

TUGAS AKHIR

**ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK
PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN
UMUM SEMARANG**

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Pendidikan
Program Sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sutan Agung**



Disusun Oleh :

**Alwi Maharani
NIM : 30201900034**

**Fadhilla Noor Damar Djati
NIM : 30201900082**

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG



Alwi Maharani

NIM : 30201900034



Fadhillah Noor Damar Djati

NIM : 30201900082

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si**

NIDN : 0620065301

2. **Dr. Abdul Rochim, ST, MT**

NIDN : 0608067601

3. **Selvia Agustina, ST., M.Eng**

NIDN : 0609099001

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: 03/A.2/SA-T/IX/2022

Pada hari ini tanggal dd-mm-yyyy berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si

Jabatan Akademik :

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

2. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST. MT

Jabatan Akademik :

Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Alwi Maharani

NIM : 3.02.019.00034

Fadhilla Noor Damar Djati

NIM : 3.02.019.00082

Judul : ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PTOYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG

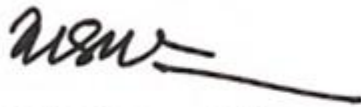
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	16/09/2022	ACC
2	Pengumpulan data	Oktober 2022	ACC
3	Seminar Proposal	10/11/2022	ACC
4	Analisis Data	November 2022	ACC
5	Penyusunan Laporan	Desember 2022	ACC
6	Selesai Laporan	06/01/2023	ACC

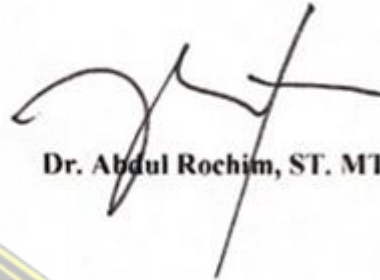
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Pendamping

Dosen Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si



Dr. Abdul Rochim, ST. MT



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. Nama : Alwi Maharani
NIM : 30201900034
2. Nama : Fadhilla Noor Damar Djati
NIM : 30201900082

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**"ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK
PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM
SEMARANG"**

Benar bebas 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.

Yang membuat pernyataan 1

Semarang, Januari 2023

Yang membuat pernyataan 2

Alwi Maharani
NIM : 3.02.019.00034

Fadhilla Noor Damar Djati
NIM : 3.02.019.00082

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. Nama : Alwi Maharani
NIM : 30201900034
2. Nama : Fadhilla Noor Damar Djati
NIM : 30201900082

JUDUL : ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG

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, Januari 2023

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Alwi Maharani

NIM : 3.02.019.00034



Fadhilla Noor Damar Djati

NIM : 3.02.019.00082

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“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”.

(Qs : Ali Imron ayat 110)

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah ”

(HR.Turmudzi)

يُحِبُّ اللَّهُ الْعَامِلَ إِذَا عَمِلَ أَنْ تَحْسِنَ. رواه الطبراني

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik”.

(HR. Thabrani)

مَنْ أَمْسَى كَأَنَّ مِنْ عَمَلٍ يَدُهُ أَمْسَى مَغْفُورًا لَهُ. رواه أحمد

“Barang siapa merasa letih di malam hari karena berkerja, maka di malam itu ia diampuni”.

(H.R. Ahmad)

الصَّلَاةُ عِمَادُ الدِّينِ الصَّلَاةُ مِفْتَاحُ كُلِّ خَيْرٍ

(رواه الطبراني)

“Shalat itu adalah tiang agama, shalat itu adalah kunci segala kebaikan”.

(H.R. Tablani)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Drs. Alamsyah Juniardi dan Ibu saya Dwi Indah Retno Wulan Sari, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si dan Dr. Abdul Rochim, ST. MT selaku dosen pembimbing, serta ibu Selvia Agustina, ST.,M.Eng selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya kaka – kakak dan adik – adik saya yang selalu menghibur dan telah memberi support kepada saya.
5. Teman – teman dan juga partner laporan tugas akhir saya Fadhilla Noor Damar Djati, terimakasih telah menjadi partner yang terbaik yang tetap kompak satu visi misi sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman grup Assalamualaikum saya yang telah memberi support dan menghibur hari-hari saya selama diperkuliahan ini.
7. Semua teman-teman Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Alwi Maharani

NIM : 3.02.019.00034

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Imron Fahrudin dan Ibu saya Eny Rohmawati, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran, dan doanya selama ini.
2. Keluarga saya yang selalu mendoakan untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si dan Dr. Abdul Rochim, ST. MT yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Alwi Maharani terima kasih atas segala waktu, usaha, dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2019, terima kasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya khususnya kepada teman-teman dekat saya, yang selalu menghibur dan selalu ada buat saya.
7. Teman-teman SMA saya yang saat ini masih berjuang dan jarang bertemu, terima kasih telah mendengarkan segala keluh kesah perjalanan awal-akhir kuliah saya.

Fadhilla Noor Damar Djati

NIM : 3.02.019.00082

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselasaikan dengan baik tentang “Analisis Fondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang”, guna 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:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST. MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA dan semua pihak yang telah memberikan ilmunya kepada penulis

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga tugas akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembacanya.

Semarang, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
ABSTRAK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah	5
2.1.1 Parameter Tanah.....	5
2.2 Klasifikasi Tanah.....	7
2.3 Penyelidikan Tanah	8
2.3.1 Pekerjaan Sondir.....	9
2.3.2 Pekerjaan Bor Mesin	9
2.3.3 Pengujian Standar Penetration Test (SPT)	10
2.4 Fondasi	11
2.4.1 Syarat Fondasi	12
2.5 Klasifikasi Fondasi	12

2.5.1 Fondasi Dangkal.....	12
2.5.2 Fondasi Sedang.....	14
2.5.3 Fondasi Dalam.....	15
2.6 Fondasi Tiang Pancang (Driven Pile).....	17
2.6.1 Klasifikasi Fondasi Tiang Pancang	18
2.6.2 Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Cara Pemasangan	21
2.6.3 Alat Tiang Pancang	22
2.7 Kapasitas Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi	23
2.7.1 Metode Reese & Wright 1977	23
2.7.2 Metode Meyerhof	26
2.7.3 Metode Tomlinson.....	28
2.8 Kapasitas Daya Dukung Lateral Tanah Fondasi	30
2.8.1 Metode Broms	30
2.9 Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Metode Vesic.....	31
2.9.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal.....	31
2.9.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang	33
2.10 Perhitungan Pile Cap	34
2.11 Analisa Pembebanan Menggunakan ETABS 18.1	35
2.12 Analisa Menggunakan Program Plaxis	37
2.13 Analisa Menggunakan Program Allpile	38
2.14 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Pendahuluan	45
3.2 Bahan dan Alat	45
3.2.1 Bahan.....	45
3.2.2 Alat.....	45
3.3 Metode Pengolahan Data.....	45
3.3.1 Permodelan Menggunakan Program ETABS	46
3.3.2 Permodelan Menggunakan Program Software Plaxis 8.6.....	47
3.3.3. Permodelan Dengan Program AllPile	48
3.3.4. Metode Perhitungan	49

3.3.5. Cara Pengolahan Data.....	50
3.4 Metode Analisa.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Tinjauan Umum.....	52
4.2 Permodelan Struktur Atas dengan Program ETABS 18.1.....	54
4.2.1 Data Bangunan	54
4.2.2 Analisis Pembebanan Struktur	55
4.3 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Existing (Single Pile)	65
4.3.1 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Metode Reese & Wright	66
4.3.2 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Metode Maryerhof	70
4.3.3 Daya Dukung Tanah Fondasi Metode Tomlinson.....	74
4.3.4 Hasil Perhitungan	78
4.4 Daya Dukung Lateral Pondasi Satu Tiang (Single Pile)	79
4.4.1 Daya Dukung Lateral Ultimit Menurut Metode Broms	79
4.5 Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang (Group Pile).....	81
4.5.1 Menentukan Jumlah Pile	81
4.5.2 Menentukan Jarak Tiang	81
4.5.3 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	82
4.6 Penurunan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Vesic	87
4.6.1 Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Tunggal (Single Pile).....	87
4.6.2 Perhitungan Penurunan Kelompok Tiang Fondasi Tiang Pancang (Group Pile)	89
4.7 Hasil Perhitungan Menggunakan Aplikasi.....	91
4.7.1 Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Plaxis 8.6.....	91
4.7.2 Analisa Permodelan dengan Program Aplikasi (AllPile).....	97
4.7.3 Hasil Perhitungan Penurunan Fondasi	101
4.8 Perhitungan Pile Cap	102
4.8.1 Berat Sendiri Pile Cap	102
4.8.2 Perhitungan Beban Maksimum Yang Diterima Satu Tiang	103
4.8.3 Perhitungan Tinggi Pile Cap	106
4.8.4 Perhitungan Penulangan Pile Cap	111

4.9 Perbandingan Hasil Data 5 Lantai dan 7 Lantai	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	123
5.1 Kesimpulan	123
5.2 Saran	124
DAFTAR PUSTAKA	125
LAMPIRAN.....	126



DAFTAR TABEL

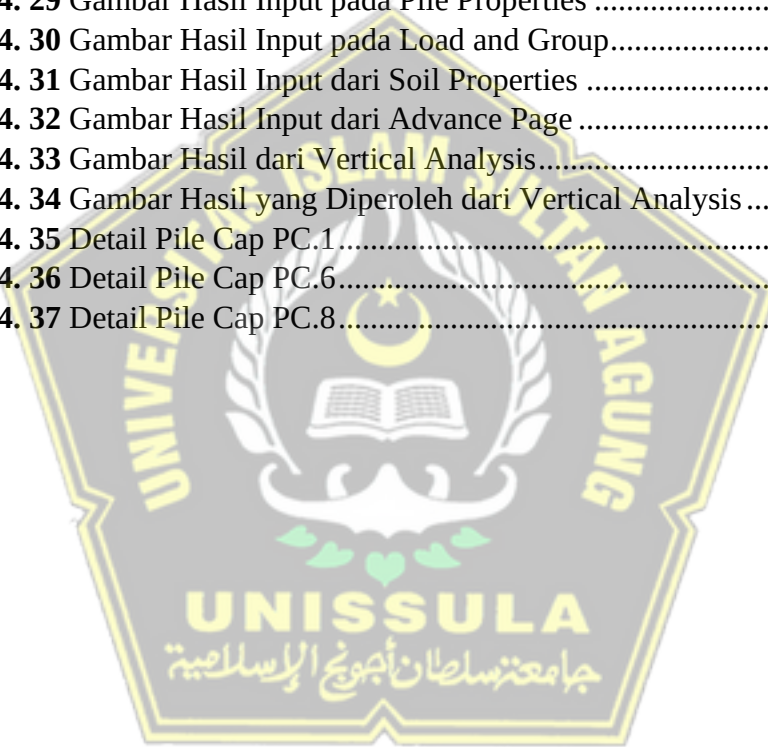
Tabel 2. 1 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio	6
Tabel 2. 2 Hubungan Jenis Tanah dan Sudut Geser Dalam	7
Tabel 2. 3 Nilai Koefisien C_p	33
Tabel 2. 4 Interval Nilai Modulus Elastisitas untuk Berbagai Tanah	33
Tabel 4. 1 Faktor Keutamaan Struktur	60
Tabel 4. 2 Faktor Reduksi Gempa.....	62
Tabel 4. 3 Beban Struktur Atas	64
Tabel 4. 4 Daya Dukung Aksial Menggunakan Metode <i>Reese & Wright</i>	70
Tabel 4. 5 Daya Dukung Aksial Menggunakan Metode <i>Mayerhof</i>	74
Tabel 4. 6 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi	78
Tabel 4. 7 Perhitungan Jumlah Tiang Akibat Beban Aksial	81
Tabel 4. 8 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang Pondasi	87
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan	101
Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Data Struktur 5 Lantai dan 7 Lantai.....	122



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alat bor mesin dengan “core barrel” (L.D. Wesley 1972)	10
Gambar 2. 2 Uji Standard Penetration test (SPT) (L.D. Wesley 1972)	11
Gambar 2. 3 Fondasi Memanjang atau Menerus (Hardiyatmo 2018)	13
Gambar 2. 4 Pondasi Telapak (Hardiyatmo 2018)	14
Gambar 2. 5 Pondasi Rakit (Hardiyatmo 2018)	14
Gambar 2. 6 Fondasi Sumuran (Hardiyatmo 2018)	15
Gambar 2. 7 Pondasi Tiang (Pile Foundation) (Sosrodarsono 1990)	16
Gambar 2. 8 Pondasi Tiang Pancang Kayu (Sosrodarsono 1990)	18
Gambar 2. 9 Fondasi Tiang Baja Profil (Agnes Dwiyanthi Winoto 2017)	19
Gambar 2. 10 Pondasi Tiang Beton Pracetak (Sosrodarsono 1990)	20
Gambar 2. 11 Pondasi Tiang Beton Pratekan 1990)	20
Gambar 2. 12 Fondasi Tiang Komposit Kayu dan Beton	21
Gambar 2. 13 Skema Alat Pemukul Tiang hammer	23
Gambar 2. 14 Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimit dengan N_{SPT}	24
Gambar 2. 15 Grafik Hubungan antara Tahanan Selimut dengan N_{SPT}	26
Gambar 2. 16 Grafik Hubungan antara Kohesi Tanah (Hardiyatmo 2018)	27
Gambar 2. 17 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit (Broms 1964)	31
Gambar 2. 18 Contoh Desain Bangunan Menggunakan ETABS	37
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisis Fondasi Tiang Pancang	 51
 Gambar 4. 1 Denah Pondasi (PT. Ciriajasa)	 53
Gambar 4. 2 Permodelan Struktur Dengan Program ETABS 18.1	54
Gambar 4. 3 Respons Spektrum Jenis Tanah Lunak Wilayah Semarang	61
Gambar 4. 4 Respons Spektrum Jenis Tanah Lunak Wilayah Semarang (http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/ . 2019)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Titik Joint yang Direncanakan (PT. CIRIAJASA)	63
Gambar 4. 6 Data Tanah (PT CIRIAJASA)	65
Gambar 4. 7 Keterangan Tanah (PT CIRIAJASA)	66
Gambar 4. 8 Detail pondasi PC.1	83
Gambar 4. 9 Detail pondasi PC.6	84
Gambar 4. 10 Detail pondasi PC.8	86
Gambar 4. 11 Pengaturan global - dimensi	91
Gambar 4. 12 Permodelan Profil Tanah	91
Gambar 4. 13 Data Umum Material Fill	92
Gambar 4. 14 Data parameter	92
Gambar 4. 15 Data Antar Muka Material	92
Gambar 4. 16 Data Material Fondasi	93
Gambar 4. 17 Permodelan Fondasi Tiang Pancang	93

Gambar 4. 18 Input Pembebanan	94
Gambar 4. 19 Beban pada Tiang Pancang.....	94
Gambar 4. 20 Susunan Jaringan Elemen.....	94
Gambar 4. 21 Muka Air Tanah	95
Gambar 4. 22 Tekanan Air Pori Aktif	95
Gambar 4. 23 Mengaktifkan Tekanan Air Pori Awal	96
Gambar 4. 24 Tahap-tahap Perhitungan Konsrtuksi	96
Gambar 4. 25 Perpindahan Total Ekstrim	97
Gambar 4. 26 Gambar Input pada Pile Type.....	97
Gambar 4. 27 Gambar Input pada Pile Profile	98
Gambar 4. 28 Gambar Hasil Input pada Pile Section.....	98
Gambar 4. 29 Gambar Hasil Input pada Pile Properties	99
Gambar 4. 30 Gambar Hasil Input pada Load and Group.....	99
Gambar 4. 31 Gambar Hasil Input dari Soil Properties	100
Gambar 4. 32 Gambar Hasil Input dari Advance Page	100
Gambar 4. 33 Gambar Hasil dari Vertical Analysis.....	100
Gambar 4. 34 Gambar Hasil yang Diperoleh dari Vertical Analysis	101
Gambar 4. 35 Detail Pile Cap PC.1.....	114
Gambar 4. 36 Detail Pile Cap PC.6.....	118
Gambar 4. 37 Detail Pile Cap PC.8.....	122



ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KELAS POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG

Abstrak

Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang berlokasi di Jalan Arteri Soekarno-Hatta Gayamsari Semarang, Jawa Tengah. Dalam penyusunan tugas akhir ini ditujukan untuk mengetahui perhitungan besar pembebanan struktur atas gedung yang semula 5 lantai didesain kembali menjadi 7 lantai, daya dukung fondasi, serta penurunan fondasi yang terjadi. Agar menghasilkan perhitungan struktur bangunan yang aman dan efisien sesuai dengan SNI yang ada di Indonesia.

Perencanaan awal dilakukan dengan memperhitungkan beban aksial dengan menggunakan program ETABS v.18.1. Sehingga memperoleh hasil *output* yang akan digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi aksial dan lateral dengan menggunakan metode Resse & Wright, Mayerhoff, Tomlinson, dan Brooms. Selanjutnya dilakukan perhitungan penurunan dengan menggunakan metode manual Vesic, serta program Aplikasi Allpile dan Plaxis.

Dalam Analisa daya dukung pondasi spun pile dengan diameter 600 mm yang dihitung secara manual, didapat nilai daya dukung ujung (QP) pada kedalaman 30 meter sebesar 42,5313 kN, daya dukung selimut sebesar 246,321 kN, daya dukung aksial (Qu) sebesar 288,852 kN, dan nilai daya dukung ijin (Qall) sebesar 96,2841 kN. Daya dukung lateral pada fondasi menggunakan metode *Brooms* sebesar 7,9497715 kN. Analisa penurunan yang terjadi akibat beban aksial dan beban lateral pada fondasi spun pile secara manual didapat nilai penurunan total Se 6,704 mm, dengan batas nilai penurunan yang diijinkan yaitu 60 mm. Analisa penurunan fondasi *spun pile* menggunakan program Plaxis menghasilkan penurunan pada fondasi *spun pile* sebesar 0,044 mm. Selanjutnya Analisa penurunan fondasi *spun pile* menggunakan program Allpile memiliki besar penurunan yaitu 0,14 mm.

Kata Kunci : Daya Dukung, Fondasi, Tiang Pancang, Penurunan.

ANALYSIS OF PILE FOUNDATION IN PUBLIC WORKS POLYTECHNIC CLASS BUILDING PROJECT IN SEMARANG

Abstrack

Construction of the Semarang Public Works Polytechnic Class Building which is located on Soekarno-Hatta Gayamsari Arterial Road Semarang, Central Java. In preparing this final project it is aimed at knowing the calculation of the loading of the superstructure of the building which was originally 5 floors to be redesigned to 7 floors, the bearing capacity of the foundation, and the settlement of the foundation that occurs. In order to produce safe and efficient calculations of building structures in accordance with SNI in Indonesia.

Initial planning is carried out by calculating the axial load using the ETABS v.18.1 program. So as to obtain the output results that will be used to calculate the bearing capacity of the axial and lateral foundations using the Resse & Wright, Mayerhoff, Tomlinson, and Brooms methods. Furthermore, settlement calculations were carried out using the Vesic manual method, as well as the Allpile and Plaxis Application programs.

In the analysis of the bearing capacity of the spun pile foundation with a diameter of 600 mm which is calculated manually, the value of the end bearing capacity (Q_p) at a depth of 30 meters is 42.5313 kN, the blanket bearing capacity is 246.321 kN, the axial bearing capacity (Q_u) is 288.852 kN, and the allowable carrying capacity (Q_{all}) of 96.2841 kN. The lateral bearing capacity of the foundation using the Broms method is 7.9497715 kN. Settlement analysis that occurs due to axial loads and lateral loads on spun pile foundations manually obtained a total settlement value of S_e 6.704 mm, with a limit of allowable settlement value of 60 mm. Analysis of the settlement of spun pile foundations using the Plaxis program resulted in a settlement of 0.044 mm in spun pile foundations. Furthermore, the settlement analysis of spun pile foundations using the Allpile program has a settlement of 0.14 mm.

Keywords : Bearing Capacity, Foundation, Piling, Settlement

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang merupakan salah satu kota di Indonesia yang menjadi pusat perdagangan, bisnis, dan pendidikan. Hal ini mendorong warga berbagai daerah di Indonesia seperti di luar kota maupun luar pulau untuk pergi dan menetap di Semarang dalam rangka mencari penghasilan ataupun untuk menimba ilmu pendidikan. Akibatnya, Semarang menjadi kota yang padat akan penduduk sehingga sarana prasarana pendidikan semakin dibutuhkan. Untuk menyediakan sarana prasarana pendidikan yang baik maka perlu dibangun tempat pendidikan yang berkualitas dan nyaman, sehingga proses pendidikan berjalan dengan baik. Maka dari itu Kementerian PUPR melaksanakan Proyek Pembangunan Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

Politeknik sendiri merupakan perguruan tinggi yang menyediakan pelatihan kejuruan dalam berbagai ilmu pengetahuan. Pendidikan yang lebih menitikberatkan pada penyediaan kualifikasi atau keahlian dikenal dengan pendidikan kejuruan. Politeknik berbeda dengan universitas yang utamanya menyediakan materi kuliah berbasis teori sedangkan politeknik lebih berkonsentrasi pada keterampilan dan ilmu terapan.

Pembangunan Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang berlokasi di Jalan Arteri Soekarno-Hatta Gayamsari Semarang, Jawa Tengah. Politeknik ini terbagi atas 2 zona yaitu zona A dan zona B. Dalam penelitian pada tugas akhir ini akan terfokuskan pada zona B yaitu pada Gedung Kelas, hal ini dikarenakan gedung kelas memiliki 5 lantai. Dimana lantai tersebut merupakan lantai yang paling tinggi dibanding dengan gedung lainnya. Akan tetapi dalam perhitungan yang lebih detail untuk memperhitungkan beban pada fondasi, perencanaan yang semula 5 lantai ditambah lagi 2 lantai menjadi 7 lantai. Sehingga fondasi tiang pancang jenis *spun pile* yang digunakan harus diperhitungkan dengan baik dan mengurangi terjadinya penurunan tanah yang akan menyebabkan kegagalan bangunan dengan metode

perencanaan perhitungan beban aksial menggunakan *software* ETABS v.18.1 serta penurunan fondasi tiang pancang jenis *spun pile* menggunakan perhitungan manual metode vesic, *software* Plaxis v.8.6, dan *software* AllPile.

Sehingga berdasarkan penjelasan di atas, maka penulis akan menyusun Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis Fondasi Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang”**.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana perencanaan dan berapa beban aksial struktur atas pada Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dengan menggunakan *software* ETABS v.18.1?
- b. Bagaimana perhitungan nilai daya dukung aksial dan daya dukung lateral yang diterima fondasi tiang pancang pada perencanaan Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ?
- c. Bagaimana hasil perhitungan penurunan fondasi yang terjadi dengan menggunakan metode vesic, *software* Plaxis v.8.6, dan *software* AllPile?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Membuat perencanaan struktur atas dengan *software* ETABS v.18.1 dan berat beban aksial yang diterima oleh fondasi tiang pancang yang akan direncanakan.
- b. Perhitungan nilai daya dukung tanah aksial dan daya dukung tanah lateral.
- c. Perhitungan nilai penurunan pondasi tiang pancang dengan menggunakan metode vesic, *software* Plaxis v.8.6, dan *software* AllPile.
- d. Perhitungan yang direncanakan ditinjau hanya fokus pada fondasi tiang pancang.
- e. Denah fondasi menggunakan gambar kerja pada proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
- f. Perhitungan perbedaan hasil perhitungan 5 lantai menjadi 7 lantai

- g. Data tanah berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan oleh konsultan perencana PT Ciriajasa proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

- a. Mengetahui besar pembebanan struktur atas 7 lantai pada perencanaan fondasi tiang pancang Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dengan menggunakan *software* ETABS v.18.1.
- b. Mengetahui berapa nilai daya dukung aksial dan lateral pada fondasi tiang pancang dengan perhitungan manual, metode *Broms* metode *Resse and Wright*, metode *Mayerhoff*, dan metode *Tomlinson*.
- c. Mengetahui perbandingan angka penurunan yang terjadi akibat beban yang diterima pada fondasi tiang pancang dengan *software* Plaxis v.8.6 dan *software* AllPile serta menggunakan manual metode *Vesic*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan pada tugas akhir “Analisis Fondasi Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang” adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, dan sistematika penulisan yang akan digunakan untuk penyusunan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang akan dijadikan untuk menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini yang didapatkan dari berbagai sumber seperti buku literatur, jurnal ilmiah, *website*, serta hasil penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai tahap penelitian, pengumpulan data, metode pengolahan hasil, bagian alir, dan jadwal pelaksanaan dalam penyusunan tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai hasil perhitungan pembebanan struktur atas, perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang yang diperoleh dari pengolahan data-data secara manual maupun dengan menggunakan *software*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan yang ditinjau berdasarkan dari perencanaan yang telah disusun serta saran terhadap penelitian berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah terbentuk karena adanya pelapukan fisika dan pelapukan kimiawi pada batuan. Pelapukan fisika di Indonesia disebabkan oleh pembekuan dan pengeringan terus menerus sehingga menghancurkan batuan menjadi pasir atau kerikil. (L.D. Wesley 1972). Definisi tentang tanah yang dipergunakan oleh seorang insinyur sipil agar bersifat kesepakatan dan berbeda dengan definisi yang digunakan oleh seorang ahli geologi ahli ilmu tanah, maupun orang awam. Seorang insinyur sipil menganggap tanah termasuk semua bahan, organik dan anorganik, yang ada diatas lapisan batuan tetap. Di dalam menafsirkan dan mempergunakan pekerjaan definisi lain insinyur harus selalu ingat bahwa terdapat banyak perbedaan dasar dalam terminologi dan definisi yang digunakan untuk mengklasifikasikan dan menjelaskan perilaku tanah secara fisis dan kimiawi.

Klasifikasi tanah berdasarkan lekatan antar butirnya tanah dibagi menjadi 2 jenis secara umum yaitu, tanah kohesif dan tanah non kohesif. Tanah kohesif yaitu tanah yang memiliki lekatan antar butir-butirnya seperti lempung. Sementara tanah non kohesif / tidak berkohesif adalah jenis tanah lekatan antar butirnya sangatlah sedikit atau bahkan tidak ada.

Dalam melakukan perencanaan diperlukan pemahaman mengenai karakteristik tanah dengan paham dan jelas. Beberapa karakteristik tanah diantaranya berupa ukuran dari butiran tanah, berat jenis tanah, kadar air tanah, kerapatan, angka pori, serta sudut geser pada tanah, dari karakteristik tersebut digunakan sebagai unsur pendukung suatu fondasi.

2.1.1 Karakteristik Tanah

Elemen tanah mempunyai 3 (tiga) fase, yaitu butiran padat, air, dan udara. Pemahaman mengenai komposisi tanah untuk memutuskan dalam memperoleh parameter tanah serta hubungan antar volume dengan berat. Dibawah ini parameter

tanah yang digunakan untuk mendeskripsikan sifat dan karakteristik pada tanah yaitu:

a. Elastisitas Tanah

Nilai Modulus Young menunjukkan nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Suatu Nilai Modulus Elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan melalui data sondir dan jenis tanah.

b. *Poisson Ratio*

Gaya tekan poros terhadap ekspansi lateral digunakan untuk menghitung rasio poisson. Jenis tanah dapat digunakan untuk menentukan nilai rasio poisson, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 di bawah ini: Tabel 2. 1 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*.

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

(Sumber :(Das 2011))

c. *Sudut Geser Dalam (ϕ)*

Ketahanan tanah terhadap tegangan kerja dalam bentuk tekanan tanah lateral ditentukan oleh nilai sudut geser internal dan kohesi. Pengukuran Uji Geser Langsung juga dapat menghasilkan nilai ini. Tabel 2.3 menampilkan hubungan antara jenis tanah dan internal sudut geser:

Tabel 2. 2 Hubungan Jenis Tanah dan Sudut Geser Dalam

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Kerikil kerakal	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^{\circ} - 30^{\circ}$
Lempung	$20^{\circ} - 25^{\circ}$

(Das 2011)

d. Kohesi Tanah (c)

Gaya tarik yang terjadi antar butir tanah disebut dengan kohesi. Kohesi secara simultan dengan sudut geser tanah dan kuat geser tanah untuk menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi yang disebabkan oleh regangan. Ketika tegangan geser dan tegangan normal digabungkan dalam keadaan kritis, terjadi deformasi. Geser Langsung Temuan pengujian memberikan dasar untuk nilai ini. Berikut ini adalah bagaimana nilai ini ditentukan dari data sondir (qc):qc/20 kg/cm² adalah kohesi (c).

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasar satu kondisi-kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan kondisi fisis tertentu lainnya. Oleh karena itu sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan disesuaikan dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu.

Klasifikasi dapat memberi tuntunan umum secara empiris yang diperoleh dari hasil pengalaman lapangan orang lain. Akan tetapi, system klasifikasi harus dipergunakan secara hati-hati. Klasifikasi tanah bertujuan untuk mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifatnya, hal ini digunakan untuk mengetahui tentang karakteristik dari pemadatan, kekuatan suatu tanah, berat isi tanah dan lain sebagainya dalam bentuk suatu data. Sistem ini bisa menggunakan

beberapa sistem yaitu sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Officials*) dan *Unified Soil Classification System* (USCS).

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) ialah system klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli Teknik tanah dan fondasi. Sistem ini pertama-tama dikembangkan oleh Casagrande (1948) dan dikenal sebagai sistem klasifikasi *Airfield*.

Pada sistem ini membagi tanah kedalam tiga kelompok utama yaitu tanah berbutir kasar, tanah butir halus dan tanah sangat organis. Berikut adalah garis besarnya membedakan tanah atas tiga kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), tanah yang lebih dari 50 % bahannya tertahan pada ayakan no. 200 (0,075 mm). Tanah butir kasar dibagi atas kerikil (G) dan pasir (S).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), tanah yang lebih dari 50 % bahannya lewat ayakan No. 200. Tanah butir halus ini dibagi menjadi lanau (M), lempung (C), serta lanau dan lempung organik (O) tergantung bagaimana tanah itu terletak pada grafik plastisitas (hubungan batas cair, indeks plastisitas).
3. Tanah organik (Gambut/Humus), tanah ini dapat diidentifikasi secara visual atau secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $> 25\%$.

2.3 Penyelidikan Pada Tanah

Penyelidikan tanah ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah dan jenis lapisannya. Daya dukung dan jenis pondasi yang akan digunakan dalam perencanaan dipengaruhi dalam penelitian ini. Ada dua jenis pemeriksaan tanah, yaitu

pemeriksaan lapangan seperti: pemeriksaan sondir, uji penetrasi baku (SPT), dan pemeriksaan di laboratorium.

2.3.1 Pekerjaan Sondir

Tes sondir dilakukan dengan menggunakan alat sondir yang dapat mengukur nilai perlawanan konus (*Cone Resistance*) dan hambatan lekat (*Local Friction*) secara langsung di lapangan. Hasil penyondiran disajikan dalam bentuk diagram sondir yang memperlihatkan hubungan antara kedalaman sondir dibawah muka tanah dan besarnya nilai perlawanan konus (q_c) serta jumlah hambatan pelekat (TF). (Anugrah Pamungkas & Erny Harianti 2013)

Penyelidikan sondir ini bertujuan untuk menentukan tahanan geser (*local friction* = f_s dalam kg/cm) sepanjang lubang setelah kerucut dilewati dengan melakukan pengukuran langsung tahanan ujung (*conus resistance* = q_c dalam kg/cm²) pada suatu titik. Uji sondir dilakukan dengan kecepatan konstan 2 cm/detik setiap 20 cm. Hasil dan penggambaran grafik meliputi:

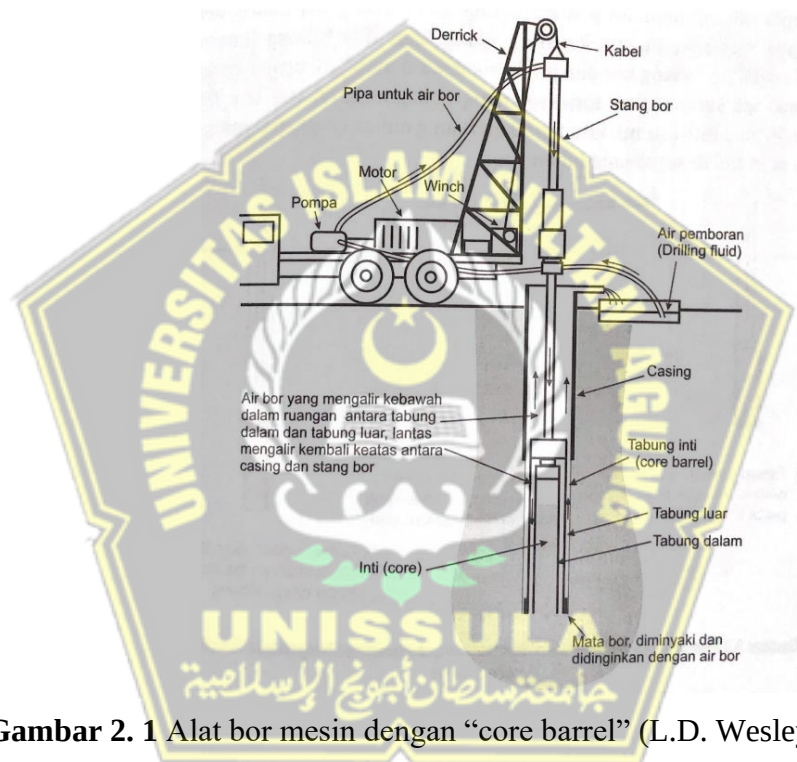
- Grafik yang menunjukkan hubungan antara tahanan konus (*conus resistance*) terhadap kedalaman
- Grafik yang menunjukkan lekatan setempat (*local friction*)
- Grafik yang menunjukkan jumlah hambatan lekat (*total friction*)
- Grafik yang menunjukkan hubungan antara geser lokal dengan tekanan kerucut (*friction ratio*).

2.3.2 Pekerjaan Bor Mesin

Untuk melakukan pengeboran sampai dalam atau dalam tanah yang keras, perlu digunakan alat bor mesin. Pengujian ini dilakukan secara langsung di lapangan. Prinsip operasi mesin ini ditunjukkan pada Gambar 2.1. Alat semacam ini umumnya terdiri dari tiga bagian berikut:

- Alat yang dapat memutar setang-setang bor dengan kecepatan yang bisa diatur, juga dapat memberikan gaya ke bawah.

- Pompa, untuk memompakan air pengeboran (air pencuci) ke bawah melalui lubang di tengah-tengah setang bor. Fungsi air ini pertama-tama adalah untuk mendinginkan dan melumasi pahat (*bit*), dan kedua adalah mengangkut potongan-potongan tanah (atau batu) ke atas sampai ke luar pada permukaan tanah.
- Roda pemutar (*winches*) dan derik atau tripod untuk menaikkan dan menurunkan setang-setang bor dan alat-alat lain dalam lubang bor.



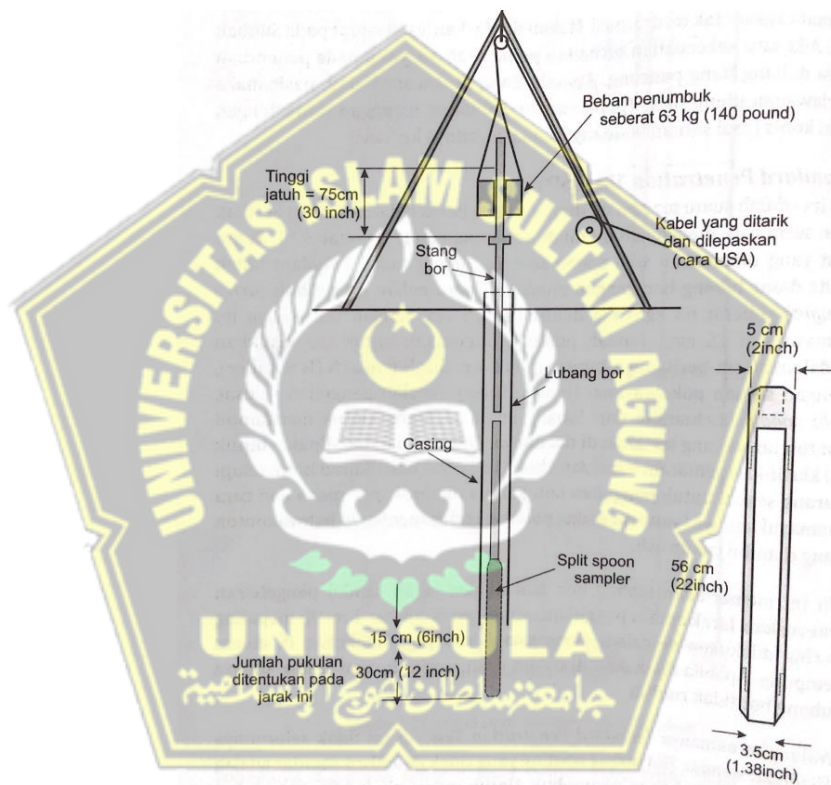
Gambar 2. 1 Alat bor mesin dengan “core barrel” (L.D. Wesley 1972)

2.3.3 Pengujian SPT (*Standar Penetration Test*)

Standard Penetration Test (SPT) dilaksanakan pada lubang bor setelah pengambilan contoh tanah pada setiap beberapa interval kedalaman. Cara uji dilakukan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah.

Uji ini adalah suatu macam uji dinamis yang berasal dari Amerika Serikat. Alat serta cara melakukan uji ini diperlihatkan pada gambar 2.2. suatu alat yang

dinamakan *split spoon sampler* dimasukan ke dalam tanah pada dasar lubang bor dengan memakai suatu beban penumbuk (*drive weight*) seberat 63 kg, yang dijatuhkan 75 cm. Setelah *split spoon* ini dimasukkan 15 cm, jumlah pukulan ditentukan untuk memasukkan sedalam 30 cm berikutnya. Jumlah pukulan ditentukan untuk memasukkan sedalam 30 cm berikutnya. Jumlah pukulan ini disebut N (*N number*), dengan satuan pukulan/kaki (*blows/30 cm*). Setelah pengujian selesai, *split spoon* dikeluarkan dari lubang bor dan dibuka untuk mengambil contoh tanah yang tertahan di dalamnya.



Gambar 2. 2 Uji Standard Penetration test (SPT) (L.D. Wesley 1972)

2.4 Fondasi

Fondasi adalah struktur bangunan paling bawah yang berhubungan langsung dengan tanah. Semua bangunan memerlukan alas yang kuat untuk menopang beban bangunan dan gaya luar (seperti gempa dan angin). Fondasi tersebut berfungsi agar bangunan dapat berdiri kokoh dan stabil. Sebagai penopang bangunan, fondasi harus

direncanakan dengan cermat. Jika fondasi gagal menopang beban bangunan di atasnya, seluruh bangunan dapat runtuh. (Agnes Dwiyanthi Winoto 2017)

2.4.1 Syarat Fondasi

- a. Material yang digunakan sebagai fondasi harus tahan lama dan tidak mudah hancur
- b. Fondasi harus kuat menahan muatan geser akibat muatan tegak ke bawah
- c. Fondasi harus dapat menyesuaikan pergerakan tanah yang tidak stabil
- d. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat. Fondasi yang tidak diletakan pada lapisan tanah yang keras dapat
- e. Fondasi harus diletakan menerus di bawah seluruh dinding bangunan dan di bawah kolom yang berdiri bebas
- f. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat. Fondasi yang tidak diletakan pada lapisan tanah yang keras dapat mengakibatkan penurunan fondasi
- g. Fondasi tidak boleh diletakan sebagian pada tanah yang keras dan sebagian lagi pada tanah yang lembek karena bisa mengakibatkan fondasi retak atau patah.

2.5 Klasifikasi Fondasi

Klasifikasi fondasi berdasarkan kedalamannya dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu, pondasi dangkal, pondasi sedang, dan pondasi dalam. Berikut 3 jenis pondasi tersebut :

2.5.1 Fondasi Dangkal

Jika digunakan pada kedalaman tanah keras fondasi dangkal tidak terlalu jauh dengan permukaan tanah. Fondasi dangkal umumnya digunakan untuk menahan beban bangunan yang tidak besar seperti rumah sederhana. Karena fondasi jenis ini meneruskan beban ke lapisan tanah, maka alasnya adalah tempat fondasi dangkal ini memperoleh kekuatannya. Fondasi dangkal adalah fondasi yang kedalamannya kurang dari atau sama dengan lebar pondasi. ($D \leq B$) (Terzaghi, 1940). Terdapat 5 macam pengklasifikasian fondasi dangkal, yaitu :

- a. Fondasi setempat (*single footing*)

Fondasi setempat memiliki fungsi untuk menahan beban bangunan yang dipusatkan pada bagian tertentu bangunan seperti kolom. Dalam konstruksi bangunan kayu, fondasi ini biasanya digunakan pada bagian bawah struktur kolom yang terdapat di daerah rawa.

b. Fondasi menerus (*continous footing*)

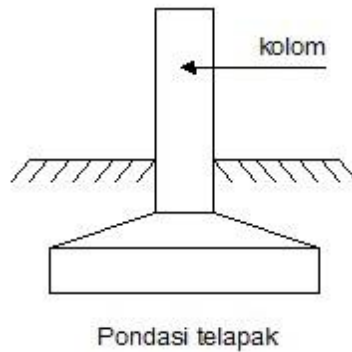
Fondasi menerus disebut juga dengan fondasi lajur. Fondasi menerus biasa digunakan pada bangunan sederhana (tidak bertingkat) dengan daya dukung tanah yang baik. Konstruksi pada fondasi menerus ini mendistribusikan beban bangunan secara rata ke lapisan tanah pada dinding. Fondasi menerus / *continous footing* ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Fondasi Menerus (Hardiyatmo 2018)

c. Fondasi telapak

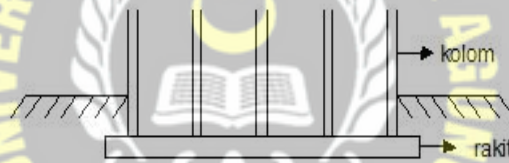
Untuk kolom struktural dan beban titik lainnya dengan daya dukung yang bervariasi, digunakan fondasi ini. Fondasi telapak dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Fondasi Telapak (Hardiyatmo 2018)

d. Fondasi rakit

Untuk tanah lunak, digunakan fondasi rakit dengan jarak kolom ke segala arah. Sisi-sisi telapak bertemu di tengah saat digunakan. Fondasi rakit dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Pondasi Rakit (Hardiyatmo 2018)

e. Fondasi sarang laba – laba

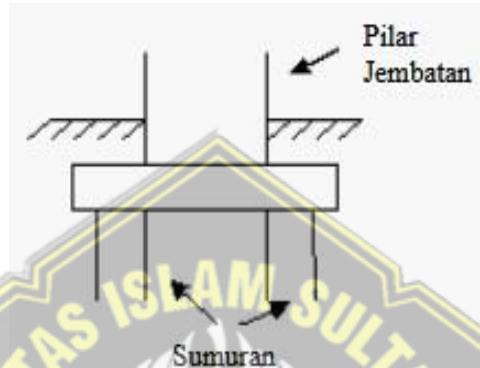
Fondasi sarang laba-laba digunakan untuk tanah lunak dan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi. Konstruksi fondasi sarang laba-laba adalah fondasi plat beton tipis dan tinggi (disebut dengan rib) yang dibentuk sedemikian rupa sehingga menyerupai sarang laba-laba.

2.5.2 *Fondasi Sedang*

Fondasi sedang adalah fondasi yang pada kedalaman dangkal dan dalam, menyalurkan beban bangunan ke dalam tanah keras atau batuan. Jika fondasi tiang tidak dapat digunakan, maka digunakan fondasi karena proses ereksi menimbulkan

getaran yang dapat mengganggu kestabilan bangunan di sekitarnya. Contoh klasifikasi fondasi sedang yaitu fondasi sumuran (*strauss pile*).

Fondasi sumuran dikategorikan dalam fondasi sedang karena fondasi ini adalah peralihan dari fondasi dangkal ke fondasi dalam. Disebut dengan fondasi sumuran karena pelaksanaan pekerjaan fondasi ini mirip pelaksanaan pekerjaan membuat sumur. Fondasi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.6



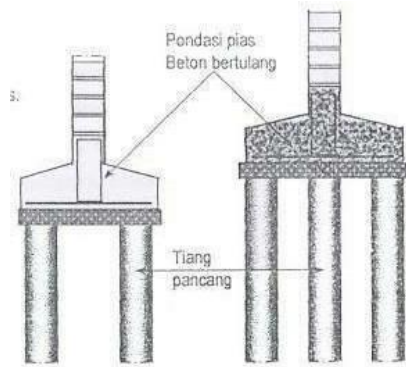
Gambar 2. 6 Fondasi Sumuran (Hardiyatmo 2018)

2.5.3 Fondasi Dalam

Jika beban pada bangunan yang dipikul sangat besar dan kedalaman tanah keras jauh dengan permukaan tanah, digunakan fondasi dalam. Dalam kebanyakan kasus, fondasi memiliki kedalaman yang lebih besar dari lebarnya ($D > B$). Beban bangunan atas dipindahkan dari fondasi ini ke lapisan yang lebih dalam sampai ditemukan jenis tanah yang dapat menopang beban tersebut. Fondasi memiliki berbagai jenis, yaitu :

a. Fondasi tiang (*pile foundation*)

Fungsi dari fondasi ini adalah untuk menyalurkan beban horizontal dan vertikal ke tanah. Fondasi ini biasanya memiliki panjang yang lebih pendek dan diameter yang lebih kecil dari fondasi sumur. Tanah pendukung juga dikenal sebagai fondasi tiang pancang, dapat ditemukan 10 meter di bawah permukaan tanah. Fondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Pondasi Tiang (*Pile Foundation*) (Sosrodarsono 1990)

Berdasarkan metode pelaksanaannya, fondasi tiang pancang dikategorikan sebagai berikut::

1. Fondasi tiang pancang (*driven pile*)

Untuk pemasangan fondasi tiang ini melibatkan pencetakan dan kemudian menekan bahan di tanah dalam bentuk persegi atau bulat.

2. Fondasi tiang bor (*bored pile*)

Untuk pemasangan pondasi tiang pancang ini melibatkan pengeboran tanah sampai kedalaman tertentu. Setelah itu, beton dicor di atas tulangan baja.

3. Kaison (*caisson*)

Bentuk pondasi tiang pancang adalah kotak atau silinder yang telah dicetak sebelum dimasukkan ke dalam tanah sampai kedalaman tertentu dan dicor dalam beton. Tiang bor berdiameter besar adalah nama lain dari tiang pancang Kaison.

Tergantung pada jenis tiang dan bagaimana mentransfer beban ke tanah dasar pondasi, Hal ini tergantung pada jenis pondasi yang akan mendukung beban kerja, yaitu :

- a. Beban akan diterima jika daya dukung pondasi mencapai tanah keras di ujung pondasi tiang.
- b. Beban yang akan diterima tiang akan tertahan di antara tiang dan tanah di sekitar pondasi jika tiang berada di atas tanah dengan nilai kuat

gesek yang tinggi (jenis tanah pasir). *Friction Pile* adalah nama yang diberikan untuk tiang jenis ini. .

- c. Perekat antara tanah yang mengelilingi permukaan tiang menahan beban yang diterima oleh beban pada tiang jika tiang tersebut berada di dasar tanah pondasi dengan nilai kohesi yang tinggi. Tiang Perekat adalah nama lain dari tiang ini.

2.6 Fondasi Tiang Pancang (*Driven Pile*)

Fondasi tiang pancang ini berbentuk tiang yang ditancapkan ke dalam tanah. Fondasi ini digunakan jika lapisan tanah keras letaknya jauh dari permukaan tanah dan beban bangunan sangat besar. Umumnya fondasi ini digunakan untuk fondasi jembatan, Gedung pencakar langit, jalan tol, dan sebagainya.

Perencanaan fondasi tiang harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Besar beban bangunan, daya dukung tanah, dan situasi bangunan disekitar lokasi proyek.
- b. Diameter, jenis, panjang, jumlah, dan susunan kelompok tiang;
- c. Beban horizontal dan vertikal untuk tiap-tiap tiang;
- d. Memperkirakan penurunan tanah.

Pengaturan tiang-tiang fondasi perlu memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Tiang harus memiliki kualitas bahan dan diameter yang sama;
- b. Jika gaya horizontal yang bekerja pada tiang terlalu besar untuk ditahan oleh tiang vertikal, diperlukan tiang yang dipasang miring;
- c. Jarak antar tiang satu dengan yang lainnya antara 0.60-2 m.

Berdasarkan cara penyaluran beban ke dalam tanah, fondasi tiang dibedakan menjadi dua yaitu: fondasi tiang dengan penahan ujung (*end bearing pile*) dan fondasi tiang dengan penahan gesekan (*friction pile*).

- a. Fondasi tiang dengan penahan ujung (*end bearing pile*)

Tiang-tiang dipancang melesak ke dalam tanah sampai ujung tiang menyentuh lapisan batuan yang keras. Beban bangunan diteruskan dari tiang ke lapisan batuan keras.

b. Fondasi tiang dengan penahan gesekan (*friction pile*)

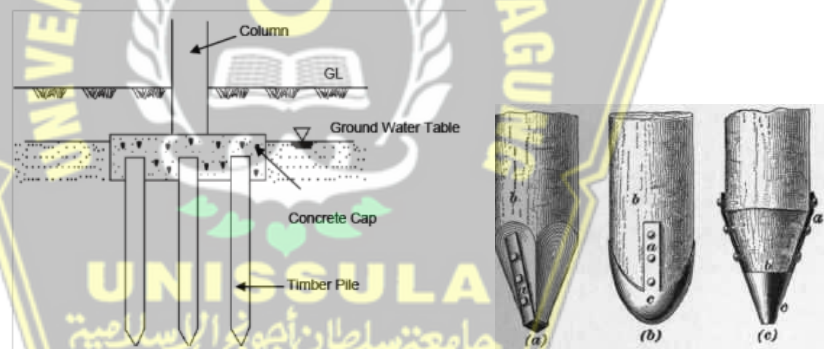
Fondasi ini meneruskan beban ke dalam tanah melalui gesekan antara tiang dengan tanah disekelilingnya. Sebagai gambaran, bila kita menginjak lumpur, saat kaki diangkat terasa berat seakan-akan sepatu yang kita pakai menempel pada lumpur tersebut.

2.6.1 Klasifikasi Fondasi Tiang Pancang

Klasifikasi dari tiang pancang ini dikategorikan berdasarkan bahan yang dibuat dan berdasarkan cara pembuatannya :

a. Fondasi tiang pancang kayu

Fondasi tiang pancang kayu merupakan fondasi tiang yang pertama kali digunakan. Jenis fondasi ini banyak diterapkan dalam konstruksi rumah adat panggung di Indonesia, seperti rumah adat suku Toraja (Rumah Tongkonan) dari Sulawesi Selatan dan rumah adat suku Dayak (Rumah Betang) dari Kalimantan Barat. Pondasi tiang pancang kayu ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pondasi Tiang Pancang Kayu (Sosrodarsono 1990)

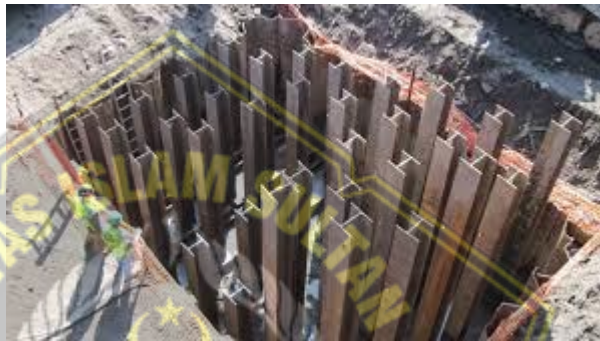
b. Fondasi tiang pancang baja

Fondasi tiang pancang baja umumnya menggunakan baja berbentuk H. Baja lebih tahan terhadap momen lentur sehingga resiko patah saat transportasi dan proses pemancangan dapat diminimalisir.

Tiang pancang baja sangat dipengaruhi oleh karat. Tingkatan karat dipengaruhi oleh tekstur tanah dan tingkat kelembapan tanah. Jika tekstur tanah kasar, tingkat karat mendekati karat yang terjadi di udara terbuka. Jika kadar oksigen dalam tanah sedikit, tingkat karat mendekati karat yang terjadi karena

terendam air. Jika tiang baja diletakkan pada lapisan tanah yang padat dan letaknya sangat dalam, resiko karat akan rendah karena kadar oksigennya sangat sedikit.

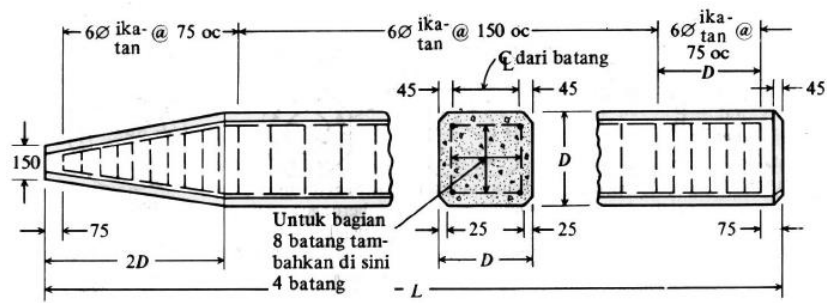
Umumnya, tiang pancang baja akan berkarat di bagian atas yang dekat dengan permukaan tanah. Hal ini disebabkan adanya udara pada pori-pori tanah dan adanya bahan-bahan organik dari air tanah. Cara penanggulangannya dengan memoles tiang baja dengan cat anti karat. Fondasi tiang baja ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Fondasi Tiang Baja Profil (Agnes Dwiyanthi Winoto 2017)

c. Fondasi tiang pancang beton precast

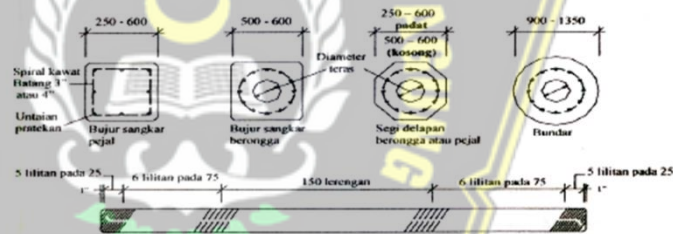
Tiang beton pracetak dicetak, dirawat, dan disimpan di lapangan atau di pabrik sebelum didirikan, seperti namanya. Tiang jenis ini dapat memiliki berbagai bentuk penampang, tetapi yang paling umum adalah lingkaran, kotak, segitiga, dan segi delapan. Selain memikul beban yang dibutuhkan, pondasi tiang pancang beton pracetak harus dirancang untuk menahan gaya dan momen lentur yang terjadi selama perencanaan serta tegangan yang terjadi selama pemancangan. Gambar 2.10 menggambarkan pondasi tiang pancang beton pracetak.



Gambar 2. 10 Pondasi Tiang Beton Pracetak (Sosrodarsono 1990)

d. Fondasi tiang beton pratekan

Tiang pancang beton prategang lebih kuat dan kecil kemungkinannya rusak saat diangkat atau didorong. Bila tiang panjang dengan daya dukung tinggi diperlukan, tiang jenis ini adalah pilihan yang sangat baik. Untuk mengurangi berat keseluruhan tiang, bagian tengahnya dapat dilubangi. Gambar 2.11 menggambarkan pondasi tiang pancang beton prategang.

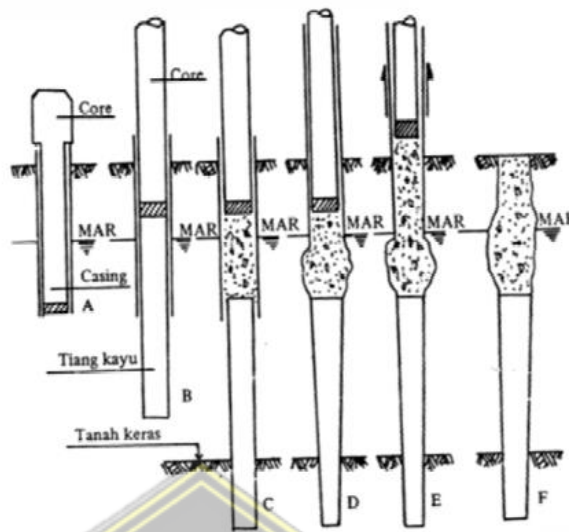


Gambar 2. 11 Pondasi Tiang Beton Pratekan (Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawan 1990)

e. Fondasi tiang pancang komposit

Fondasi dengan tiang komposit menggabungkan dua bahan yang berbeda untuk membentuk satu tiang, seperti baja dan beton atau kayu dan beton. Tiang komposit dapat berupa segmen yang menyambung, atau dapat berupa bahan beton yang dituangkan ke dalam pipa baja.

Karena ikatan antara kedua bahan tersebut menyebabkan masalah sambungan segmen, terutama pada beton dan kayu, metode ini tidak lagi digunakan. Padahal ikatan beton dan baja cukup baik. Gambar 2.12 menggambarkan pondasi tiang komposit kayu dan beton.



Gambar 2. 12 Fondasi Tiang Komposit Kayu dan Beton

2.6.2 *Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Cara Pemasangan*

1. Tiang pancang pracetak

Setelah tiang pancang baru yang kuat dapat dipancang, tiang pracetak adalah tiang pancang yang dicetak dan dicor di bekisting. Pemasangan tiang pracetak adalah sebagai berikut:

- Cara penumbukan : cara pemasangan ini dilakukan dengan cara tiang pancang dipancang ke dalam tanah menggunakan alat penumbuk yang disebut *hammer*.
- Cara penggetaran : tiang pancang dipancang menggunakan alat penggetar yang disebut vibrator.
- Cara penanaman : cara pemasangan ini terlebih dahulu dibuat lubang di permukaan tanah yang akan dilakukan pemancangan baru setelah itu tiang pancang dimasukkan ke dalam lubang tersebut kemudian ditimbun Kembali dengan menggunakan tanah.

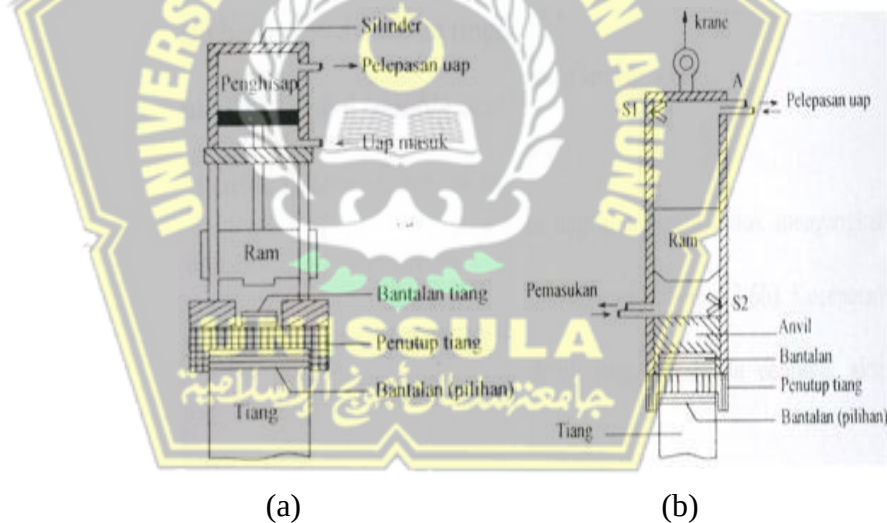
2. Tiang yang dicor di tempat (*cast in place pile*)

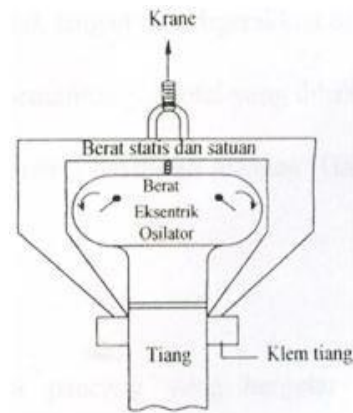
Tiang dicor di tempat ini ada beberapa cara menurut teknik metode penggaliannya yakni :

- a. Cara penetrasi alas, metode ini dilakukan terlebih dahulu pipa baja dipancang ke dalam tanah kemudian diisi dengan beton sampai terisi penuh.
- b. Cara penggalian, metode penggalian dapat dilakukan dengan tenaga manusia dan dengan tenaga mesin. Pada penggalian dengan tenaga manusia ini dilakukan untuk kedalaman yang tidak terlalu dalam, sementara penggalian dengan tenaga mesin dilakukan dengan cara membuat lubang dengan menggunakan mesin yang tentunya pekerjaan menjadi lebih cepat dan efisien.

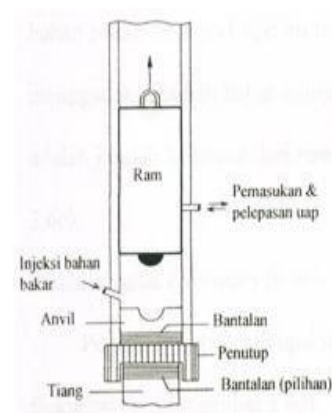
2.6.3 Alat Tiang Pancang

Dalam proses pekerjaan fondasi tiang pancang agar fondasi ini dapat berdiri sempurna dan mampu menahan beban dari gedung, diperlukan proses pemasangan yang benar. Proses pemasangan yang benar pun perlu alat-alat pemukul tiang pancang yang baik juga. Berikut skema gambar macam-macam alat pemukul pancang yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.





(c)



(d)

Gambar 2. 13 Skema Alat Pemukul Tiang : (a) Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*), (b) Pemukul aksi double (*double acting hammer*), (c) Pemukul diesel (*diesel hammer*), (d) Pemukul getar (*vibrator hammer*) (Hardiyatmo 2018)

2.7 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi

2.7.1 Metode Reese & Wright (1977)

a. Daya Dukung di Ujung Tiang

Daya dukung aksial pada ujung tiang menurut *Reese & Wright* dapat dilihat dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_p = A_p \times q_p \dots \dots \dots (2.1)$$

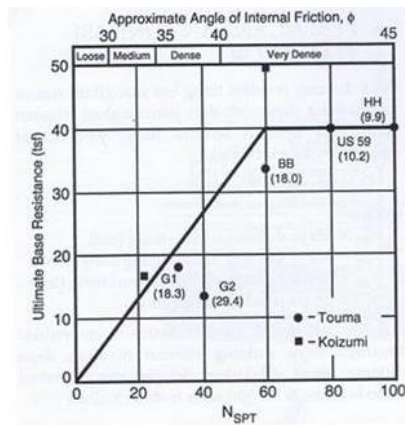
Dimana:

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung persatuan luas (ton/m^2)

Pada metode ini besarnya nilai tahanan ujung persatuan luas (q_p) diambil sebanyak 9 kali kuat geser tanah, sementara untuk tanah yang sifatnya non kohesif digunakan korelasi antara q_p dan N-SPT seperti pada Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2. 14 Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimit dengan N_{SPT} Tanah Non-Kohesif (Reese, L.C. & Wright 1977)

Pada tanah kohesif untuk mendapatkan nilai q_p digunakan rumus sebagai berikut:

$$C_u = N_{SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots (2.4)$$

Sementara pada tanah non-kohesif untuk mendapatkan nilai Q_p digunakan rumus sebagai berikut :

Untuk $N \leq 60$, maka :

$$Q_p = 7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \times A_p \dots\dots\dots (2.5)$$

b. Daya Dukung Aksial Selimut Tiang

Rumus daya dukung ultimit selimut tiang adalah sebagai berikut:

$$Q_s = F \times L_i \times k_{ll} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung *ultimate* selimut tiang (ton)

f = Gesekan selimut persatuan luas (ton/m²)

L_i = Panjang kedalaman (m)

k_{ll} = Keliling penampang tiang (m)

Gesekan selimut tiang persatuan luas (f) pada metode Reese & Wright, ditentukan dan dipengaruhi oleh parameter kuat geser tanah dan juga jenis tanah.

Untuk tanah kohesif nilai gesekan selimut persatuan luas (f) dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$f = \alpha \times C_u \dots \dots \dots (2.7)$$

Sementara untuk tanah non-kohesif nilai f dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$f = 0,32 \times N_{SPT} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

f = Gesekan selimut tiang (ton/m²)

α = Faktor adhesi

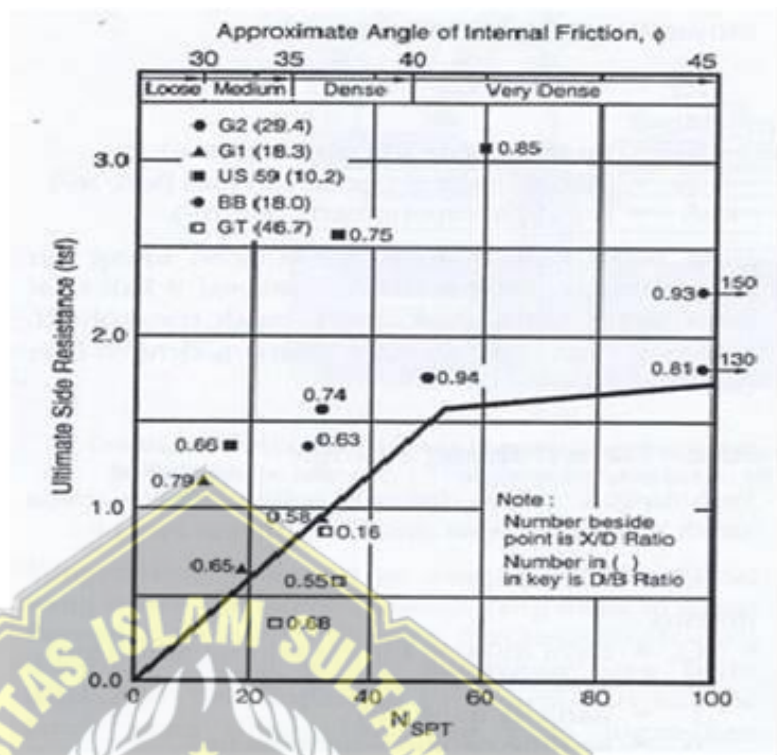
- Berdasarkan pada penelitian Reese & Wright (1977) faktor adhesi (α) = 0,55

- Berdasarkan penelitian dari Kullway (1984), pada Grafik *Undrained Shearing Resistance VS Adhesion Factor*

Cu = Kohesi tanah (ton/m²)

N_{SPT} = Nilai SPT per lapis tanah

Menurut penelitian Reese & Wright, nilai α dapat diambil dengan nilai 0,55 untuk tanah kohesif. Sementara untuk tanah yang sifatnya non-kohesif, nilai gesekan selimut tiang (f) untuk $N < 53$ ialah 0,32 N (ton/m²) dan untuk $53 < N \leq 100$ maka nilai gesekan selimut tiang (f) didapatkan dari korelasi langsung dengan N-SPT seperti pada Gambar 2.15 berikut:



Gambar 2. 15 Grafik Hubungan antara Tahanan Selimut dengan N_{SPT} (Reese & Wright, 1977)

2.7.2 Metode Meyerhoff

Pada metode Meyerhoff ini perhitungan kapasitas daya dukung tanah fondasi menggunakan hasil SPT. Persamaan yang digunakan pun terbagi menjadi dua yakni persamaan pada tanah kohesif dan non-kohesif. Sebelum dilakukan perhitungan terlebih dahulu dilakukan peninjauan terhadap tanah untuk menentukan kohesifitasnya. Klasifikasi tanah berdasarkan sifat lekatnya dibagi menjadi dua jenis yakni :

1. Tanah kohesif adalah tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung (mengandung lempung yang sangat banyak)
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antar butir-butirnya seperti pasir (pasir hamper tidak mengandung lempung).

Menurut (Mayerhof 1965) pada tanah kohesif dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

- Ujung tiang (Q_p)

$$C_u = N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

C_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

- Selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \alpha \times C_u \times k_{ll} \times L_i \dots\dots\dots (2.11)$$

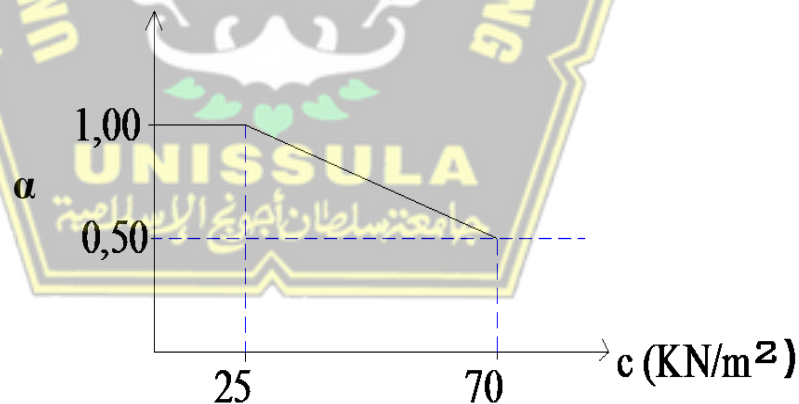
Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

α = Faktor adhesi (berdasarkan grafik hubungan antara kohesi tanah dengan α)

k_{ll} = Keliling tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)



Gambar 2. 16 Grafik Hubungan antara (C_u) dengan (α)

(Hardiyatmo 2018)

Sementara pada tanah non-kohesif menurut Meyerhof dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

- Ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = 40 N_b \times A_p \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

N_b = Nilai rata – rata N-SPT pada 8D (Nilai N-SPT pada 8D di atas ujung tiang) dan 4D (Nilai N-SPT pada 4D di bawah ujung tiang)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

- Selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = 0,2 N\text{-SPT} \times p \times L_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

P = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal Lapisan tanah ke-i (m)

2.7.3 Tomlinson

Kapasitas dukung tiang pancang menurut Tomlinson adalah kapasitas dukung ujung ditambah kapasitas dukung friksi, (Iin Oktaviani 1997) yaitu :

$$Q_{ult} = Q_e + Q_f \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

Q_{ult} = Kapasitas dukung ultimit (kg/cm^2)

Q_e = Kapasitas dukung ujung tiang (kg/cm^2)

Q_f = Kapasitas dukung friksi (kg/cm^2)

- Daya Dukung Ujung Tanah Pondasi (*Single Pile*)

Persamaan kapasitas dukung ujung untuk tanah berbutir halus (c-soils)

$$Q_c = N_c \times c \times A_p \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- N_c = faktor kapasitas dukung bawah ujung tiang pancang
 Q_e = Kapasitas dukung ujung tiang (kg/cm^2)
 A = luas penampang tiang pancang (cm^2)
 C = kohesi yang terdapat pada ujung tiang (kg/cm^2)

Untuk tanah berbutir kasar (ϕ -soils), Tomlinson memberikan persamaan kapasitas dukung ujung yaitu :

$$Q_c = A_p \times q \times N_q \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

- Q_c = kapasitas dukung ujung yang didapat dari tanah dibawah ujung pondasi (kg/cm^2)
 N_q = faktor kapasitas dukung
 q = *effective overburned pressures* = $\sum (\gamma \cdot h_1)$ (kg/cm^2)

Untuk tanah pada umumnya (c - ϕ soils), Tomlinson memberikan persamaan kapasitas dukung ujung :

$$Q_c = A_p (c \times N_c + q \times N_q) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

- Q_c = kapasitas dukung ujung yang didapat dari tanah dibawah ujung pondasi (kg/cm^2)
 A_p = luas penampang tiang pancang (cm^2)
 q = *effective overburned pressure* (kg/cm^2)
 c = kohesi yang terdapat pada ujung tiang pancang (kg/cm^2)
 N_q = faktor kapasitas dukung

- Daya Dukung selimut Tanah Pondasi Satu Tiang (*Single Pile*)

Cara α dari Tomlinson dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (c -soils), maupun tanah pada umumnya (c - ϕ soils).

Untuk tanah $c-\phi$ soils :

$$Q_f = \alpha c_u \times A_s + K \times q \tan (\delta) A_s \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

- A = faktor adhesi yang merupakan fungsi dari kohesi atau hasil *undrained shearing strength*
- c_u = kohesi atau hasil *undrained shearing strength* (kg/cm^2)
- K = *coefficient of lateral pressure*, harganya terletak dari K_o sampai 1.75. Biasanya direncanakan mengambil harga yang mendekati K_o .

Harga untuk tiang pancang dihitung sebagai berikut :

$$K_o = (1 - \sin \phi) \sqrt{OCR} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

- K_o = *coefficient at rest condition* (koefisien saat kondisi diam)
- OCR = *over consolidation ratio* = 1
- ϕ = sudut geser dalam biasanya
- A_s = luas selimut tiang pancang yang menerima geser (cm^2)
- Δ = sudut geser efektif antara tanah dan material tiang, kalau tidak disebutkan dapat diambil $\delta = \frac{2}{3} \phi$

2.8 Daya Dukung Lateral Tanah Fondasi

2.8.1 Broms

Menurut (Broms 1964) metode menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik *rigid piles* maupun *long piles* yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granuler. Dengan persamaan :

$$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + \frac{2f}{3}} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times \gamma}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

H_u = Daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = Momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kNm)

γ = berat volumen tanah (kN/m³)

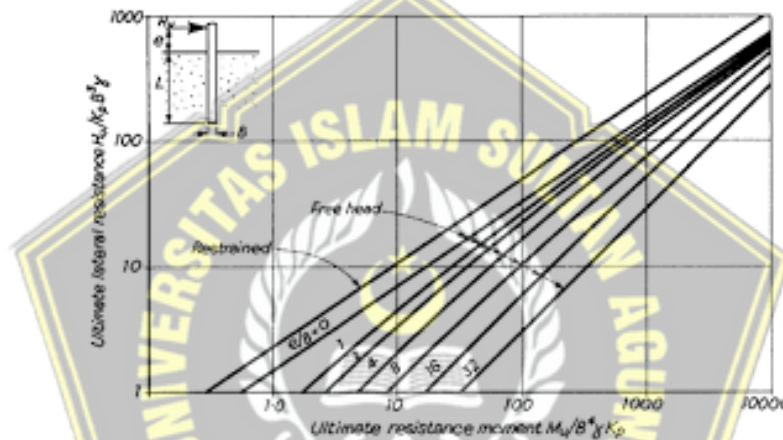
d = diameter tiang (m)

e = jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

f = jarak kedalaman titik dimana gaya geser = 0 (m)

Nilai H_u juga dapat diperoleh dengan menggunakan grafik pada gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit (Broms 1964)

$$\frac{H_u}{K_p \times D^3 \times \gamma} = \text{Nilai dari grafik} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$\frac{M_y}{D^4 \gamma K_p} = H_u \dots \dots \dots (2.23)$$

2.9 Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan Metode Vesic

2.9.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Untuk menghitung penurunan elastis di tiang tunggal pada metode ini dapat digunakan dengan rumus (Vesic 1977) :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

S_e = Total penurunan tiang pancang (mm)

$Se_{(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang (mm)

$Se_{(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang (mm)

$Se_{(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisikan sepanjang kulit tiang (mm)

Total penurunan (Se) didapat dengan hasil penjumlahan satu persatu perhitungan $Se_{(1)}$, $Se_{(2)}$ dan $Se_{(3)}$ dengan persamaan sebagai berikut :

- Nilai $Se_{(1)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p} \dots \dots \dots (2.25)$$

- Untuk nilai $Se_{(2)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots \dots \dots (2.26)$$

- Dan untuk nilai $Se_{(3)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana :

Q_{wp} = Daya dukung ijin ujung tiang (kN)

Q_{ws} = Daya dukung ijin selimut tiang (kN)

ξ = 0,5 – 0,67

L = Panjang tiang pancang (m)

A_p = Luas penampang tiang pancang (m^2)

E_p = Modulus Elastisitas

C_p = Nilai koefisien (dari tipe tanah berdasarkan jenis pondasi)

C_s = Konstanta empiris $(0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}) \times C_p$

D = Diameter tiang pancang (m)

q_p = Daya dukung ujung tiang per satuan luas (kN/m^2)

Tabel 2. 3 Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat hingga lepas)	0,02-0,04	0,09-0,18
Lempung (teguh hingga lunak)	0,02-0,03	0,03-0,06
Lanau (padat hingga lepas)	0,03-0,05	0,09-0,12

(Sumber : (Manual Pondasi Tiang))

Tabel 2. 4 Interval Nilai Modulus Elastisitas untuk Berbagai Tanah

Jenis Tanah	Harga Modulus Elastisitas	
	Kg/cm ²	Psi
Tanah liat sangat lunak	3,5-30	50-400
Tanah liat lunak	20-50	250-600
Tanah liat sedang	40-80	600-1200
Tanah liat keras	70-180	1000-2500
Tanah liat berpasir	300-400	4000-6000
Pasir berlanau	70-200	1000-3000
Pasir lepas	100-250	1500-3500
Pasir padat	500-800	7000-12000
Pasir padat dan grosok	1000-2000	14000-28000

(Sumber : (Sosrodarsono 1990))

2.9.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang

Penurunan satu tiang sendiri biasanya kecil dan umumnya diabaikan dalam perencanaan fondasi di atas satu tiang. Akan tetapi, penurunan kelompok tiang biasanya akan lebih besar daripada penurunan satu tiang tersendiri, dan ada kalanya akan puluhan kali lebih besar. Menurut Vesic penurunan pondasi kelompok tiang ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$S_g = S \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

 S_g = penurunan kelompok tiang (cm)

S = penurunan pondasi tiang tunggal (cm)

B_g = lebar kelompok tiang (cm)

D = diameter atau sisi tiang tunggal (cm)

2.10 Perhitungan *Pile Cap*

Untuk menentukan berat sendiri *pile cap* maka diperlukan rumus sebagai berikut :

$$W = (P_{pilecap} + L_{pilecap}) \times \text{berat jenis beton} \dots \dots \dots (2.29)$$

Maka total beban yang diterima *pile cap* :

$$\Sigma P_v = P_u + W \dots \dots \dots (2.30)$$

Untuk menentukan beban maksimum *pile cap* dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan : 2.21.

$$P = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{n_x \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{n_y \cdot \Sigma x^2} \dots \dots \dots (2.31)$$

Untuk perhitungan tinggi *pile cap* dapat digunakan menggunakan rumus berikut :

Kontrol tegangan geser dua arah

$$dx = h - \text{selimut beton} - \text{diameter tulangan} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\beta_c = c_1/c_2 \dots \dots \dots (2.33)$$

$$b_o = 2 \times (c_1 + d) + 2 \times (c_2 + d) \dots \dots \dots (2.34)$$

Perhitungan kuat geser beton

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \times (f_c^{0,5}) \times b_o \times d}{6} \dots \dots \dots (2.35)$$

V_u dihitung berdasarkan tiang yang berada di luar bidang kritis dua arus, Maka :

$$V_u = P_1 + P_2 \dots P_n \dots \dots \dots (2.36)$$

Kontrol kuat geser

Dalam memperhitungkan gaya tekan ke atas, digunakan rumus pada persamaan 2.26

$$V_c = 0,33 \times \lambda \times (f_c^{0,5}) \times b_o \times d \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana dx dan bo didapat dari :

$$dx = h - \text{selimut beton} - \text{diameter tulangan} \dots \dots \dots (2.38)$$

$$b_o = 2 \times (c_1 + d) + 2 \times (c_2 + d) \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana :

D_x = Tinggi efektif *pile* (mm)

V_u = Beban yang bekerja pada kolom (P) (ton)

B_o = Keliling penampang geser pons (mm)

b_1 = Panjang bentang *pile cap* arah x (mm)

b_2 = Panjang bentang *pile cap* arah y (mm)

Dari nilai ϕV_c di atas, selanjutnya dilakukan pengecekan dengan syarat $V_u < \phi V_c$.

Penulangan *Pile Cap*

Menghitung rasio tulangan *pile cap* arah x dan y digunakan rumus

$$d = 0,9 \times \text{lebar} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dengan syarat rasio tulangan $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$W_n = 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$\rho = \frac{w \times 0,85 \times f_c}{f_y} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \dots\dots\dots (2.45)$$

Menghitung jumlah tulangan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$S = b/n \text{ tulangan} \dots\dots\dots (2.46)$$

Dimana :

b = Lebar *pilecap*

n = Jumlah tulangan

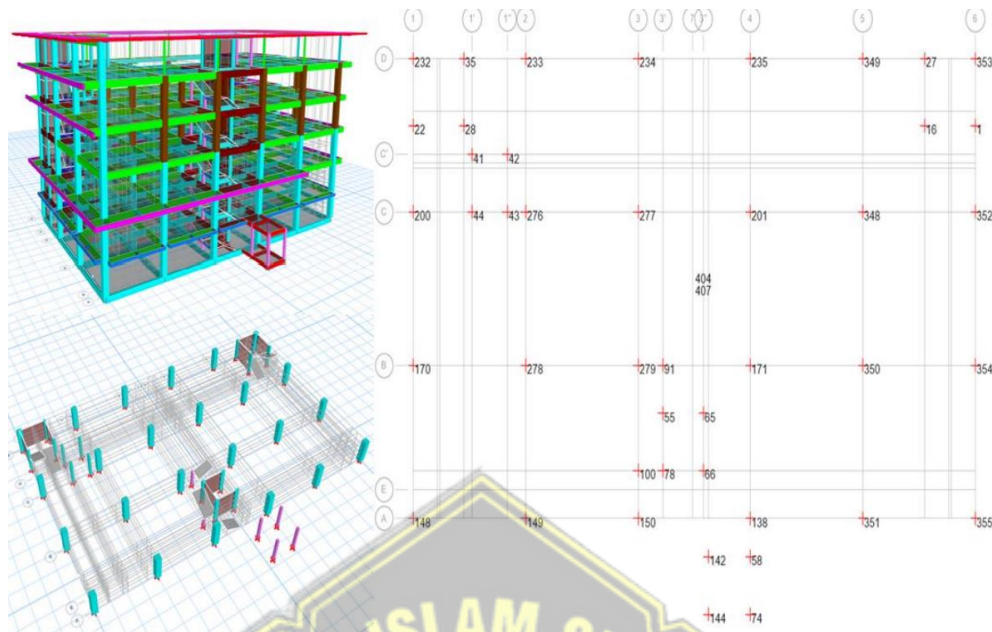
2.11 Analisis Beban Aksial Menggunakan ETABS 18.1

Analisa beban pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dihitung menggunakan program ETABS 18.1. Program aplikasi komputer ETABS 18.1 merupakan alat bantu sarana untuk melakukan perhitungan struktur gedung. Program ini sangat membantu dalam proses untuk melakukan analisis pada

bangunan gedung. Dengan menggunakan alat bantu ini maka proses perhitungan struktur menjadi lebih cepat dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Di dalam menyusun input dari program aplikasi komputer ETABS 18.1 diperlukan pemahaman dan pengertian tentang pemodelan dari bangunan gedung yang dimodelkan ke dalam program ETABS18.1. Untuk mendefinisikan bangunan gedung ke dalam model maka model harus dapat mewakili dari kondisi bangunan gedung yang ada, sehingga model akan mempresentasikan dari bangunan gedung yang sebenarnya. Model yang telah di *running* akan memberikan output dari model bangunan gedung dan dapat digunakan untuk penggambaran detail dari elemen struktur gedung.

ETABS sangat relevan untuk desain struktur bangunan gedung bertingkat/*high rise building* dengan memperhitungkan beban berat sendiri struktur, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. beban gempa akan dipelajari dalam 2 analisis yaitu dengan beban respon spektrum *function* dan dengan *time hystory function*. dengan demikian, analisis gempa dan angin dapat secara otomatis dihitung dengan memodifikasi nilai-nilai koefisien faktor dari peraturan ACI dan IBC sehingga sesuai dengan peraturan SNI yang berlaku di Indonesia.

Acuan yang digunakan dalam analisis pembebanan ini digunakan prinsip perencanaan pembebanan pada rumah dan gedung (SNI 1726:2019 2019), perhitungan struktur beton bangunan gedung (Badan Standarisasi Nasional Indonesia 2019) serta perencanaan ketahanan gempa bangunan gedung (SNI 1726:2019 2019).



Gambar 2. 18 Contoh Desain Bangunan Menggunakan ETABS

2.12 Analisa Menggunakan Program Plaxis

Program Plaxis 8.6 adalah program analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Plaxis 8.6 ini juga merupakan salah satu program desain yang menyediakan berbagai analisis tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetail. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang handal. Konsep ini memungkinkan para pemula untuk dapat

menggunakan paket program ini hanya dengan mengikuti beberapa jam pelatihan saja.

2.13 Analisa Menggunakan Program *Allpile*

Program *Allpile* adalah salah satu program dalam bidang geoteknik yang dibuat khusus dalam menganalisa kapasitas pembebanan tiang secara efisiensi dan akurat. Program ini digunakan untuk menentukan berapa besar penurunan yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik PU Semarang terutama pada perencanaan penggunaan Fondasi Tiang Pancang, dan sebagai pembanding hasil perhitungan manual.

Program *Allpile* adalah program teknik sipil yang bertujuan mendesain pondasi secara sederhana dengan hasil output meliputi *Total Ultimate Capacity (Down)*, *Total Ultimate Capacity (Up)*, *Total Allowable Capacity (Down)*, *Total Allowable Capacity (Up)*, *Settlement*, *At Work Load*, *Secant Stiffness Kqx*, *Allowable Settlement*, *Capacity*, *Factor Safety*. Proses kalkulasinya dilakukan berdasarkan pada prosedur numerik yang baku. Program *Allpile* dibagi menjadi tujuh program yang masing-masing program mempunyai fungsi yang berbeda-beda, yaitu :

1. *Pile Type*

Yang berisi tipe pondasi dan judul pekerjaan yang dapat diisi nama pekerjaan atau informasi.

2. *Pile Profile*

Yang berisi data-data pile meliputi panjang pile, jarak dari permukaan tanah, kemiringan pile, serta kemiringan permukaan tanah.

3. *Pile Properties*

Yang berisi data-data properti dari pile yang digunakan meliputi diameter, material, inersia dll.

4. *Load and Group*

Bagian ini berisi besarnya pembebanan yang diterima *pile*. *Allpile* menyediakan beberapa pilihan perhitungan baik itu *single pile* ataupun *group piles*. Juga menyediakan berbagai pilihan beban.

5. *Soil Properties*

Yang berisi data tanah tempat pondasi yang akan dipancang. Isinya sesuai data tanah yaitu nilai N-SPT dan juga muka air tanah.

6. *Advanced Page*

Yang dapat digunakan salah satunya apabila terjadi *zero skin friction* pada kedalaman tertentu atau menginput besarnya tip *resistance* (tahanan ujung). Juga ada pilihan untuk menentukan angka keamanan yang diinginkan.

7. *Vertical*

Toolbar untuk me-Run atau hasil *ouput Allpile* dari memasukkan data mulai dari *pile type* sampai *advanced page*.

2.14 **Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu**

Perbedaan penelitian yang saat ini kami lakukan dengan penelitian terdahulu atau sebelumnya ialah :

- Pembebanan struktur atas menggunakan *software* ETABS 18.1
- Lokasi penelitian yang berbeda, dari lokasi penelitian sudah berbeda sehingga kondisi geologi data tanah yang diperoleh pun tentunya juga berbeda.
- Objek yang digunakan menggunakan fondasi tiang pancang berjenis *spun pile*.
- Redesain Gedung, kami melakukan redesain terhadap penambahan jumlah lantai yang awalnya 5 lantai menjadi 7 lantai.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Metode Penelitian ini memiliki tujuan untuk merencanakan dan menganalisis fondasi tiang pancang pada proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang terdiri atas 5 lantai dan akan *diredesign* ulang menjadi 7 lantai dengan menganalisis pembebanan menggunakan program ETABS serta perhitungan fondasi menggunakan Plaxis dan program AllPile.

3.2 Bahan dan Alat

Dalam pelaksanaan survei lapangan dan pengolahan data diperlukan alat dan juga bahan yang digunakan untuk mempermudah pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Gambar Kerja
- Data Tanah

3.2.2 Alat

Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Program Microsoft Excel
- Program ETABS
- Program Plaxis
- Program AllPile

3.3 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data menjelaskan mengenai prosedur atau tahapan yang akan digunakan untuk mengolah data yang diperoleh dari pengumpulan data baik primer maupun sekunder. Dalam tahapan yang akan digunakan untuk perhitungan perencanaan fondasi tiang pancang yaitu sebagai berikut :

a. Pembebanan Struktur Atas

Melakukan perhitungan pembebanan menggunakan program ETABS berdasarkan gambar kerja dan berdasarkan data yang ada pada pembebanan SNI untuk data yang belum tercantum pada gambar kerja.

b. Perhitungan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Melakukan perhitungan terhadap penurunan daya dukung fondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan perhitungan manual dan dengan menggunakan *software* Plaxis serta AllPile. Daya dukung dan penurunan pada pondasi tiang tunggal atau tiang kelompok dihitung yaitu untuk menentukan penurunan pondasi yang terjadi, dan hasilnya dimasukkan ke dalam tabel untuk perhitungan manual dan perangkat lunak.

3.3.1 Permodelan Menggunakan Program ETABS

Perhitungan beban bangunan menggunakan aplikasi ETABS berikut langkah-langkahnya :

- a. Model *frame* 3D, *new model*. Ganti satuan menjadi Kn, m, C lalu klik 3D model.
- b. Mengatur koordinat, klik kanan, lalu klik *Edit Grid data*.
- c. Lalu klik *define-materials-modify*
- d. Klik *define-section properties-frame section-* lalu pilih bahannya karena memakai beton jadinya pilih *concrete*.
- e. Lalu pilih bentuk sesuai kebutuhan dan klik *concrete reinforcement*.
- f. Untuk plat, klik *define-section properties-area section-modify*
- g. Setelah bahan dan material ditentukan, lalu seleksi batang sesuai dengan tipe materialnya, *assign-frame section*, lalu pilih propertisnya.
- h. Klik *define – load patters* – lalu muncul dialognya, dan isi sesuai beban yang akan diinput.
- i. Selanjutnya membuat kombinasi beban yang akan digunakan berdasarkan SNI 1727-2019: 11 :
 - 1,4 D
 - 1,2 D + 1,6 L

- $1,2 D + L + RSX$
 - $1,2 D + L + RSY$
 - $0,9 D + RSX$
 - $0,9 D + RSY$
- j. Untuk pembebanan balok, seleksi dulu kemudian dibebani, klik *Assign-frame load – distributed*.
 - k. Untuk beban mati dan hidup tambahan pada plat, seleksi plat yang akan dibebani, klik *assign – area load – uniform to frame*
 - l. Masukkan beban gempa respon spektrum sesuai data yang diambil dari website http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia dan juga SNI 1726 : 2019. Caranya klik *define – funtions – respons spectrum*- pilih *IBC2006*
 - m. Klik *define-load cases-modify* RSX dan RS
 - n. Setelah semua data di input, klik *Analyze-run analyze-OK*

3.3.2 Permodelan Menggunakan Program Software Plaxis 8.6

Berikut langkah-langkah perhitungan pada fondasi tiang pancang menggunakan perangkat lunak program plaxis :

- a. Langkah awal pada perhitungan plaxis yaitu menentukan satuan yang akan digunakan.
- b. Kemudian klik simbol  untuk mengatur permodelan geometri tanah dan disesuaikan dengan tanah.
- c. Lalu klik simbol  dan tentukan jenis material tanah yang akan digunakan dalam perencanaan.
- d. Untuk selanjutnya ulangi langkah 1 sampai langkah 3 untuk menentukan material tanah lainnya.
- e. Kemudian klik kembali kumpulan data material, selanjutnya pilih plat untuk membuat data tanah material *pile* sesuai hasil dari perhitungan.

- f. Klik simbol plat  untuk menentukan permodelan fondasi tiang pancang, kemudian klik simbol  yaitu untuk menentukan tekanan positif dan tekanan negatif yang terdapat pada daerah keliling fondasi.
- g. Selanjutnya isilah data material ke permodelan sesuai dengan data material yang sebelumnya telah dibuat.
- h. Klik simbol  untuk memberi beban diatas fondasi tiang pancang.
- i. Lalu klik simbol  yang berfungsi untuk melihat berapa hasil susunan jaringan antar elemen.
- j. Kemudian klik simbol kondisi awal yang terdapat di *toolbar*.
- k. Klik simbol  untuk menambah berat isi air.
- l. Setelah penambahan berat isi air kemudian klik simbol  untuk mengaktifkan tekanan air pada pori.
- m. Klik simbol  yaitu untuk mengaktifkan tekanan air pori pada saat keadaan awal.
- n. Klik simbol  pada *toolbar* yang berfungsi untuk mengaktifkan tekanan efektif. Selanjutnya klik OK, sehingga muncul gambar, kemudian klik perbarui.
- o. Pada langkah terakhir klik simbol  yang fungsinya untuk melihat hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi tersebut.

3.3.3. Permodelan Dengan Program AllPile

Langkah-langkah perhitungan dengan program AllPile sebagai berikut :

- a. Memilih tipe fondasi yang akan digunakan, lalu menuliskan pada *project title* atau memberi judul.
- b. Profil fondasi, memasukkan data yang sudah direncanakan meliputi panjang fondasi keseluruhan, panjang fondasi yang akan dimunculkan dipermukaan, kemiringan tanah, kemiringan fondasi.
- c. Memasukkan data fondasi, data yang diperlukan adalah bentuk fondasi, material fondasi, tulangan, kendala fondasi, ukuran fondasi. Untuk luas penampang,

- inersia modulus elastisitas, berat fondasi akan terhitung sendiri dalam programnya apabila sudah memasukkan diameter fondasi.
- d. Pembebanan, didapat dari hasil perhitungan ETABS.
 - e. *Soil properties* atau data tanah, data ini didapat dari N-SPT. Dan tidak lupa memasukkan tinggi muka air tanah serta elevasi.
 - f. Tahap akhir perencanaan adalah memasukkan angka keamanan (SF)
 - g. Menjalankan program dengan mengklik toolbar yang bertuliskan vertical dan program akan segera memproses serta mendapatkan sangka-angka yang dibutuhkan.

3.3.4. Metode Perhitungan

i) Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Resse and Wright

- Untuk tanah non kohesif

$$Q_p = 7 \times \left(\frac{N_1 + N_2}{2} \right) \times A_p \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.4)}$$

- Untuk tanah kohesif

$$Q_p = A_p \times q_p \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.5)}$$

ii) Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff

- Untuk tanah kohesif

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.10)}$$

$$Q_s = \alpha \times C_u \times \text{keliling} \times L_i \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.11)}$$

- Untuk tanah non kohesif

$$Q_p = 40 N_b \times A_p \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.12)}$$

$$Q_s = 0,2 \text{ N-SPT} \times p \times L_i \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.13)}$$

iii) Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Tomlinson

$$Q_c = N_c \times c \times A_p$$

$$Q_f = \alpha c_u \times A_s + K \times q \tan(\delta) A_s$$

$$Q_{ult} = Q_c + Q_f \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.14)}$$

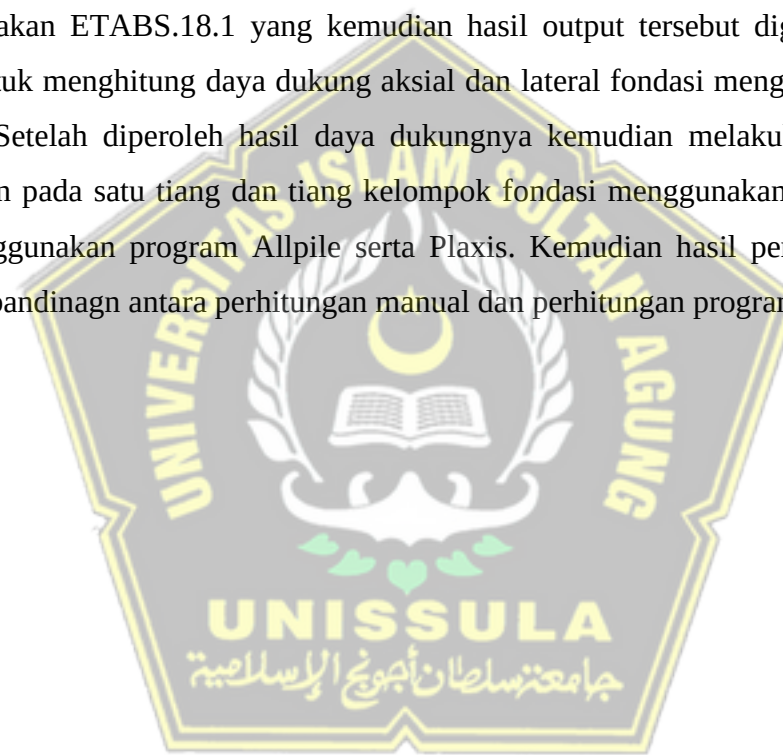
iv) Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Brooms

$$H_u = \frac{2x My}{e + \frac{2f}{3}}$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d x K p x y}} \text{ (lebih detailnya terdapat pada bab 2 rumus 2.21)}$$

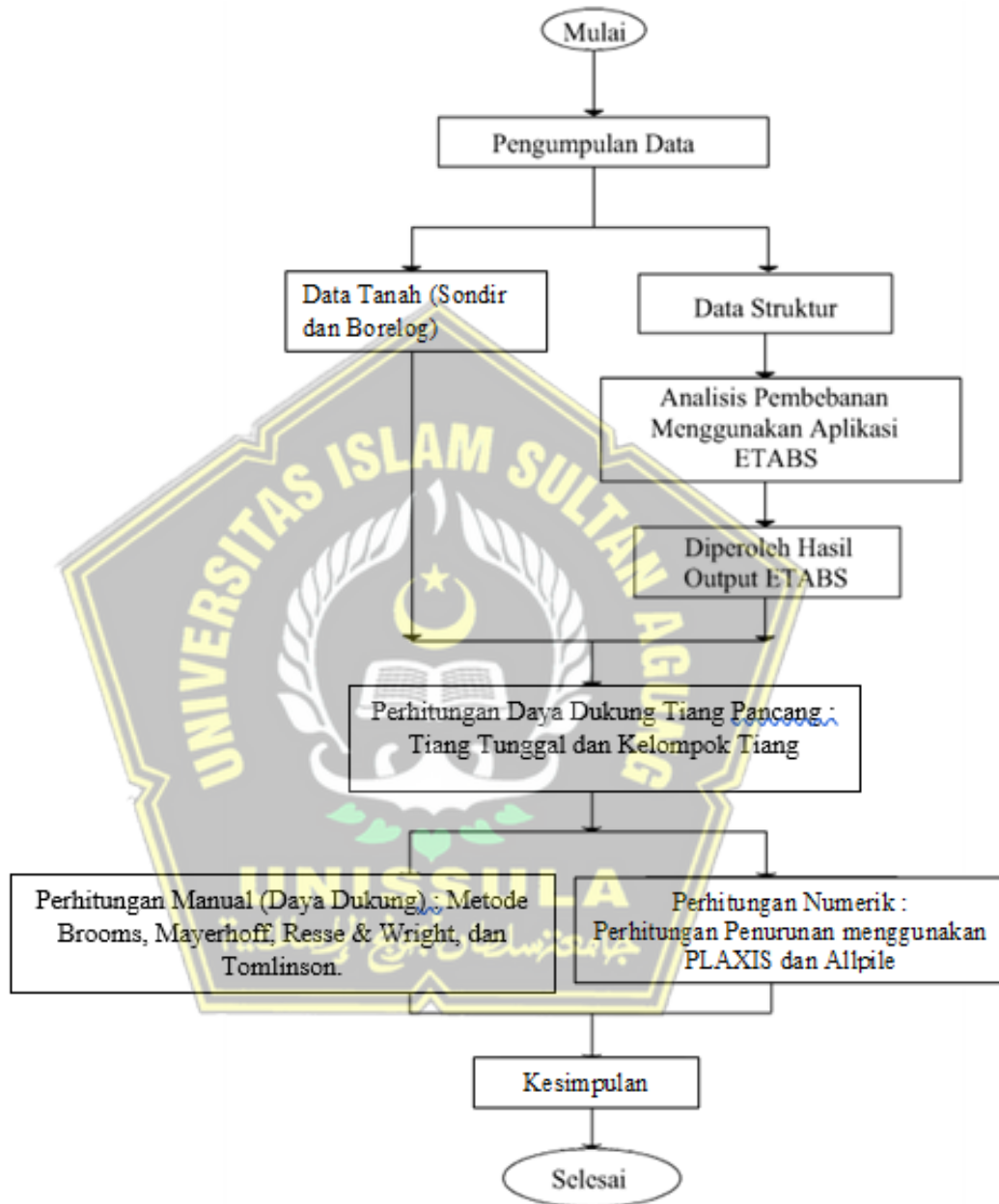
3.3.5. Cara Pengolahan Data

Pengolahan data ini diawali dengan melakukan analisa pembebanan aksial menggunakan ETABS.18.1 yang kemudian hasil output tersebut digunakan sebagai acuan untuk menghitung daya dukung aksial dan lateral fondasi menggunakan metode manual. Setelah diperoleh hasil daya dukungnya kemudian melakukan perhitungan penurunan pada satu tiang dan tiang kelompok fondasi menggunakan metode manual dan menggunakan program Allpile serta Plaxis. Kemudian hasil perhitungan dibuat table perbandinagn antara perhitungan manual dan perhitungan program.



3.4 Metode Analisa

Diagram alir di bawah menunjukkan sistematika dalam menyusun laporan ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisis Fondasi Tiang Pancang

BAB IV

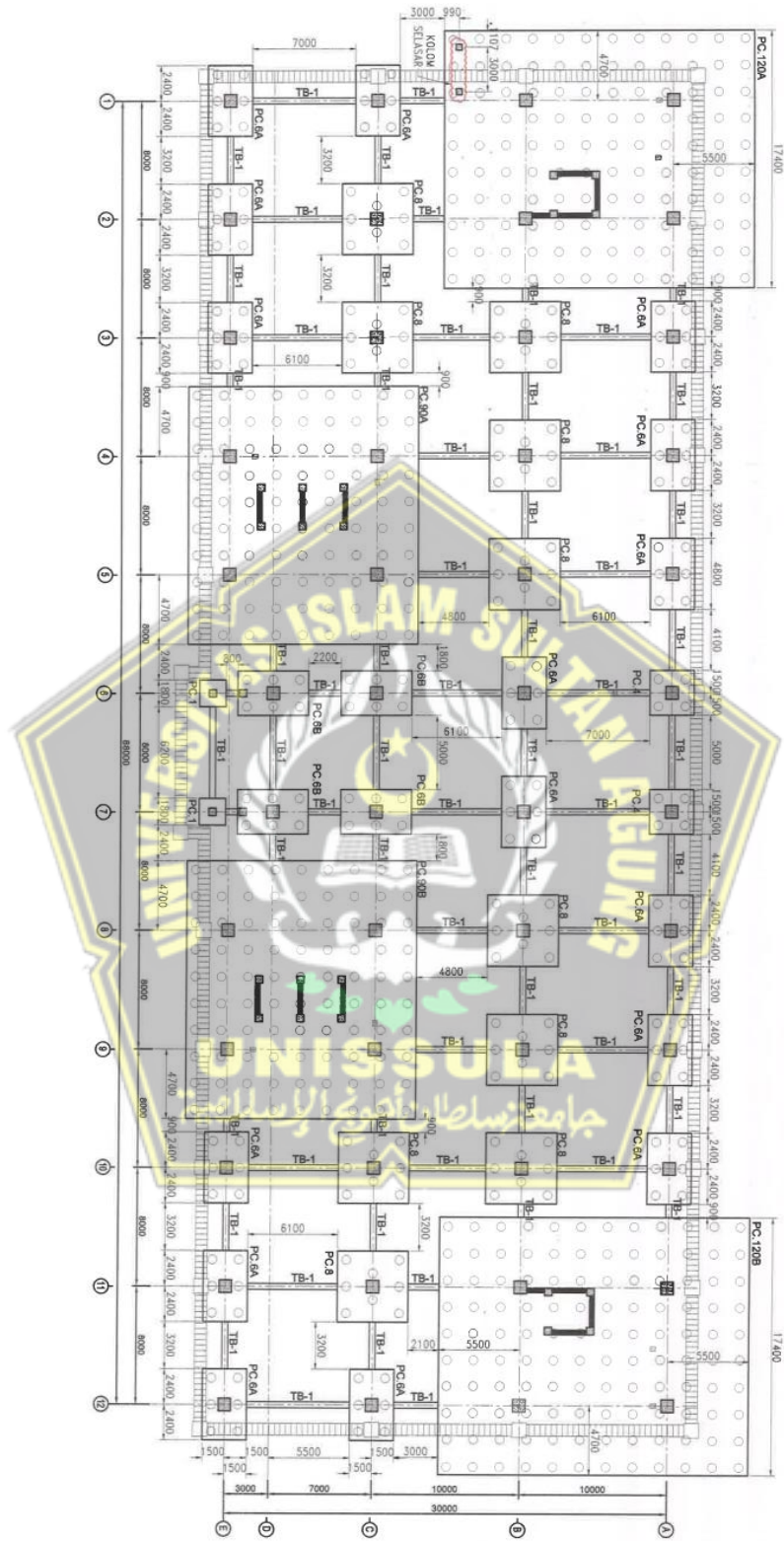
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Tahap analisa dan pembahasan pada bab ini adalah hasil analisa data yang diperoleh dari hasil pengolahan data pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang berada di jalan Arteri Soekarno Hatta Kel. Siwalan Kec. Gayamsari Kota Semarang dan pembahasan dari hasil-hasil perhitungan. Pada perencanaan fondasi proyek ini menggunakan fondasi tiang pancang diameter 600 mm. Untuk perencanaan ulang pada tugas akhir ini di rencanakan redesain yang awalnya 5 lantai menjadi 7 lantai.

Data yang tersedia akan digunakan untuk perhitungan perencanaan fondasi *driven pile*. Pada perhitungan daya dukung pondasi satu tiang (*single pile*) diambil dari data sondir dan dari data N-SPT dengan menggunakan metode Reese & Wright 1977, metode mayerhoff dan metode Tomlinson, serta untuk perhitungan daya dukung pondasi kelompok (*Group Pile*) menggunakan metode Converse-Labarre. Sedangkan pada perhitungan penurunan menggunakan metode vesic 1977 serta dilakukan perhitungan menggunakan software Plaxis dan Allpile sebagai pembanding.

Langkah awal yang dilakukan sebelum menghitung daya dukung dan penurunan pondasi adalah menghitung pembebanan dengan menggunakan ETABS versi 18.1 yang bertujuan untuk mengetahui besarnya beban yang akan diterima pondas, sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019), dan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).



Gambar 4. 1 Denah Pondasi (PT. Ciriajasa)

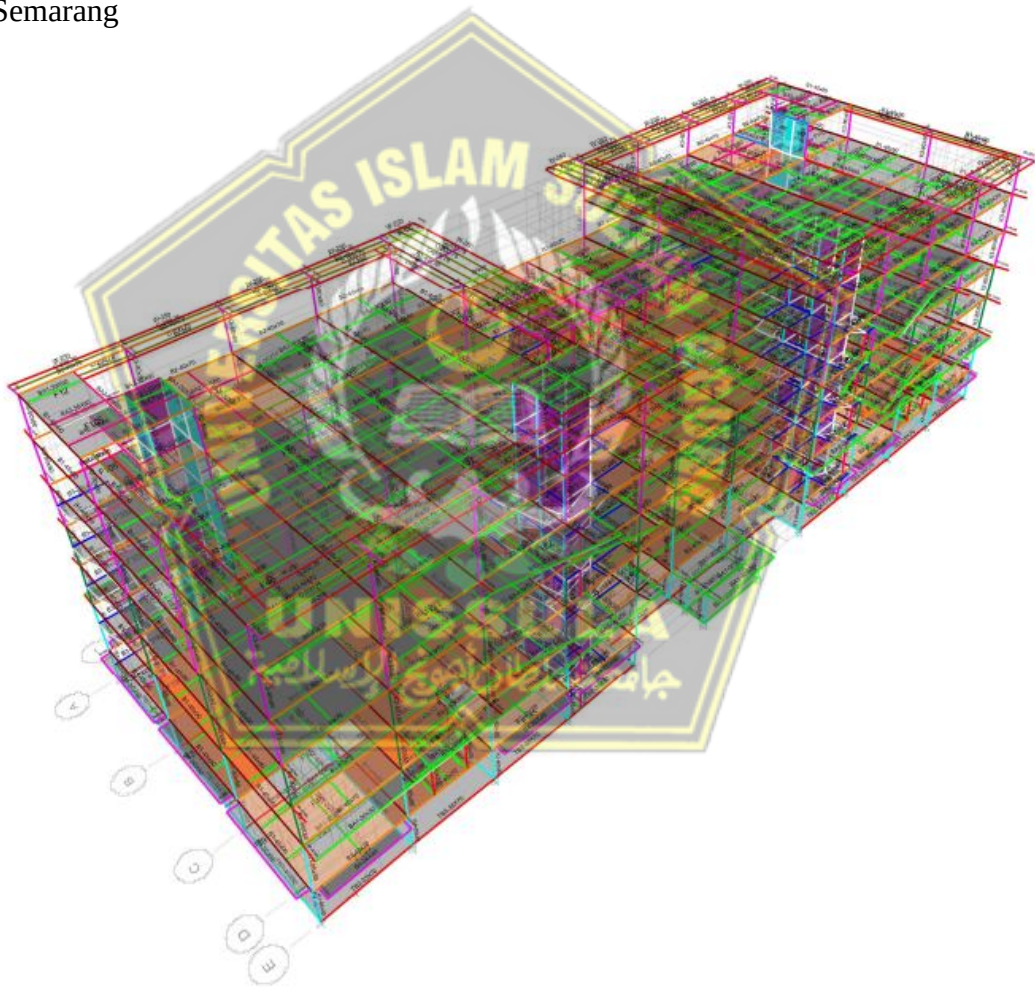
4.2 Permodelan Struktur Atas dengan Program *ETABS 18.1*

Tahap pemodelan pada struktur bagian atas menggunakan *ETABS 18.1* untuk mengetahui gaya – gaya yang bekerja pada struktur bangunan hasil dari pembebanan. Pada balok dan kolom dimodelkan sebagai *shell*.

4.2.1 *Data Bangunan*

Data bangunan pada tugas akhir ini :

1. Nama bangunan = Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang
2. Lokasi bangunan = Jl.Arteri Soekarno Hatta Kel. Siwalan Kec. Gayamsari Kota Semarang



Gambar 4. 2 Pemodelan Struktur Dengan Program *ETABS 18.1*

4.2.2 Analisis Pembebanan Struktur

Menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019), beban – beban diperhitungkan terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban – beban tersebut dapat diuraikan seperti di bawah ini :

1. Beban Mati (*dead load*)

Beban mati adalah berat seluruh komponen konstruksi yang terpasang terhitung dari lantai, dinding, atap, tangga, bagian arsitektur serta bagian struktur lainnya. Pada pemodelan menggunakan ETABS versi 18.1 berat sendiri material dapat dihitung berdasarkan acuan SNI 1727:2020. Berikut ini adalah beban – beban yang bekerja pada struktur atas :

Pada bangunan ini menggunakan pelat yang mempunyai ketebalan sebesar 0,15 m sehingga beban pelatnya sendiri yaitu 3.12 kN/m^2

➤ Beban mati pelat lantai GF :

$$\text{Berat pasir 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat adukan semen 3 cm} = 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat langit-langit dan} = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

penggantung

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\begin{aligned}\text{Berat dinding } \frac{1}{2} \text{ bata, tinggi 3,6} &= 3,6 \times 2,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= 9 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

➤ Beban mati pelat lantai 2 :

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,16 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat adukan semen 3 cm} &= 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat keramik 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,24 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Berat langit-langit dan} &= 0,18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penggantung}\end{aligned}$$

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\begin{aligned}\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} &= 5,4 \times 2,5 \\ \text{batu} &= 13,5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

➤ Beban mati pelat lantai 3 :

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,16 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Berat adukan semen 3 cm} = 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat langit-langit dan penggantung} = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} = 4,2 \times 2,5$$

$$\text{batu} = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

➤ Beban mati pelat lantai 4 :

$$\text{Berat pasir 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat adukan semen 3 cm} = 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat langit-langit dan penggantung} = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\begin{aligned}\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} &= 4,2 \times 2,5 \\ \text{batu} &= 10,5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

➤ Beban mati pelat lantai 5 :

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,16 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat adukan semen 3 cm} &= 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat keramik 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,24 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Berat langit-langit dan} &= 0,18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penggantung}\end{aligned}$$

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\begin{aligned}\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} &= 4,2 \times 2,5 \\ \text{batu} &= 10,5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

➤ Beban mati pelat lantai 6 :

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir 1 cm} &= 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,16 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat adukan semen 3 cm} &= 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat langit-langit dan penggantung} = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} = 4,2 \times 2,5$$

$$\text{batu} = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

➤ Beban mati pelat lantai atas :

$$\text{Berat pasir 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat adukan semen 3 cm} = 0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 0,01 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat langit-langit dan} = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

penggantung

$$\text{Berat total} = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati pada balok :

$$\text{Beban dinding pasangan bata } \frac{1}{2} = 3,95 \times 2,5$$

$$\text{batu} = 9,875 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban Hidup (*live load*)

Beban hidup adalah berat yang diakibatkan oleh penggunaan bangunan dimana beban yang bekerja tergantung dari fungsi masing – masing ruang yang digunakan. Pada acuan (SNI 1727:2020) tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, menyebutkan berat bangunan ini sebesar $3,12 \text{ kN/m}^2$ (*lihat lampiran*).

3. Beban Gempa

a. Faktor Keutamaan Struktur (*I*)

Berdasarkan (SNI 1726:2019) untuk bangunan gedung kelas mempunyai faktor keutamaan bangunan sebesar 1.5. dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Faktor Keutamaan Struktur

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

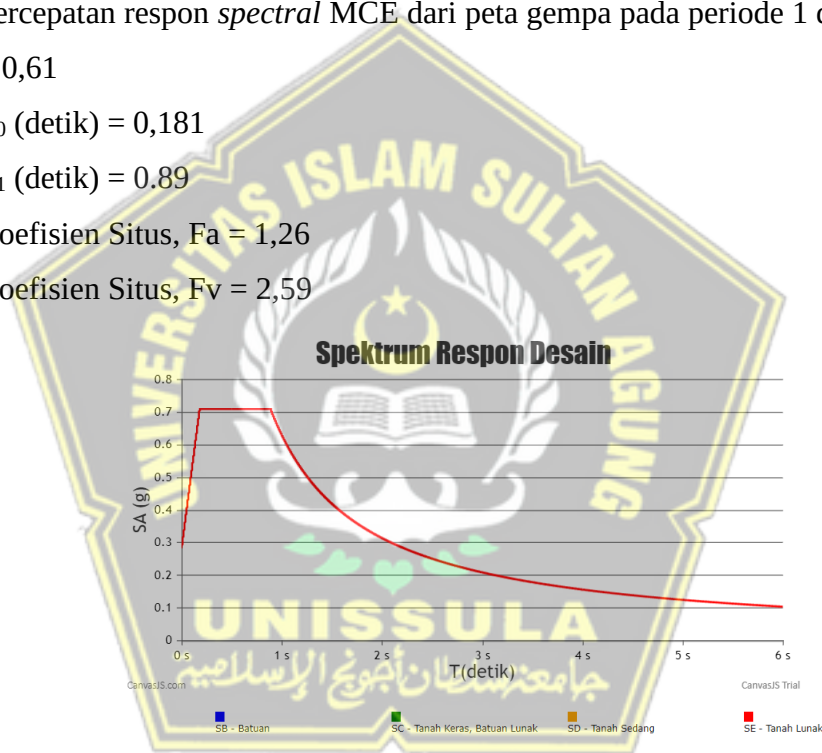
(sumber : SNI 1726:2019)

b. Zona Wilayah Gempa

Untuk menentukan zona yang akan direncanakan yaitu berdasarkan peta gempa dan *respons spectra* 2022 sehingga akan didapatkan data – data parameter gempa dan grafik *Response Spectrum*.

- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, SS (g)
= 0.9110

- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, S_1 (g) = 0.3910
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, S_{MS} (g) = 1,00
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, S_{M1} (g) = 0,91
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, S_{DS} (g) = 0,782
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, S_{D1} (g) = 0,61
- T_0 (detik) = 0,181
- T_1 (detik) = 0.89
- Koefisien Situs, $F_a = 1,26$
- Koefisien Situs, $F_v = 2,59$



Gambar 4. 3 Respons Spektrum Jenis Tanah Lunak Wilayah Semarang
(sumber : <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/>. 2022)

c. Faktor Reduksi Gempa (R)

Berdasarkan (SNI 1726:2019) Faktor Reduksi Gempa untuk perencanaan konstruksi bangunan Gedung Kelas Politeknik PU Semarang menggunakan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus untuk $R = 7$. Dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Faktor Reduksi Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	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	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,j}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI

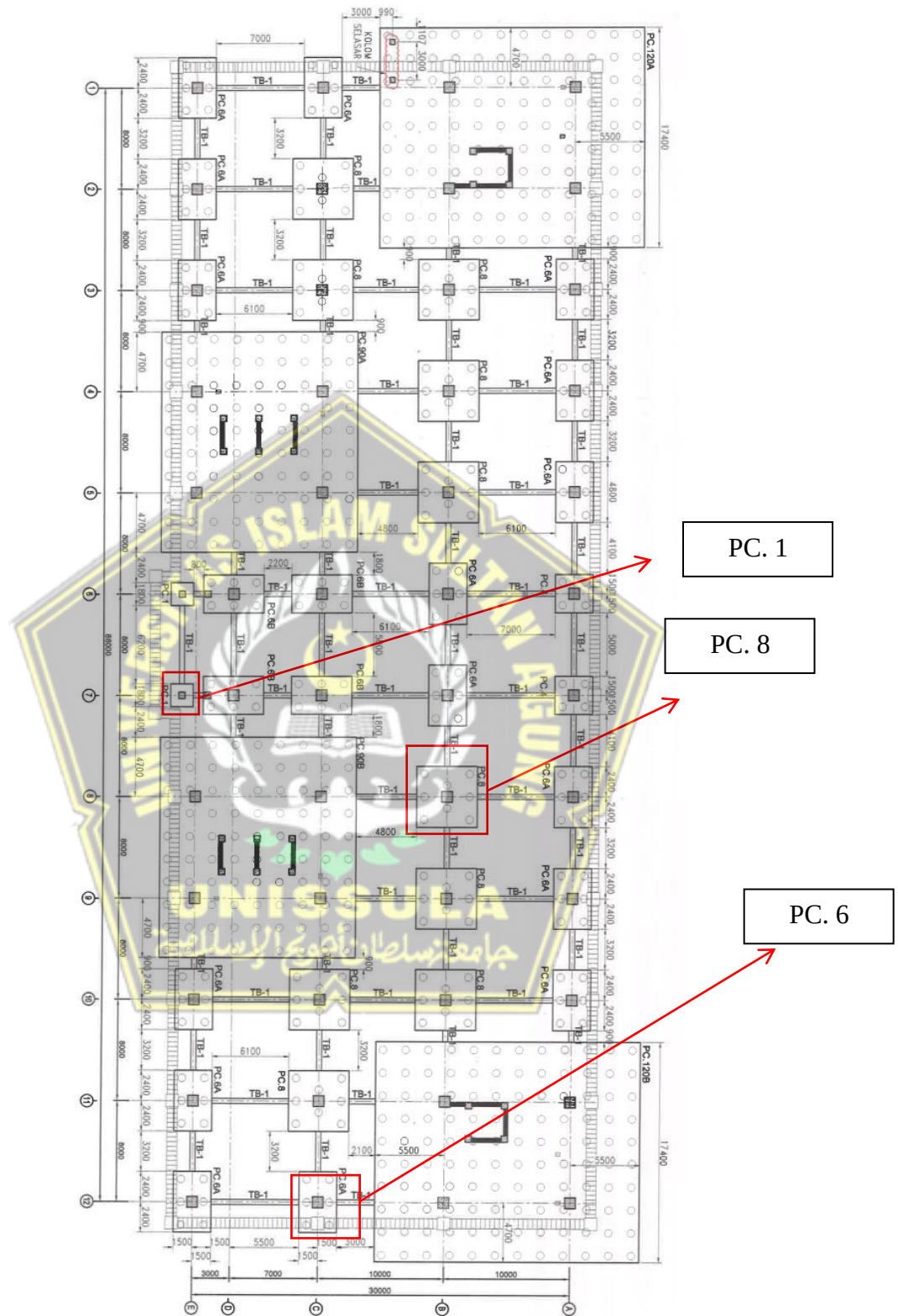
dengan pemboatan:								
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

(sumber : SNI 1726:1012)

d. Zona Wilayah Gempa

Untuk menentukan zona yang akan direncanakan dan mengetahui data - data wilayah yang akan digunakan maka dapat diakses melalui *website* http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/, sehingga akan didapatkan data – data parameter gempa dan grafik *Response Spectrum*.

Selanjutnya data parameter gempa yang telah didapat dimasukkan ke dalam data gempa di software ETABS versi 18. Setelah seluruh beban dimasukkan pada pemodelan struktur dengan memakai program ETABS versi 18, diperoleh hasil output joint reactions. Berikut titik joint yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Untuk melihat beban struktur atas hasil dari permodelan ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini :

Tabel 4. 3 Beban Struktur Atas

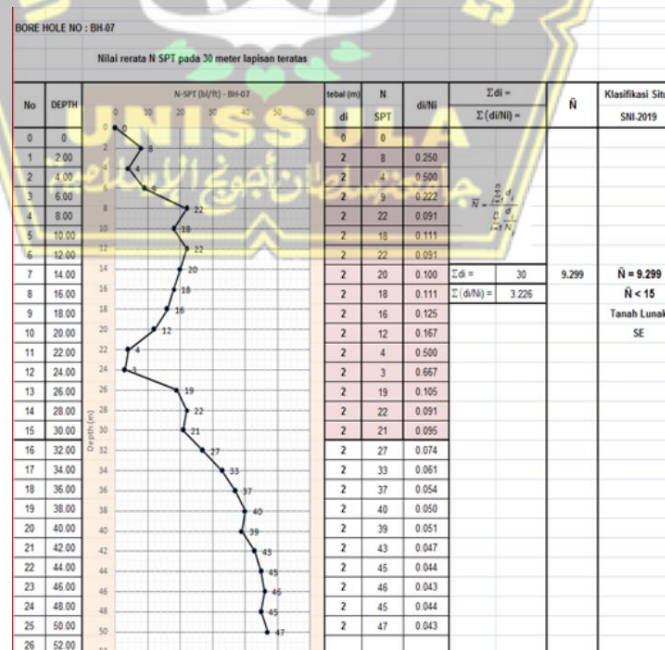
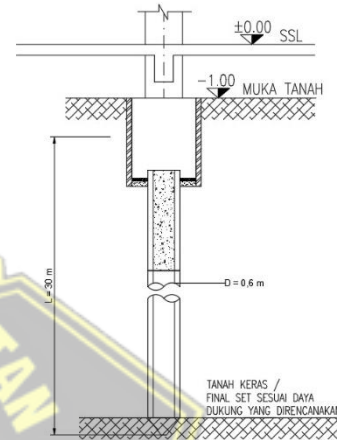
P	V2	V3	T	M2	M3	FX	MX	MY
0,0099	-0,0156	0,00002853	-0,00001074	0,0001	-0,0326	2,0529	2,2761	0,0301
0,0099	-0,0156	0,00002853	-0,00001074	0,000005575	-0,0069	23,1798	15,269	0,2018
0,0099	-0,0156	0,00002853	-0,00001074	-0,0000415	0,0189	23,1531	16,7295	0,2211
0,0493	-0,0004	0,0208	0	0,0394	-0,0005	23,0473	15,6436	0,2068
0,0493	-0,0004	0,0208	0	0,0051	0,0002	23,0473	15,6436	0,2068
0,0493	-0,0004	0,0208	0	-0,0291	0,001	23,0473	15,6436	0,2068
0,0006	0,0083	0,0027	0,0009	0,0051	0,0172	23,0473	15,6436	0,2068
0,0006	0,0083	0,0027	0,0009	0,0006	0,0034	23,0473	15,6436	0,2068
0,0006	0,0083	0,0027	0,0009	-0,0039	-0,0103	23,0473	15,6436	0,2068
199,031	65,8661	30,9953	0,003	36,6198	78,4819	23,0473	15,6436	0,2068
204,02	65,8661	30,9953	0,003	-14,5225	-30,197	23,0473	15,6436	0,2068
209,01	65,8661	30,9953	0,003	-65,6647	-138,88	12,7489	8,398	0,111
212,663	65,7657	29,7258	0,0027	35,0754	78,359	12,7489	8,398	0,111
216,939	65,7657	29,7258	0,0027	-13,9722	-30,154	12,7489	8,398	0,111
221,216	65,7657	29,7258	0,0027	-63,0198	-138,67	12,7489	8,398	0,111
227,69	77,0812	45,1406	0,0266	64,6324	99,9003	12,7489	8,398	0,111
232,43	77,0812	45,1406	0,0266	-9,6117	-23,424	12,7489	8,398	0,111
237,17	77,0812	45,1406	0,0266	-44,6387	-121,66	12,7489	8,398	0,111
176,759	53,8826	15,7245	-0,0208	7,2496	56,1458	12,7489	8,398	0,111
181,499	53,8826	15,7245	-0,0208	-18,9337	-36,621	17,0537	11,2336	0,1485
186,239	53,8826	15,7245	-0,0208	-84,334	-154,47	17,0537	11,2336	0,1485
227,69	77,0812	45,1406	0,0266	64,6324	99,9003	17,0537	11,2336	0,1485
232,43	77,0812	45,1406	0,0266	-9,6117	-23,424	17,0537	11,2336	0,1485
237,17	77,0812	45,1406	0,0266	-44,6387	-121,66	13,5431	5,8109	5,2393
176,759	53,8826	15,7245	-0,0208	7,2496	56,1458	105,972	48,398	35,1469
181,499	53,8826	15,7245	-0,0208	-18,9337	-36,621	112,502	50,7745	36,5088
186,239	53,8826	15,7245	-0,0208	-84,334	-154,47	107,445	48,8758	36,0092
283,45	81,9395	78,6809	0,0355	130,6465	100,15	107,445	48,8758	36,0092
288,19	81,9395	78,6809	0,0355	0,8974	-22,187	107,445	48,8758	36,0092
292,93	81,9395	78,6809	0,0355	0,0298	-105,88	107,445	48,8758	36,0092
120,999	49,0243	-17,8158	-0,0297	-58,7646	55,8963	107,445	48,8758	36,0092
125,739	49,0243	-17,8158	-0,0297	-29,4429	-37,858	107,445	48,8758	36,0092
130,48	49,0243	-17,8158	-0,0297	-129,0026	-170,25	107,445	48,8758	36,0092
283,45	81,9395	78,6809	0,0355	130,6465	100,15	107,445	48,8758	36,0092
288,19	81,9395	78,6809	0,0355	0,8974	-22,187	58,2845	26,6144	19,3308
292,93	81,9395	78,6809	0,0355	0,0298	-105,88	58,2845	26,6144	19,3308
120,999	49,0243	-17,8158	-0,0297	-58,7646	55,8963	58,2845	26,6144	19,3308
125,739	49,0243	-17,8158	-0,0297	-29,4429	-37,858	58,2845	26,6144	19,3308
130,48	49,0243	-17,8158	-0,0297	-129,0026	-170,25	58,2845	26,6144	19,3308
134,933	47,8257	31,7555	0,0254	48,8323	65,0423	58,2845	26,6144	19,3308
137,677	47,8257	31,7555	0,0254	-3,3264	-10,01	58,2845	26,6144	19,3308
140,421	47,8257	31,7555	0,0254	-16,2679	-59,979	58,2845	26,6144	19,3308
84,0013	24,627	2,3394	-0,022	-8,5505	21,2878	77,965	35,601	25,8581
86,7456	24,627	2,3394	-0,022	-12,6483	-23,207	77,965	35,601	25,8581
89,4899	24,627	2,3394	-0,022	-55,9632	-92,785	77,965	35,601	25,8581
134,933	47,8257	31,7555	0,0254	48,8323	65,0423	77,965	35,601	25,8581
137,677	47,8257	31,7555	0,0254	-3,3264	-10,01	17,8204	7,7491	7,1686
140,421	47,8257	31,7555	0,0254	-16,2679	-59,979	134,6653	61,3914	48,0891
84,0013	24,627	2,3394	-0,022	-8,5505	21,2878	143,9401	65,0197	52,6889
86,7456	24,627	2,3394	-0,022	-12,6483	-23,207	136,8423	62,1964	49,2689
89,4899	24,627	2,3394	-0,022	-55,9632	-92,785	136,8423	62,1964	49,2689
190,692	52,6839	65,2958	0,0342	114,8464	65,2918	136,8423	62,1964	49,2689
193,436	52,6839	65,2958	0,0342	7,1828	-8,7729	136,8423	62,1964	49,2689
196,181	52,6839	65,2958	0,0342	28,4006	-44,195	136,8423	62,1964	49,2689
28,2418	19,7688	-31,2009	-0,0309	-74,5647	21,0383	136,8423	62,1964	49,2689
30,9861	19,7688	-31,2009	-0,0309	-23,1575	-24,444	136,8423	62,1964	49,2689
33,7304	19,7688	-31,2009	-0,0309	-100,6318	-108,57	136,8423	62,1964	49,2689
190,692	52,6839	65,2958	0,0342	114,8464	65,2918	74,0659	33,7653	26,449
193,436	52,6839	65,2958	0,0342	7,1828	-8,7729	74,0659	33,7653	26,449
196,181	52,6839	65,2958	0,0342	28,4006	-44,195	74,0659	33,7653	26,449
28,2418	19,7688	-31,2009	-0,0309	-74,5647	21,0383	74,0659	33,7653	26,449
30,9861	19,7688	-31,2009	-0,0309	-23,1575	-24,444	74,0659	33,7653	26,449
33,7304	19,7688	-31,2009	-0,0309	-100,6318	-108,57	74,0659	33,7653	26,449
171,896	60,0579	37,5117	0,0259	55,6331	79,6175	74,0659	33,7653	26,449
175,566	60,0579	37,5117	0,0259	-6,0234	-15,618	74,0659	33,7653	26,449
179,237	60,0579	37,5117	0,0259	-28,4628	-85,771	99,0752	45,1665	35,3798
120,964	36,8593	8,0957	-0,0215	-1,7497	35,863	99,0752	45,1665	35,3798
124,635	36,8593	8,0957	-0,0215	-15,3453	-28,815	99,0752	45,1665	35,3798
128,306	36,8593	8,0957	-0,0215	-68,1581	-118,58	99,0752	45,1665	35,3798
171,896	60,0579	37,5117	0,0259	55,6331	79,6175	246,1751	62,2116	49,2839
175,566	60,0579	37,5117	0,0259	-6,0234	-15,618	3934,965	62,2116	49,2839
179,237	60,0579	37,5117	0,0259	-28,4628	-85,771	3766,707	62,2116	49,2839
120,964	36,8593	8,0957	-0,0215	-1,7497	35,863	4315,212	62,2116	49,2839
124,635	36,8593	8,0957	-0,0215	-15,3453	-28,815	3407,396	62,2116	49,2839
128,306	36,8593	8,0957	-0,0215	-68,1581	-118,58	4315,212	62,2116	49,2839

(sumber : Hasil Perhitungan ETABS 2022)

4.3 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi *Existing* (Single Pile)

Pada perencanaan proyek Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, telah direncanakan menggunakan fondasi *spun pile* dengan diameter sebesar 600 mm. Pada perhitungan kapasitas daya dukung fondasi *spun pile* dihitung dengan metode Mayerhoff dan menggunakan data N-SPT (*Standart Penetration Test*). Adapun data fondasi *spun pile* adalah sebagai berikut :

- Diameter = 600 cm = 0,6 m
- Kedalaman = 30 m
- Keliling = $\pi \times D$
= $3,14 \times 0,6$
= 1,884 m
- Luas (A_p) = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,6^2$
= 0,2826 m²
- Berat tiang = $A_p \times B_j \times \text{Kedalaman}$
= $0,2826 \times 2400 \times 30$
= 20347kg = 20,347 ton = 203,47 kN



Gambar 4. 5 Data Tanah (PT CIRIAJASA)

KELAS & LABORATORIUM							
BH-07		BH-08		BH-09		BH-10	
N-SPT	Type	N-SPT	Type	N-SPT	Type	N-SPT	Type
8	Fill	4	Fill	4	Fill	36	Fill
4	Fill	4	Fill	6	Clay	6	Silty Clay
9	Silty Clay	21	Fine Sand	10	Clay	20	Fine Sand
22	Fine Sand	21	Fine Sand	24	Fine Sand	20	Fine Sand
18	Fine Sand	21	Fine Sand	23	Fine Sand	22	Fine Sand
22	Fine Sand	21	Fine Sand	22	Fine Sand	18	Fine Sand
20	Fine Sand	4	Silty Clay	18	Fine Sand	4	Clay
18	Fine Sand	3	Silty Clay	3	Silty Clay	3	Clay
16	Fine Sand	4	Silty Clay	1	Silty Clay	4	Clay
12	Silty Clay	4	Silty Clay	3	Silty Clay	6	Silty Clay
4	Silty Clay	5	Clay	4	Silty Clay	4	Silty Clay
3	Silty Clay	4	Clay	16	Clay	6	Silty Clay
19	Clay	11	Clay	18	Clay	10	Clay
22	Clay	22	Gravelly Clay	23	Clay	12	Clay
21	Clay	21	Gravelly Clay	21	Clay	14	Clay
27	Clay			28	Clay		
33	Clay			32	Clay		
37	Clay			38	Clay		
40	Clay			39	Clay		
39	Clay			38	Clay		
43	Clay			42	Clay		
45	Clay			44	Gravelly Clay		
46	Gravelly Clay			46	Gravelly Clay		
45	Gravelly Clay			44	Gravelly Clay		
47	Gravelly Clay			43	Gravelly Clay		
				45	Gravelly Clay		
				47	Gravelly Clay		

Gambar 4. 6 Keterangan Tanah (PT CIRIAJASA)

4.3.1 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Metode Reese & Wright

a. Daya Dukung Ujung Fondasi

$$Q_p = A_p \times \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right) \text{ (Untuk tanah non kohesif)}$$

$$q_{p \text{ non kohesif}} = \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right)$$

$$Q_p = A_p \times q_p \text{ (Untuk tanah kohesif)}$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung tiang (kN/m^2)

Untuk tanah non kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$q_{p \text{ non kohesif}} = \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right)$$

$$N_1 = 4 \times D \times L$$

$$= 4 \times 0.6 \times 2$$

$$= 4,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{N-SPT } 2 = 8 \\
 &= \text{N-SPT } 4 = 4 \\
 &= \text{N-SPT } 6 = 9 \\
 &= \text{N-SPT rata-rata} = 7
 \end{aligned}$$

N2

$$\begin{aligned}
 &= L - 8 \times D \\
 &= 2 \times 8 \times 0.6 \\
 &= -2,8 \text{ m} \\
 &= \text{N-SPT } -2 = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{N-SPT } 0 = 0 \\
 &= \text{N-SPT } 2 = 8 \\
 &= \text{N-SPT } 4 = 4 \\
 &= \text{N-SPT } 6 = 9 \\
 &= \text{N-SPT rata-rata} = 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{p_{\text{non kohesif}}} &= \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right) \\
 &= \left(7 \times \frac{7 + 2,4}{2} \right) \\
 &= 39,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \times \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right) \\
 &= 0,2826 \times q_p \\
 &= 0,2826 \times 39,2 \\
 &= 11,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 20 meter berikut ini :

$$\begin{aligned}
 C_u &= \text{N-SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \\
 &= 12 \times \frac{2}{3} \times 10 \\
 &= 80 \\
 q_{p_{\text{kohesif}}} &= 9 \times C_u \\
 &= 9 \times 80
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 720 \\
 Q_p &= A_p \times q_p \\
 &= 0,2826 \times 720 \\
 &= 203,47 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Gesek Fondasi Tiang

Gesekan selimut tiang per-satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah.

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f \times L_i \times p \\
 f_{(\text{kohesif})} &= \alpha \times C_u \\
 f_{(\text{non kohesif})} &= \alpha \times N\text{-SPT}
 \end{aligned}$$

Dimana :

Q_s = Daya Dukung Selimut Tiang (kN)

f = Gesekan selimut tiang (kN/m²)

α = Faktor Adhesi

- 0,32 untuk tanah non-kohesif

- 0,55 untuk tanah kohesif

C_u = Kohesi tanah (kN/m²)

Untuk tanah non kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned}
 f_{(\text{non kohesif})} &= \alpha \times N\text{-SPT} \\
 &= 0,32 \times 8 \\
 &= 2,56 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f \times L_i \times p \\
 &= 2,56 \times 2 \times 1,884 \\
 &= 9,646 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 20 meter berikut ini :

$$\begin{aligned}
 f_{(\text{kohesif})} &= \alpha \times C_u \\
 &= 0,55 \times 80 \\
 &= 44 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f \times L_i \times p \\
 &= 44 \times 20 \times 1,884 \\
 &= 165,79 \text{ kN} \\
 \sum Q_s &= (f \times L_i \times P) + \sum Q_s(0 \text{ m} - 18 \text{ m}) \\
 &= (44 \times 2 \times 1,884) + 278,681 \\
 &= 444,473 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal (*Single Pile*)

- Untuk kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + \sum Q_s \\
 &= 11,08 + 9,647 \\
 &= 20,72 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 20 meter

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_p + \sum Q_s \\
 &= 203,47 + 444,473 \\
 &= 647,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Daya Dukung Ijin Tiang Tunggal (*Single Pile*)

- Untuk kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
 &= \frac{20,72}{3} \\
 &= 6,908 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 20 meter

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
 &= \frac{647,95}{3} \\
 &= 215,98 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kedalaman berikutnya, dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Daya Dukung Aksial Menggunakan Metode Reese & Wright

L	Nspt	D	N1	N2	rata rata		qp
					N1 + 3	N2 + 5	
0	0	0,6	2,4	-4,8	4	2,4	22,4
2	8	0,6	4,4	-2,8	7	4,2	39,2
4	4	0,6	6,4	-0,8	11,66667	8,6	70,93
6	9	0,6	8,4	1,2	47,33333	46,6	328,8
8	22	0,6	10,4	3,2	20,66667	15	124,8
10	18	0,6	12,4	5,2	20	18,2	133,7
12	22	0,6	14,4	7,2	20	20	140
14	20	0,6	16,4	9,2	18	18,8	128,8
16	18	0,6	18,4	11,2	15,33333	17,6	115,3
18	16	0,6	20,4	13,2	10,66667	14	86,33

Depth (m)	Nspt	Cu (kN /m2)	α (alfa)	f (kN /m2)	Li (m)	p (m)	Qs		Ap (m2)	qp (kN/m2)	Qp (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
							Local	Cum					
0	0	0	0.32	0	0	1.884	0	0	0.2826	22.4	6.3302	6.3302	2.1101
2	8	53.33	0.32	2.56	2	1.884	9.6461	9.64608	0.2826	39.2	11.078	20.724	6.908
4	4	26.67	0.32	1.28	2	1.884	4.823	14.4691	0.2826	70.93333	20.046	34.515	11.505
6	9	60	0.55	33	2	1.884	124.34	138.813	0.2826	540	152.6	291.42	97.139
8	22	146.7	0.32	7.04	2	1.884	26.527	165.34	0.2826	124.8333	35.278	200.62	66.873
10	18	120	0.32	5.76	2	1.884	21.704	187.044	0.2826	133.7	37.784	224.83	74.942
12	22	146.7	0.32	7.04	2	1.884	26.527	213.57	0.2826	140	39.564	253.13	84.378
14	20	133.3	0.32	6.4	2	1.884	24.115	237.685	0.2826	128.8	36.399	274.08	91.361
16	18	120	0.32	5.76	2	1.884	21.704	259.389	0.2826	115.2667	32.574	291.96	97.321
18	16	106.7	0.32	5.12	2	1.884	19.292	278.681	0.2826	86.33333	24.398	303.08	101.03
20	12	80	0.55	44	2	1.884	165.79	444.473	0.2826	720	203.47	647.95	215.98
22	4	26.67	0.55	14.67	2	1.884	55.264	499.737	0.2826	240	67.824	567.56	189.19
24	3	20	0.55	11	2	1.884	41.448	541.185	0.2826	180	50.868	592.05	197.35
26	19	126.7	0.55	69.67	2	1.884	262.5	803.689	0.2826	1140	322.16	1125.9	375.28
28	22	146.7	0.55	80.67	2	1.884	303.95	1107.64	0.2826	1320	373.03	1480.7	493.56
30	21	140	0.55	77	2	1.884	290.14	1397.78	0.2826	1260	356.08	1753.9	584.62

(sumber : Hasil Perhitungan 2022)

4.3.2 Daya Dukung Aksial Metode Maryerhof

a. Daya Dukung Ujung Tanah Fondasi (Single Pile)

- Daya dukung ujung (Qp) untuk tanah non-koheusif

$$Q_p = 40 N_b \times A_p$$

Dimana :

N_b = Nilai rata-rata dari 8D diatas ujung fondasi dan 4

D dibawah ujung pondasi

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

Untuk tanah non-kohefif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} N_b &= \text{Nilai rata-rata dari 8D diatas ujung fondasi dan 4} \\ &\quad \text{D dibawah ujung pondasi} \\ 8D &= 8 \times 0,6 = 4,8 \text{ m} \\ 3D &= 3 \times 0,6 = 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai SPT rata-rata pada kedalaman 30 m yaitu 8D ke atas s/d 4D ke bawah :

$$\begin{aligned} N_b &= (12 + 23 + 21 + 28 +)/4 \\ &= 91/4 = 22,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 N_b \times A_p \\ &= 40 \times 22,75 \times 0,2826 \\ &= 257,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Daya dukung ujung (Q_p) untuk tanah kohesif

$$Q_p = 9 C_u \times A_p$$

Dimana :

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

$$A_p = \text{Luas penampang tiang (m}^2\text{)}$$

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 20 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} C_u &= N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10 \\ &= 12 \times 2/3 \times 10 \\ &= 80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 C_u \times A_p \\ &= 9 \times 80 \times 0,2826 \\ &= 203,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Selimut Tiang

- Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah non-kohefif

$$Q_s = 0,2 N\text{-SPT} \times p \times L_i$$

Dimana :

p = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)

Untuk tanah non-kohefif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_s &= (0,2 \text{ N-SPT} \times p \times L_i) \\ &= (0,2 \times 8 \times 1,884 \times 2) \\ &= 6.0288 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Daya dukung selimut tiang (Q_s) untuk tanah kohesif

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L_i$$

Dimana :

α = Faktor adhesi (didapat dari grafik pada Gambar 2.16)

C_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

p = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 20 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \times C_u \times p \times L_i \\ &= 0,6 \times 80 \times 1,884 \times 2 \\ &= 180,864 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_s &= \alpha \times C_u \times p \times L_i + \sum Q_s (0 \text{ m} - 18 \text{ m}) \\ &= 0,6 \times 80 \times 1,884 \times 2 + 232,787 \\ &= 180,864 + 232,787 \\ &= 413,651 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Daya Dukung Ultimit Tanah Pondasi Satu Tiang (Qult)

- Untuk kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + \sum Q_s \\ &= 257,17 + 6,0288 \\ &= 263,194 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 20 meter

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + \sum Q_s \\ &= 203,472 + 382,828 \\ &= 586,300 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Daya Dukung Ijin Tanah Pondasi Satu Tiang (Qall)

- Untuk kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{263,194}{3} \\ &= 87,731 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Untuk kedalaman 20 meter

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{586,300}{3} \\ &= 195,434 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk kedalaman berikutnya, dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4. 5 Daya Dukung Aksial Menggunakan Metode Mayerhoff

Depth	N-SPT	40Nb	0.2 N-SPT	Cu (kN /m2)	α	Li (m)	Keliling (m)	Ap (m2)	Qs		Qp	Qult	Qall
(m)									Local	Cumulative			
0	0	22.75	0	0	1	0	1.884	0.2826	0	0	257.17	257.166	85.722
2	8	22.75	1.6	53.33	0.8	2	1.884	0.2826	6.0288	6.0288	257.17	263.1948	87.7316
4	4	22.75	0.8	26.67	0.9	2	1.884	0.2826	3.0144	9.0432	257.17	266.2092	88.7364
6	9	22.75	1.8	60	0.6	2	1.884	0.2826	135.648	144.6912	257.17	297.2952	99.0984
8	22	22.75	4.4	146.7	0.5	2	1.884	0.2826	16.5792	161.2704	257.17	418.4364	139.479
10	18	22.75	3.6	120	0.5	2	1.884	0.2826	13.5648	174.8352	257.17	432.0012	144
12	22	22.75	4.4	146.7	0.5	2	1.884	0.2826	16.5792	191.4144	257.17	448.5804	149.527
14	20	22.75	4	133.3	0.5	2	1.884	0.2826	15.072	206.4864	257.17	463.6524	154.551
16	18	22.75	3.6	120	0.5	2	1.884	0.2826	13.5648	220.0512	257.17	477.2172	159.072
18	16	22.75	3.2	106.7	0.5	2	1.884	0.2826	12.0576	232.1088	257.17	489.2748	163.092
20	12	22.75	2.4	80	0.5	2	1.884	0.2826	150.72	382.8288	203.47	586.3008	195.434
22	4	22.75	0.8	26.67	0.9	2	1.884	0.2826	90.432	473.2608	67.824	541.0848	180.362
24	3	22.75	0.6	20	1	2	1.884	0.2826	75.36	548.6208	50.868	599.4888	199.83
26	19	22.75	3.8	126.7	0.5	2	1.884	0.2826	238.64	787.2608	322.16	1109.425	369.808
28	22	22.75	4.4	146.7	0.5	2	1.884	0.2826	276.32	1143.581	373.03	1516.613	505.538
30	21	22.75	4.2	140	0.5	2	1.884	0.2826	263.76	1407.341	356.08	1763.417	591.139

(sumber : Hasil Perhitungan 2022)

4.3.3 Daya Dukung Tanah Fondasi Metode Tomlinson

Berdasarkan data karakteristik fondasi tiang pancang, diketahui :

a. Panjang tiang $L/d > 15$; $L = 25 \text{ m} = 2500 \text{ cm}$

Kapasitas dukung ujung

Luas penampang (A_p) = $0,2826 \text{ m}^2 = 2826 \text{ cm}^2$

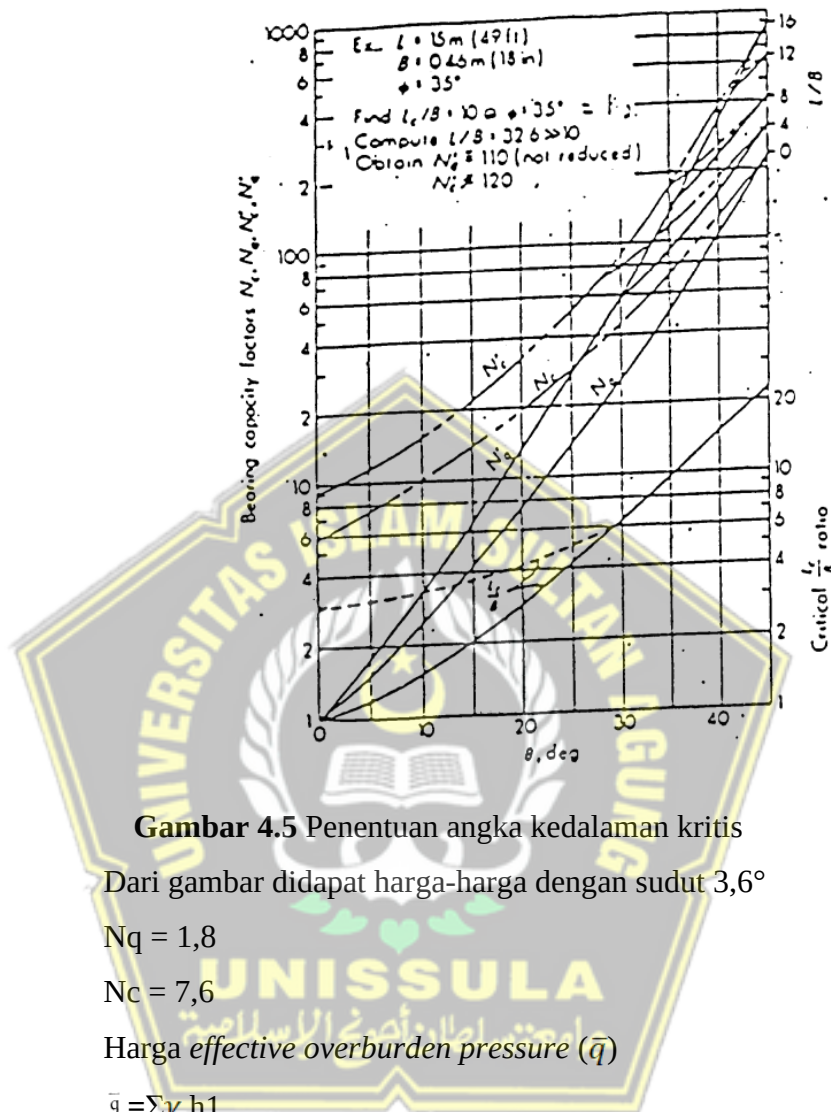
Kohesi rata-rata tanah (C_r)

$$\begin{aligned}
 C_r &= \frac{C_1.L_1 + C_2.L_2}{L_1 + L_2} \\
 &= \frac{0.149.2 + 16.0.074}{2 + 16} \\
 &= 0,083 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Sudut geser rata-rata (ϕ_r)

$$\begin{aligned}
 \phi_r &= \text{tg}^{-1} \frac{\text{tg} \phi_1.L_1 + \text{tg} \phi_2.L_2}{L_1 + L_2} \\
 \phi_r &= \text{tg}^{-1} \frac{\text{tg} 5.839^\circ.2 + \text{tg} 3.309^\circ.16}{2 + 16} \\
 \phi_r &= \text{tg}^{-1} \frac{0.2045 + 0.925}{18} \\
 \phi_r &= \text{tg}^{-1} \frac{1.1295}{18} \\
 \phi_r &= \text{tg}^{-1} 0,06275
 \end{aligned}$$

$$\phi r = 3,6^\circ$$



Gambar 4.5 Penentuan angka kedalaman kritis

Dari gambar didapat harga-harga dengan sudut $3,6^\circ$

$$N_q = 1,8$$

$$N_c = 7,6$$

Harga *effective overburden pressure* ($\bar{q}$)

$$\bar{q} = \sum \gamma \cdot h_1$$

$$= \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2$$

$$= 1,363 \cdot 2 + 1,345 \cdot 16$$

$$= 2,425 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung pondasi tiang tunggal $L/d > 15$, menurut Tomlinson adalah

$$Q_e = A_p (c \cdot N_c + \bar{q} N_q)$$

$$= 2826 (0,083 \cdot 7,6 + 2,425 \cdot 1,8)$$

$$= 14118,13 \text{ kg}$$

$$= 138,45 \text{ kN}$$

Kapasitas dukung friksi

Lapisan 1 (L=2,00 m = 200 cm)

$$c = 0,149 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 5,389^\circ ; \phi' = 2/3 \cdot \phi = 3,6^\circ$$

$$\delta = 2/3 \cdot \phi' = 2,4^\circ$$

$$\bar{q} = \gamma \cdot h_1 = 1,363 \cdot 200 = 272,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \sqrt{OCR} ; \text{nilai OCR diambil } = 1$$

$$= (1 - \sin 3,6^\circ) \sqrt{1}$$

$$= 0,937$$

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 200$$

$$= 31400 \text{ cm}^2 = 3,14 \text{ m}$$

$$Q_u = 0,252 \text{ kg/cm}^2 = 25,2 \text{ KN/m}^2$$

$$C_u = 0,5 \cdot q_u = 12,6 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{f1} = \alpha \cdot c \cdot A_s + K \cdot \bar{q} \cdot \tan \delta \cdot A_s$$

$$= 1 \cdot 0,149 \cdot 31400 + 0,937 \cdot 272,6 \cdot 0,042 \cdot 31400$$

$$= 4678,6 + 3368,56$$

$$= 8047,161 \text{ kg} = 78,9157 \text{ Kn}$$

Lapisan 2 (L=16 m = 1600 cm)

$$C = 0,074 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 3,309^\circ ; \phi' = 2/3 \cdot \phi = 2,206^\circ$$

$$\delta = 2/3. \phi' = 1,470^\circ$$

$$\bar{q} = \gamma_1.h_1 + \gamma_2.h_2 = 24244,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= K_0 = (1 - \sin \phi') \sqrt{OCR} ; \text{ nilai OCR diambil } = 1 \\ &= (1 - \sin 3,309^\circ) \sqrt{1} \\ &= 0,942^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 2. \pi. r. L \\ &= 2. 3,14. 25. 1600 \\ &= 251200 \text{ cm}^2 = 25,12 \text{ m} \end{aligned}$$

$$q_u = 0,429 \text{ kg/cm}^2 = 42,9 \text{ KN/m}^2$$

$$C_u = 0,5.q_u = 21,45 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{f2} &= \alpha. c. A_s + K. \bar{q}. \tan \delta. A_s \\ &= 1. 0,074. 251200 + 0,942. 24244,6. 0,026. 251200 \\ &= 18588,8 + 149162,244 \\ &= 1645,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{f \text{ total}} &= Q_{f1} + Q_{f2} \\ &= 8047,161 + 167751,044 \\ &= 1723,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka kapasitas dukung ultimit pondasi tiang pancang $L/d > 15$ menurut Tomlinson adalah :

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_e + Q_f \\ &= 10199,034 + 175798,205 = 1824,01 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_{ult}/SF \\ &= 185997,239/2,5 = 729,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3.4 Hasil Perhitungan

Berikut perhitungan menggunakan metode Reese & Wright, Meyerhof, dan Tomlinson untuk menentukan daya dukung aksial tanah fondasi. Tabel 4.6 pada teks di bawah ini berisi hasil perhitungan dan perbandingan.

Tabel 4. 6 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi

Metode	Ujung (Qp)(kN)	Selimut (Qs) (kN)	Ultimit (Qult)(kN)	Ijin (Qall) (kN)
Reese & Wright	356,08	1397,78	1753,9	584,62
Meyerhof	356,08	1407,341	1763,417	591,139
Tomlinson	138,45	1723,99	1824,01	729,6
Daya dukung yang dipakai	356,08	1397,78	1753,9	584,62

(sumber : Hasil Perhitungan 2022)

Daya dukung fondasi yang memiliki nilai paling kecil pada tabel 4.6 dapat digunakan sebagai panduan dalam perhitungan berikut. Daya dukung minimum pondasi yang dihitung menggunakan metode Reese & Wright adalah 356,08 kN pada titik ujung, 1397,78 kN pada titik selimut, 1753,9 kN pada titik ultimit, dan 584,62 kN pada titik yang diijinkan.

4.4 Daya Dukung Lateral Pondasi Satu Tiang (Single Pile)

4.4.1 Daya Dukung Lateral Ultimit Menurut Metode Broms

$$\gamma = 1,319 \text{ kN/m}^3$$

$$K_p = \tan^3 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = 3,044$$

Spesifikasi tiang

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$f_c' = 350 \text{ kg/cm}^3 = 30 \text{ Mpa}$$

Cek kekakuan tiang fondasi

$$\begin{aligned} E &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Kekakuan tiang fondasi

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,6^4 \\ &= 0,006 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai kekakuan dari fondasi tiang dibutuhkan nilai ηh yang didapat dari Tabel nilai – nilai ηh untuk tanah kohesif.

Nilai ηh didapat 280 kN/m²

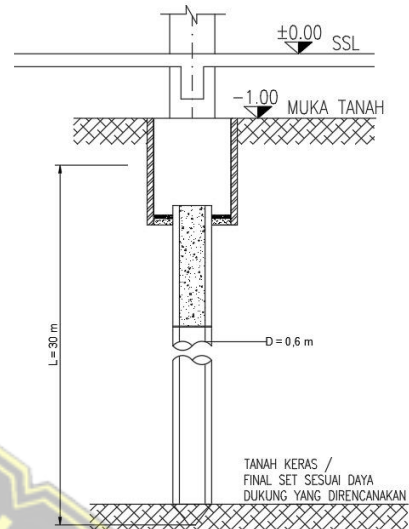
Untuk faktor kekakuan tanah

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{E_p \times I_p}{\eta h} \right)^{1,5} \\ &= \left(\frac{25742,96 \times 0,006}{280} \right)^{1,5} \\ &= 0,409 \end{aligned}$$

$$4T = 4 \times T$$

$$= 4 \times 0,409$$

$$= 1,636 \text{ m}$$



Dari hasil perhitungan diatas, $L > 4T$, maka tiang fondasi termasuk tiang fondasi Panjang yang elastis.

Cek keruntuhan tanah

$$\begin{aligned} M_{\max} &= D \times \gamma \times L^3 \times K_p \\ &= 0,6 \times 1,319 \times 30^3 \times 3,044 \\ &= 2168,11944 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek nilai H_u

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{D \times k_p \times \gamma}} \\ &= 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{0,6 \times 3,044 \times 1,319}} \end{aligned}$$

$$f = 1,81662$$

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{2My}{e + \frac{2f}{3}} \\ &= \frac{2 \times 1500}{0 + (2 \times 0,133) \frac{\sqrt{H_u}}{3}} \end{aligned}$$

$$H_u = \frac{34482,76}{\sqrt{H_u}}$$

$$H_u^{2/3} = 34482,76$$

$$H_u = 1059,42 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} H_{ijin} &= \frac{H_u}{SF} \\ &= \frac{1059,42}{3} \end{aligned}$$

$$= 353,14 \text{ kN}$$

Perhitungan pada tahanan lateral ijin adalah :

$$55 = \frac{H_u}{k_p \times \gamma \times D^2}$$

$$55 = \frac{H_u}{3,044 \times 1,319 \times 0,6^3}$$

$$H_u = 7,9497715 \text{ kN}$$

4.5 Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang (Group Pile)

Jika memiliki hitungan daya dukung untuk masing-masing tiang pancang, dapat menggunakan persamaan pendekatan Converse-Labbare untuk mendapatkan daya dukung kelompok tiang pancang. Inilah jumlah tiang pancang yang akan dibuat:

4.5.1 Menentukan Jumlah Pile

Tabel 4. 7 Perhitungan Jumlah Tiang Akibat Beban Aksial

joint	n1	n2	S	D	θ	Efisiensi Group	%	n	Qall Single	Qallowable	Beban Kolom	Keterangan Qall > P
55	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	458,47	AMAN
89	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	458,47	AMAN
95	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	458,47	AMAN
26	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	509,66	AMAN
3	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	509,66	AMAN
2	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	509,66	AMAN
61	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	549,85	AMAN
48	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	549,85	AMAN
83	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	549,85	AMAN
29	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	474,879	AMAN
66	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	474,879	AMAN
1	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	474,879	AMAN
87	1	1	180	60	36.87	1	100	1	584.6	584.6	474,879	AMAN
39	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5582,12	AMAN
52	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5582,66	AMAN
28	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5621,29	AMAN
54	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5621,30	AMAN
31	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5732,43	AMAN
50	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5732,44	AMAN
60	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5737,17	AMAN
78	3	3	180	60	36.87	0.73	50	8	584.6	3414,06	5737,18	AMAN
70	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6075,17	AMAN
77	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6217,57	AMAN
91	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6217,58	AMAN
51	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6217,59	AMAN
81	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6013,42	AMAN
93	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6013,43	AMAN
56	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6013,44	AMAN
72	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6223,34	AMAN
92	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6223,35	AMAN
73	3	3	180	60	36.87	0.73	73	9	584.6	3840,82	6223,36	AMAN

(Sumber : Hasil Perhitungan 2022)

$$N = \left(\frac{P}{Q_a} \right)$$

Dimana :

P = Beban bangunan pada *joint*

Q_a = Q_{allowable}

4.5.2 Menentukan Jarak Tiang

a. Syarat jarak tiang (as ke as)

$$2,5D < S < 3D$$

$$(2,5 \times 60) < s < (3 \times 60) = 150 < S < 180$$

$$= 180 \text{ cm} = 1,8 \text{ m}$$

b. Syarat jarak as tiang ke tepi

$$S < 1,25D$$

$$S < 1,25 \times 0,6 = S < 7,5$$

$$= 7,5 \text{ m}$$

4.5.3 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Lakukan perhitungan yang diperlukan untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dengan menggunakan faktor efisiensi. Untuk menentukan faktor efisiensi, gunakan persamaan Converse-labarre sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1).n_2 + (n_2 - 1).n_1}{90.n_1.n_2} \right] . \theta$$

Dimana :

n_1 = jumlah baris tiang

n_2 = jumlah tiang dalam satu baris

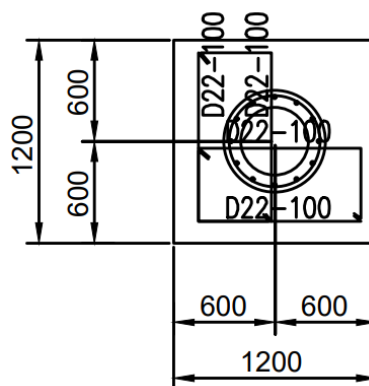
s = jarak antar tiang

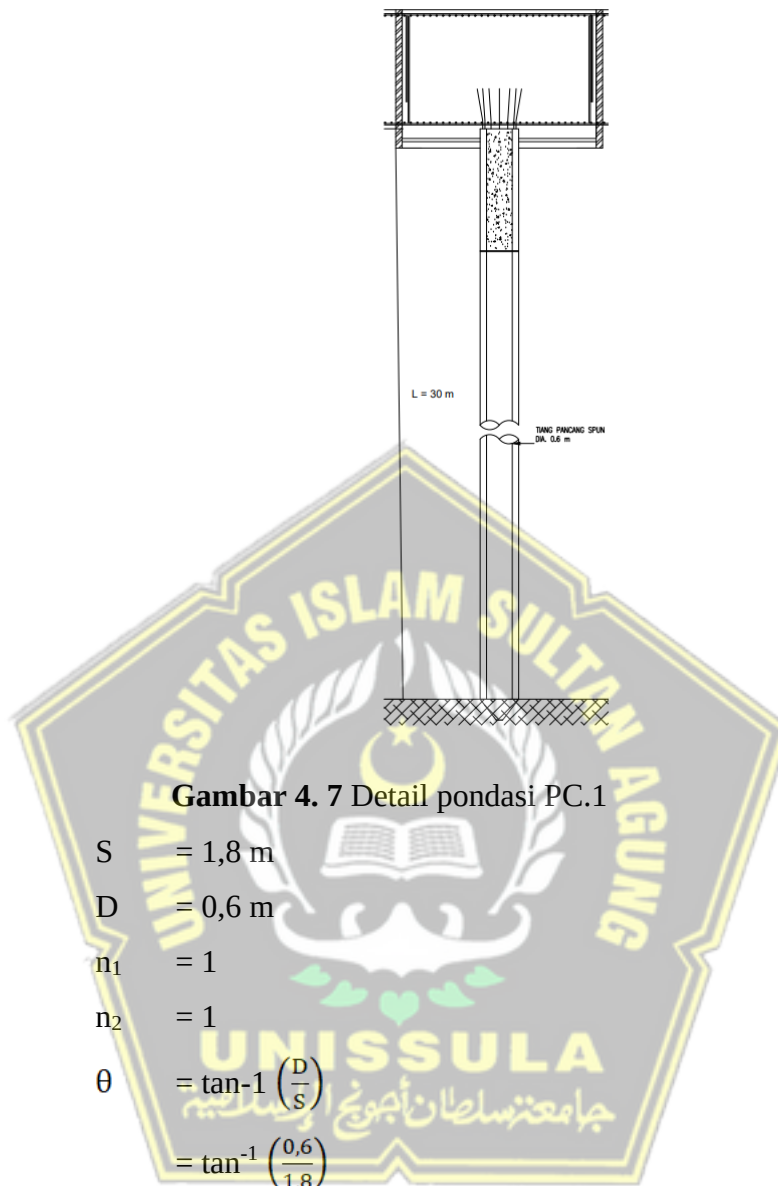
D = diameter atau sisi tiang

θ = $\tan^{-1}(D/s)$ ($^{\circ}$)

a. Perhitungan daya dukung kelompok tiang PC 1

Pada gambar 4.8 menggambarkan ilustrasi menyeluruh dari pondasi dengan *pile cap* tipe PC.1.





Gambar 4. 7 Detail pondasi PC.1

$$S = 1,8 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,6}{1,8} \right)$$

$$= 36,87$$

$$E_g = 1 - \left[\frac{(1 - 1) \cdot 1 + (1 - 1) \cdot 1}{90 \cdot 1 \cdot 1} \right] \cdot 36,87$$

$$= 1$$

$$= 100 \%$$

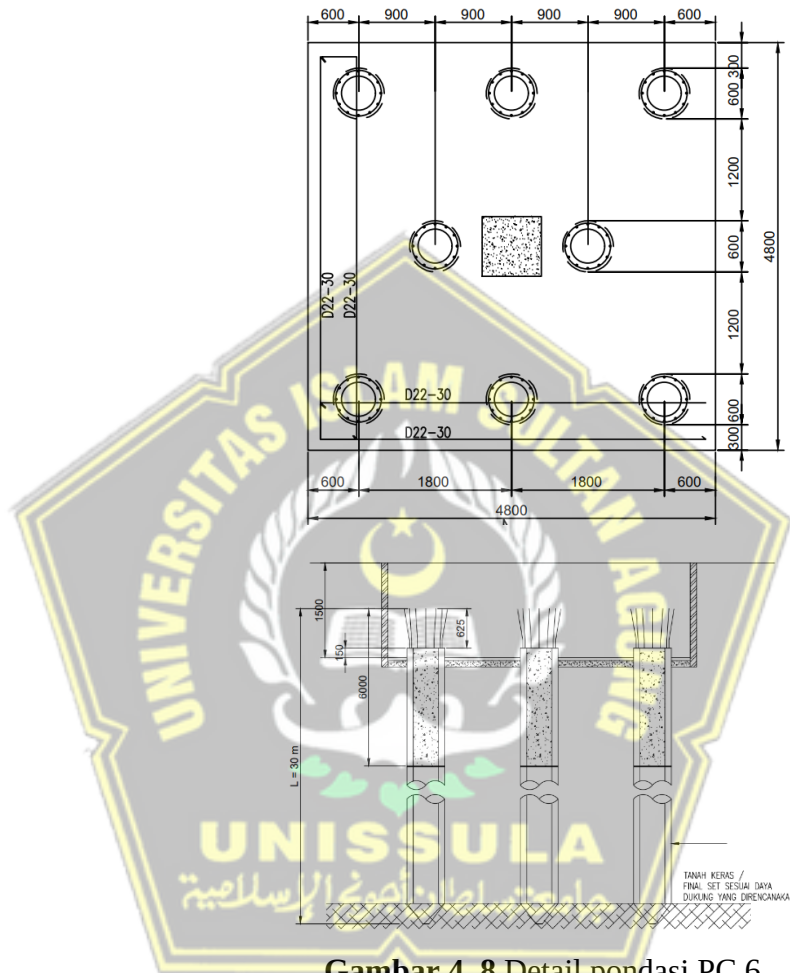
$$Q_{all(group)} = n \times Q_{all(single)} \times E_g$$

$$= 1 \times 584,6 \times 1$$

$$= 584,6 \text{ kN}$$

b. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang PC 6

Pada Gambar 4.9, kami memiliki representasi diagramatis dari alas dengan *pile cap* tipe PC.6.



Gambar 4. 8 Detail pondasi PC.6

$$S = 1,8 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$n_1 = 3$$

$$n_2 = 3$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

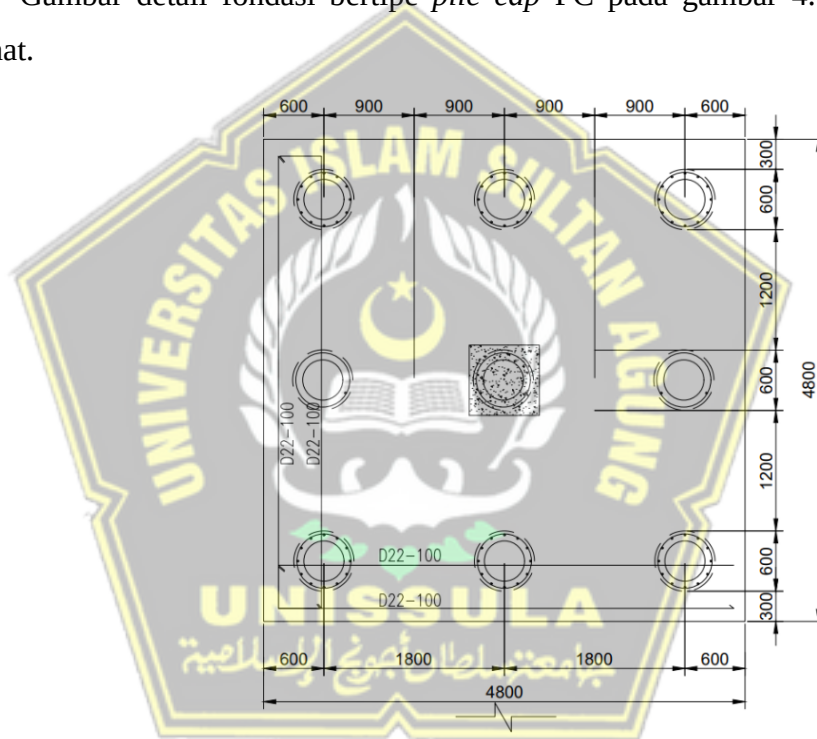
$$= \tan^{-1} \left(\frac{1}{3} \right)$$

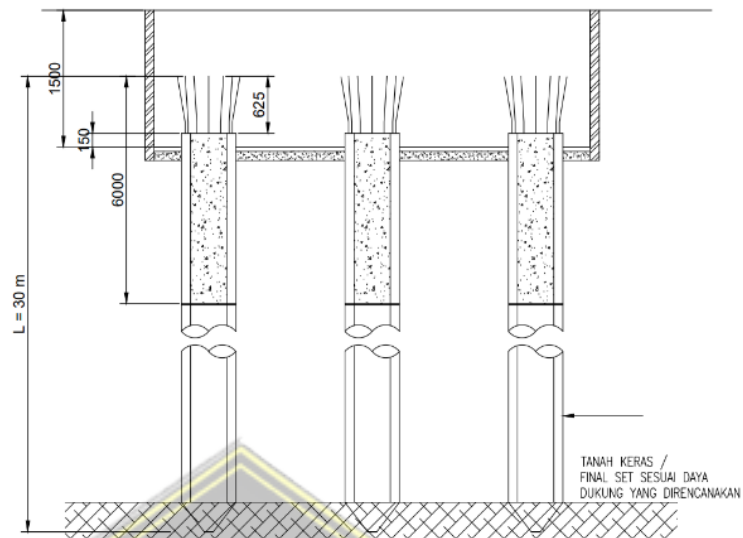
$$= 36,87$$

$$\begin{aligned}
 E_g &= 1 - \left[\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right] \cdot 36,87 \\
 &= 0,73 \\
 &= 73 \% \\
 Q_{all(group)} &= n \times Q_{all(single)} \times E_g \\
 &= 8 \times 584,6 \times 0,73 \\
 &= 3414,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang PC 8

Gambar detail fondasi bertipe *pile cap* PC pada gambar 4.10 yang bisa dilihat.





Gambar 4. 9 Detail pondasi PC.8

$$S = 1,8 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$n_1 = 3$$

$$n_2 = 3$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{1}{3} \right)$$

$$= 36,87$$

$$E_g = 1 - \left[\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right] \cdot 36,87$$

$$= 0,73$$

$$= 73 \%$$

$$Q_{all(group)} = n \times Q_{all(single)} \times E_g$$

$$= 9 \times 584,6 \times 0,73$$

$$= 3840,82 \text{ kN}$$

Pada tabel 4.8, dapat kita lihat hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang.

Tabel 4. 8 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang Pondasi

Type	Beban (kN)	N	Eg	Qall Group (kN)	Keterangan
PC. 1	574,899	1	1	584,6	AMAN
PC. 6	1686,811	6	0,73	3414,06	AMAN
PC. 8	3397,474	8	0,73	3840,82	AMAN

(sumber : Hasil Perhitungan 2022)

4.6 Penurunan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Vesic

Ada dua jenis perhitungan penurunan pondasi yang dijelaskan oleh Vesic (1977): pertama ada penurunan pondasi kelompok tiang dan yang kedua ada pondasi tunggal tiang.

4.6.1 Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Tunggal (Single Pile)

Vesic (1977) menyarankan rumus berikut untuk menentukan pengendapan elastis pada masing-masing tiang :

$$Se = Se_{(1)} + Se_{(2)} + Se_{(3)}$$

Dimana :

Se = Total penurunan tiang pancang

$Se_{(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang

$Se_{(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang

$Se_{(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisikan sepanjang kulit tiang

- Nilai $Se_{(1)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p}$$

- Untuk nilai $Se_{(2)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$

- Dan untuk nilai $Se_{(3)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$

a. Perhitungan Kapasitas Dukung Fondasi

$$Q_p = 356,08 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = 356,08 / 4 = 89,02 \text{ kN}$$

$$Q_s = 1397,78 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 1397,78 / 4 = 349,445 \text{ kN}$$

$$\xi = 0,67 \text{ (Faktor empiric dari tipe tanah dengan tiang pancang)}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,6^2 = 0,2826 \text{ m}^2$$

$$E_p = 2,1 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,03 \text{ (Faktor empirik dari tipe tanah dengan tipe tiang pancang)}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \text{Konstanta empiris } (0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}) \times C_p \\ &= (0,93 + 0,16 \sqrt{30/0,6}) \times 0,03 \\ &= 0,061841 \end{aligned}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_{wp} / A_p = 89,02 / 0,2826 \\ &= 315 \text{ kN/m}^2 \text{ (tahanan ultimate ujung tiang)} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Penurunan Elastis Tiang Tunggal

$$\begin{aligned} Se_{(1)} &= \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{(89,02 + 0,67 \times 349,445)30}{0,2826 \times 2,1 \times 10^6} \\ &= 0,016335 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Se_{(2)} &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\ &= \frac{89,02 \times 0,03}{0,6 \times 315} \\ &= 0,01413 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Se_{(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$

$$= \frac{349,445 \times 0,061841}{30 \times 315}$$

$$= 0.0023 \text{ m}$$

Total penurunan :

$$\begin{aligned} S_e &= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \\ &= 0.016335 + 0.01413 + 0.035645 \\ &= 0.03275 \text{ m} = 32,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Penurunan Yang Diijinkan (S_{ijin}) Menurut Terzaghi (1969) :

$$\begin{aligned} S_{ijin} &= 10\% \times D \\ &= 10\% \times 0,6 \\ &= 0,06 \text{ m} = 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi penurunan tiang tunggal lebih kecil dari syarat yang diijinkan yaitu $32,75 \text{ mm} < 60 \text{ mm}$, sehingga syarat penurunan tersebut terpenuhi.

4.6.2 Perhitungan Penurunan Kelompok Tiang Fondasi Tiang Pancang (Group Pile)

Rumus berikut ini, yang dikembangkan oleh Vesic (1977), dapat digunakan untuk menentukan penurunan elastis suatu kelompok tiang :

$$S_g = S_e \times \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

Dimana :

S_g = Penurunan pondasi pada tiang kelompok (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

a. Pondasi PC 1

Diketahui :

$$S_e = 0,03275 \text{ m}$$

$$B_g = 1,2 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 S_g &= S_e \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,03275 \times \sqrt{\frac{1,2}{10,6}} \\
 &= 0.046319 \text{ m} = 46,319 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil penurunan yang terjadi pada pondasi PC 1 adalah 46,319 mm.

b. Pondasi PC 6

Diketahui :

$$S_e = 0,03275 \text{ m}$$

$$B_g = 4,8 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 S_g &= S_e \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,03275 \times \sqrt{\frac{4,8}{0,6}} \\
 &= 0,073237 \text{ m} = 73,237 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil penurunan yang terjadi pada pondasi PC 6 adalah 73,237 mm.

c. Pondasi PC 8

Diketahui :

$$S_e = 0,03275 \text{ m}$$

$$B_g = 4,8 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 S_g &= S_e \times \sqrt{\frac{B_g}{D}} \\
 &= 0,03275 \times \sqrt{\frac{4,8}{0,6}} \\
 &= 0,092638 \text{ m} = 92,638 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

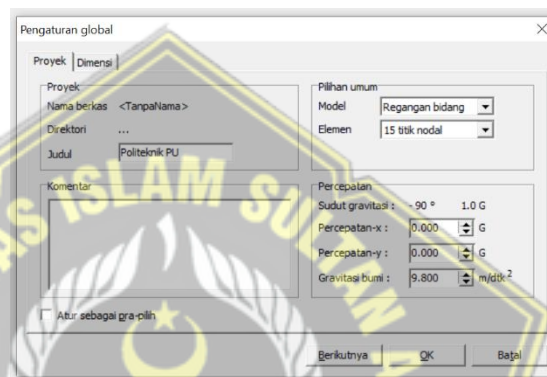
hasil penurunan yang terjadi pada pondasi PC 8 adalah 92,638 mm.

4.7 Hasil Perhitungan Menggunakan Aplikasi

4.7.1 Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Plaxis 8.6

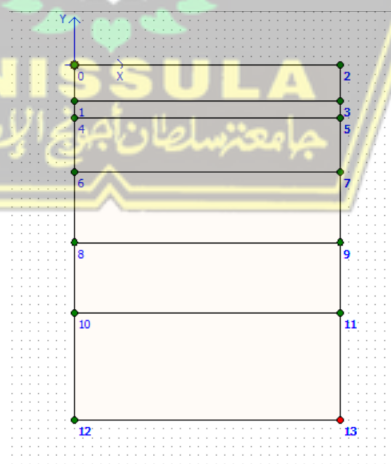
Permodelan Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile* menggunakan Plaxis 8.6 untuk menghitung penurunan fondasi tiang pancang yang terjadi akibat beban *axial*. Berikut Langkah Langkah perhitungan fondasi P1 dengan menggunakan *software* Plaxis sebagai berikut :

1. Langkah awal pada perhitungan plaxis yaitu menentukan satuan yang akan digunakan.



Gambar 4. 10 Pengaturan global - dimensi

2. Kemudian klik simbol  untuk mengatur pemodelan geometri tanah dan disesuaikan dengan data tanah.



Gambar 4. 11 Permodelan Profil Tanah

3. Kemudian klik simbol  lalu tentukan jenis material tanah yang akan digunakan dalam perencanaan.

Mohr-Coulomb - Layer 1

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: Layer 1

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Terdrainase

Sifat umum

γ_{unsat} : 1.758 kN/m³

γ_{sat} : 1.298 kN/m³

Komentar

Permeabilitas

k_x : 0.000 m/hari

k_y : 0.000 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest

Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4. 12 Data Umum Material *Fill*

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekuatan

E_{ref} : 4.780E+04 kN/m²

ν (nu): 0.200

C_{ref} : 2.000E+04 kN/m²

ϕ (phi): 5.89°

ψ (psi): 0.000°

Alternatif

G_{ref} : 1.991E+04 kN/m²

E_{sec} : 5.31E+04 kN/m²

Kecapatan

V_{ref} : 333.200 m/detik

V_{sec} : 384.600 m/detik

Tingkat lanjut...

SoilTest

Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4. 13 Data parameter

Mohr-Coulomb - Layer 1

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekuatan

☒ Kekal

☐ Manual

R_{inter} : 1.000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0.000

Tingkat lanjut...

SoilTest

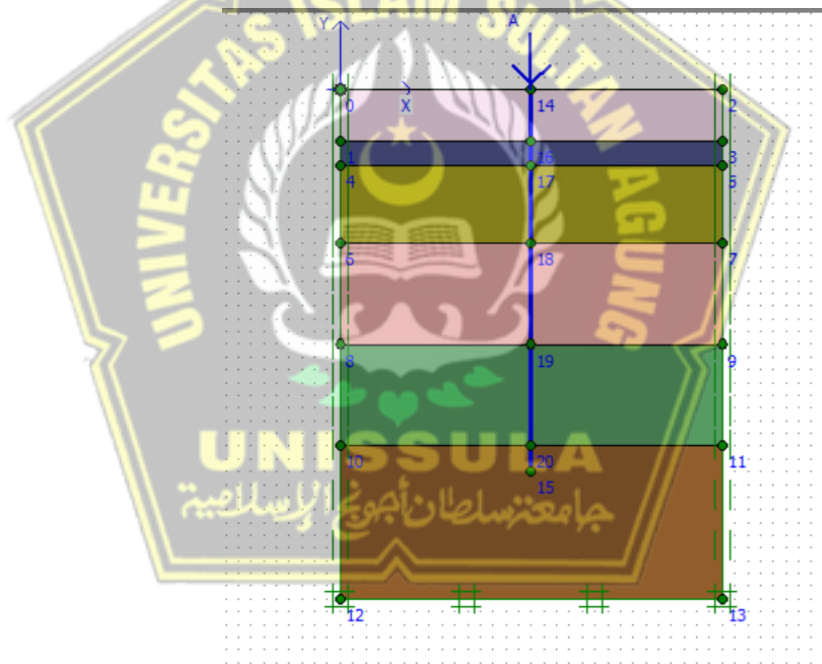
Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4. 14 Data Antar Muka Material

4. Untuk selanjutnya ulangi langkah 1 sampai 3 untuk menentukan material tanah lainnya
5. Kemudian klik kembali kumpulan data material, selanjutnya pilih plat untuk membuat data tanah material *pile* sesuai hasil dari perhitungan.

Gambar 4. 15 Data Material Fondasi

6. Klik simbol plat  untuk menentukan pemodelan fondasi tiang pancang, kemudian klik simbol  yaitu untuk menentukan tekanan positif dan tekanan negatif yang terdapat pada daerah keliling fondasi.



Gambar 4. 16 Permodelan Fondasi Tiang Pancang

7. Selanjutnya isilah data material ke pemodelan sesuai dengan data material yang sebelumnya telah dibuat.
8. Klik simbol  untuk memberi beban sebesar kN/ m² diatas fondasi tiang pancang.

Beban terpusat - sistem beban A statis

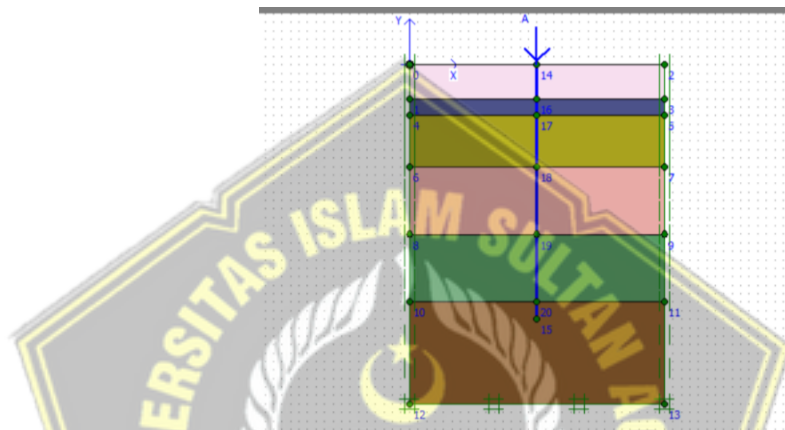
Titik geometri 14

Nilai-X : kN/m

Nilai-Y : kN/m

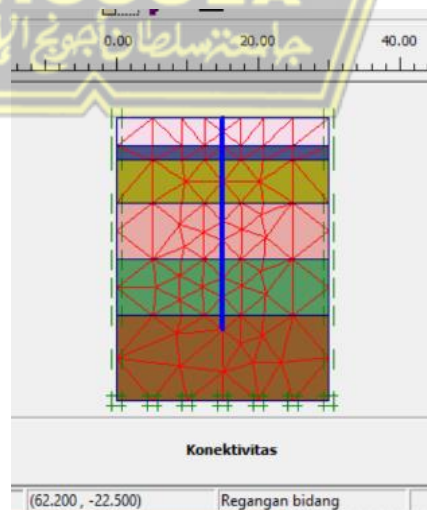
OK Batalkan

Gambar 4. 17 Input Pembebanan



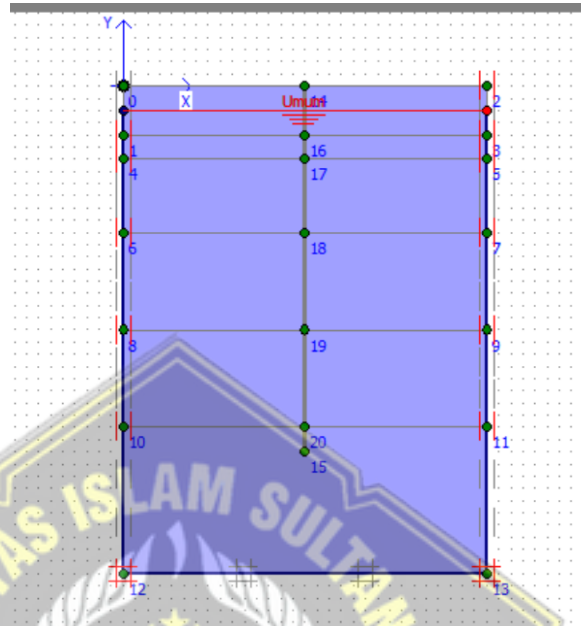
Gambar 4. 18 Beban pada Tiang Pancang

9. Lalu klik simbol  yang berfungsi untuk melihat berapa hasil dari susunan jaringan antar elemen



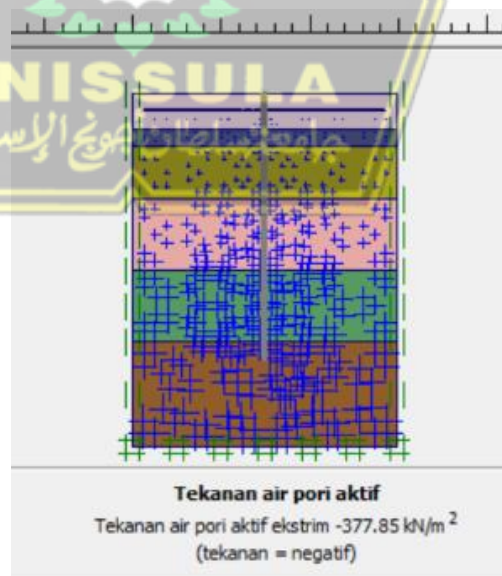
Gambar 4. 19 Susunan Jaringan Elemen

10. Kemudian klik simbol kondisi awal yang terdapat di *toolbar*
11. Klik symbol  untuk menambah berat isi air



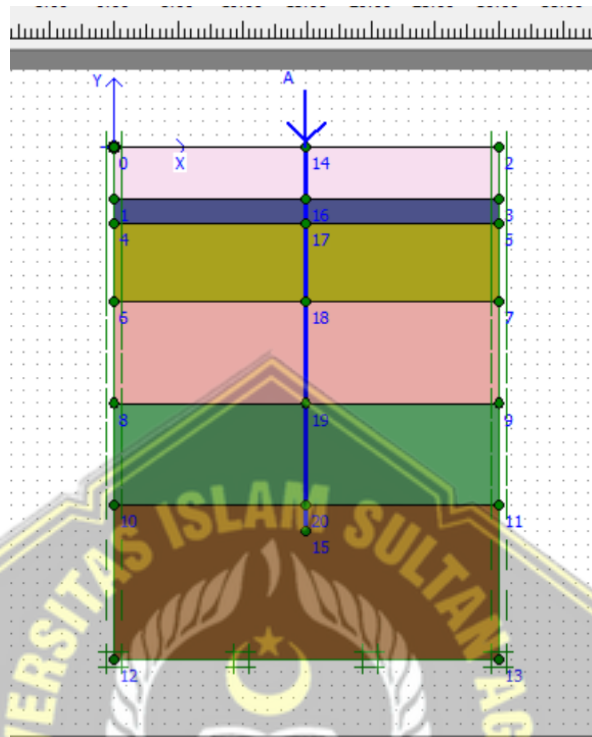
Gambar 4. 20 Muka Air Tanah

12. Setelah penambahan berat isi air kemudian klik simbol untuk mengaktifkan tekanan air pori



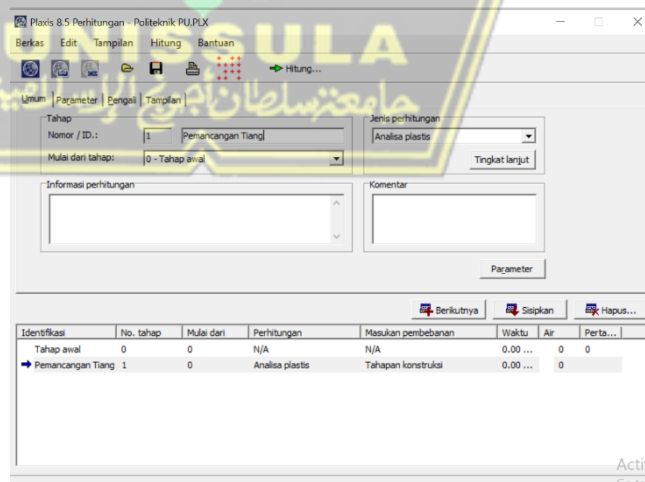
Gambar 4. 21 Tekanan Air Pori Aktif

13. Klik symbol  yaitu untuk memulai tekanan air pori yang sudah ada sebelumnya.



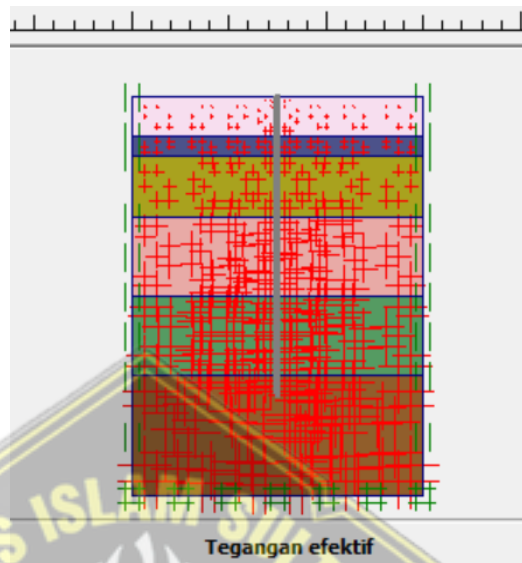
Gambar 4. 22 Mengaktifkan Tekanan Air Pori Awal

14. Untuk mengaktifkan tekanan kuat, pilih ikon dari *toolbar*. Diikuti dengan klik "ok" untuk menampilkan gambar, dan terakhir klik "perbarui".



Gambar 4. 23 Tahap-tahap Perhitungan Konsrtuksi

15. Dan yang terakhir klik simbol  tujuannya biar bisa memeriksa *output* hitungan turunan pondasi.



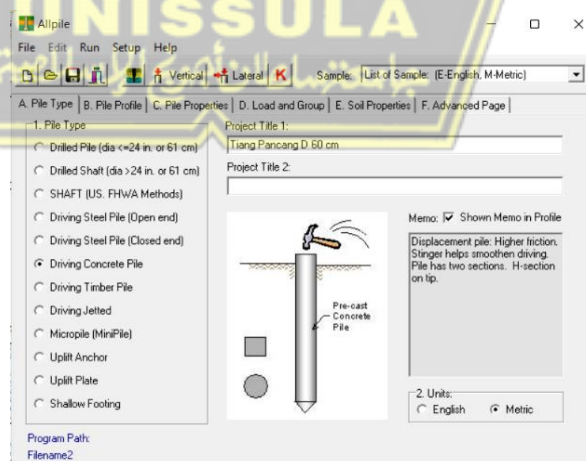
Gambar 4. 24 Perpindahan Total Ekstrim

Jadi penurunan pada fondasi P1 menggunakan aplikasi plaxis adalah 0,44 cm.

4.7.2 Analisa Permodelan dengan Program Aplikasi (AllPile)

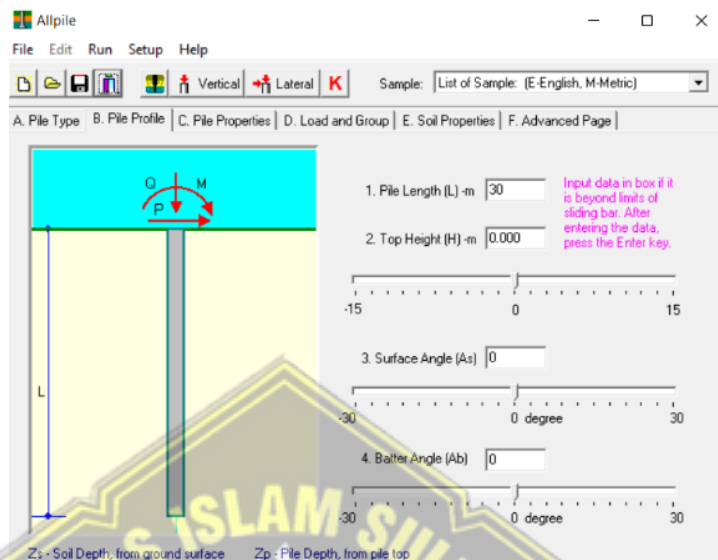
Langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan aplikasi AllPile adalah :

1. Pilih jenis fondasi yang akan digunakan, dan beri nama untuk usaha tersebut.



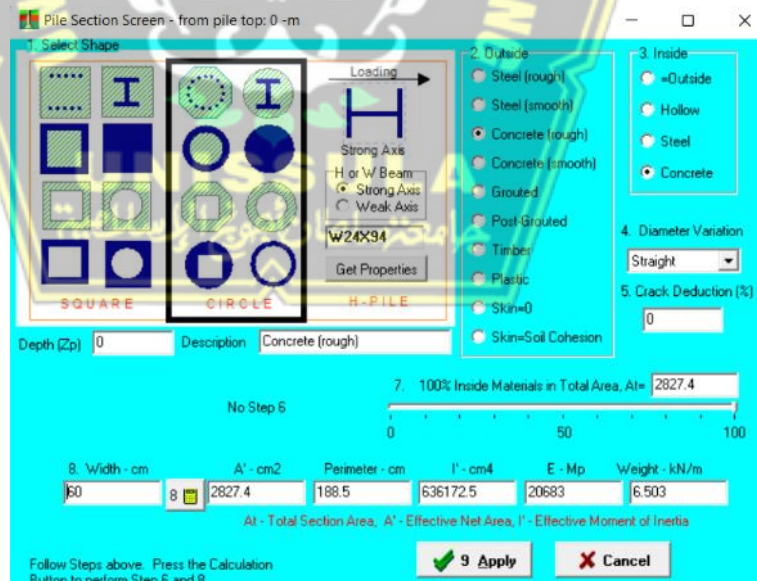
Gambar 4. 25 Gambar Input pada Pile Type

2. Panjang keseluruhan pondasi, kedalaman pondasi yang akan disembunyikan di bawah tanah, kemiringan tanah, dan kemiringan pondasi harus dimasukkan.

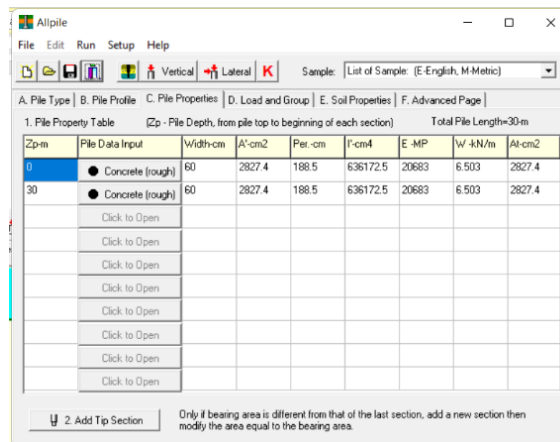


Gambar 4. 26 Gambar Input pada Pile Profile

3. Memasukkan dan memilih data-data fondasi yang akan direncanakan berdasarkan material, tulangan, ukuran fondasi.

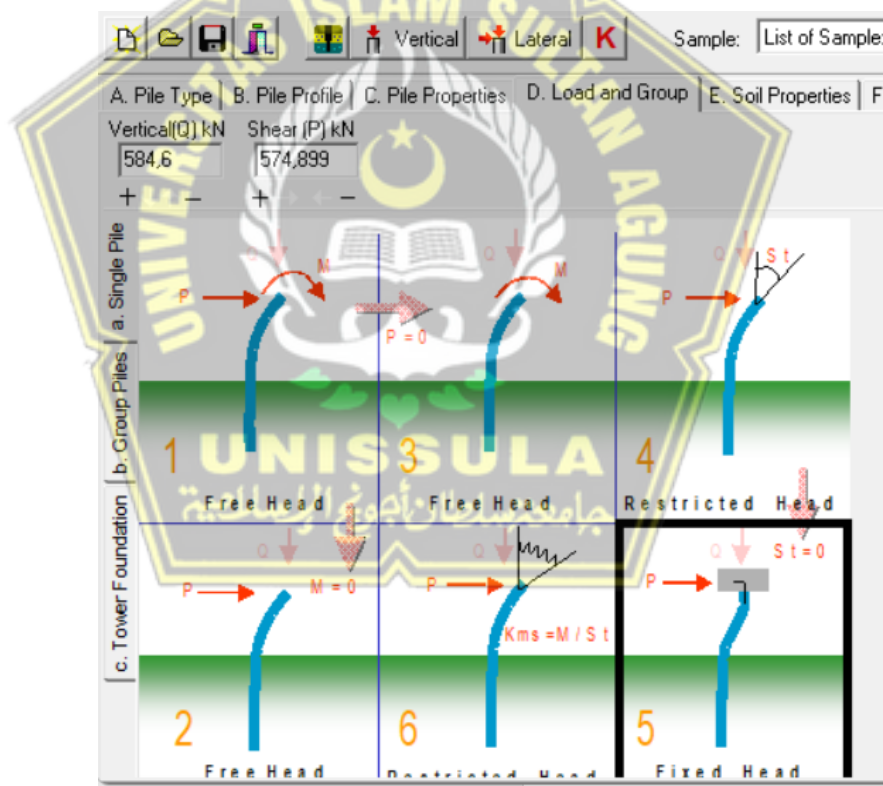


Gambar 4. 27 Gambar Hasil Input pada Pile Section



Gambar 4. 28 Gambar Hasil *Input* pada *Pile Properties*

- Memasukkan pembebanan yang diterima yang diperoleh dari hasil perhitungan ETABS.



Gambar 4. 29 Gambar Hasil *Input* pada *Load and Group*

- Memasukkan data-data tanah yang diperoleh dari N-SPT, serta kedalaman tanah berserta parameter-parameter yang akan direncanakan.

The screenshot shows the 'Soil Properties' tab in the Allpile software. It displays a table with soil data input for various depths. The table has columns for Depth (Z), Soil Data Input, G-kN/m³, Phi, C-kN/m², k-MN/m³, e50 or Dr, N1pt, and Type.

Z-m	Soil Data Input	G-kN/m ³	Phi	C-kN/m ²	k-MN/m ³	e50 or Dr	N1pt	Type
0	Soft Clay	14.4	0	0.6	0.4	5.38	0	1
2	Soft Clay	19.9	0	49.1	62.9	0.98	8	1
6	Soft Clay	20.2	0	56.3	77.5	0.91	9	1
10	Stiff Clay	3.1	0	5027.4	50.5	0.54	18	2
14	Stiff Clay	3.1	0	5697.7	60.0	0.82	20	2
18	Stiff Clay	20.8	0	94.6	161.5	0.66	16	2
22	Soft Clay	18.3	0	25.1	17.2	1.48	4	1
26	Stiff Clay	20.8	0	112.5	203.7	0.59	19	2
30	Stiff Clay	20.9	0	127.5	239.9	0.55	21	2

Gambar 4. 30 Gambar Hasil *Input* dari *Soil Properties*

- Memasukkan angka keamanan/*safety factor* (SF)

The screenshot shows the 'Advance Page' in the Allpile software. It contains various input fields for friction, resistance, and analysis parameters. The 'Analysis Parameters' table is highlighted.

Parameters	Value [1]	Value [2]
FS for Downward [1] FS_side [2] FS_tip	2.5	2.5
FS for Uplift [1] FS_side [2] FS_weight	2.5	2.5
Load Factor [1] Vertical Q [2] Lateral P.M.T	1.0	1.0
(Critical Depth/Pile Diameter) [1] Side [2] Tip	20.0	20.0
Resistance Limits [1] Side [2] Tip - kN/m ² (No Limit 9999)	9999.0	9999.0
Allowable Deflection [1] Vertical x_allow [2] Lateral y_allow -cm	2.540	2.540
Group Deduction Factor for Lateral Analysis [1] Fitmore [2] Fitless	1.0	1.0

Gambar 4. 31 Gambar Hasil *Input* dari *Advance Page*

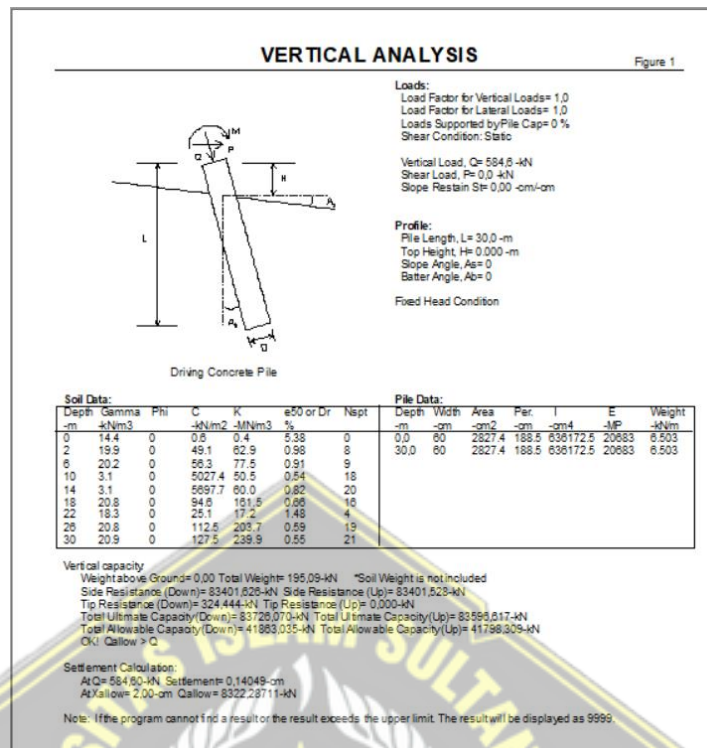
- Pada tahap terakhir yaitu memilih *toolbar* yang bertuliskan vertikal dan program akan segera memproses serta mendapatkan angka-angka yang dibutuhkan.

The screenshot shows the 'Vertical Analysis Results' toolbar in the Allpile software. It contains buttons for various analysis results and reports.

VERTICAL ANALYSIS RESULTS

- Depth - s, t, Q Data
- Submit Report
- Load - Settlement Data
- Summary Report
- Capacity - Length Data
- Detailed Report
- Length From 0.001 to 30.480
- To MS-Excel
- Ultimate Allowable
- t - z Curve
- Figure No. Figure 1
- q - w Curve
- Close

Gambar 4. 32 Gambar Hasil dari *Vertical Analysis*



Gambar 4. 33 Gambar Hasil yang Diperoleh dari *Vertical Analysis*

4.7.3 Hasil Perhitungan Penurunan Fondasi

Tabel 4.9 menampilkan hasil perbandingan penurunan pondasi tiang yang ditentukan secara manual dengan menggunakan metode Vesic 1977 dan secara otomatis dengan menggunakan perangkat lunak yang memanfaatkan aplikasi Plaxis dan AllPile.

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan

Fondasi	Vesic 1977	Plaxis	AllPile
P1	4,63 cm	0,44 cm	0,14 cm
P6	7,32 cm	2,06 cm	1,96 cm
P8	9,26 cm	0,76 cm	1,24 cm

(Sumber : Hasil Perhitungan 2022)

Hasil perhitungan menggunakan metode manual Vesic, memiliki hasil penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan program karena pada perhitungan Vesic tidak mencantumkan beban aksial dan berat sendiri *pilecap*.

4.8 Perhitungan *Pile Cap*

4.8.1 *Berat Sendiri Pile Cap*

+ Pile Tipe 1

$$\text{Panjang} = 1,2$$

$$\text{Lebar} = 1,2$$

$$P_u = 574,8991 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} W &= (P \text{ pile cap} + L \text{ pile cap}) \times \text{berat jenis beton} \\ &= (1,2 + 1,2) \times 2,4 \\ &= 5,76 \end{aligned}$$

Maka total beban yang diterima *pile cap* :

$$\begin{aligned} \Sigma P_v &= P_u + W \\ &= 574,8991 + 5,76 \\ &= 580,6591 \text{ Ton} \end{aligned}$$

+ Pile Tipe 6

$$\text{Panjang} = 4,8$$

$$\text{Lebar} = 4,8$$

$$P_u = 1686,811$$

$$\begin{aligned} W &= (P \text{ pile cap} + L \text{ pile cap}) \times \text{berat jenis beton} \\ &= (4,8 + 4,8) \times 2,4 \\ &= 23,04 \end{aligned}$$

Maka total beban yang diterima *pile cap* :

$$\begin{aligned} \Sigma P_v &= P_u + W \\ &= 1686,811 + 23,04 \\ &= 1709,851 \text{ Ton} \end{aligned}$$

✚ Pile Tipe 8

$$\text{Panjang} = 4,8$$

$$\text{Lebar} = 4,8$$

$$P_u = 3397,474$$

$$\begin{aligned} W &= (P \text{ pile cap} + L \text{ pile cap}) \times \text{berat jenis beton} \\ &= (4,8 + 4,8) \times 2,4 \\ &= 23,04 \end{aligned}$$

Maka total beban yang diterima *pile cap* :

$$\begin{aligned} \Sigma P_v &= P_u + W \\ &= 3397,474 + 23,04 \\ &= 3420,514 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4.8.2 Perhitungan Beban Maksimum Yang Diterima Satu Tiang

a. Pada *Pile Cap* P1

$$\Sigma P_v = 580,659 \text{ ton}$$

$$M_x = 103,45 \text{ ton}$$

$$M_y = 44,47 \text{ ton}$$

Beban P_{maks} dan P_{min} yaitu :

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{n_x \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{n_y \cdot \Sigma x^2} \\ &= \frac{39,49}{1} \pm \frac{13,45 \cdot 0,6}{1 \cdot 0,72} \pm \frac{4,47 \cdot 0,6}{1 \cdot 0,72} \end{aligned}$$

$$P_{maks} = 503,926 \text{ ton}$$

$$P_{min} = 457,392 \text{ ton}$$

Maka :

$$n = 1$$

$$n_x = 1$$

$$n_y = 1$$

$$x_i = 0,6 \text{ m}$$

$$y_i = 0,6 \text{ m}$$

$$\Sigma x^2 = (0,6^2) + (0,6^2) = 0,72 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = (0,6^2) + (0,6^2) = 0,72 \text{ m}^2$$

Maka perhitungan

$$P_{maks} < Q_{allgrup}$$

$$503,926 < 584,6$$

Jadi beban maksimumnya yaitu :

$$P1 = 503,926 \text{ ton}$$

$$P2 = 457,392 \text{ ton}$$

b. Pada *Pile Cap* P6

$$\Sigma Pv = 1705,53 \text{ ton}$$

$$M_x = 151,67 \text{ ton}$$

$$M_y = 75,98 \text{ ton}$$

Beban P_{maks} dan P_{min} adalah :

$$P = \frac{\Sigma Pv}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{n_x \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{n_y \cdot \Sigma x^2}$$

$$= \frac{1705,532}{8} \pm \frac{151,67 \cdot 2,4}{3 \cdot 11,52} \pm \frac{75,98 \cdot 2,4}{3 \cdot 11,52}$$

$$P_{maks} = 229 \text{ ton}$$

$$P_{min} = 197,82 \text{ ton}$$

Maka :

$$n = 8$$

$$n_x = 3$$

$$n_y = 3$$

$$x_i = 2,4$$

$$y_i = 2,4$$

$$\Sigma x^2 = (2,4^2) + (2,4^2) = 11,52 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = (2,4^2) + (2,4^2) = 11,52 \text{ m}^2$$

Maka perhitungan

$$P_{maks} < Q_{allgrup}$$

$$229 < 3414,06 \text{ (OK)}$$

Jadi beban maksimumnya yaitu :

$$P1 = 229 \text{ ton}$$

$$P2 = 197,82 \text{ ton}$$

c. Pada *Pile Cap* P8

$$\Sigma Pv = 3420,514 \text{ ton}$$

$$Mx = 215,06 \text{ ton}$$

$$My = 91,39 \text{ ton}$$

Beban P_{maks} dan P_{min} yaitu :

$$P = \frac{\Sigma Pv}{n} \pm \frac{Mx.yi}{nx.\Sigma y^2} \pm \frac{My.xi}{ny.\Sigma x^2}$$

$$= \frac{3020,514}{8} \pm \frac{215,06.2,4}{3.11,52} \pm \frac{91,39.2,4}{3.11,52}$$

$$P_{maks} = 401,339 \text{ ton}$$

$$P_{min} = 358,776 \text{ ton}$$

Maka :

$$n = 9$$

$$n_x = 3$$

$$n_y = 3$$

$$x_i = 2,4$$

$$y_i = 2,4$$

$$\Sigma x^2 = (2,4^2) + (2,4^2) = 11,52 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = (2,4^2) + (2,4^2) = 11,52 \text{ m}^2$$

Maka perhitungan

$$P_{maks} < Q_{allgrup}$$

$$401,339 < 3840,82$$

Jadi beban maksimum diperoleh :

$$P1 = 401,339 \text{ ton}$$

$$P2 = 358,776 \text{ ton}$$

$$P_{maks} = 401,339 \text{ ton}$$

$$P_{min} = 358,776 \text{ ton}$$

4.8.3 Perhitungan Tinggi Pile Cap

✚ Pile Cap tipe P1

$$P_u = 574,8991 \text{ ton}$$

$$C_1 = 500 \text{ mm}$$

$$C_2 = 500 \text{ mm}$$

$$B_x = 550 \text{ mm}$$

$$B_y = 550 \text{ mm}$$

$$M_x = 103,45 \text{ ton}$$

$$A_s = 275 \text{ mm}$$

$$D_{tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi tebal Pile cap} = 600 \text{ mm}$$

Perhitungan :

a. Kontrol tegangan Geser Dua Arah

Perhitungan tinggi efektif

$$d_x = h - \text{selimut beton} - \text{diameter tulangan}$$

$$= 1000 - 50 - 22$$

$$= 928$$

$$\beta_c = c_1/c_2$$

$$= 500/500$$

$$= 1$$

$$b_o = 2 \times (c_1 + d) + 2 \times (c_2 + d)$$

$$= 2 \times (500 + 928) + 2 \times (500 + 928)$$

$$= 5712$$

b. Perhitungan Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned}
 \bullet V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d}{6} \\
 &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1 \times (30^{0.5}) \times 3712 \times 928}{6} \\
 &= 14516663.39 \text{ N} \\
 &= 14516.66339 \text{ kN} \\
 \bullet V_c &= \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d \\
 &= \frac{275 \times 928}{1720} + 2 \times 1 \times (30^{0.5}) \times 3712 \times 928 \\
 &= 58066698.25 \text{ N} \\
 &= 58066.69825 \text{ kN} \\
 \bullet V_c &= 0.33 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d \\
 &= 0.33 \times 1 \times (30^{0.5}) \times 3712 \times 928 \\
 &= 9580997.839 \text{ N} \\
 &= 9580.997839 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_1 \\
 &= 503,932 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Dipilih V_c yang nilainya terkecil, jadi $= 0.75 \times 9580.997839$
 $= 7185.748379 \text{ kN} = 732.74 \text{ ton}$. Sehingga syarat $V_c > V_u$
 terpenuhi, yaitu $732.74 \text{ ton} > 503,932 \text{ ton}$, maka tebal *pile cap* aman.

✚ Pile Cap tipe P6

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1686,811 \text{ ton} \\
 C_1 &= 700 \text{ mm} \\
 C_2 &= 700 \text{ mm} \\
 B_x &= 750 \text{ mm} \\
 B_y &= 750 \text{ mm} \\
 M_x &= 151,67 \text{ ton} \\
 A_s &= 375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$D_{\text{tulangan}} = 22 \text{ mm}$$

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi tebal Pile cap} = 800 \text{ mm}$$

Perhitungan :

a. Kontrol tegangan Geser Dua Arah

Perhitungan tinggi efektif

$$d_x = h - \text{selimut beton} - \text{diameter tulangan}$$

$$= 1000 - 50 - 22$$

$$= 928$$

$$\beta_c = c_1 / c_2$$

$$= 700 / 700$$

$$= 1$$

$$b_o = 2 \times (c_1 + d) + 2 \times (c_2 + d)$$

$$= 2 \times (700 + 928) + 2 \times (700 + 928)$$

$$= 6512$$

b. Perhitungan Kuat Geser Beton

$$\bullet V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d}{6}$$

$$= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1 \times (30^{0.5}) \times 6512 \times 928}{6}$$

$$= 16549809,526 \text{ N}$$

$$= 16549,809526 \text{ kN}$$

$$\bullet V_c = \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d$$

$$= \frac{375 \times 928}{6512} + 2 \times 1 \times (30^{0.5}) \times 6512 \times 928$$

$$= 52,439 + 66199238,105$$

$$= 66199290,544 \text{ N}$$

$$= 66199,290 \text{ kN}$$

- $$V_c = 0,33 \times \lambda \times (f_c^{0,5}) \times b_o \times d$$

$$= 0,33 \times 1 \times (30^{0,5}) \times 6512 \times 928$$

$$= 10922874,287 \text{ N}$$

$$= 10922,874 \text{ kN}$$

$$V_u = P_1 + P_2$$

$$= 309,022 + 259,489$$

$$= 568,511 \text{ Ton}$$

Dipilih V_c yang nilainya terkecil, jadi $= 0,75 \times 10922,874 = 8192,1555 \text{ kN} = 835,370 \text{ ton}$. Sehingga syarat $V_c > V_u$ terpenuhi, yaitu $835,370 \text{ ton} > 568,511 \text{ ton}$, maka tebal pile cap aman.

✚ Pile Cap tipe P8

$$P_u = 3397,474 \text{ ton}$$

$$C_1 = 700 \text{ mm}$$

$$C_2 = 700 \text{ mm}$$

$$B_x = 750 \text{ mm}$$

$$B_y = 750 \text{ mm}$$

$$M_x = 215,06 \text{ ton}$$

$$A_s = 375 \text{ mm}$$

$$D_{tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi tebal Pile cap} = 900 \text{ mm}$$

Perhitungan :

c. Kontrol tegangan Geser Dua Arah

Perhitungan tinggi efektif

$$d_x = h - \text{selimut beton} - \text{diameter tulangan}$$

$$= 1200 - 50 - 22$$

$$= 1128$$

$$\beta_c = c_1/c_2$$

$$= 700/700$$

$$= 1$$

$$b_o = 2 \times (c_1 + d) + 2 \times (c_2 + d)$$

$$= 2 \times (700 + 1128) + 2 \times (700 + 1128)$$

$$= 7312$$

d. Perhitungan Kuat Geser Beton

$$\bullet V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \frac{\lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d}{6}$$

$$= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{1 \times (30^{0.5}) \times 7312 \times 1128}{6}$$

$$= 22587903 \text{ N}$$

$$= 22587,903 \text{ kN}$$

$$\bullet V_c = \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d$$

$$= \frac{375 \times 1128}{b_o} + 2 \times 1 \times (30^{0.5}) \times 7312 \times 1128$$

$$= 90351669.85 \text{ N}$$

$$= 90351,6699 \text{ kN}$$

$$\bullet V_c = 0,33 \times \lambda \times (f_c^{0.5}) \times b_o \times d$$

$$= 0,33 \times 1 \times (30^{0.5}) \times 7312 \times 1128$$

$$= 14908015,98 \text{ N}$$

$$= 14908,01598 \text{ kN}$$

$$V_u = P_1 + P_2$$

$$= 398,846 + 356,283$$

$$= 755,129 \text{ Ton}$$

Dipilih V_c yang nilainya terkecil, jadi $= 0,75 \times 14908,01598$

$= 11181,01199 \text{ kN} = 1140,15 \text{ ton}$. Sehingga syarat $V_c > V_u$

terpenuhi, yaitu 1140,15 ton > 755,129 ton, maka tebal pile cap aman.

4.8.4 Perhitungan Penulangan Pile Cap

✚ Pile Cap Tipe P1

Direncanakan :

Tebal pile cap = 600 mm

Selimut beton = 50 mm

Diameter tulangan = 22 mm

Mux dari ETABS = 13,45 ton

Muy dari ETABS = 4,47 ton

Bx = 550 mm

By = 550 mm

Fy = 420 MPa

Fc' = 30 MPa

ϕ = 0,8 (untuk momen lentur)

β = 0,83

Tulangan arah X :

Mux = 13,45 ton = 134500000 kg.mm

d = 0,9 x lebar

= 0,9 x 1200

= 1080 mm

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d} \\ &= \frac{13,45}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 550} \\ &= 0,0012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_n &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2} \\ &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,0012})^{1/2} \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{w \times 0,85 f_c}{f_y}$$

$$\rho = \frac{0,9 \times 0,85 \times 30}{420}$$

$$\rho = 0,054$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000 + 420} \\ &= 0,494 \end{aligned}$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 1200 \times 1080 \\ &= 3888 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $3888/379,94 = 11$ buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{1200}{11} = 100 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-100 mm

Tulangan arah Y :

$$M_{uy} = 4,47 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} D &= 0,9 \times \text{lebar} \\ &= 0,9 \times 1200 \end{aligned}$$

$$= 1080 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d} \\ &= \frac{4,47}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 550} \\ &= 0,00038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_n &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2} \\ &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,00038})^{1/2} \\ &= 0,00019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{w \times 0,85 \times f_c}{f_y} \\ \rho &= \frac{0,00019 \times 0,85 \times 30}{420} \end{aligned}$$

$$\rho = 0,00011$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000 + 420} \\ &= 0,494 \end{aligned}$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 1200 \times 1080 \\ &= 3888 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

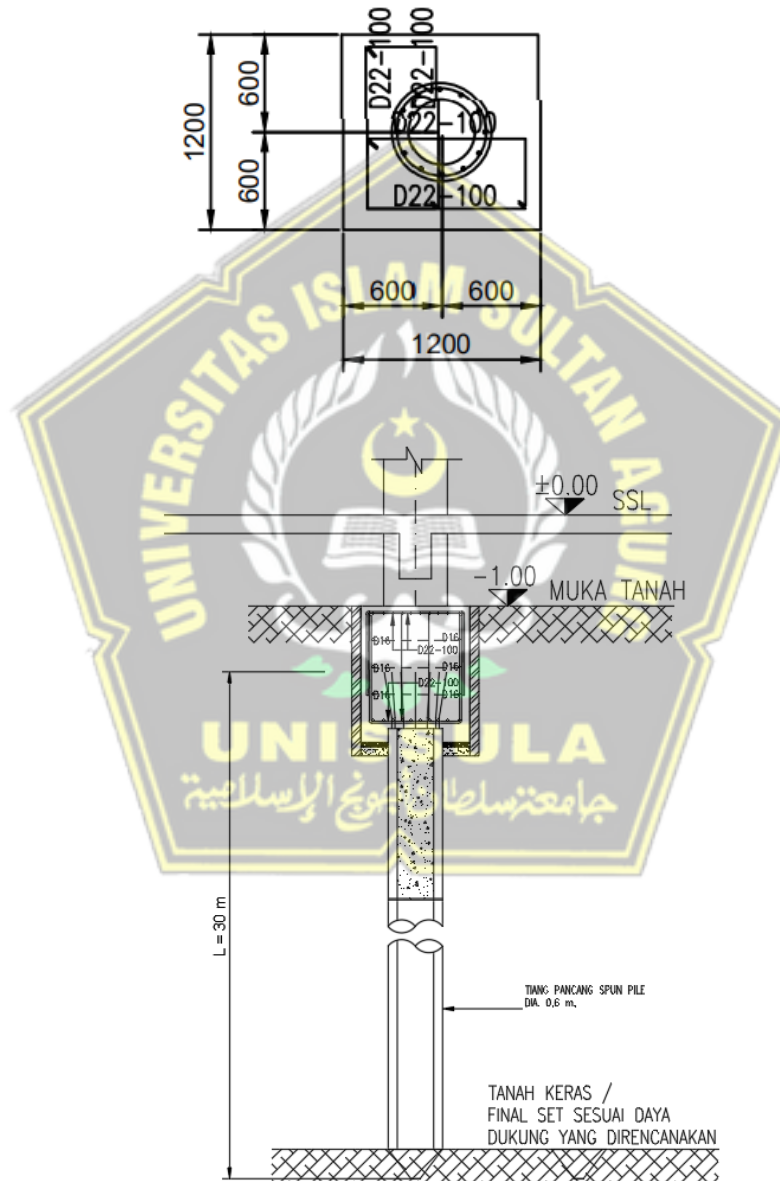
$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $3888/379,94 = 11$
buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{1200}{11} = 100 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-100 mm



Gambar 4. 34 Detail Pile Cap PC.1

✚ Pada Pile Cap tipe P6

Direncanakan :

Tebal pile cap = 800 mm

Selimut beton = 50 mm

Diameter tulangan = 22 mm

Mux dari ETABS = 11,67 ton

Muy dari ETABS = 5,98 ton

Bx = 750 mm

By = 750 mm

Fy = 420 MPa

Fc' = 30 MPa

ϕ = 0,8 (untuk momen lentur)

β = 0,83

Tulangan arah X :

Mux = 11,67 ton = 116700000 kg.mm

d = 0,9 x lebar

= 0,9 x 4800

= 4320 mm

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d}$$

$$= \frac{11,67}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 750}$$

= 0,0007

$$W_n = 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2}$$

$$= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,0007})^{1/2}$$

= 0,0035

$$\rho = \frac{w \times 0,85 \times f_c}{f_y}$$

$$\rho = \frac{0,0035 \times 0,85 \times 30}{420}$$

ρ = 0,0002

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000 + 420} \\ &= 0,494\end{aligned}$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

Luas tulangan perlu = ρ pakai $\times b \times d$

$$= 0,003 \times 4800 \times 4320$$

$$= 62208 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan D22 = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 379,94 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $62208/379,94 = 164$

buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{4800}{163} = 30 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-30 mm

Tulangan arah Y :

$$M_{uy} = 5,98 \text{ ton}$$

$$D = 0,9 \times \text{lebar}$$

$$= 0,9 \times 3000$$

$$= 2700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_u}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times} \\ &= \frac{5,98}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 750}\end{aligned}$$

$$= 0,00037$$

$$\begin{aligned} W_n &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2} \\ &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,00037})^{1/2} \\ &= 0,00019 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{w \times 0,85 \times f_c}{f_y}$$

$$\rho = \frac{0,00019 \times 0,85 \times 30}{420}$$

$$\rho = 0,00011$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000 + 420} \\ &= 0,494 \end{aligned}$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 4800 \times 3000 \\ &= 43200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

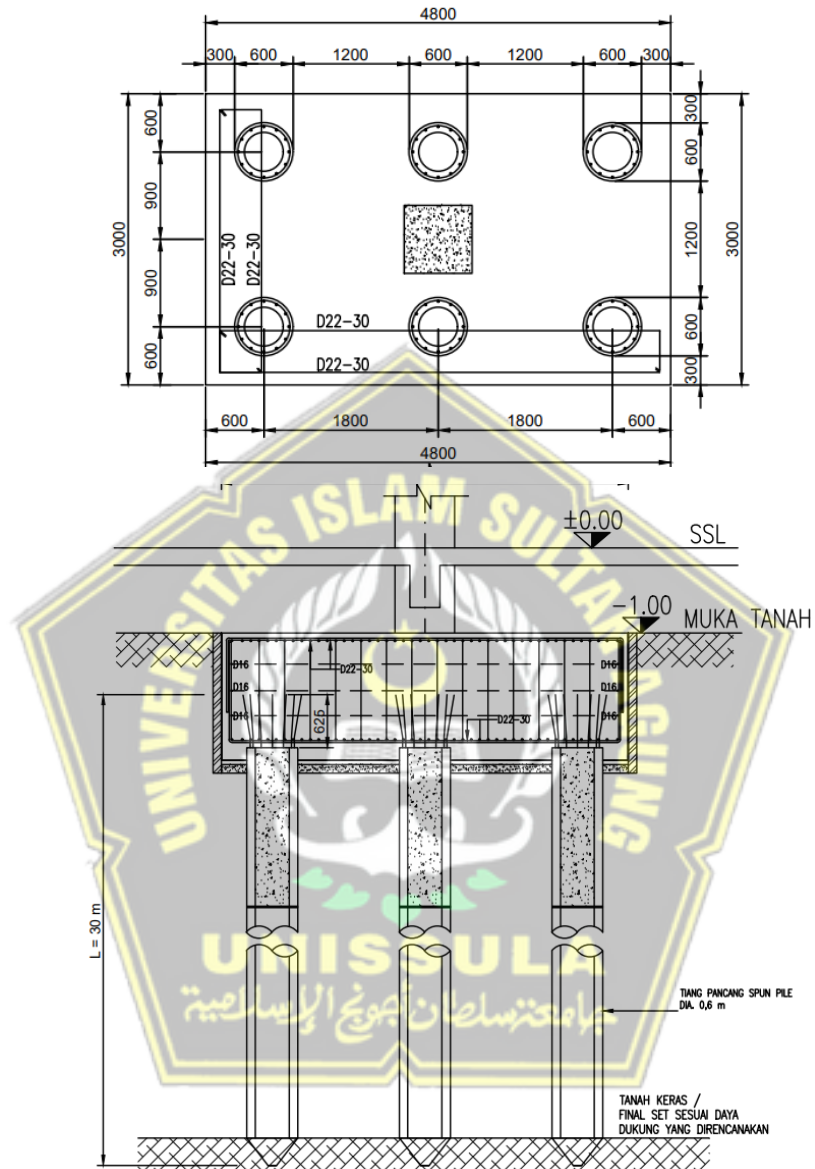
$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $43200/379,94=113$
buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{3000}{113} = 30 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-30 mm



Gambar 4. 35 Detail Pile Cap PC.6

✚ Pada Pile Cap tipe P8

Direncanakan :

Tebal pile cap = 900 mm

Selimut beton = 50 mm

Diameter tulangan = 22 mm

$$\begin{aligned}
 M_{ux} \text{ dari ETABS} &= 23,26 \text{ ton} \\
 M_{uy} \text{ dari ETABS} &= 11,91 \text{ ton} \\
 B_x &= 750 \text{ mm} \\
 B_y &= 750 \text{ mm} \\
 F_y &= 420 \text{ MPa} \\
 F_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,8 \text{ (untuk momen lentur)} \\
 \beta &= 0,83
 \end{aligned}$$

Tulangan arah X :

$$M_{ux} = 23,26 \text{ ton} = 232600000 \text{ kg.mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 0,9 \times \text{lebar} \\
 &= 0,9 \times 4800 \\
 &= 4320 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d^2} \\
 &= \frac{23,26}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 750} \\
 &= 0,0015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_n &= 1 - (\sqrt{1 - 2R_n})^{1/2} \\
 &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,0015})^{1/2} \\
 &= 0,0075
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{W_n \times 0,85 \times f_c}{f_y} \\
 &= \frac{0,0075 \times 0,85 \times 30}{420}
 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,0005$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000+420}$$

$$= 0,494$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 4800 \times 4320 \\ &= 62208 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $62208/379,94 = 164$ buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{4800}{163} = 30 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-30 mm

Tulangan arah Y :

$$M_{uy} = 11,91 \text{ ton}$$

$$D = 0,9 \times \text{lebar}$$

$$= 0,9 \times 4800$$

$$= 4320 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times 0,85 \times f_c \times b \times d} \\ &= \frac{11,91}{0,83 \times 0,85 \times 30 \times 750} \\ &= 0,00073 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_n &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times R_n})^{1/2} \\ &= 1 - (\sqrt{1 - 2 \times 0,00073})^{1/2} \\ &= 0,0036 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{w \times 0,85 f_c}{f_v}$$

$$\rho = \frac{0,0036 \times 0,85 \times 30}{420}$$

$$\rho = 0,00022$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{420}$$

$$\rho_{\min} = 0,003$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta \times f}{f} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,83 \times 420}{420} \times \frac{6000}{6000 + 420} \\ &= 0,494 \end{aligned}$$

Cek syarat rasio tulangan :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$ maka diambil $\rho_{\min} = 0,003$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0,003 \times 4800 \times 4320 \\ &= 62208 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

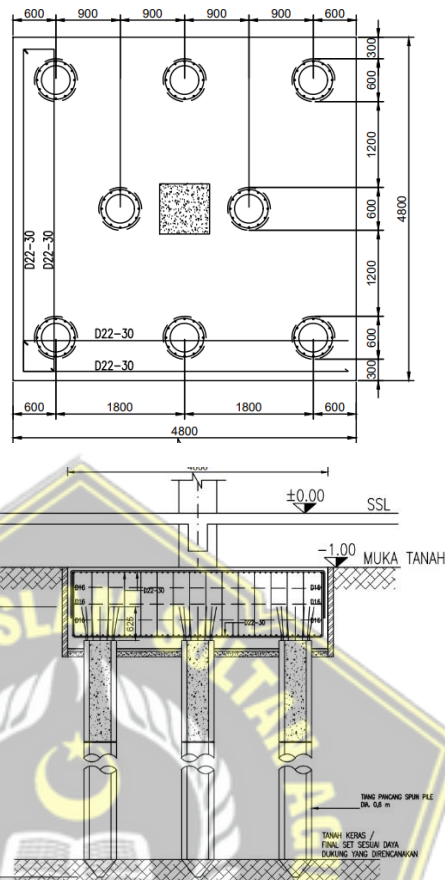
Jumlah tulangan yang dibutuhkan, yaitu = $62208/379,94=163$

buah

Jarak antar tulangan

$$S = \frac{b}{n \text{ tulangan}} = \frac{4800}{163} = 30 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan D22-30 mm



Gambar 4. 36 Detail Pile Cap PC.8

4.9 Perbandingan Hasil Data 5 Lantai dan 7 Lantai

Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Data Struktur 5 Lantai dan 7 Lantai

Struktur	D	L	n			P		
	(mm)	(m)	Pc 1	Pc 6	Pc 8	Pc 1	Pc 6	Pc 8
5 lantai	0.6	30	1	6	8	458.87	3014.17	3310,79
7 lantai	0.6	30	1	8	9	458.87	5582.12	6217.57

Dari tabel diatas terlihat bahwa terdapat perubahan pada jumlah tiang pancang pada *pile cap* 6 dan 8, yang awalnya pada *pile cap* 6 berisi 6 tiang pancang bertambah menjadi 8 tiang pancang, sedangkan pada *pile cap* 8 bertambah menjadi 9 tiang pancang. Kemudian pada beban P juga menjadi bertambah lebih besar.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan dalam analisa fondasi tiang pancang pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dengan menggunakan metode manual serta menggunakan *software* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pembebanan struktur atas menggunakan ETABS, pada *pilecap* 1, *pilecap* 6, dan *pilecap* 8 didapatkan beban sebesar P1 : 574,899 kN, P6 : 1686,811 kN, dan P8 : 3397,474 kN.
2. Berdasarkan hasil perhitungan nilai daya dukung fondasi tiang pancang yang dihitung manual menggunakan metode Resse & Wright karena memiliki nilai terkecil agar aman untuk dijadikan acuan pada perhitungan berikutnya. Diperoleh nilai daya dukung Qp : 356,08 kN, Qs : 1397,78 kN, Qult : 1753,9 kN, dan Qall : 584,62 kN.
3. Berdasarkan hasil perhitungan nilai penurunan fondasi yang dihitung dengan manual dan menggunakan aplikasi dipilih nilai yang terkecil yaitu pada analisis menggunakan *software* Allpile. Dengan diperoleh nilai angka penurunan sebesar P1 : 0,14 cm, P6 : 1,96 cm, dan P8 : 1,24 cm. sehingga besarnya angka penurunan tersebut dapat disimpulkan bahwa perhitungan aman.

5.2 Saran

Dari penyusunan tugas akhir yang dilakukan, berikut saran yang harus dilakukan untuk ke depannya :

- a. Dalam perencanaan dan perhitungan fondasi diperlukan adanya pengalaman serta keahlian dalam mengambil keputusan, sehingga akan memperoleh hasil perencanaan yang baik dan sesuai dengan standart konstruksi yang ada di Indonesia.
- b. Diperlukan kesesuaian dengan kondisi lapangan dalam melakukan perhitungan dan juga perencanaan fondasi, dalam hal ini perhitungan manual dan perhitungan menggunakan software, sehingga menghasilkan perencanaan yang sesuai.



DAFTAR PUSTAKA

- Agnes Dwiyanthi Winoto. 2017. *Merencanakan Fondasi Bangunan*. Surakarta: Taka Publisher.
- Anugrah Pamungkas & Erny Harianti. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: ANDI.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2019. "SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung." *Standar Nasional Indonesia* (8):720.
- Bowless, J. E. 1997. *Analisis Dan Desain Fondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Broms. 1964. "Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil."
- Das, Bradja. M. 2011. *No Title*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2018. *Analisis dan Perancangan Fondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Iin Oktaviani, Asmaheni. 1997. "Studi Komparasi Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Antara metode Meyerhof dengan Metode Tomlinson."
- L.D. Wesley. 1972. *Mekanika Tanah*. Yogyakarta: ANDI.
- Mayerhof. 1965. "Shallow Foundation." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.
- Reese, L.C. & Wright, S. .. 1977. *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines Manual, Vol.I*. Washington D.C: U.S Department of Transportation.
- Sni 1726:2019. 2019. "Sni 1726:2019." *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (8):254.
- Sosrodarsono. 1990. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Vesic. 1977. "Design Of Pile Foundations." *Transportation Research Board National Academy Of Sciences*.