tabel 4.8

4.6.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Hasil Standard Penetration Test (SPT)

4.6.2.1 Metode Reese and Wright (1977)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung aksial berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT) dengan Metode Reese and Wright (1977) sebagai berikut :

- a. Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) pada tanah kohesif kedalaman fondasi 10 m

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$\text{Dengan } q_p = 9 \times C_u$$

$$\text{Untuk : } C_u = N - SPT \times \frac{2}{3} \times 10$$

$$= 35 \times \frac{2}{3} \times 10$$

$$= 233,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

$$= 9 \times 233,33 \times 0,19625$$

$$= 412,119 \text{ kN}$$

- b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Q_s) pada tanah kohesif

$$Q_s = f_s \times L \times p$$

Dengan :

$$f_s = \alpha \times C_u \text{ (Berdasarkan penelitian Reese and Wright, 1977, faktor adhesi } \alpha = 0,55)$$

$$= 0,55 \times 233,33$$

$$= 128,33$$

$$Q_s = f_s \times L \times p$$

$$= 128,33 \times 10 \times 1,57$$

$$= 2014,805 \text{ kN}$$

- c. Perhitungan Kapasitas dukung ultimit (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 412,119 + 2014,805$$

$$= 2426,924 \text{ kN}$$

- d. Perhitungan Kapasitas dukung ijin (Q_{all})

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

$$= \frac{242,693}{2,5}$$

$$= 970,77 \text{ kN}$$

Untuk hasil perhitungan daya dukung aksial berdasarkan hasil SPT dengan Metode *Reese and Wright* (1977) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

4.6.2.2 Metode Mayerhoff

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung aksial berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT) dengan Metode *Mayerhoff* sebagai berikut :

- a. Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) pada tanah kohesif pada kedalaman fondasi 10 m

$$Q_p = A_p \times c_u \times N_c$$

(Faktor daya dukung tanah untuk fondasi tiang *bored pile* $N_c = 9$)

$$\begin{aligned} Q_p &= 0.19625 \times 233,33 \times 9 \\ &= 412,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Q_s) pada tanah kohesif pada kedalaman fondasi 10 m

$$Q_s = a \times C_u \times p \times L$$

(Berdasarkan persamaan, untuk faktor adhesi $a = 0,55$)

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,55 \times 233,33 \times 1,57 \times 10 \\ &= 2014,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan Kapasitas dukung ultimit (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 412,12 + 2014,78 \\ &= 2426,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan Kapasitas dukung ijin (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{2426,9}{2,5} \\ &= 970,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan daya dukung berdasarkan hasil SPT dengan metode *Mayerhoff* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Aoki de Alencar*

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	$q_c(\text{base})$ (kg/cm ²)	$q_c(\text{side})$ (kg/cm ²)	a_s (%)	f (kg/cm ²)	A_s (cm ²)	A_p (cm ²)	Q_s (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	Q_{all} (kN)
0	0	0	0	4,0	0	0	1962,5	0,00	0,00	0,00	0,00
2	18	15,67	17,50	4,0	0,1	31400	1962,5	31,40	87,85	119,25	47,70
4	42	30,78	30,00	4,0	0,171	62800	1962,5	107,66	172,58	280,23	112,09
6	94	52,00	51,33	4,0	0,293	94200	1962,5	276,32	291,57	567,89	227,16
8	48	64,56	50,50	3,4	0,245	125600	1962,5	308,08	361,97	670,05	268,02
10	70	71,00	54,40	3,0	0,233	157000	1962,5	366,03	398,11	764,14	305,66

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode Langsung

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	JHL (kg/cm ²)	K (cm)	A_p (cm ²)	Q_{ult} (kN)	Q_{all} (kN)
0	0	0	157	1962,5	0,00	0,00
2	18	42	157	1962,5	419,19	130,94
4	42	88	157	1962,5	962,41	302,38
6	94	140	157	1962,5	2064,55	658,88
8	48	200	157	1962,5	1256,00	376,80
10	70	254	157	1962,5	1772,53	537,67

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Reese and Wright* (1977)

Kedalaman (m)	Nilai SPT	Cu (kN/m ²)	Faktor Adhesi	As (m ²)	Ap (m ²)	Qs (kN)	Qp (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
0	0	0,00	0,55	0,00	0,19625	0,000	0,00	0,00	0,00
2	8	53,33	0,55	3,14	0,19625	92,11	94,20	186,31	74,52
4	9	60,00	0,55	6,28	0,19625	207,24	105,98	313,22	125,29
6	11	73,33	0,55	9,42	0,19625	379,94	129,53	509,47	203,79
8	14	93,33	0,55	12,56	0,19625	644,75	164,85	809,60	323,84
10	35	233,33	0,55	15,70	0,19625	2014,83	412,13	2426,96	970,78

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Mayerhoff*

Kedalaman (m)	Nilai SPT	Cu (kN/m ²)	P (m)	As (m ²)	Ap (m ²)	Qs (kN)	Qp (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
0	0	0,00	1,57	0,00	0,19625	0,0	0,0	0,0	0,0
2	8	53,33	1,57	3,14	0,19625	92,1	94,2	186,3	74,5
4	9	60,00	1,57	6,28	0,19625	207,2	106,0	313,2	125,3
6	11	73,33	1,57	9,42	0,19625	379,9	129,5	509,5	203,8
8	14	93,33	1,57	12,56	0,19625	644,7	164,9	809,6	323,8
10	35	233,33	1,57	15,70	0,19625	2014,8	412,1	2427,0	970,8

4.7 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Lateral Fondasi *Bored Pile*

Untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi terhadap gaya lateral dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

a. Metode *Brooms*

Adapun data-data tiang fondasi yang digunakan untuk analisis perhitungan :

Diameter tiang (D) = 50 cm = 0,5 m

Panjang tiang (L) = 1000 cm = 10 m

Mutu beton (f_c') = 30 Mpa = 3000 kN/m²

Jarak horizontal diatas tanah (e) = 0

Modulus elastisitas tiang (E_p) = $4700\sqrt{30}$ = 25742,96 MPa = 25742960 kN/m²

Momen inersia tiang (I_p) = $1/64 \times 3,14 \times 0,5^4$ = 0,0030664063 m⁴

Kuat lentur beban tiang ($\sigma_{lt}/(f_b)$) = $0.4 \times f_c' = 0.4 \times 30$ = 12000 kN/m²

Nilai kohesi rata-rata (C_u) = $\frac{53,33+60+73,33+93,33+233,5}{5}$ = 102,66 kN/m²

Tahapan perhitungan dengan metode *Brooms* :

➤ Menentukan Tiang Panjang atau Tiang Pendek

Tabel 4.11 Nilai-nilai K1 yang disarankan oleh *Terzaghi* (1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat kaku	keras
Kohesi Undrained (CU) kN/m ²	100-200	200-400	>400
k1 (MN/m ³)	18-36	2 - 72.	>72
K1 direkomendasikan	27	54	>108

Dipakai nilai K1 = 27 MN/m³ = 27000 kN/m³

$$K_h = \frac{27000}{1,5} = 18000 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = \left(\frac{K_h \times d}{4 \times E_p \times I_p} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{18000 \times 0,5}{4 \times 25742960 \times 0,0030664} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,41$$

$$\beta.L = 0,41 \times 10 = 4,1$$

Syarat penentuan tiang panjang atau pendek :

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 1,5$
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 0,5$

- Tiang ujung bebas dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 2,5$
- Tiang ujung jepit dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 1,5$

Berdasarkan persyaratan diatas berarti tiang termasuk dalam :

- Tiang ujung bebas dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 2,5$
- Tiang ujung jepit dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 1,5$

➤ Menentukan Tahanan Momen

$$W = \frac{Ip}{d/2} = \frac{0,0030664063}{0,5/2} = 0,0122656 \text{ m}^3$$

➤ Menentukan Momen Maksimum Tiang

$$\begin{aligned} My &= fb \times W \\ &= 12.000 \times 0,0122656 \\ &= 147,19 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

➤ Menentukan nilai H_u

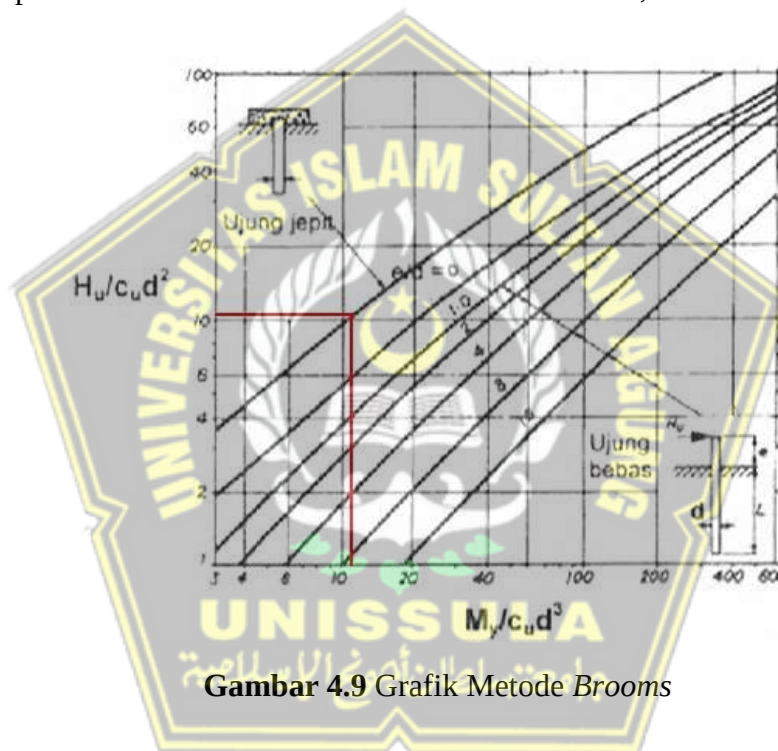
$$\begin{aligned} H_u &= \frac{2 My}{(e+1,5 d+0,5 f)} \\ f &= \frac{H_u}{9 Cu.d} = \frac{H_u}{9 \times 102,66 \times 0,5} = \frac{H_u}{416,97} \\ H_u &= \frac{2 \times 147,19}{(0+1,5 \cdot 0,5+0,5 \cdot \frac{H_u}{416,97})} \\ &= \frac{294,38}{(0,75+0,00120 H_u)} \\ 0,00120 H_u^2 + 0,75 H_u - 294,38 &= 0 \\ H_u^2 + 625 H_u - 245316,667 &= 0 \\ X &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a} \\ H_u &= \frac{-625 \pm \sqrt{625^2 - 4 \cdot 0,00120 \cdot (-245316,667)}}{2 \cdot 1} \\ H_u &= \frac{-625 \pm \sqrt{390625 + 1177,52}}{2} \\ H_u &= \frac{-625 \pm 1171,28}{2} \\ H_{u1} &= \frac{-625 + 1171,28}{2} = 273,14 \text{ kN (Nilai } H_u \text{ yang digunakan)} \\ H_{u2} &= \frac{-625 - 1171,28}{2} = -898,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi, kapasitas daya dukung lateral ultimit tiang adalah $H_u = 273,14 \text{ kN}$

b. Metode Grafik *Brooms*

$$\begin{aligned}\text{Tahanan Momen Ultimit} &= \frac{M_y}{C_u \times d^3} \\ &= \frac{147,19}{102,66 \times 0,5^3} \\ &= 11,47 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Nilai tahanan momen ultimit di diperoleh 11,47 kN.m kemudian diinput kedalam grafik *Brooms* untuk mendapatkan nilai tahanan lateral ultimit, Dari Gambar 4.9 diperoleh perkiraan nilai tahanan lateral ultimit sebesar 10,75.



Gambar 4.9 Grafik Metode *Brooms*

$$\frac{H_u}{C_u \times d^2} = 10,75 \text{ (dari grafik)}$$

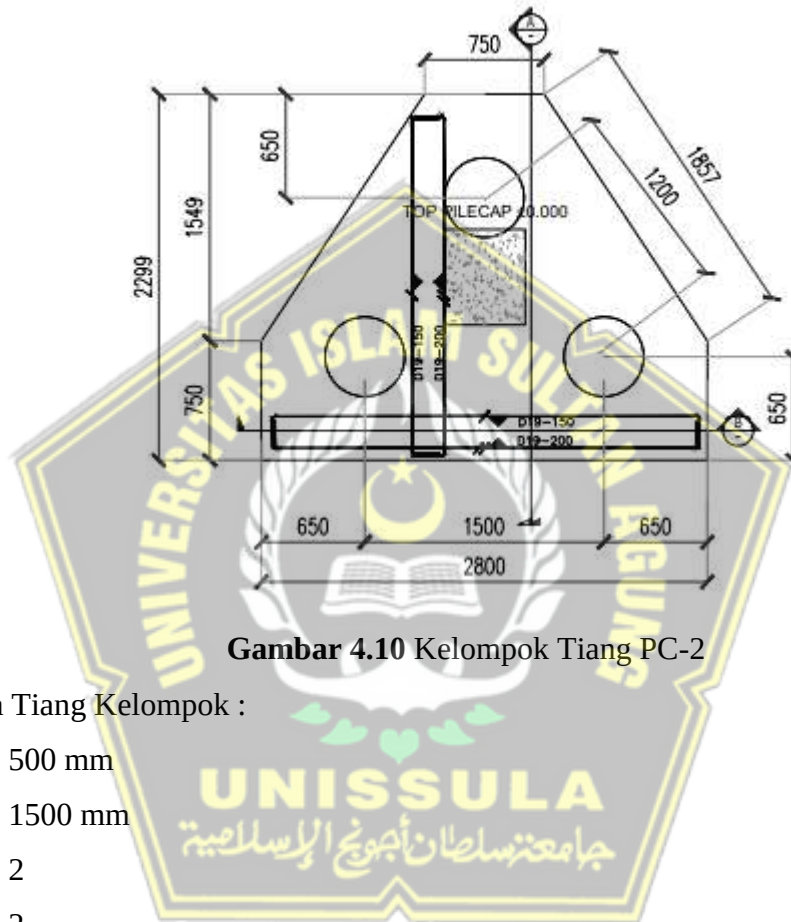
$$\begin{aligned}H_u &= 10,75 \times C_u \times d^2 \\ &= 10,75 \times 102,66 \times 0,5^2 \\ &= 275,90 \text{ kN}\end{aligned}$$

Terdapat selisih antara kapasitas daya dukung lateral ultimit (H_u) metode *Brooms* hasil perhitungan analitis yaitu sebesar 273,14 kN dengan perhitungan menggunakan

grafik yaitu sebesar 275,90 kN. Hal ini karena kurang telitinya dalam melihat nilai grafik, namun kedua hasil tersebut tidak jauh berbeda.

4.8 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang *Bored Pile*

4.8.1 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-2



Gambar 4.10 Kelompok Tiang PC-2

Data Tiang Kelompok :

$$d = 500 \text{ mm}$$

$$s = 1500 \text{ mm}$$

$$m = 2$$

$$n = 2$$

➤ Efisiensi Kelompok Tiang

Metode *Converse-Labarre*

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \left(\text{arc tg } \frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \\ &= 1 - \left(\text{arc tg } \frac{500}{1500} \right) \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90.2.2} \right) \\ &= 1 - (18,43)(0,011) \\ &= 1 - 0,203 \end{aligned}$$

$$= 0,797 \approx 0,80$$

$$= 80 \%$$

Metode Los Angeles Group

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \frac{d}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \\ &= 1 - \frac{500}{3,14 \times 1500 \times 3 \times 1} [2(2-1) + 2(2-1) + \sqrt{2}(2-1)(2-1)] \\ &= 1 - \frac{500}{18840} [2(1) + 1(2) + \sqrt{2}(1)(1)] \\ &= 1 - 0,027(5,414) \\ &= 1 - 0,146 \\ &= 0,854 \approx 0,85 \\ &= 85 \% \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Dukung Kelompok Tiang**

Berdasarkan hasil output pembebanan menggunakan Etabs, beban maksimum yang diterima oleh kelompok tiang PC-2 sebesar 1351,33 kN (titik joint 49).

Cek :

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\ &= 80\% \times 3 \times 537,67 \\ &= 1290,41 \text{ kN} < 1351,33 \text{ kN (TIDAK AMAN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\ &= 85\% \times 3 \times 537,67 \\ &= 1371,06 \text{ kN} > 1351,33 \text{ kN (AMAN)} \end{aligned}$$

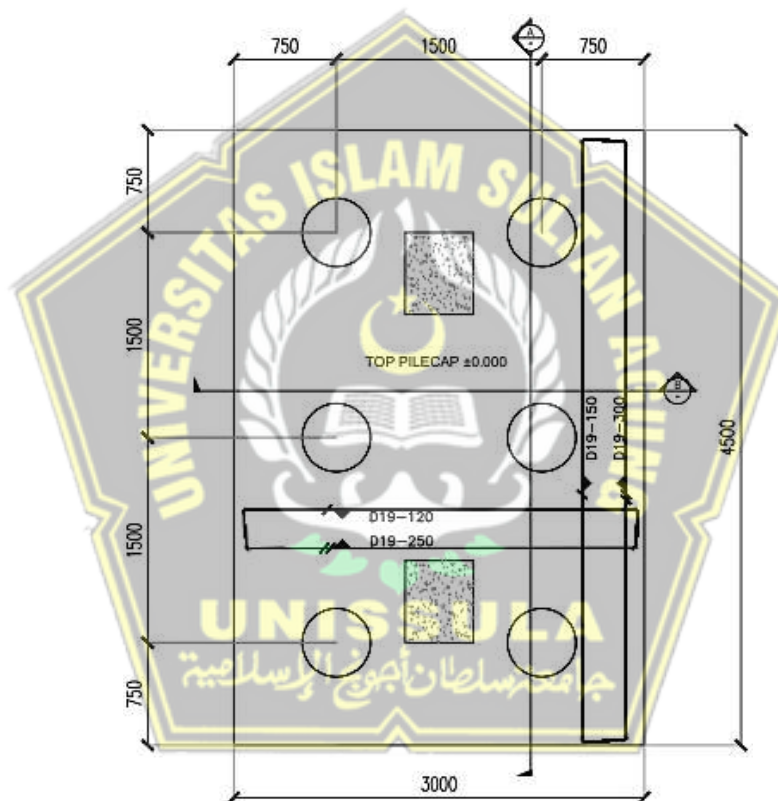
Dari cek perhitungan diatas, diketahui kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 menggunakan nilai efisiensi metode *Converse-Labarre*, tidak mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-2 lebih kecil daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sedangkan untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 menggunakan nilai efisiensi metode *Los Angeles Group* diketahui mampu

menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-2 lebih besar daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sehingga untuk efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 yang digunakan adalah hasil perhitungan dengan metode *Los Angeles Group* yaitu dengan nilai efisiensi 85% dan nilai kapasitas dukung ultimit sebesar 1371,06 kN > 1351,33 kN, maka dari itu kelompok tiang tersebut dinyatakan memenuhi syarat AMAN.

4.8.2 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1



Gambar 4.11 Kelompok Tiang PC-1

Data Tiang Kelompok :

$d = 500 \text{ mm}$

$s = 1500 \text{ mm}$

$m = 2$

$n = 3$

➤ **Efisiensi Kelompok Tiang**

Metode Converse-Labarre

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \\
 &= 1 - \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{500}{1500} \right) \left(\frac{(3-1)2 + (2-1)3}{90.2.3} \right) \\
 &= 1 - (18,43)(0,0130) \\
 &= 1 - 0,239 \\
 &= 0,761 \approx 0,76 \\
 &= 76 \%
 \end{aligned}$$

Metode Los Angeles Group

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \frac{d}{\pi.s.m.n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{3,14 \times 1500 \times 2 \times 3} [2(3-1) + 3(2-1) + \sqrt{2}(3-1)(2-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{28260} [2(2) + 3(1) + \sqrt{2}(2)(1)] \\
 &= 1 - 0,018(9,828) \\
 &= 1 - 0,177 \\
 &= 0,823 \approx 0,82 \\
 &= 82 \%
 \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Dukung Kelompok Tiang**

Berdasarkan hasil output pembebanan menggunakan Etabs, beban maksimum yang diterima oleh kelompok tiang PC-1 sebesar 2577,60 kN (titik joint 31 & 51).

Cek perhitungan kapasitas dukung ultimit kelompok tiang PC-1 :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
 &= 76\% \times 6 \times 537,67 \\
 &= 2451,78 \text{ kN} < 2577,60 \text{ kN (TIDAK AMAN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
 &= 82\% \times 6 \times 537,67 \\
 &= 2645,34 \text{ kN} > 2577,60 \text{ kN (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Dari cek perhitungan diatas, diketahui kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 menggunakan nilai efisiensi metode *Converse-Labarre*, tidak mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-1 lebih kecil daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sedangkan untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 menggunakan nilai efisiensi metode *Los Angeles Group* diketahui mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-1 lebih besar daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sehingga untuk efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 yang digunakan adalah hasil perhitungan dengan metode *Los Angeles Group* yaitu dengan nilai efisiensi 82% dan nilai kapasitas dukung ultimit sebesar 2645,34 kN > 2577,60 kN, maka dari itu kelompok tiang tersebut dinyatakan memenuhi syarat AMAN.

4.9 Perhitungan Penurunan Elastis Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Untuk perhitungan penurunan elastis tiang tunggal (*Single Pile*) pada fondasi *bored pile* ini adalah sebagai berikut :

$$L = 1000 \text{ cm} = 10 \text{ m}$$

$$D = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$A_p = 0,19625 \text{ m}^2$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$E_p = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa} = 25742960 \text{ kN/m}^2$$

$$\xi = 0,5 \text{ (sesuai pada Gambar 2.13)}$$

$$C_p = 0,09 \text{ (sesuai pada Tabel 2.5)}$$

$$\begin{aligned} C_s &= (0,93+0,16 \sqrt{L/D}).C_p \\ &= (0,93+0,16 \sqrt{10/0,5}).0,09 \\ &= 0,148 \end{aligned}$$

$$Q_{wp} = Q_p - Q_s = 398,11 \text{ kN} - 366,03 \text{ kN} = 32,08 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 366,03 \text{ kN}$$

Menghitung penurunan elastis dari tiang $S_{e(1)}$:

$$\begin{aligned} S_{e(1)} &= \frac{(Q_{wp} + E Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{(32,08 + 0,5 \cdot 366,03) \times 10}{0,19625 \times 25742960} \\ &= 0,000426 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di ujung tiang $S_{e(2)}$:

$$\begin{aligned} S_{e(2)} &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\ &= \frac{32,08 \times 0,09}{0,5 \times 764,14} \\ &= 0,007557 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di sepanjang tiang $S_{e(3)}$

$$\begin{aligned} S_{e(3)} &= \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \\ &= \frac{366,03 \times 0,148}{10 \times 764,14} \\ &= 0,007089 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung total dari penurunan tiang elastis yang terjadi pada fondasi :

$$\begin{aligned} S_e &= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \\ &= 0,000426 + 0,007557 + 0,007089 \\ &= 0,015072 \text{ m} \\ &= 1,5072 \text{ cm} \end{aligned}$$

Menghitung total penurunan yang diijinkan menurut Terzaghi (1969):

$$\begin{aligned} S_{ijin} &= 10\% \times D \\ &= 0,1 \times 50 \text{ cm} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

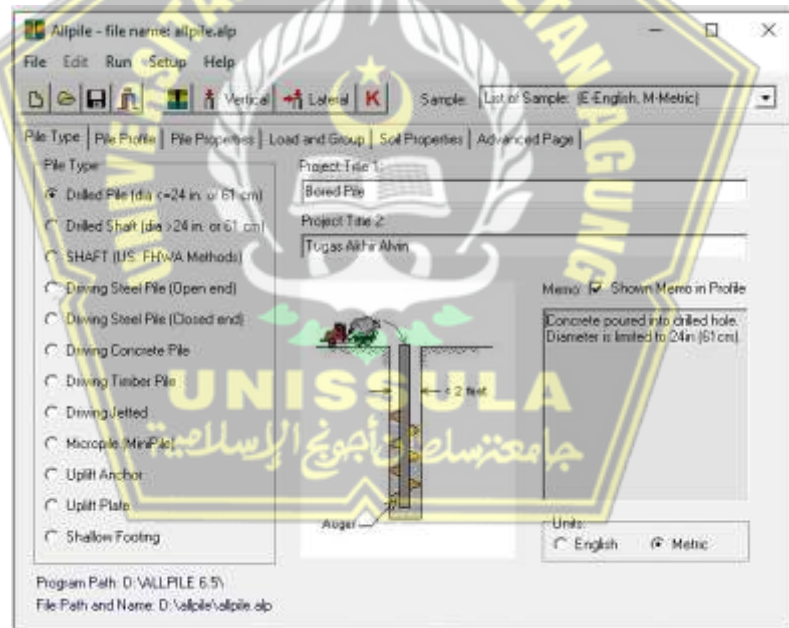
Dari perhitungan diatas, diketahui nilai penurunan total tiang tunggal yang terjadi lebih kecil dari nilai total penurunan yang diijinkan yaitu $1,5072 \text{ cm} < 5,00 \text{ cm}$, sehingga syarat penurunan yang diijinkan tersebut terpenuhi dan dinyatakan **AMAN**.

4.10 Analisa Pemodelan dengan Program Allpile

Dalam menganalisa atau merencanakan sebuah fondasi, dapat dilakukan dengan membuat analisa pemodelan menggunakan program Allpile. Analisis menggunakan bantuan program Allpile dilakukan dengan cara melakukan penginputan data tanah, parameter tanah, data beban termasuk data tiang, nilai *safety factor*, dan ketentuan lainnya. Hasil analisa Allpile ini akan diperoleh nilai kapasitas daya dukung tiang fondasi dan penurunan atau *settlement* yang terjadi pada fondasi dengan menggunakan metode *Load Transfer*.

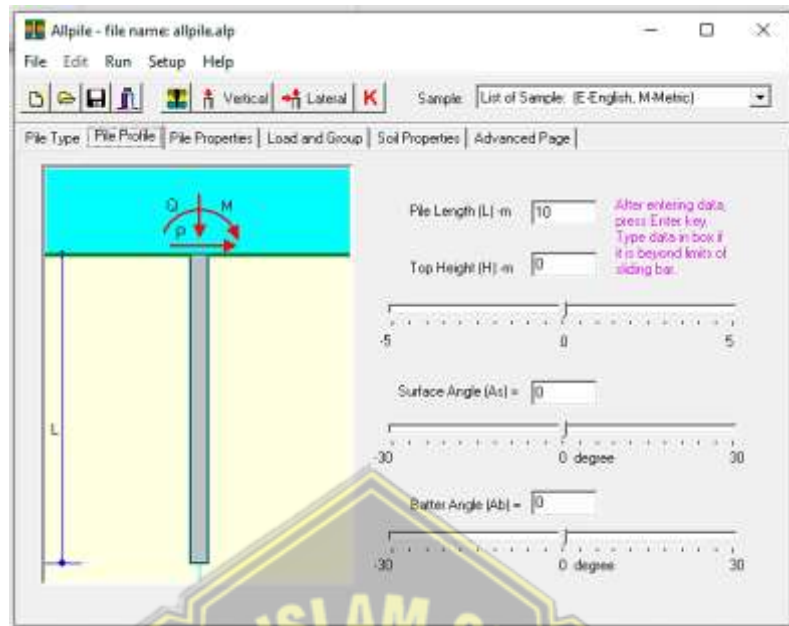
Berikut adalah langkah – langkah yang dilakukan dalam menganalisa pemodelan menggunakan program Allpile :

1. Menentukan *pile type* atau tipe fondasi yang akan digunakan dan mengisi judul pada kolom *project title* yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



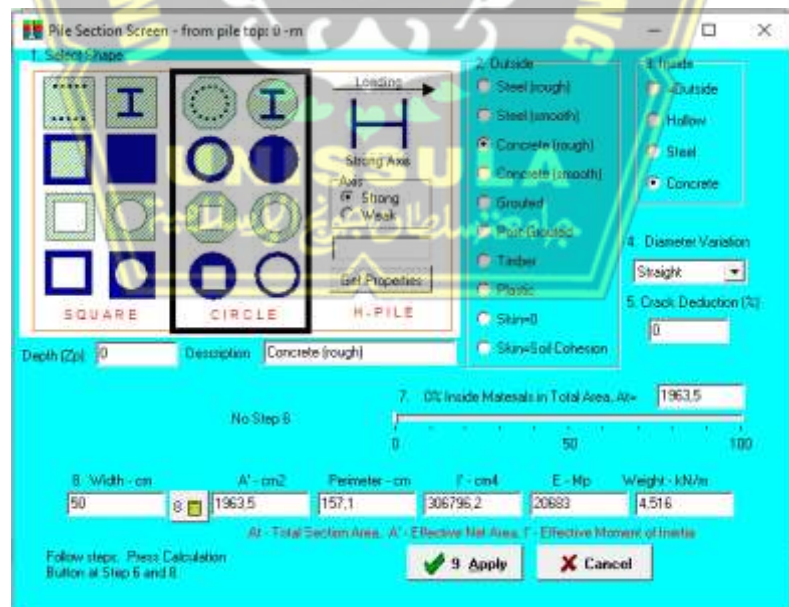
Gambar 4.12 Pile Type

2. Menentukan *pile profile* atau profil tiang yang diisi menyesuaikan dengan rencana tiang yang akan di analisa seperti kedalaman atau panjang tiang. Pada analisa pemodelan ini menggunakan tiang *bored pile* dengan panjang tiang 10 meter seperti pada Gambar 4.13.



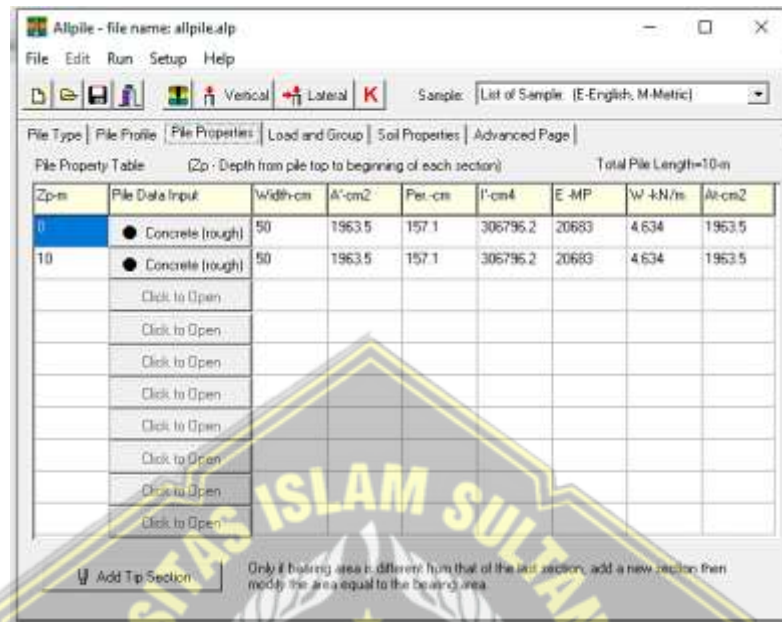
Gambar 4.13 Pile Profil

- Menentukan *pile properties* atau properti tiang fondasi, yang dilakukan dengan mengisi data *pile properties* yang akan digunakan seperti : bentuk, material yang digunakan, tulangan, diameter, dan kendala pada fondasi seperti pada Gambar 4.14.



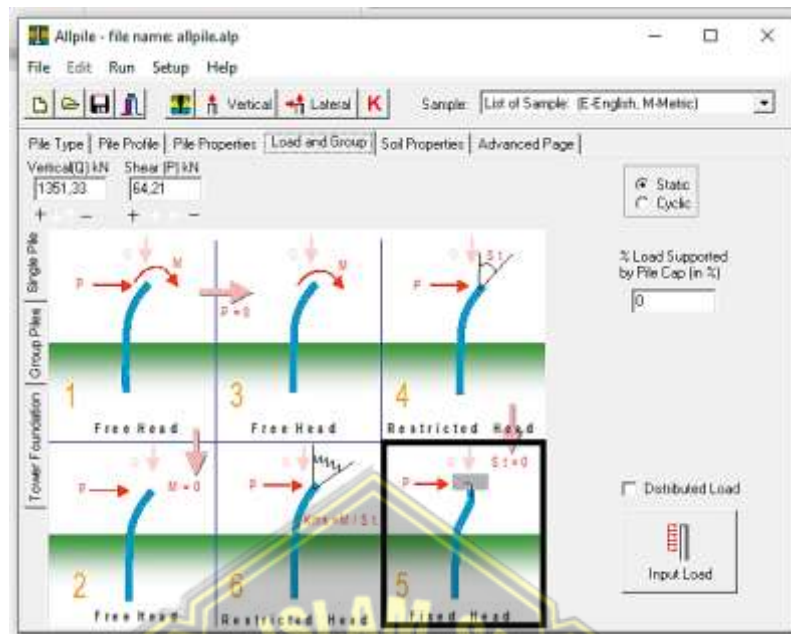
Gambar 4.14 Pile Properties

Pada kedalaman fondasi sendiri yaitu 10 meter untuk kedalaman tanah serta karakteristik tiang menyesuaikan kondisi lapangan seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Setting Kedalaman Fondasi

4. *Load and Group* merupakan pembebanan yang akan di lakukan pada fondasi yang direncanakan dengan menginput beban sesuai dengan hasil program Etabs yang didapat dengan beban vertikal dan horizontal sebesar 1351,33 kN dan 64,21 kN seperti pada Gambar 4.16.



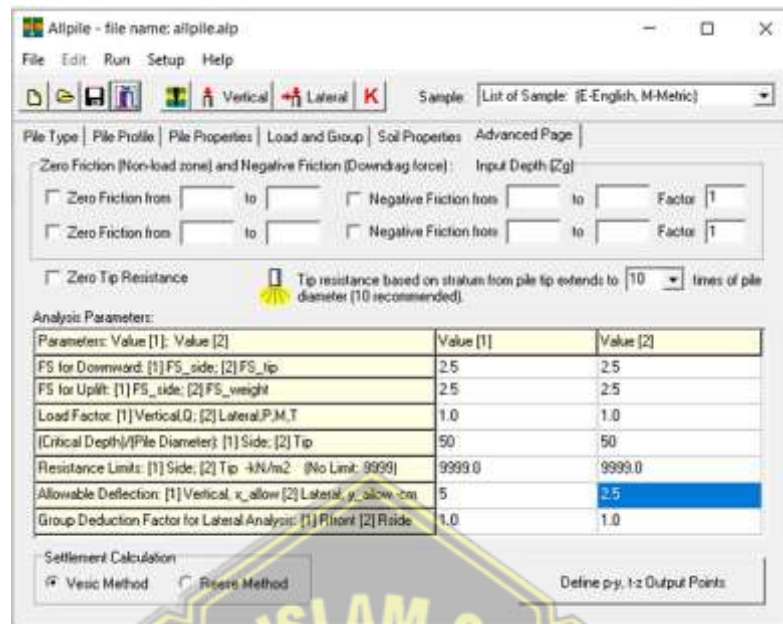
Gambar 4.16 Load and Group

5. Selanjutnya, menginput data tanah yang telah didapat dan sesuai pada lokasi dalam *Soil Properties* seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Soil Properties

6. Advanced Page ini dengan mengisi faktor keamanan dan batas-batas keamanan yang direncanakan seperti pada Gambar 4.18.

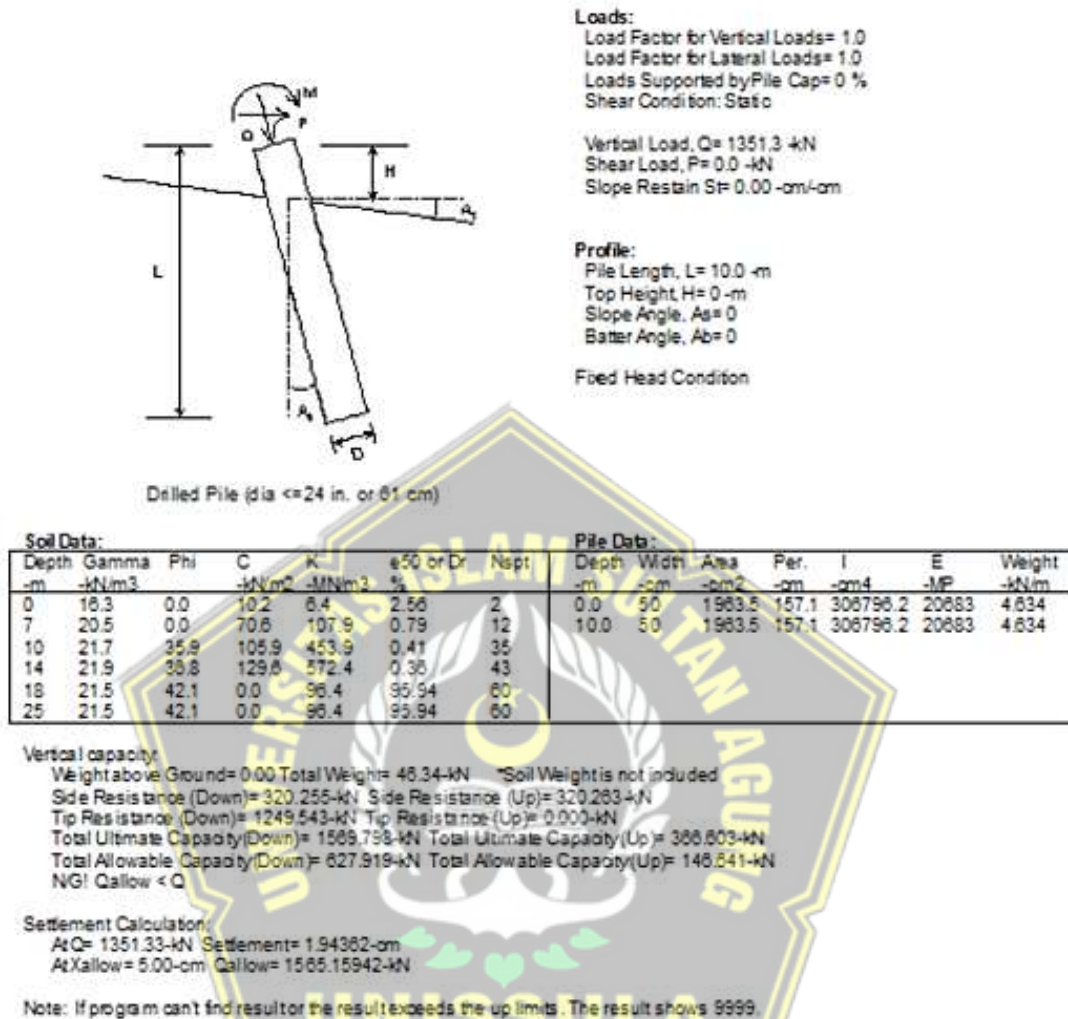


Gambar 4.18 Advanced Page

- Setelah semua data selesai dimasukkan dalam program, selanjutnya jalankan program atau klik *Run* program dengan menekan tombol F5 agar program melakukan analisa serta memberikan hasil output analisa vertical dan lateral seperti pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Gambar 4.19 Hasil Analisis Vertikal Allpile

Dari hasil analisis vertikal pada Allpile, dengan beban maksimum struktur atas sebesar $P = 1351,33 \text{ kN}$ dihasilkan kapasitas dukung ultimit tiang fondasi *bored pile* yaitu sebesar $Q_u = 1569,798 \text{ kN}$ dan kapasitas dukung ijin tiang tunggal fondasi *bored pile* yaitu sebesar $Q_{all} = 627,919 \text{ kN}$. Sehingga diketahui fondasi *bored pile* tersebut mampu menahan beban struktur atas yang dipikul dan dinyatakan memenuhi syarat **AMAN**, karena nilai kapasitas dukung ultimit fondasi lebih besar dari beban maksimum struktur atas yang bekerja.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial dengan Manual dan Program

No.	Perhitungan Daya Dukung Aksial	Qu (kN)	Qall (kN)
1	Metode Aoki de Alencar	764,14	305,66
2	Metode Langsung	1772,53	537,67
3	Metode Reese and Wright	2426,96	970,78
4	Metode Mayerhoff	2427,00	970,80
5	Program Allpile	1569,80	627,92

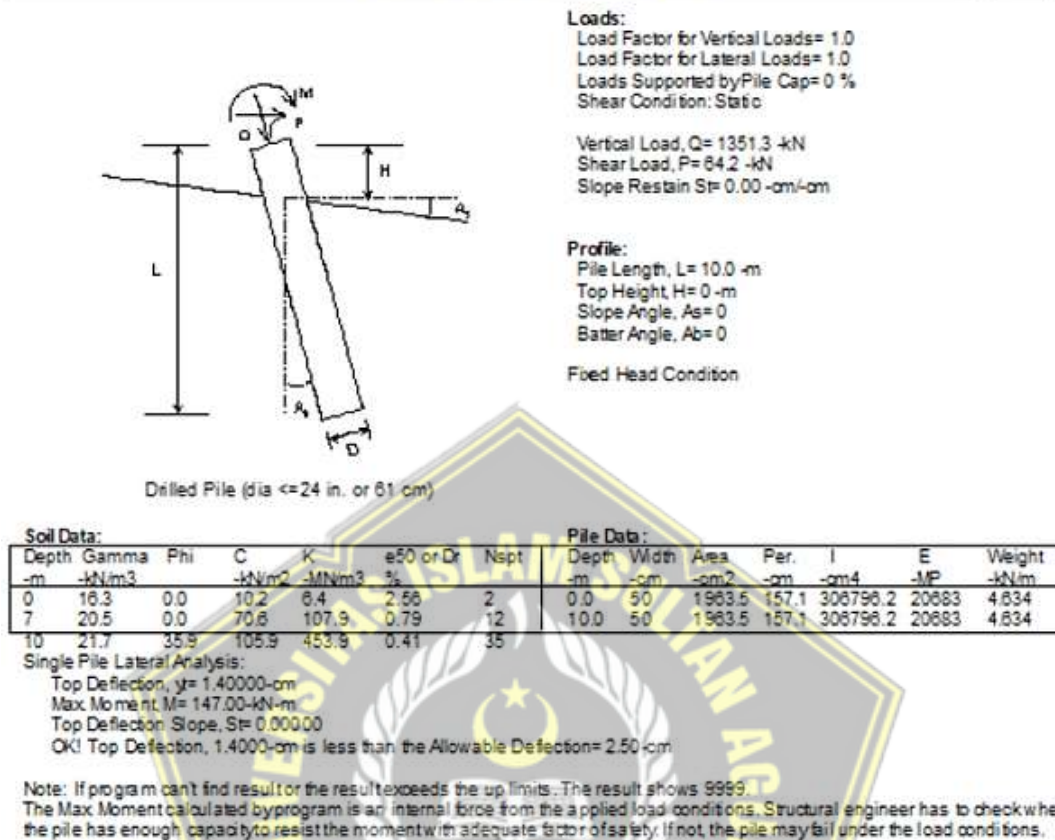
Dari hasil analisis vertikal pada Allpile, dapat diketahui juga hasil total penurunan atau *settlement* yang terjadi pada tiang fondasi *bored pile* tunggal yaitu sebesar 1,94362 cm dengan batas total penurunan yang terjadi sebesar 5,00 cm. Sehingga dinyatakan bahwa total penurunan yang terjadi memenuhi syarat **AMAN**, karena hasil total penurunan tidak melebihi batas total penurunan yang diijinkan.

Tabel 4.13 Hasil Total Penurunan Tiang Tunggal dengan Manual dan Program

No.	Perhitungan Penurunan (<i>Settlement</i>)	S _e (cm)	S _{ijin} (cm)
1	Manual	1,51	5,00
2	Program Allpile	1,94	5,00

LATERAL ANALYSIS

Figure 2



Gambar 4.20 Hasil Analisis Lateral Allpile

Dari hasil analisis lateral pada Allpile, dengan beban lateral $P = 64,21$ kN, dihasilkan nilai *top deflection* pada tiang tunggal fondasi *bored pile* sebesar 1,4 cm dengan batas *deflection* yang diijinkan yaitu 2,5 cm. Dihasilkan juga nilai momen maksimum tiang tunggal yaitu sebesar $M_y = 147$ kN.m, yang jika dibandingkan dengan perhitungan manual momen maksimum tiang menggunakan metode *Brooms* hasilnya hampir sama yaitu $M_y = 147,19$ kN.m.

4.11 Perhitungan *Negative Skin Friction* (NSF)

Untuk menghitung nilai *negative skin friction* atau gesekan negatif tiang fondasi dapat dilakukan dengan Metode β . Sebelum menganalisis perhitungan gesekan negatif tiang, dapat dilihat Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 sebagai data parameter tanah.

Berikut perhitungan gesekan negative tiang dengan metode β :

Tabel 4.14 Berat Jenis Tanah

Jenis Tanah	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_{dry} (KN/m ³)
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

(Sumber: Soil Mechanics and Foundation, John Wiley & Sons, 2000)

Tabel 4.15 Nilai β Sesuai Jenis Tanah Metode β

Jenis Tanah	β
Lempung	0,20 - 0,25
Lanau	0,25 - 0,35
Pasir	0,35 - 0,50

Data tiang fondasi *bored pile* :

Diameter tiang (d) = 0,5 m

Ketebalan lapisan tiang (h) = 10 m

Keliling tiang (p) = 1,57 m

Berat jenis tanah (γ) = 18 kN/m³

Tegangan efektif vertical tanah (σ'_v) = $\gamma \times 15D$

$$= 18 \times 15 (0,5)$$

$$= 135 \text{ kN/m}^2$$

➤ Menentukan besarnya gesekan negatif maksimum (f) :

$$f = \beta \cdot \sigma'_v$$

$$= 0,35 \times 135$$

$$= 47,25 \text{ kN/m}^2$$

➤ Menghitung gaya gesekan negatif tiang (P_N) :

$$P_N = f \cdot p \cdot h$$

$$= 47,25 \times 1,57 \times 10$$

$$= 741,83 \text{ kN}$$

4.12 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Mengakomodasikan *Negative Skin Friction* (NSF)

Untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pada fondasi *bored pile* dengan mengakomodasikan *negative skin friction* atau gesekan negatif tiang adalah sebagai berikut :

Beban maksimum struktur atas, $P = 1351,33 \text{ kN}$

Daya dukung ultimit tiang tunggal, $Q_u = 1772,53 \text{ kN}$

Gaya *negative skin friction*, $P_N = 741,83 \text{ kN}$

➤ Menentukan daya dukung yang terpengaruhi oleh NSF

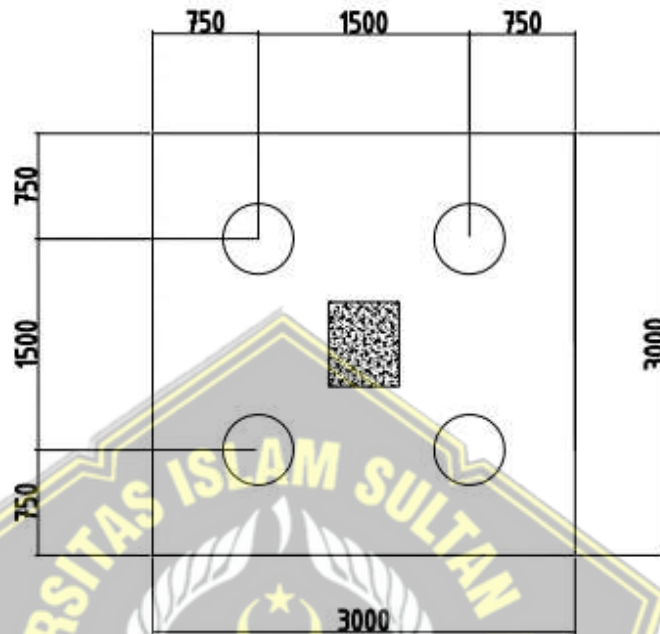
$$\begin{aligned} Q_{u \text{ NSF}} &= Q_u - P_N \\ &= 1772,53 - 741,83 \\ &= 1030,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all \text{ NSF}} &= \frac{Q_{u \text{ NSF}}}{2,5} \\ &= \frac{1030,70}{2,5} \\ &= 412,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa kapasitas daya dukung ultimit yang terpegaruhi oleh *negative skin friction* lebih kecil daripada beban maksimum struktur atas yang dipikul yaitu sebesar $1030,70 \text{ kN} < 1351,33 \text{ kN}$. Sehingga fondasi *bored pile* yang terpengaruhi *negative skin friction* tidak dapat menahan beban struktur atas yang bekerja diatasnya dan tidak memenuhi syarat keamanan.

Maka dari itu, agar fondasi *bored pile* yang terpengaruhi *negative skin friction* mampu menahan beban struktur atas yang dipikul dan memenuhi syarat keamanan, solusi yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan melakukan penambahan satu atau dua tiang *bored pile* pada setiap masing-masing kelompok tiangnya serta dilakukan pengecekan dengan menghitung kembali nilai efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang yang terpengaruhi *negative skin friction*.

4.12.1 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-2 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 1 Tiang



Gambar 4.21 Kelompok Tiang PC-2 dengan Penambahan 1 Tiang

Data Tiang Kelompok :

$$d = 500 \text{ mm}$$

$$s = 1500 \text{ mm}$$

$$m = 2$$

$$n = 2$$

➤ Efisiensi Kelompok Tiang

Metode Converse-Labarre

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \left(\text{arc tg } \frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \\ &= 1 - \left(\text{arc tg } \frac{500}{1500} \right) \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90.2.2} \right) \\ &= 1 - (18,43)(0,011) \\ &= 1 - 0,203 \\ &= 0,797 \approx 0,80 \\ &= 80 \% \end{aligned}$$

Metode *Los Angeles Group*

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \frac{d}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \\ &= 1 - \frac{500}{3,14 \times 1500 \times 2 \times 2} [2(2-1) + 2(2-1) + \sqrt{2}(2-1)(2-1)] \\ &= 1 - \frac{500}{18840} [2(1) + 2(1) + \sqrt{2}(1)(1)] \\ &= 1 - 0,027(5,414) \\ &= 1 - 0,146 \\ &= 0,854 \approx 0,85 \\ &= 85 \% \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Dukung Kelompok Tiang yang Terpengaruhi NSF**

Berdasarkan hasil output pembebanan menggunakan Etabs, beban maksimum yang diterima oleh kelompok tiang PC-2 sebesar 1351,33 kN (titik joint 49).

Cek perhitungan kapasitas dukung ultimit kelompok tiang PC-2 (4 tiang) :

$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times n \times Q_{all\ NSF} \\ &= 80\% \times 4 \times 412,28 \\ &= 1319,30\ kN < 1351,33\ kN\ (\text{TIDAK AMAN}) \end{aligned}$$

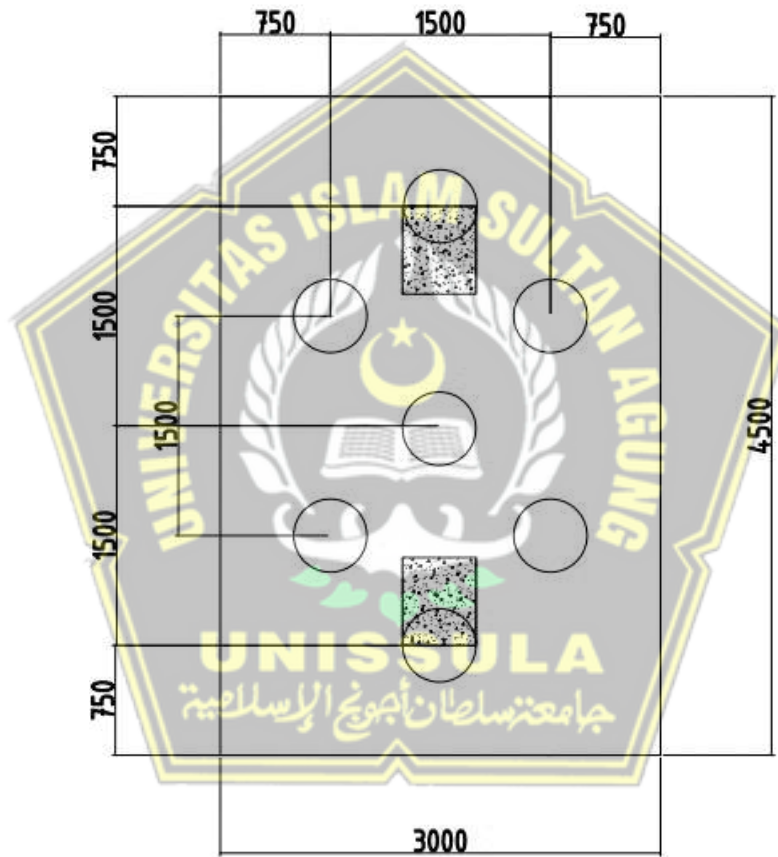
$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times n \times Q_{all\ NSF} \\ &= 85\% \times 4 \times 412,28 \\ &= 1401,75\ kN > 1351,33\ kN\ (\text{AMAN}) \end{aligned}$$

Dari cek perhitungan diatas, dengan penambahan 1 tiang pada PC-2 diketahui kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 yang terpengaruhi NSF menggunakan nilai efisiensi metode *Converse-Labarre*, tidak mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-2 lebih kecil daripada beban struktur atas yang bekerja, maka dari itu dinyatakan tidak memenuhi syarat keamanan.

Sedangkan untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 yang terpengaruhi NSF menggunakan nilai efisiensi metode *Los Angeles Group* diketahui mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-2 lebih besar daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sehingga untuk efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-2 (4 tiang) yang terpengaruhi NSF yang digunakan adalah hasil perhitungan dengan metode *Los Angeles Group* yaitu dengan nilai efisiensi 85% dan nilai kapasitas dukung ultimit sebesar $1401,75 \text{ kN} > 1351,33 \text{ kN}$, maka dari itu dengan penambahan 1 tiang pada kelompok tiang PC-2 dinyatakan memenuhi syarat **AMAN**.

4.12.2 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 1 Tiang



Gambar 4.22 Kelompok Tiang PC-1 dengan Penambahan 1 Tiang

Data Tiang Kelompok :

$d = 500 \text{ mm}$

$s = 1500 \text{ mm}$

$m = 3$

$n = 3$

➤ **Efisiensi Kelompok Tiang**

Metode Converse-Labarre

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \\
 &= 1 - \left(\operatorname{arc\,tg} \frac{500}{1500} \right) \left(\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90.3.3} \right) \\
 &= 1 - (18,43)(0,0148) \\
 &= 1 - 0,273 \\
 &= 0,727 \approx 0,73 \\
 &= 73 \%
 \end{aligned}$$

Metode Los Angeles Group

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \frac{d}{\pi.s.m.n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{3,14 \times 1500 \times 3 \times 3} [3(3-1) + 3(3-1) + \sqrt{2}(3-1)(3-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{42390} [3(2) + 3(2) + \sqrt{2}(2)(2)] \\
 &= 1 - 0,012(17,657) \\
 &= 1 - 0,212 \\
 &= 0,788 \approx 0,79 \\
 &= 79 \%
 \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Dukung Kelompok Tiang**

Berdasarkan hasil output pembebanan menggunakan Etabs, beban maksimum yang diterima oleh kelompok tiang PC-1 sebesar 2577,60 kN (titik joint 31 & 51).

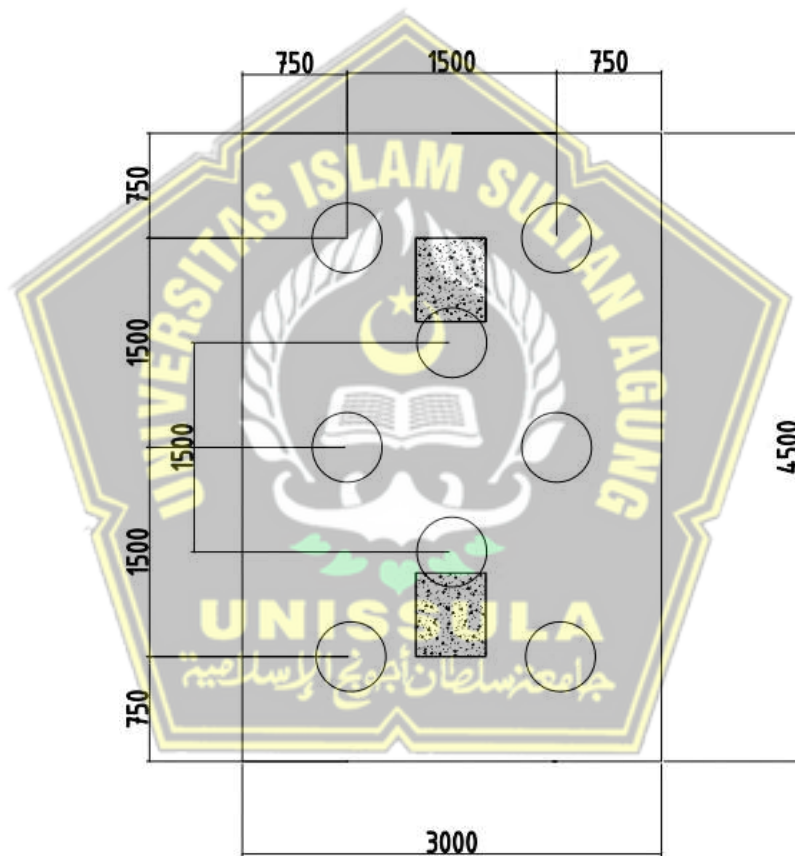
Cek perhitungan kapasitas dukung ultimit kelompok tiang PC-1 (7 tiang) :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
 &= 73 \% \times 7 \times 412,28 \\
 &= 2106,75 \text{ kN} < 2577,60 \text{ kN (TIDAK AMAN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
 &= 79 \% \times 7 \times 412,28 \\
 &= 2279,91 \text{ kN} < 2577,60 \text{ kN (TIDAK AMAN)}
 \end{aligned}$$

Dari cek perhitungan diatas, dengan penambahan 1 tiang pada PC-1 diketahui kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 yang terpengaruhi NSF dengan menggunakan nilai efisiensi metode *Converse-Labarre* maupun metode *Los Angeles Group*, tidak mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-1 (7 tiang) lebih kecil daripada beban struktur atas yang bekerja, maka dari itu dinyatakan **TIDAK AMAN**.

4.12.3 Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang PC-1 yang Terpengaruhi NSF dengan Penambahan 2 Tiang



Gambar 4.23 Kelompok Tiang PC-1 dengan Penambahan 2 Tiang

Data Tiang Kelompok :

$d = 500 \text{ mm}$

$s = 1500 \text{ mm}$

$m = 3$

$n = 3$

➤ **Efisiensi Kelompok Tiang**

Metode Converse-Labarre

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \\
 &= 1 - \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{500}{1500} \right) \left(\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90.3.3} \right) \\
 &= 1 - (18,43)(0,0148) \\
 &= 1 - 0,273 \\
 &= 0,727 \approx 0,73 \\
 &= 73 \%
 \end{aligned}$$

Metode Los Angeles Group

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \frac{d}{\pi.s.m.n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{3,14 \times 1500 \times 3 \times 3} [3(3-1) + 3(3-1) + \sqrt{2}(3-1)(3-1)] \\
 &= 1 - \frac{500}{42390} [3(2) + 3(2) + \sqrt{2}(2)(2)] \\
 &= 1 - 0,012(17,657) \\
 &= 1 - 0,212 \\
 &= 0,788 \approx 0,79 \\
 &= 79 \%
 \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Dukung Kelompok Tiang yang Terpengaruhi NSF**

Berdasarkan hasil output pembebanan menggunakan Etabs, beban maksimum yang diterima oleh kelompok tiang PC-1 sebesar 2577,60 kN (titik joint 31 & 51).

Cek perhitungan kapasitas dukung ultimit kelompok tiang PC-1 (8 tiang) :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all NSF} \\
 &= 73\% \times 8 \times 412,28 \\
 &= 2407,72 \text{ kN} < 2577,60 \text{ kN (TIDAK AMAN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \times n \times Q_{all NSF} \\
 &= 79\% \times 8 \times 412,28 \\
 &= 2605,61 \text{ kN} > 2577,60 \text{ kN (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Dari cek perhitungan diatas, dengan penambahan 2 tiang pada PC-1 diketahui kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 yang terpengaruhi NSF menggunakan nilai efisiensi metode *Converse-Labarre*, tidak mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-2 lebih kecil daripada beban struktur atas yang bekerja, maka dari itu dinyatakan tidak memenuhi syarat keamanan.

Sedangkan untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 yang terpengaruhi NSF menggunakan nilai efisiensi metode *Los Angeles Group* diketahui mampu menahan beban struktur atas, karena nilai kapasitas dukung kelompok tiang PC-1 lebih besar daripada beban struktur atas yang bekerja.

Sehingga untuk efisiensi dan kapasitas dukung kelompok tiang pada PC-1 (8 tiang) yang terpengaruhi NSF yang digunakan adalah hasil perhitungan dengan metode *Los Angeles Group* yaitu dengan nilai efisiensi 79% dan nilai kapasitas dukung ultimit sebesar $2605,61 \text{ kN} > 2577,60 \text{ kN}$, maka dari itu dengan penambahan 2 tiang pada kelompok tiang PC-1 dinyatakan memenuhi syarat **AMAN**.

4.13 Perbandingan Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Berikut adalah perbandingan hasil perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dengan beberapa metode dan dengan menggunakan program :

Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

No.	Perhitungan Daya Dukung Aksial	Qu (kN)	Qall (kN)
1	Metode Aoki de Alencar	764,14	305,66
2	Metode Langsung	1772,53	537,67
3	Metode Reese and Wright	2426,96	970,78
4	Metode Mayerhoff	2427,00	970,80
5	Program Allpile	1569,80	627,92

Dari tabel perbandingan hasil perhitungan daya dukung dengan cara manual dan menggunakan program diatas diketahui terdapat perbedaan hasil yang cukup banyak. Dapat kita ketahui bahwa hasil perhitungan daya dukung dengan metode *Aoki de*

Alencar memiliki hasil yang terkecil, dibandingkan dengan hasil yang lainnya, terlebih lagi untuk hasil yang lainnya bisa mencapai 2 hingga 3 kali lipat dari hasil metode *Aoki de Alencar*. Hal ini dikarenakan, dari rumus metode *Aoki de Alencar* pada jenis tiang *bored pile* untuk pembagiannya faktor empirik tahanan ujung tiang dan faktor empirik tahanan kulit tiang lebih besar 2 kali lipat bila dibandingkan pada jenis tiang baja atau tiang pancang.

Diketahui juga hasil perhitungan dengan metode *Reese and Wright* dan metode *Mayerhoff* memiliki hasil yang hampir sama dan kedua metode ini memiliki hasil yang paling besar dibandingkan dengan metode yang lainnya. Hal ini dikarenakan, memang secara rumus kedua metode ini memiliki rumus yang hampir sama dan secara rumus memang kedua metode ini memiliki rumus pengali yang cukup besar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan pada analisis daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam analisis pemodelan struktur dengan program Etabs diperoleh beban maksimum yang dipikul oleh fondasi *bored pile* adalah sebesar 1351,33 kN.
2. Dalam analisis perhitungan daya dukung aksial fondasi *bored pile* secara manual pada kedalaman 10 meter, dari beberapa metode diperoleh kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) dan kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) tiang *bored pile* yaitu sebesar :
 - Metode *Aoki de Alencar*, $Q_{ult} = 764,14$ kN dan $Q_{all} = 305,66$ kN
 - Metode *Langsung*, $Q_{ult} = 1772,53$ kN dan $Q_{all} = 537,67$ kN
 - Metode *Reese and Wright*, $Q_{ult} = 2426,96$ kN dan $Q_{all} = 970,78$ kN
 - Metode *Mayerhoff*, $Q_{ult} = 2427,0$ kN dan $Q_{all} = 970,8$ kN

Dalam analisis perhitungan kapasitas daya dukung lateral ultimit fondasi *bored pile* dengan Metode *Brooms* secara analitis didapat $H_u = 273,14$ kN dan secara grafis didapat $H_u = 275,90$ kN.

3. Dalam analisis perhitungan nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) dan kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) fondasi *bored pile* dengan Metode *Los Angeles Group* pada kelompok tiang PC-2 dan kelompok tiang PC-1 diperoleh :

PC-2 : $E_g = 85 \%$ dan $Q_g = 1371,06$ kN

PC-1 : $E_g = 82 \%$ dan $Q_g = 2645,34$ kN

4. Dalam analisis penurunan elastis tiang tunggal (*Single Pile*) pada tiang fondasi *bored pile* secara manual diperoleh nilai penurunan $S_{e(1)}$ sebesar 0,00426 cm, nilai penurunan $S_{e(2)}$ sebesar 0,7557 cm, nilai penurunan $S_{e(3)}$ sebesar 0,7089 cm. Jadi, nilai penurunan total sebesar $S_e = 1,5072$ cm dengan batas nilai penurunan yang diijinkan yaitu sebesar 5,00 cm.
5. Dalam analisis dengan program *Allpile* didapat dua hasil analisis yaitu :

Vertical Analysis : Kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) = 1569,798 kN

Kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) = 627,919 kN

Settlement = 1,94362 cm

Lateral Analysis : Momen Maksimum (M_y) = 147 kN.m

Top Deflection (y_t) = 1,40 cm

6. Dalam analisis efisiensi dan kapasitas daya dukung kelompok tiang dengan mengakomodasikan *negative skin friction* diperoleh :

- Kapasitas daya dukung tiang tunggal yang terpengaruhi *negative skin friction* sebesar $Q_{u\ NSF} = 1030,7$ kN, $Q_{all\ NSF} = 412,28$ kN.
- Pada kelompok tiang PC-2 dilakukan penambahan 1 tiang dan didapat nilai efisiensi dengan metode *Los Angeles Group* sebesar $E_g = 85\%$ dan kapasitas daya dukung kelompok tiang sebesar $Q_g = 1401,75$ kN.
- Pada kelompok tiang PC-1 dilakukan penambahan 2 tiang dan didapat nilai efisiensi dengan metode *Los Angeles Group* sebesar $E_g = 79\%$ dengan kapasitas daya dukung kelompok tiang sebesar $Q_g = 2605,61$ kN.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis pada laporan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yaitu sebagai berikut :

1. Dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi sebaiknya diperlukan data teknis dan data laboratorium yang lebih lengkap, agar analisis dan perhitungan akan mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat, baik secara analitis maupun dengan program aplikasi.
2. Karena keterbatasan data yang di peroleh penulis, pada analisis daya dukung dan penurunan fondasi ini masih terdapat banyak kekurangan sehingga perhitungan analisis daya dukung dan penurunan fondasi perlu di perhitungkan lebih teliti lagi.
3. Semua analisis perhitungan manual maupun menggunakan program Allpile merupakan suatu prediksi sehingga perlu disesuaikan dengan kondisi langsung dilapangan.

4. Analisis perhitungan menggunakan program aplikasi adalah pembandingan antara analisis perhitungan manual daya dukung dan penurunan fondasi. Oleh karena itu hasil perhitungan pada laporan ini terdapat perbandingan antara perhitungan manual dan perhitungan dengan program aplikasi. Sehingga hasil perhitungan pada laporan ini perlu di kaji ulang terhadap hasil perbandingan antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan program.
5. Oleh karena itu, pada analisis daya dukung dan penurunan fondasi ini membutuhkan pengalaman, ketelitian, serta keterampilan sehingga akan didapatkan hasil yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, M. Z. 2018. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis Dan Progra Plaxis V.8.6 (Studi Kasus Jalan Layang Kereta Api Medan - Bandar Khalipah KM 0+800)*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Bowles, J. E. 1993. *Analisis dan Desain Fondasi Edisi Keempat Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Chandra, A. 2018. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Menara Listrik Transmisi 500 KV Peranap-Perawang*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Erlangga. Jakarta
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Hakim, F. Al. 2021. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Pada Proyek Pembangunan Instalasi Ibu Kota Kecamatan (IKK) Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Tanah Laut*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis dan Perencanaan Fondasi I Edisi Kedua*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis dan Perencanaan Fondasi II Edisi Kedua*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ihsan, M. A. 2021. *Analisis Daya Dukung Aksial Dan Horizontal Tiang Pancang Dengan Metode Analitis, Dengan Aplikasi Pada Rumah Susun Universitas Negeri Medan*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Ramadhan, I. 2019. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile dengan Program Software Plaxis (Studi Kasus Jalan Layang Kereta Api Medan-Kualanamu KM 3 + 300)*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.

Saputra, Z. 2020. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Tunggal Diameter 0,6 M Pada Proyek Perencanaan Gedung Rawat Inap & Diagnostik Center Rs. Bhayangkara, Tebing Tinggi*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.

Sudrajat, P., & Nandang, R. 2021. *Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Pada Tanah Lunak Madukoro*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.

Tobing, D. L. 2019. *Analisis Daya Dukung Fondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Medan Area, Medan.

Widjaja, B., Lestari, A. S., & Agusman. 2006. *Negative Skin Friction Tiang Pancang Pada Tanah Lempung Studi Kasus Pabrik Tekstil Bale Endah*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Yahya, I., & Pramudya, M. A. 2022. *Analisa Daya Dukung Dan Konsolidasi Fondasi Micropile Pada Bangunan Cagar Budaya Pasar Johar Selatan*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.