TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN KONSOLIDASI FONDASI *BORED PILE* PADA GEDUNG INSTALASI BEDAH SENTRAL (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi

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

Disusun Oleh :

Anugrah Widya Pratama
NIM : 30201900002

Firmansyah
NIM : 30201900005

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN KONSOLIDASI FONDASI
***BORED PILE* PADA GEDUNG INSTALASI BEDAH SENTRAL (IBS)**
RSUD dr. Loekmono Hadi

Anugrah Widya Pratama
NIM : 30201900002

Firmansyah
NIM : 30201900005

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 27 Januari 2023

Tim Penguji	Tanda Tangan
1. **Dr. Ir. H. Soedarsono, M. Si** NIDN : 0620065301	.....
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.** NIDN : 0608067601	.....
3. **Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph. D** NIDN : 0627115501	.....

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 30/A.2/SA-T/IX/2023

Pada hari ini tanggal 26 Januari 2023 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 : Lektor Kepala IVb
   Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
   Jabatan Akademik : Lektor Kepala IVa
   Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Anugrah Widya Pratama	Firmansyah
NIM : 30201900002	NIM : 30201900005

Judul : Analisis Daya Dukung dan Konsolidasi Fondasi *Bored Pile* Pada Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	16/09/2022	
2	Seminar Proposal	27/10/2022	ACC
3	Pengumpulan data	13/11/2022	
4	Analisis data	30/11/2022	
5	Penyusunan laporan	7/12/2022	
6	Selesai laporan	27/01/2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama	Dosen Pembimbing Pendamping
Dr. Ir. H. Soedarsono, M. Si.	Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Anugrah Widya Pratama
   NIM : 30201900002

2. NAMA : Firmansyah
   NIM : 30201900005

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Analisis Daya Dukung dan Konsolidasi Fondasi *Bored Pile* Pada Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 27 Januari 2023
Yang membuat pernyataan

Mahasiswa I

Anugrah Widya Pratama

NIM : 30201900002

Mahasiswa II

Firmansyah

NIM : 30201900005

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Anugrah Widya Pratama
   NIM : 30201900002

2. NAMA : Firmansyah
   NIM : 30201900005

JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Daya Dukung dan Konsolidasi Fondasi *Bored Pile* Pada Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi

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 ijasah 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.

Semarang, 27 Januari 2023
Yang membuat pernyataan

Mahasiswa I	Mahasiswa II
Anugrah Widya Pratama	Firmansyah
NIM : 30201900002	NIM : 30201900005

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ اُمَّةٍ اُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُوْنَ بِالْمَعْرُوْفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُوْنَ بِاللّٰهِ ۗوَلَوْ اٰمَنَ اَهْلُ الْكِتٰبِ لَكَانَ خَيْرًا لَّهُمْ ۗمِنْهُمُ الْمُؤْمِنُوْنَ وَاَكْثَرُهُمُ الْفٰسِقُوْنَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalahorang-orang fasik” (QS.Ali Imran Ayat 110)

وَاللّٰهُ اَخْرَجَكُمْ مِّنْۢ بُطُوْنِ اُمَّهٰتِكُمْ لَا تَعْلَمُوْنَ شَيْـًٔا ۙوَّجَعَلَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْاَبْصَارَ وَالْاَفْـِٕدَةَ ۙ لَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

“Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatu pun, dan Dia memberimu pendengaran, penglihatan, dan hati nurani, agar kamu bersyukur”(QS.An-Nahl Ayat 78)

وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

"Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga." (HR Muslim, no. 2699)

تَعَلَّمُوْاوَعَلِّمُوْاوَتَوَاضَعُوْالِمُعَلِّمِيْكُمْ وَلَيَلَوْا لِمُعَلِّمِيْكُمْ

"Belajarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu." (HR Thabrani).

مَنْخَرَجَفِيطَلَبُالْعِلْمِفَهُوَفِيسَبِيْلِاللهِحَتَّىيَرْجِعَ

"Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang," (HR Tirmidzi)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua yang saya cintai Ibu Sri Jarwati dan Bapak Suwito yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun material, dan arahan yang menjadi peneguh hati dalam menyelesaikan Tugas Akhir .
2. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M. Si dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT yang telah membimbing kami sepenuh hati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Sahabat saya Firmansyah rekan Tugas Akhir, rekan seperjuangan sejak awal menjadi maba di Unissula, yang sudah berjuang bersama melewati segala rintangan hingga titik akhir perjuangan mendapatkan gelar Sarjana Teknik, dan saudara seiman.
4. Untuk sahabat saya yaitu Nurul Cholifatul Huda, Naili Mala Fauzi, dan Nunik Rizkia yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Untuk teman saya Timur Paras Mukti dan Istifham Prainka yang telah membantu dalam pengumpulan data proyek sehingga pengerjaan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancer.
6. Putri Harfianti, Amd. KL, terimakasih atas semangat maupun dukungan support yang telah diberikan dalam tersusunnya laporan tugas akhir ini.
7. Saudara Lambang Revaldo, terimakasih atas bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
8. Teman – teman angkatan 2019, 2018, dan 2020 Fakultas Teknik Unissula yang selalu menghibur, memberikan dukungan serta semangat selama penyelesaian Tugas Akhir.

Anugrah Widya P.

NIM : 30201900002

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua yang saya cintai Ibu Muntiah dan Bapak Sutiyono yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun material, dan arahan yang menjadi peneguh hati dalam menyelesaikan Tugas Akhir .
2. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M. Si dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT yang telah membimbing kami sepenuh hati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Sahabat saya Anugrah Widya P. rekan Tugas Akhir, rekan seperjuangan sejak awal menjadi maba di Unissula, yang sudah berjuang bersama melewati segala rintangan hingga titik akhir perjuangan mendapatkan gelar Sarjana Teknik, dan saudara seiman.
4. Untuk sahabat saya yaitu Nurul Cholifatul Huda, Naili Mala Fauzi, dan Nunik Rizkia, serta sahabat seperjuangan saya di luar perkuliahan yaitu Miftachul Jannah, Rr Friska Aulia Utami, Septi Anggraeni, dan Dewi Ayu Fatmawati yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Untuk teman saya Timur Paras Mukti dan Istifham Prainka yang telah membantu dalam pengumpulan data proyek sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar
6. Teman – teman angkatan 2019, 2018, dan 2020 Fakultas Teknik Unissula yang selalu menghibur, memberikan dukungan serta semangat selama penyelesaian Tugas Akhir.

Firmansyah

NIM : 30201900005

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Daya Dukung dan Konsolidasi Fondasi *Bored Pile* Pada Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi " guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT, Ph.D Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad 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 Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 27 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
PERNYATAAN KEASLIAN v
MOTTO vi
PERSEMBAHAN vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR NOTASI xvi
ABSTRAK xix

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Batasan Masalah 2
1.4. Tujuan Penelitian 3
1.5. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1. Fondasi 4
2.2. Pengertian Fondasi *Bored Pile* 7
2.3. Metode Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor 8
2.3.1. Metode Kering (*Dry Hole Method*) 8
2.3.2. Metode Basah 9
2.3.3. Metode Casing 10
2.4. Distribusi Beban 11
2.5. Pembebanan 11
2.5.1. Beban Mati atau *Dead Load* (DL) 12
2.5.2. Beban Hidup atau *Live Load* (LL) 12
2.5.3. Beban Angin (W) 12
2.5.4. Beban Gempa (E) 12
2.6. Permodelan Menggunakan *Software* SAP2000 V.23 13
2.7. Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* 13
2.7.1. Daya Dukung Aksial 13
2.7.1.1. Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* dari Hasil Sondir 13
2.7.1.2. Kapasitas Daya Dukug *Bored Pile* dari Hasil N-SPT 17
2.7.2. Kapasitas Daya Dukung Fondasi 20
2.7.2.1. Daya Dukung Lateral 20
2.7.3. Daya Dukung Kelompok Tiang 23
2.7.3.1. Jumlah Tiang *Bored Pile* 24
2.7.3.2. Jarak Antar Tiang *Bored Pile* 24
2.7.3.3. Efisiensi Fondasi *Bored Pile* 24
2.7.4. Penurunan Elastis Tiang Tunggal 24

2.7.4.1. Penurunan Tiang Tunggal Menggunanakn *Plaxis* 26
2.7.4.2. Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan *Allpile* 26
2.7.4.3. Penurunan Yang Diizinkan 27
2.7.5. Penurunan Elastisitas Tiang Kemlompok Metode *Vesic* (1977)..... 27
2.7.6. Perhitungan *Pile Cap* 28

BAB III METODE PENELITIAN 32
3.1. Pendahuluan 32
3.2 Lokasi Proyek 32
3.3. Data Umum 33
3.4. Data Teknis 33
3.5. Metode Pengumpulan Data 33
3.6. Metode Analisis Data 34
3.7. Metode Pengolahan Data 34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 36
4.1. Tujuan Umum 36
4.2 Permodelan Struktur Atas Menggunakan *Software* SAP2000 V.23..... 36
4.2.1. Beban Mati (*Dead Load)* 46
4.2.2. Beban Hidup (*Live Load)* 46
4.2.3. Beban Gempa 46
4.2.3.1. Faktor Keamanan 47
4.2.3.2. Zona Wilayah Gempa 50
4.3. Data Perencanaan 53
4.4. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Fondasi *Bored Pile* 54
4.4.1. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Data Sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* 55
4.4.1.1. Metode *Aoki* de Alencar 55
4.4.1.2. Metode *Tomlinson* 57
4.4.2. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Hasil *Standard Penetration Test (*(SPT)..... 58
4.4.2.1. Metode *Reese and Wright* (1977) 58
4.4.2.2. Metode *Mayerhoff* 60
4.5. Hasil Perbandingan 66
4.6. Daya Dukung Lateral 67
4.6.1. Metode *Brooms* 1964 67
4.7. Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang 70
4.7.1. Perhitungan Untuk Metode *Reese & Wright* 1977 70
4.8. Penurunan Elastisitas Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan *Metode Vesic* (1977) 73
4.9. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Mengggunakan Program *Plaxis* 75
4.10. Analisa Pemodelan Fondasi dengan Program *Allpile* 87
4.11. Penurunan Elastisitas Pada Tiang Kelompok Menggunakan Metode *Vesic* (1977) 93

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 121
5.1. Kesimpulan 121
5.2 Saran 122

DAFTAR PUSTAKA 124
LAMPIRAN xx

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fondasi Telapak 5
Gambar 2.2 Fondasi Memanjang atau Menerus 5
Gambar 2.3 Fondasi Rakit 6
Gambar 2.4 Tiang Franki 7
Gambar 2.5. Tiang Pancang *Precast* 7
Gambar 2.6 Fondasi *Bored Pile* 8
Gambar 2.7 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metode Metode Kering 9
Gambar 2.8 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metodr Basah 9
Gambar 2.9 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metode Casing 10
Gambar 2.10 Tiang Gesek 11
Gambar 2.11 Tiang Dukung Ujung 11
Gambar 2.12 Hubungan Antara Faktor *Adhesi* dan Kohesi Untuk Tiang Pancang Dalam Tanah Lempung 17
Gambar 2.13 Daya Dukung Ujung Tiang 18
Gambar 2.14 Daya Dukung Kulit Tiang 19
Gambar 2.15 Faktor *Adhesi* 21
Gambar 2.16 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit 23
Gambar 3.1 Lokasi Proyek 32
Gambar 3.2 *Flow Chart* 35
Gambar 4.1 *New Model* 37
Gambar 4.2 *Edit Grid* 37
Gambar 4.3 Material Baja 38
Gambar 4.4 Material Beton 38
Gambar 4.5 Material *Frame Section* 39
Gambar 4.6 *Reinforcement* Data Untuk Beam 39
Gambar 4.7 *Reinforcement* Data Untuk Kolom 40
Gambar 4.8 *Shell Section* Data 40
Gambar 4.9 *Load Pattrens* 41
Gambar 4.10 *Load Combination* Data 42
Gambar 4.11 *Load Pattren Loads* 42
Gambar 4.12 *Load Pattern Dead* 43
Gambar 4.13 *Load Pattern Live* 43
Gambar 4.14 *Response Spectrum* 44
Gambar 4.15 *Load Case Respon Sprectrum* 44
Gambar 4.16 *Run Analyze* 45
Gambar 4.17 Hasil *Run Analyze* dan Pemodelan 3D Struktur Atas dengan SAP2000 V.23 45
Gambar 4.18 Spektral Percepatan 51
Gambar 4.19 Denah Fondasi 53
Gambar 4.20 Data Tanah 54
Gambar 4.21 Penentuan Parameter Tanah 55
Gambar 4.22 Detail *Pile Cap* P8 70
Gambar 4.23 Detail *Pile Cap* P6-C 71
Gambar 4.24 Detail *Pile Cap* P4-A 72
Gambar 4.25 *General Setting* 75

Gambar 4.26 *General Setting* 75
Gambar 4.27 Pemodelan Kontur Tanah 76
Gambar 4.28 Data Umum 76
Gambar 4.29 *Mohr Coloumb* 77
Gambar 4.30 *Mohr Coloumb* 77
Gambar 4.31 Data Material Fondasi 77
Gambar 4.32 Pemodelan 78
Gambar 4.33 Input Pembebanan 78
Gambar 4.34 Susunan Jaringan Elemen 79
Gambar 4.35 *Water Weight* 79
Gambar 4.36 Muka Air Tanah 80
Gambar 4.37 *Output Soil Stressess* 80
Gambar 4.38 Tekanan Air Pori 81
Gambar 4.39 Prosedur K0 81
Gambar 4.40 Tekanan Efektif Tanah 82
Gambar 4.41 Deformasi Yang Terjadi 83
Gambar 4.42 *Pile Type* 83
Gambar 4.43 *Pile Profil* 84
Gambar 4.44 *Pile Properties* 84
Gambar 4.45 *Setting* Kedalaman Fondasi 85
Gambar 4.46 *Load and Group* 85
Gambar 4.47 *Soil Properties* 86
Gambar 4.48 *Advance Page* 86
Gambar 4.49 Hasil Analisis *Vertikal Allpile* 87
Gambar 4.50 Detail *Pile Cap* P8 101
Gambar 4.51 Potongan *Pile Cap* P8 101
Gambar 4.52 Detail *Pile Cap* P6-C 113
Gambar 4.53 Potongan *Pile Cap* P6-C 113
Gambar 4.54 Detail *Pile Cap* P4-A 119
Gambar 4.55 Potongan *Pile Cap* P4-A 120

UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Empirik Fb dan Fs 15
Tabel 2.2 Faktor Empirik Tanah a_s 15
Tabel 2.3 Nilai nh tanah granuler (c=0) 22
Tabel 2.4 Jenis Tanah 25
Tabel 2.5 Nilai *Poisson's Ratio* 26
Tabel 4.1 Beban Hidup SNI 1927 – 2020 46
Tabel 4.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa 47
Table 4.3 Faktor keutamaan gempa 49
Table 4.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{Ds} 50
Table 4.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1} 50
Table 4.6 Nilai qc Didasar Tiang 56
Table 4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Aoki de Alencar* 62
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Tomlinson* 63
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Reese and Wright* 64
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Mayerhoff* 65
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung Aksial Tanah 66
Tabel 4.12 Berat Jenis Tanah 67
Tabel 4.13 Hasil Dari Setiap Tipe Fondasi 72
Tabel 4.14 Konsolidasi 82
Tabel 4.15 Hasil Daya Dukung Aksial dengan Manual dan Program 88
Tabel 4.16 Hasil Penurunan Tiang dengan Manual dan Program 88
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Pile Cap 120

DAFTAR NOTASI

Qp	=	Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
Ap	=	Luas Penampang (m^2)
Cu	=	Kohesi Tanah
α	=	Faktor Adhesi Empiris
P	=	Keliling Tiang (m)
Li	=	Tebal Lapisan Tanah (m)
Q_p	=	Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
Q_s	=	Daya Dukung Slimut Tiang (kN)
Q_u	=	Daya Dukung Ultimat Tiang (kN)
C_u	=	Kohesi Tanah (kN/m^2)
η	=	Efesiensi Kelompok Tiang (%)
m	=	Jumlah Tiang Arah Vertical
n	=	Jumlah Kolom Arah Vertical
θ	=	Arc tg d/s
s	=	Jarak As Tiang (m)
d	=	Diameter Tiang (m)
n ’	=	Jumlah Tiang
Qg	=	Kapasitas Izin Kelompok Tiang (kN)
Np	=	Jumlah Tiang
V	=	Beban Strukturnya (kN)
Qtiang	=	Daya Dukung Izin Tiang Tunggal (kN)
Ep	=	Modulus Elastis Tiang (kN/m^2)
I	=	Momen Inersia (m^4)
nh	=	Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)
Kh	=	Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)
Hu	=	Daya Dukung Lateral Tiang (kN)
My	=	Momen Max Yang Dapat Ditahan Tiang (kN.m)
ϒ	=	Berat Volume Tanah (kN/m^3)
e	=	Jarak Beban Horizontal ke Permukaan Tanah (m)
Kp	=	Koefisein Tekanan Tanah Pasif

f	=	Jarak Kedalaman Titik Dimana Gaya Geser = 0 (m)
lp	=	Momen Inersia Tiang (m^4)
H	=	Beban Lateral (kN)
L	=	Panjang Tiang (m)
S	=	Total Penurunan (mm)
S1	=	Penurunan Batang Tiang (mm)
S2	=	Penurunan Tiang Akibat Beban Diujung Tiang (mm)
S3	=	Penurunan Tiang Akibat Beban Selimut (mm)
Qwp	=	Beban yang Ujung Tiang (kN)
Qws	=	Beban Yang Selimut Tiang (kN)
Ab	=	Luas PEnampang Tiang (m^2)
ξ	=	0,5 (Distribusi Tahanan Sepanjang Tiang)
Cp	=	Koefisien Empiris
Sg	=	Penurunana Kelompok Tiang (mm)
St	=	Penurunan Tiang Tunggal (mm)
b’	=	Lebar Kelompok Tiang (mm)
B	=	Diameter Fondasi (mm)
T	=	Waktu Penurunan
Tv	=	Factor Waktu (Derajat Konsolidasi Rata-Rata)
H^2	=	Seluruh panjang Lintas Fondasi (m)
Cv	=	Derajat Konsolidasi (0.0045 m^2 /dtk)
Bw	=	Lebar Fondasi (m)
Ag	=	Luas Penampang Beton (mm^2)
Ast	=	Luas Tulangan (mm^2)
Dst	=	Diamater Tulangan (mm)
As	=	Luas selimut tiang (m)
Bg	=	Lebar pilecap (m)
Cs	=	Konstanta empiris
Df	=	*Depth of Fondation* (m)
Eg	=	Efesiensi kelompok tiang
Es	=	Modulus elastisitas (kg/cm^3)
Ws	=	Berat butiran padat (gr)

Va	=	Volume udara (cm^3)
Vv	=	Volume pori (cm^3)
Vs	=	Volume padat (cm^3)
Vw	=	Volume air (cm^3)
Ws	=	Berat butiran padat (gr)
n1	=	Jumlah baris tiang
n2	=	Jumlah tiang dalam satu baris
Dx	=	Tinggi efektif pile (mm)
Bo	=	Keliling penampang geser pons (mm)
b1	=	Panjang bentang pile cap arah x (mm)
b2	=	Panjang bentang pile cap arah y (mm)

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN KONSOLIDASI FONDASI BORED PILE PADA GEDUNG INSTALASI BEDAH SENTRAL (IBS) RSUD dr. LOEKMONOHADI

Anugrah Widya Pratama [1], Firmansyah [1], Soedarsono [2], Abdul Rochim [2]

ABSTRAK

Fondasi merupakan struktur bawah bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban sampai ke tanah dan tidak boleh mengalami pergeseran atau keruntuhan. Untuk merencanakan suatu fondasi perlu mengetahui kondisi tanah dilapangan dan juga hasil pengujian dilapangan. Perlu juga mengetahui seperti apakah bangunan yang akan berdiri diatasnya, seperti pada studi kasus kali ini bangunan yang berdiri diatasnya merupakan sebuah bangunan rumah sakit dimana strukturnya harus memenuhi persyaratan keselamatan (*Safety*) dan harus memenuhi persyaratan kelayakan (*Serviceability*).

Permodelan struktur atas gedung menggunakan SAP2000 untuk memperoleh beban pada kolom gedus IBS RSUD dr. Loekmonohadi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis daya dukung aksial fondasi *bored pile* dengan metode *Aoki de Alencar, Tomlinson, Reese and Wright, Mayerhoff*, dan daya dukung lateral dengan metode *Brooms*, analisis efisiensi dan analisis penurunan elastisitas tiang tungal, analisis penurunan elastisitas tiang kelompok, analisis permodelan dengan program plaxis dan allpile serta mendesain *pile cap*.

Dari hasil perhitungan diperoleh beban terbesar yaitu 7036,415 kN dan beban terkecil yaitu 1824,156 kN. Perhitungan daya dukung ijin (Qall) tiang tunggal fondasi bored pile pada kedalaman 17 meter dengan metode Aoki de Alencar sebesar Qall = 233,807 kN, metode Tomlinson sebesar Qall = 363,220 kN, metode Reese and Wright sebesar Qall = 804,014, metode Mayerhoff sebesar Qall = 804,014, dengan program allpile sebesar Qall = 412,328 kN, daya dukung lateral metode Brooms dengan cara analitis diperoleh Hu = 669,68, perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal diperoleh penurunan sebesar 3,40 mm dan menggunakan plaxis periode 1 tahun dan 10 tahun diperoleh penurunan sebesar 2,47 mm dengan program allpile sebesar 2,27 mm. hasilm perhitungan pile cap pada P1 dimensi adalah 3,5x2,98 m dengan tebal 1,2 m, pada P6-C dimensi adalah 3,5x2,25 m dengan tebal 1,2 m, pada pile cap P4-A dimensi 2,5x2,5 m dengan tebal 1,2 m.

Kata Kunci : Fondasi; Bored pile; Daya Dukung; Penurunan; Pile Cap

[1] Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula.
[2] Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik SIpil Unissula.

ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND CONSOLIDATION OF FOUNDATIONS BORED PILE IN CENTRAL SURGICAL INSTALLATION BUILDING RSUD dr. LOEKMONOHADI

Anugrah Widya Pratama [1], Firmansyah [1], Soedarsono [2], Abdul Rochim [2]

ABSTRACT

The foundation is the lower structure of the building which functions to transmit the load to the ground and must not experience a shift or collapse. To plan a foundation, it is necessary to know the soil conditions in the field and also the results of field testing. It is also necessary to know what kind of building will stand on it, as in the case study this time the building that stands on it is a hospital building where the structure must meet safety requirements and must meet serviceability requirements.

Modeling the superstructure of the building using SAP2000 to obtain the load on the IBS building column at RSUD dr. Loekmonohadi. The purpose of this study was to analyze the axial bearing capacity of bored pile foundations using the Aoki de Alencar, Tomlinson, Reese and Wright, Mayerhoff method, and the lateral bearing capacity using the Brooms method, efficiency analysis and analysis of the reduction in elasticity of single piles, analysis of the reduction in elasticity of group piles, analysis modeling with plaxis and allpile programs and designing pile caps.

From the calculation results, the largest load is 7036.415 kN and the smallest load is 1824.156 kN. Calculation of the allowable bearing capacity (Qall) for a single bored pile foundation at a depth of 17 meters using the Aoki de Alencar method of Qall = 233.807 kN, the Tomlinson method of Qall = 363.220 kN, the Reese and Wright method of Qall = 804.014, the Mayerhoff method of Qall = 804.014 , with the allpile program of Qall = 412.328 kN, the lateral bearing capacity of the Brooms method by analytical means is obtained Hu = 669.68, the calculation of the settlement of single pile foundations obtains a settlement of 3.40 mm and using plaxis a period of 1 year and 10 years obtains a decrease of 2 .47 mm with an allpile program of 2.27 mm. The results of the pile cap calculation on P1 dimensions are 3.5x2.98 m and 1.2 m thick, on P6-C the dimensions are 3.5x2.25 m and 1.2 m thick, on P4-A pile cap dimensions are 2.5x2 .5 m with a thickness of 1.2 m.

Keywords: Foundation; Bored pile; Bearing Capacity; Decline; Pile Cap

[1] Unissula Civil Engineering Study Program Faculty of Engineering students.
[2] Lecturer at the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi Kudus yang berlokasi di jalan dr. Loekmonohadi No. 19 Kudus merupakan gedung rumah sakit yang dibangun rencananya yaitu 6 lantai. Tiap bangunan rumah sakit, strukturnya wajib direncanakan serta dilaksanakan supaya kuat, kokoh, serta normal dan wajib penuhi persyaratan keselamatan *(safety)*, serta dan wajib penuhi persyaratan kelayakan *(serviceability)* sepanjang usia layanan yang direncanakan dengan memikirkan guna bangunan rumah sakit, posisi, keawetan, serta mungkin penerapan konstruksinya.

Agar konstruksi ini memiliki bangunan yang kokoh, kuat, serta aman maka dibutuhkan perencanaan fondasi yang baik dan fondasi harus diperhitungkan secara matang untuk dapat menjamin kestabilan bangunan. Pekerjaan pertama pada sebuah konstruksi bangunan adalah struktur bawah seperti fondasi yang berfungsi untuk menopang struktur diatasnya. Fungsi utama fondasi yaitu untuk meneruskan bebaan mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*) pada bangunan maupun beban gempa pada suatu daerah tertentu, dan kemudian disalurkan ke tanah melalui fondasi.

Struktur bawah bangunan rumah sakit dapat berupa fondasi dangkal atau dalam, disesuaikan dengan beban struktur diatasnya dan kondisi tanah dilokasi didirikannya rumah sakit. Fondasi merupakan bangunan utama yang memikul beban diatasnya serta berperan menyalurkan tegangan- tegangan yang terjalin akibat beban yang dipikul ialah beban struktur serta menyalurkan gaya- gaya yang terdapat pada konstruksi atas serta meneruskannya hingga kedalam tanah sehingga bisa menjamin kestabilan, ketahan, serta akibat *style* dari luar semacam tekanan angin, gempa, serta lain- lain, sehingga fondasi tidak boleh terjalin penyusutan yang signifikan serta terdapat batasan tertentu yang butuh dicermati.

Penyelidikan tanah dilakukan untuk mendapatkan hasil daya dukung pada tanah yang benar dan akurat. Menentukan daya dukung pada fondasi *bored pile* menggunakan metode statis dan metode dinamis. Tujuan melakukan penyelidikan

tanah agar mengetahui sifat, jenis, tingkat kepadatan tanah, dan struktur pelapis pada tanah. Manfaatnya untuk mendapatkan hasil yang aman, akurat, serta hemat/ekonomis.

1.2. Rumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis dapat juga merumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Berapa besar beban maksimal tiap tiang fondasi *bored pile* pada gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi?
2. Bagaimana cara perhitungan untuk mengetahui daya dukung aksial dan lateral yang terjadi pada fondasi?
3. Bagaimana cara perhitungan penurunan pada tiang tunggal (*Single Pile*) maupun tiang kelompok (*Group Pile*)?
4. Bagaimana menghitung struktur atas menggunakan program SAP2000v14?
5. Bagaimana hasil analisis pemodelan fondasi *bored pile* pada program *plaxis dan Allpile*?
6. Bagaimana menghitung konsolidasi pada fondasi *bored pile*?

1.3. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini memliki beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi pengamatan untuk penelitian tanah hanya disekitar gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi,
2. Struktur fondasi untuk laporan ini menggunakan fondasi *bored pile*,
3. Analisis kekuatan daya dukung aksial dan lateral fondasi *bored pile*,
4. Metode yang dipakai untuk perhitungan daya dukung aksial yaitu: Metode *Mayerhoff, Tomlinson, Reese & Wright, dan Aoiki de Alencar*
5. Metode yang dipakai untuk perhitungan daya dukung lateral yaitu: Metode *Brooms*,
6. Hitungan konsolidasi hanya memperhatikan periode satu tahun dan sepuluh tahun,
7. Rencana pembebanan bangunan mengacu pada Pedoman untuk Perencanaan Pembebanan untuk gedung,

8. Program yang nantinya digunakan untuk menghitung struktur atas adalah SAP2000v14, Sedangkan program yang dipakai untuk menganalisis nilai daya dukung tanah dan konsolidasi adalah *plaxis* dan untuk pemodelan fondasi tiang tunggal menggunakan *Allpile*.
9. Penambahan 1 lantai yang dimana sebelumnya 6 lantai menjadi 7 lantai pada proyek pembangunan gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) dr. Loekmono Hadi.
10. Data struktur dan data tanah didapat dari PT. Sembilan Sembilan Cahaya selaku Kontraktor pada proyek.

1.4. Tujuan Penelitian

Untuk tujuan penelitian dalam tugas akhir ini bisa disimpulkan sebagai berikut :

1. Mengetahui beban dari beberapa kolom gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi,
2. Mengetahui nilai daya dukung aksial dan lateral tanah
3. Mengetahui *settlement* tiang tunggal (*Single Pile*) dan tiang kelompok (*Group Pile*),
4. Mengetahui hasil konsolidasi pada fondasi *bored pile* berdasarkan perhitungan manual dan menggunakan program *plaxis* dan *allpile.*
5. Mengetahui Cara mendesain *Pile Cap*

1.5. Manfaat Penelitian

Setelah tujuan diatas, menghasilkan beberapa manfaat antara lain:

1. Menambah pengetahuan, ilmu yang bermanfaat dan untuk pembanding jika ada pekerjaan yang serupa,
2. Bermanfaat bagi perkembangan ilmu maupun pengetahuan di bidang analisis geoteknik, utamanya fondasi *bored pile* bagi pihak terkait, dan
3. Sebagia acuan atau contoh bagi mahasiswa yang membaca dan melakukan penelitian dengan mengambil studi kasus yang sama.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fondasi

Sebuah perencanaan konstruksi terdiri atas perencanaan struktur bawah serta sturktur atas. Struktur bawah ini mencakup bagian struktur yang berada pada bawah tanah, yaitu fondasi. Struktur atas mencakup bagian struktur yang berada diatas tanah mirip kolom, balok, pelat serta lain-lain. Untuk stuktur bawah maupun stuktur atas sangatlah penting pada suatu konstruksi.

Semua struktur yang dirancang untuk ditempatkan di atas tanah harus didukung oleh fondasi. Pengertian Fondasi adalah struktur pada fondasi suatu struktur/bangunan *(substructure)* yang menyalurkan beban dari bagian atas struktur/bangunan *(superstruktur)* ke lapisan tanah di bawahnya tanpa menimbulkan *ground shear*. Berperan dalam keruntuhan dan penurunan muka tanah dari lantai/fondasi.

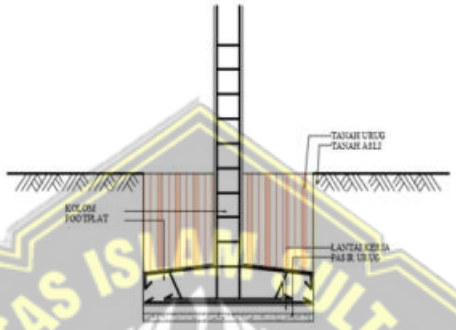
Fondasi adalah struktur bawah suatu bangunan yang berfungsi untuk memindahkan beban dari atas ke bawah yaitu ke tanah atau batuan yang sedang dibangun. Secara umum fondasi dibagi menjadi dua jenis yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Yang dimaksud dengan fondasi dangkal adalah fondasi yang mampu menopang beban yang relatif kecil dan mampu secara langsung menyerap beban suatu bangunan. Pengertian fondasi dalam adalah fondasi yang dapat mengambil beban yang besar dari suatu bangunan dan memindahkan beban tersebut ke tanah yang keras (Yahya & Pramudya, 2022). Berikut penjelasan mengenai jenis-jenis fondasi :

1. Fondasi Dangkal

   Fondasi dangkal adalah fondasi yang kedalamannya relatif dangkal. Biasanya, fondasi ini hanya memiliki kedalaman sekitar 3 meter. Fondasi ini sering digunakan pada daerah dengan kondisi tanah yang berat untuk menopang beban suatu bangunan. (Revaldo, L., & Johari, 2022). Berikut jenis-jenis fondasi dangkal :

a. Fondasi Telapak

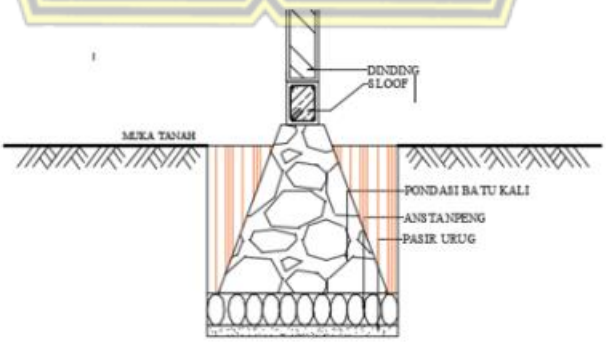
Fondasi telapak adalah fondasi dangkal yang dimaksudkan untuk menahan beban terpusat dari kolom bangunan, dan konstruksinya sejajar dengan bagian atas kolom bangunan. Pangkal kaki biasanya berbentuk bujur sangkar dan terbuat dari beton bertulang. Penerapan fondasi ini terdapat pada bangunan rumah tinggal, gedung pencakar langit dan gudang (Revaldo, L., & Johari, 2022). Gambar fondasi telapak bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fondasi Telapak (Revaldo, L., & Johari, 2022)

b. Fondasi Memanjang

Fondasi Memanjang, atau sering disebut fondasi batu kali, digunakan untuk menopang struktur dan kolom dinding memanjang yang jaraknya relatif berdekatan. Metode ini menggunakan batu pecah atau batu kali sebagai bahan utama dan menuangkan beton tanpa adanya tulangan.(Revaldo, L., & Johari, 2022). Gambar fondasi memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fondasi Memanjang atau Menerus

(Revaldo, L., & Johari, 2022)

c. Fondasi Rakit

Fondasi rakit digunakan dalam konstruksi ketika bangunan berada di atas tanah yang lunak atau tanah yang memiliki daya dukung yang buruk. (Revaldo, L., & Johari, 2022). Gambar fondasi rakit dapat dilihat pada Gambar 2.3.

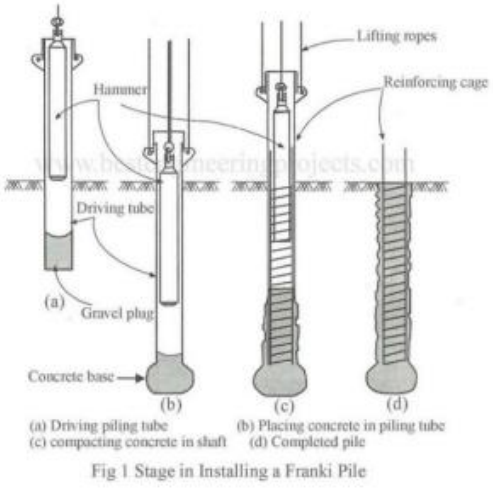
Gambar 2.3 Fondasi Rakit (Revaldo, L., & Johari, 2022)

2. Fondasi Dalam

Fondasi dalam adalah substruktur bangunan yang berfungsi untuk mentransfer beban konstruksi ke lapisan tanah keras yang berada jauh dari permukaan tanah. Fondasi dapat diklasifikasikan sebagai fondasi dalam jika rasio kedalaman terhadap lebar fondasi lebih besar dari sepuluh (Df/B > 10) (Revaldo, L., & Johari, 2022). Berikut jenis-jenis fondasi dalam.

a. Fondasi Sumuran

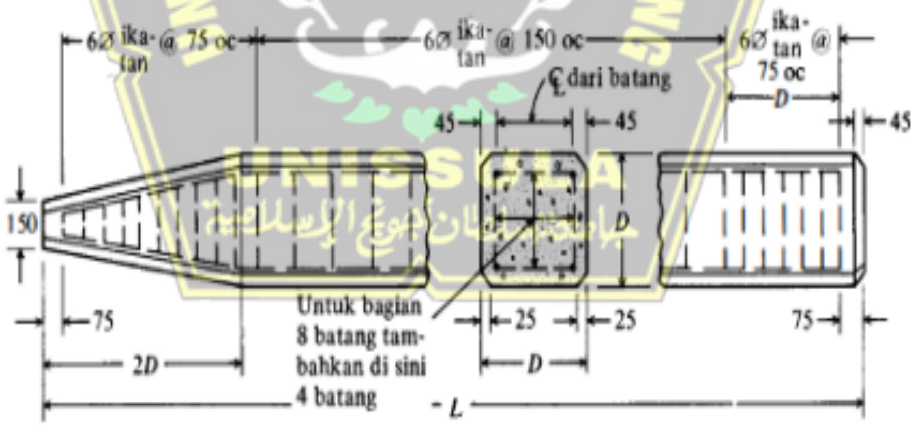
Fondasi sumuran adalah fondasi yang struktur utamanya adalah pipa beton yang dikubur di dalam tanah untuk membuat sumur. Pekerjaan fondasi ini dilakukan dengan menggunakan batu pecah dan beton sebagai bahan pengisi. Penggunaan fondasi ini berlaku untuk area bangunan yang lapisan tanah kerasnya cukup dalam.(Revaldo, L., & Johari, 2022). Gambar fondasi sumuran bisa dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tiang Franki (Hardiyatmo, 2008)

b. Fondasi Tiang

Fondasi tiang pancang ialah fondasi yang dipergunakan pada bangunan konstruksi dimana tanah kerasnya sangat dalam. Fondasi ini cocok untuk digunakan pada struktur multi-lapisan di mana gaya-gayanya dipengaruhi oleh beban *horizontal* (Revaldo, L., & Johari, 2022). Gambar fondasi tiang bisa dilihat pada Gambar 2.5.

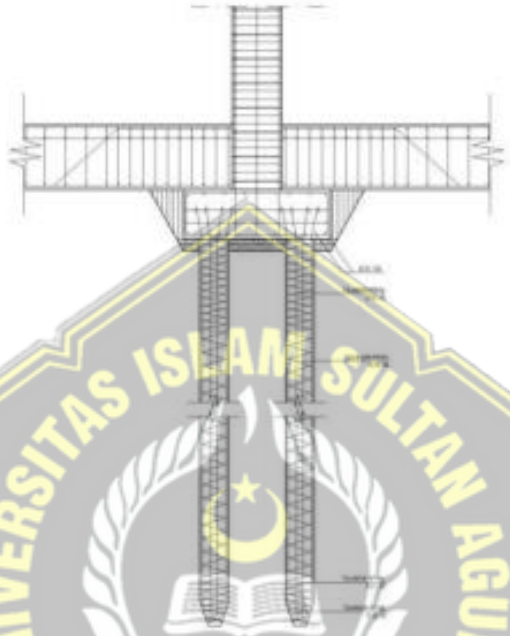


Gambar 2.5 Tiang Pancang *Precast* (Revaldo, L., & Johari, 2022)

2.2. Pengertian Fondasi *Bored Pile*

Fondasi tiang bor adalah jenis fondasi dalam yang dimasukkan ke dalam permukaan tanah sampai kedalaman tertentu. Fondasi ditusuk dengan alat khusus dan diletakkan pada kedalaman yang dibutuhkan. Setelah mencapai kedalaman yang diperlukan, *bekisting*

yang terbuat dari besi lembaran dipasang, kerangka besi fondasi yang sudah dirakit sebelumnya dimasukkan kedalam lubang bor dan dituangkan. Pekerjaan fondasi ini tentunya didukung dengan alat khusus untuk mengangkat sirap dan rangka baja. Setelah dilakukan pengecoran kesing tersebut lalu dikeluarkan kembali (Takaredase, 2016). Detail fondasi *bored pile* ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fondasi *Bored Pile* (Ningrum, 2022)

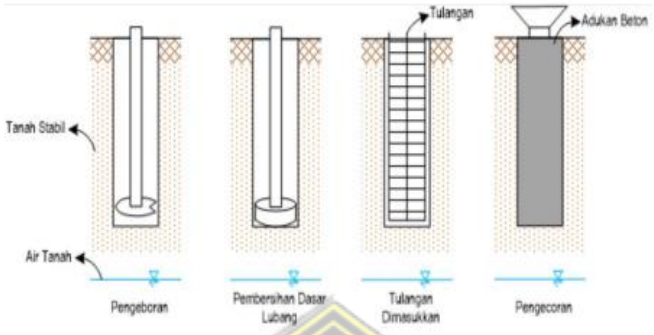
2.3. Metode Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor

Pada tahapan selanjutnya terdapat tiga metode dasar untuk dilakukannya pengeboran (variable-variabel tempat proyek dapat juga memerlukan perpaduan dari beberapa metode), yaitu:

2.3.1. Metode Kering *(Dry Hole Method)*

Metode kering melibatkan penggalian lubang terlebih dahulu (membentuk seperti lonceng jika perlu). Setelah itu, sebagian sumur diisi dengan beton, dan kerangka tulangan dipasang untuk menyelesaikan pekerjaan. Rangka tulangan tidak boleh dipasang sampai dasar lubang sumur tercapai, karena perlindungan beton minimal diperlukan dan kerangka tulangan diperpanjang sampai akhir mendekati kedalaman penuh dari pada hanya mencapai kira – kira setengahnya saja.

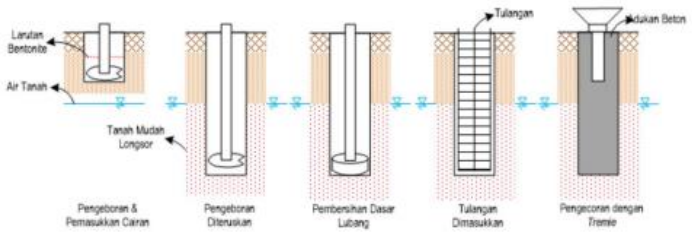
Metode ini mengasumsikan bahwa tanah di bawahnya lengket dan tingkat air di bawah dasar sumur yang tinggi. Atau, jika permeabilitasnya cukup rendah, sumur dibor (dan terkadang dipompa) dan dibeton sebelum sumur terisi penuh. dari beton (Afifa, 2021). Rangkaian pelaksanaan dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metode Kering (Afifa, 2021)

2.3.2. Metode Basah

Metode basah biasanya digunakan ketika pengeboran berada di atas permukaan air, sehingga lubang bor biasanya longsor jika dinding tidak ditahan pada tempatnya. Sumur diisi dengan larutan tanah liat atau tanah polimer agar lubang tidak terpeleset, maka dilakukan pemboran di dalam larutan tersebut. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan, lubang bor dibersihkan dan pengaku yang terpasang ditempatkan di dalam lubang bor. Lubang bor masih diisi dengan bentonit cair (*polimey*). Campuran beton ditempatkan di lubang bor dengan pipa trip dan larutan *bentonit* dipaksa melalui campuran beton dan diangkat. Solusi untuk larutan yang keluar dari lubang bor, nantinya dapat ditampung dan bisa kembali digunakan lagi untuk pengeboran di lokasi yang berbeda selanjutnya (Afifa, 2021).



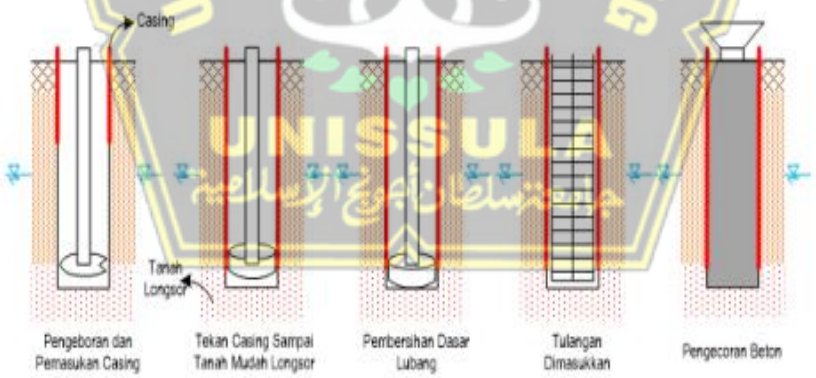
Gambar 2.8 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metode Basah (Afifa, 2021)

2.3.3. Metode *Casing*

Casing diperlukan karena *defleksi* bawah (*slumping*) dan deformasi lateral yang terjadi pada lubang bor. Perhatikan bahwa *slurry* harus ditahan sebelum memasuki *casing*. Dalam kondisi tak menentu, *casing* harus ditanam dengan menggunakan alat penggetar *(vibrator).*

Pipa penggunaan *casing* harus cukup panjang untuk menutupi semua bagian tanah yang mungkin runtuh akibat penggalian dan juga diperlukan untuk tegangan penggalian. *Casing* juga diperlukan untuk injeksi air permukaan atau sedang, seperti fondasi dermaga dan jembatan.

Tata cara ini memakai selubung dalam proyek di mana bentukan samping yang kelewatan ataupun deformasi lateral yang seketika bisa terjalin pada rongga sumur *(sharf cavity)*. Butuh kita ingat kalau saat sebelum casing dimasukkan, sesuatu adonan spesi encer *(slurry)* digunakan buat mempertahankan lubang. Sehabis *casing* dipasang, adonan dikeluarkan serta sumur diperdalam sampai pada kedalaman yang dibutuhkan dalam kondisi kering. Tergantung pada kebutuhan site serta proyek, sumuran di dasar *casing* hendak dikurangi sangat tidak hingga ID *casing* kadang- kadang 25 hingga 50 milimeter minimnya buat jarak ruang bor tanah(auger) yang lebih baik (Afifa, 2021).



Gambar 2.9 Langkah Pelaksanaan Fondasi Tiang Bor Metode *Casing*
(Afifa, 2021)

2.4. Distribusi Beban

Menurut pendistribusian beban, untuk penyaluran beban ke tanah, distribusi fondasi dibagi menjadi 2 macam, antara lain :

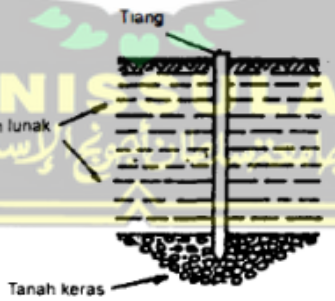
1. Fondasi tiang dengan gesekan tanah (*Friction Pile*)

   Fondasi tiang yang memikul beban ditentukan oleh gesekan antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya (Revaldo, L., & Johari, 2022). Seperti pada Gambar 2.10.

Gambar 2.10 Tiang Gesek (Hardiyatmo, 2008)

2. Fondasi tiang dengan tahanan ujung (*End bearing Pile*)

   Fondasi tiang yang daya dukung bebannya adalah tahanan di ujung tiang. Tiang akan dipancang sampai kedalam lapisan tanah keras (Revaldo, L., & Johari, 2022). Seperti ditunjukkan di Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tiang Dukung Ujung (Hardiyatmo, 2008)

2.5. Pembebanan

Beban pada struktur gedung meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban seismik, beban air, dan beban khusus lainnya seperti yang terdapat pada beban getaran mesin dan beban sensitif. Beban rencana suatu struktur bangunan gedung bergantung pada fungsi spasial, letak, bentuk, kekakuan, massa, dan tinggi bangunan. Jenis beban

yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beban hidup (LL), beban mati (DL), beban angin (W), dan beban gempa (E).

2.5.1. Beban Mati atau *Dead Load* (DL)

Beban mati ialah berat semua bagian bangunan permanen, termasuk semua elemen tambahan, mesin dan peralatan yang merupakan bagian integral dari bangunan tersebut.

Menurut SNI 1727 (2020:15) beban mati adalah berat seluruh struktur termasuk dinding, lantai, atap, langit-langit, tangga, partisi tetap, ekstensi, kelongsong bangunan, komponen bangunan dan struktur lainnya dan peralatan teknis terpasang lainnya termasuk berat dari keran. (Karim, 2013).

2.5.2. Beban Hidup atau *Live Load* (LL)

Beban hidup ialah beban seluler yang berfungsi penuh. Beban hidup adalah semua beban akibat tinggal atau menggunakan bangunan, termasuk beban lantai yang disebabkan oleh benda bergerak, mesin dan peralatan yang bukan merupakan bagian dari bangunan, dan yang dapat diganti selama umur bangunan. yang menyebabkan perubahan beban pada lantai dan atap bangunan.

Menurut SNI 1727 (2020:18) beban hidup adalah beban yang ditimbulkan oleh pengguna atau penghuni bangunan dan struktur lainnya, dan tidak termasuk beban struktural atau lingkungan yang meliputi beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. (Karim, 2013)

2.5.3. Beban Angin (W)

Beban angin merupakan seluruh beban yang bekerja pada bangunan ataupun bagian bangunan yang diakibatkan oleh selisi dalam tekanan hawa. Tekanan tiup wajib diambil minimum 25 kilogram/m^2, serta ditepi laut hingga sepanjang 5 kilometer dari tepi laut haru di ambil minimum 40 kilogram/ m^2.

2.5.4. Beban Gempa (E)

Beban seismik ialah gaya yang dihasilkan oleh gempa bumi yang terjadi di dasar tanah, memberikan tekanan pada struktur dan memungkinkan untuk memasuki keadaan runtuh. Di daerah dengan risiko seismik tinggi, efek gempa bumi sangat diperhitungkan.

Beban seismik adalah beban yang diakibatkan oleh pergerakan tanah di bawah suatu bangunan atau struktur bangunan. Pergerakan tanah menyebabkan struktur bergoyang. Fluktuasi dimodelkan sebagai beban horizontal pada bangunan atau superstruktur bangunan dan dirumuskan sebagai beban seismik desain (Karim, 2013).

2.6. Permodelan Menggunakan *Software* SAP2000 V.23

Analisa pembebanan pada Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi diperhitungkan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 V.23. Software SAP2000 V.23 merupakan sebuah program yang akan digunakan untuk menghitung pembebanan pada struktur atas bangunan dalam perencanaan fondasi yang akan direncanakan.

Software ini dapat digunakan untuk merencanakan gedung, jembatan, tower, dll. Dan dalam merencanakannya dapat menggunkan material baja dan beton sesuai dengan kebutuhan. Program ini sudah lengkap dan mudah digunakan karena fitur-fitur di dalamnya telah memadai. Output dari program ini berupa momen, gaya geser, serta gaya normal, maka dari output itulah akan mendapatkan beban terbesar dari kolom-kolom perencanaan yang akan digunakan dalam perencanaan fondasi.

2.7. Kapasitas Dari Daya Dukung Fondasi *Bored Pile*

Kapasitas daya dukung suatu fondasi adalah kemampuan tanah untuk menopangnya berupa beban maksimum dari bangunan diatasnya. Daya dukung alas kuat terhadap gaya lateral dan melindungi terhadap geser yang akan segera terjadi. Jumlah dari tahanan gesek sisi permukaan dan ujung tiang adalah kapasitas maksimum tiang yang nantinya akan dipancang ke dalam tanah dengan tipe kohesif. (Yusti & Fahriani, 2014). Dan fondasi juga harus diletakkan pada tanah keras agar daya dukungnya lebih stabil. Daya dukung fondasi berasal dari *friction end bearing* nya. Berikut ini adalah metode-metode untuk menghitung kapasitas fondasi.

2.7.1. Daya Dukung Aksial

Daya Dukung aksial merupakan kemampuan tanah dibawah fondasi untuk menahan gaya-gaya dari luar yang bekerja dengan arah tegak lurus terhadap fondasi tersebut. Untuk mendapatkan nilai daya dukung aksial, memerlukan hasil analisis data menurut data lapangan dan juga data labolatorium. Data lapangan meliputi dari data hasil sondir dan N-SPT. Data labolatorium meliputi dari hasil analisis data berdasarkan kuat geser tanah dan tahanan ujung ultimit (Rohman, 2022).

2.7.1.1. Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Sondir atau Cone Penetration Test (CPT) sering digunakan dan dipertimbangkan berperan dalam perencanaan geoteknik. Sondir ini pada pelaksanaannya sangat cepat, sederhana, serta ekonomis dan hasil tesnya dapat dipercaya dilapangan dan dilakukan pengukuran

secara bertahap dari permukaan tanah dasar. Pada perencanaan fondasi *bore pile*, data sondir ini sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari fondasi sebelum pembangunan dimulai untuk menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari fondasi *bore pile* (Rohman, 2022). Kapasitas daya dukung ultimit ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$Qu = Qp + Qs = qp.\ Ap + f.\ As$ ..... (2.1)

Dimana :

Qu = Kapasitas pada daya dukung ultimit di tiang bor (kN)

Qp = Kapasitas daya dukung di ujung (kN)

Qs = Kapasitas pada daya dukung di kulit (kN)

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

Ap = Luas penampang tiang (m²)

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

As = Luas dari selimut tiang (m²)

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

a. Metode *Aoki* dan *De Alencar*

Menurut *Aoki dan Alencar*, Kapasitas dukung ultimit dari data sondir mempunyai persamaan solusi (Rohman, 2022) . Kapasitas dukung ujung persatuan luas (qp) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

qp = $\frac{qc\ (base)}{Fb}$ ..... (2.2)

Dimana :

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

Fb = Faktor empirik daya dukung ujung tiang tergantung pada tipe tiang. Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

f = qc (side) $\frac{as}{Fs}$ ..... (2.3)

Dimana :

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

as = nilai faktor empirik tanah

Fs = Faktor nilai empirik daya dukung kulit tiang tergantung pada jenis tiang.

Fb = Faktor empirik daya dukung ujung tiang yang tergantung pada jenis tiang.

Faktor Fb dan Fs dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan nlai faktor empirik tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.1 Nilai dari Faktor Empirik untuk Fb dan Fs

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber : (Titi et al., 1999)

Tabel 2.2 Nilai Faktor Empirik Tanah a_s

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

Pasir berlempung	3.0	Lanau berlempung	3.4	Lempung	6.0

Sumber : (Titi et al., 1999)

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

b. Metode *Tomlinson*

Dalam metode *Tomlinson*, 1977 (Yusti & Fahriani, 2014). Tahanan gesek tiang juga dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$Qs = A_s \cdot f_s$ ..... (2.6)

$f_s = c_d = \alpha \cdot c_u$ ..... (2.7)

dimana,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_s = luas selimut tiang (m²)

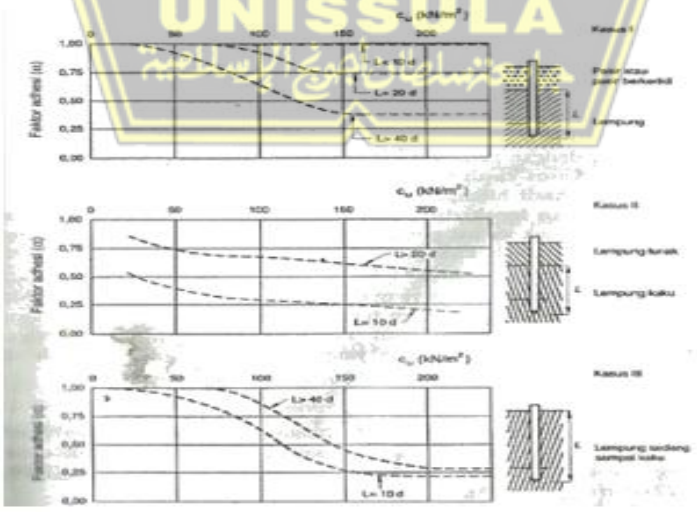
f_s = tahanan gesek tiap satuan luas (kN/m²)

C_d = *adhesi* antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = Nilai faktor *adhesi* diambil dari Gambar 2.13

c_u = Nilai kohesi pada kondisi *undrained* (kN/m²)

Untuk faktor *adhesi*, *Tomlinson*, 1977 (Yusti & Fahriani, 2014) memperhatikan pengaruh bentuk-bentuk lapisan tanah seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.13



Gambar 2.13 Hubungan Antara Faktor *Adhesi* Dan *Kohesi* Untuk Tiang Pancang Dalam Tanah Lempung (Yusti & Fahriani, 2014)

2.7.1.2. Kapasitas Nilai Daya Dukung Pada *Bored Pile* dari Hasil N-SPT

Standard Penetration Test (SPT) adalah uji percobaan penetrasi dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah pada tiang fondasi. Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Qu) adalah jumlah dari daya dukung ujung tiang / *end bearing pile* (Qp) dan daya dukung selimut tiang / *skin friction pile* (Qs) (Rohman, 2022). Untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang *bored pile* dari hasil N-SPT dapat dilakukan perhitungan menggunakan beberapa metode, yaitu :

a. Perhitungan Daya Dukung Fondasi (*Reese & Wright*, 1977)

Perhitungan Daya dukung di ujung tiang (*end bearing*) sebagai berikut :

$Qp = qP \ x \ Ap$ ..... (2.8)

Dimana :

Qp = Kapasitas daya dukung pada ujung tiang (kN)

qP = Daya dukung ujung tiap satuan luas (kN/m^2)

Ap = Luas dari nilai penampang tiang (m^2)

Untuk tanah kohesif :

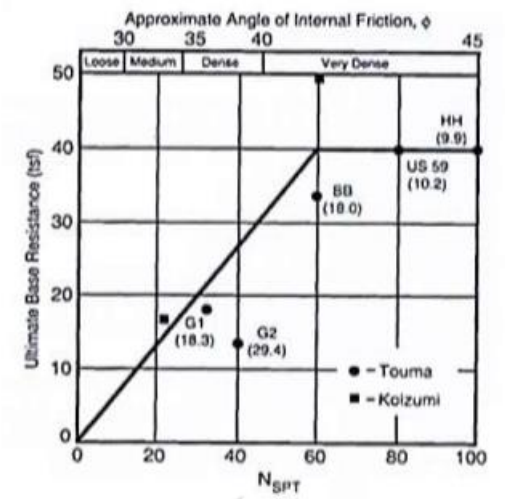
$qP = 9 \ x \ cu$ ..... (2.9)

Dimana : cu = Kohesi tanah (kN/m^2)

= $NSPT \ x \ 2/3 \ x \ 10$ .....(2.10)

Untuk tanah non-kohesif :

Reese and Wright (1977) mengemukakan nilai korelasi antara qp dan N-SPT seperti terlihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Daya Dukung Pada Ujung Tiang

(Reese and Wright, 1977)

Untuk nilai N < 60 maka qp = 7 N (kN/m2) < 400 (kN/m2)

Untuk nilai N > 60 maka qp = 400 (kN/m2).

Dimana : N = Nilai dari rata-rata hasil SPT.

dukung pada selimut di *Bored Pile (skin friction)* $Qs = fs\ x\ As$ .....(2.11)

Dimana :

Qs = Kapasitas daya dukung kulit tiang (kN)

fs = Nilai gesekan di selimut tiang tiap satuan luas (kN/m^2)

AS = Luas selimut tiang (m^2)

Untuk tipe tanah kohesif :

$fs = a\ x\ Cu$ .....(2.12)

Dimana :

a = Nilai Faktor *adhesi*

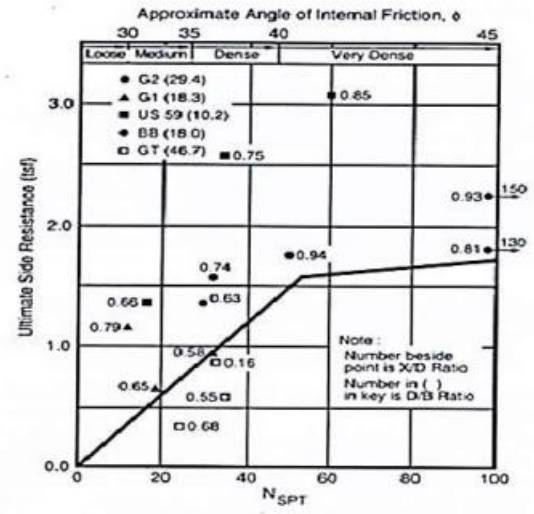
(Berdasarkan penelitian *Reese and Wright*, 1977 untuk a = 0,55)

Cu = Nilai kohesi dari tanah (kN/m2)

Untuk tanah tipe non-kohesif :

Untuk nilai N < 53 maka fs = 0,32 N-SPT (kN/m2)

Untuk 53 < N < 100 maka fs diperoleh dari nilai korelasi langsung dengan nilai NSPT (*Reese dan Wright*, 1977) mengenai tahanan geser selimut tiang seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Daya Dukung Kulit Tiang

(*Reese and Wright*, 1977)

b. Perhitungan Nilai Dari Daya Dukung Fondasi (*Mayerhoff*)

Daya dukung di ujung tiang (*end bearing*) pada tanah tipe non – kohesif

$QP = 40\ x\ NSPT\ x\ Ap$ .....(2.13)

Dimana : QP = Daya dukung ujung tiang (kN)

$NSPT$ = Nilai Nspt yang terjadi di elevasi dasar tiang (kN/m2)

Ap = Luas penampang tiang (m²)

Daya dukung ujung tiang (*end bearing*) pada tanah tipe kohesif

$Qp = 9\ x\ cu\ x\ Ap$ .....(2.14)

Dimana : Ap = Luas dari penampang tiang (m²)

cu = Nilai kohesi tanah (kN/m²)

= N-SPT * 2/3 * 10

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

$Qs = 2\ x\ NSPT\ x\ p\ x\ L$ .....(2.15)

Dimana :

L = Panjang kedalaman lapisan di tanah (m)

P = Nilai Keliling pada tiang bor (m)

Daya dukung selimut tiang *bored pile* (*skin friction*) pada tanah tipe kohesif *cu*

$Qs = a\ x\ Cu\ x\ p\ x\ L$ .....(2.16)

Dimana :

a = Koefisien nilai *adhesi* antara tanah dengan tiang (0,55)

Cu = Kohesi tanah (kN/m²)

= N-SPT * 2/3 * 10

P = Nilai Keliling pada tiang (m)

L = Nilai Panjang lapisan kedalaman tanah (m)

2.7.2. Kapasitas Dari Daya Dukung Fondasi

Kapasitas daya dukung suatu fondasi adalah kemampuan pada tanah untuk menopangnya berupa beban maksimum dari bangunan diatasnya. Daya dukung alas kuat terhadap gaya lateral dan melindungi terhadap geser yang akan segera terjadi .

2.7.2.1. Daya Dukung Lateral

Daya dukung lateral merupakan kemampuan tanah dibawah fondasi untuk menahan gaya-gaya luar yang bekeja dengan arah sejajar terhadap fondasi tersebut. Untuk mendapatkan daya dukung lateral, dapat menggunakan metode *Brooms* (1964).

a. Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode *Mayerhoof*

Perhitungan daya dukung ujung tiang fondasi dengan menggunakan rumus dari metode *mayerhoff*, 1956, tanah non kohesif (Ismoyojati & Prananda, 2021) :

Qp = 40 x Nb x Ap .....(2.17)

Persamaan daya Dukung di Ujung fondasi tipe (kohesif) :

Qp = 9 x Cu x A..... (2.18)

Persamaan daya dukung di selimut untuk tanah tipe tidak kohesif :

Qs = 2 x N-SPT x P x Li .....(2.19)

Persamaan daya dukung di selimut tiang (kohesif) :

Qs = α x Cu x P x Li .....(2.20)

Dimana :

Qp = Daya Dukung Ujung Tiang (kN)

Nb = $\frac{N1+N2}{2}$

N1 = N- SPT 10D

N2 = N-SPT 4D

Ap = Luas Penampang (m^2)

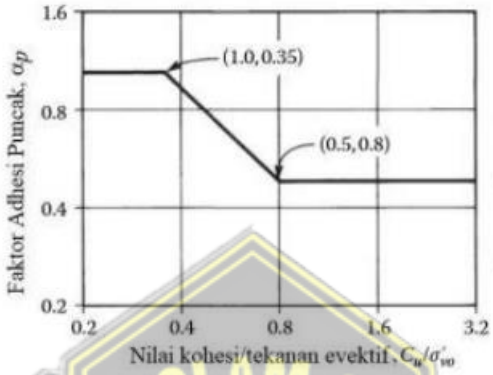
Cu = Nilai Kohesi di Tanah (kN/m^2)

α = *Adhesi* Empiris

P = Keliling di tiang (m)

Li = Tebal Lapisan di kedalaman Tanah (m)

Untuk mendapatkan faktor *adhesi* empiris, bisa dilihat pada Gambar 2.16 .



Gambar 2.16 Faktor *Adhesi* (Ningrum, 2022)

b. Kapasitas Dari Daya Dukung Lateral Metode *Brooms* (1964)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung lateral ini menggunakan metode *Brooms*. Pada penelitian ini menggunakan jenis tanah lempung (*clay*) dan nilai-nilainya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Nilai nh pada tanah *granuler* (c=0)

Kerapatan yang relatif (D_v)	Tidak Padat	Sedang	Padat
Interval pada nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
N_h, pasir lembab maupun kering (Terzaghi) (kN/m^3)	2425	7275	19400
N_h, pasir yang terendam oleh air (Terzaghi)(kN/m^3)	1386	4850	11779
Reese et al	5300	16300	34000

Jenis Tanah	N_h (kN/m^3)	Sedang
Lempung yang terkonsolidasi Normal lunak	166-3518 277-554	Reese dan Matlock (1956) Davisson-Prakash (1963)
Lempung yang terkonsolidasi Normal organik	111-277 111-831	Peck dan davisson (1962) Davisson (1970)
Gambut	55 27,7-111	Davisson (1970) Wilson dan Hitls (1967)
Loess	8033-11080	Bowles (1968)

1. **Mengecek Kekakuan pada Tiang Fondasi Akibat Beban Lateral**

   Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi yang diakibatkan oleh beban lateral maka digunakan Persamaan (2.21) dan (2.22):

   $E = 4700 \times \sqrt{fc}$ .....(2.21)

   $I = \frac{1}{6} \times \pi \times (D)^4$ .....(2.22)

   Untuk nilai dari Faktor pada Kekakuan Tanah (T) dapat menggunakan persamaan (2.23):

   $T = \frac{Ep \times p}{nh} \times 0.2$ .....(2.23)

2. **Pengecekan Untuk Keruntuhan Tanah Akibat Beban Lateral**

   Momen maks atau maksimum yang dibatasi dari fondasi dapat dihitung untuk menentukan apakah tanah runtuh atau tidak yang disebabkan oleh beban lateral. Jika tanah didesak secara lateral, tanahnya tidak akan longsor

   $Mmax = B \times \gamma \times L3$

   Jika Mmax > My, tanah tersebut tidak mengalami kelongsoran maka dari itu Hu ditetapkan dari kekuatan tiang itu sendiri untuk menahan beban momen tiang.

3. **Pengecekan untuk Nilai Hu**

   Untuk mengecek nilai Hu atau tahanan momen ultimit dapat menggunakan Persamaan (2.25) dan untuk Persamaan H ijin (2.26):

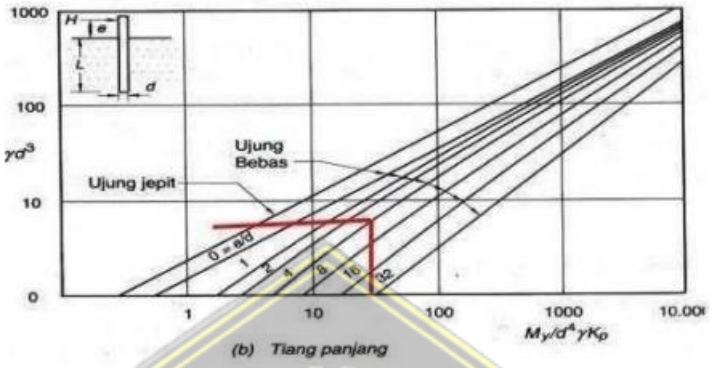
   $F = 0{,}82 \frac{Hu}{\sqrt{D \times Kp \times v}}$ .....(2.24)

   $Hu = \frac{2\,My}{e + \frac{2f}{3}}$ .....(2.25)

H Ijin = $\frac{Hu}{SF}$ .....(2.26)

Tahanan Momen Ultimit = $\frac{Mu}{D4\ x\ v\ x\ kp}$ .....(2.27)

Untuk mencari nilai *Hu* (tahanan di momen ultimit) dapat memakai *chart* pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Grafik Nilai Tahanan Pada Momen Ultimit

Perhitungan pada tahanan lateral izin disajikan pada Persamaan (2.28):

5,2 = $\frac{Hu}{Kp\ x\ D\ x\ D^2}$ .....(2.28)

2.7.3. Daya Dukung Kelompok Tiang

Kelompok tiang adalah gabungan dari beberapa tiang pancang. Berikut tahapan untuk merencanakan kelompok tiang.

2.7.3.1. Jumlah Tiang *Bored Pile*

Penentuan jumlah tiang bisa didasarkan pada tipe beban tetap yang bekerja pada fondasi. Kapasitas dukung ijin tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.29):

n = $\frac{P}{Qu}$ .....(2.29)

Dengan :

P = beban tetap yang bekerja (ton)

Qu = kapasitas dari dukung ijin tiang (ton)

2.7.3.2. Jarak Antar Tiang *Bored Pile*

Jarak antar tiang mempengaruhi beberapa faktor salah satunya yaitu daya dukung grup tiang, maka untuk dapat mendistribusikan beban dengan baik ke dalam lapisan tanah diberikan batas minimal 3D. Menurut buku pedoman untuk mendirikan bangunan gedung

SKBI – 1987, jarak antar tiang (s) adalah 2,5D – 3D, dengan D adalah diameter tiang. Jika menggunakan aturan pada pedoman SKBI – 1987 tidak mendapatkan efisiensi yang diinginkan maka dapat menggunakan aturan batas minimal 3D.

2.7.3.3. Efisiensi Fondasi *Bored pile*

Efisiensi fondasi tiang kelompok bertujuan untuk mengetahui daya dukung fondasi tiang kelompok. Efisiensi dapat dihitung menggunakan metode *Converze – Labarre* sebagai berikut (2.18):

$$Eg = 1 - \frac{(m-1).\ n + (n-1)\ m}{90^0\ .\ m\ .\ n} \quad \text{.....(2.30)}$$

m = Total baris di tiang

n = Total tiang pada satu baris

θ = arc tg $\frac{d}{s}$ (dalam derajat)

d = Diameter tiang

s = Jarak antar pusat tiang

2.7.4. Penurunan Elastis Tiang Tunggal

Metode transfer dapat digunakan untuk menganalisis penurunan tiang serta distribusi beban pada tiang fondasi tersebut. Untuk penurunan elastis fondasi menurut *Vesic* (1977) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.19) dan jenis tanah dapat ditinjau pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5:

$$Se\ (1) = \frac{(Qwp + \varepsilon Qws)\ L}{Ap\ .\ Ep} \quad \text{.....(2.31)}$$

$$Se\ (2) = \frac{Qwp\ x\ Cp}{D\ x\ qp} \quad \text{.....(2.32)}$$

$$Se\ (3) = \frac{Qws\ x\ Cs}{L\ x\ qp} \quad \text{.....(2.33)}$$

Se = Total penurunan pada jenis tiang pancang (mm).

Se(1) = Nilai penurunan elastis pada tiang pancang (mm).

Se(2) = Nilai penurunan tiang pancang diakibatkan beban di ujung tiang (mm).

Se(3) = Penurunan tiang pancang diakibatkan beban yang didistribusikan di sepanjang kulit tiang (mm).

Tabel 2.4 Jenis Tanah

Macam Tanah	E (kN/m^2)
Lempung	
Sangat Lunak	300 – 3000
Lunak	200 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loose	15000 – 60000
Serpih	140000 – 1400000

(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

Tabel 2.5 Nilai dari ketetapan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	*Poisson's Ratio*
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 0,1
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai	0,3 – 0,4

(Sumber: Das, 1998)

Asal persamaan diatas, total *settlement* pada tiang fondasi tunggal bisa diketahui. Pada penurunan fondasi tiang wajib memperhatikan beberapa batasan, supaya *settlement* tidak melebihi dari nilai yang diizinkan. Untuk mengetahui besar nilai *settlement* yang diizinkan, dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

S Ijin = 10% x D

Dimana pada nilai D mengacu pada diameter fondasi. Nilai total *settlement* lebih kecil dari nilai yang diijinkan.

2.7.4.1. Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan *Plaxis*

Untuk menghitung penurunan tiang tunggal pada gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono hadi digunakan *software Plaxis*. *Plaxis* adalah sebuah *software* elemen hingga untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga dapat dilakukan dengan cepat dan lebih akurat dan mendetil.

Metode elemen hingga itu sendiri merupakan metode numerik agar mendapatkan jawaban untuk masalah yang ditemui pada analisis teknik. Peningkatan penggunaan komputer ialah sebagai alat desain untuk menghasilkan hasil yang akurat, perlu untuk para pengguna memiliki pengetahuan yang cukup agar dapat menyelesaikan permasalahan di *plaxis* terutama tentang metode elemen hingga.

2.7.4.2. Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan *Allpile*

Untuk menghitung penurunan tiang tunggal pada gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono hadi *software Allpile*. *Allpile* adalah program komputer untuk menganalisis atau merencanakan fondasi pada suatu bangunan. *Allpile* mudah digunakan dan hasil perhitungannya cepat, sehingga sering digunakan. Penggunaan program *allpile* ini terdiri dari pemodelan fondasi tiang bor dengan memasukkan data Fondasi yang direncanakan dan data tanah yang diperoleh di lokasi survei.

Berbagai indikator seperti kondisi tanah, beban lateral, beban vertikal dan tinggi muka air tanah harus dipertimbangkan dalam masukan input *allpile* ini. *Output* yang dihasilkan setelah *run analysis* meliputi penurunan fondasi sesuai rencana.

2.7.4.3. Penurunan yang Diizinkan

Ada beberapa faktor yang bisa ditinjau untuk *settlement* yang diizinkan dari suatu bangunan itu sendiri. Faktor yang yang dimaksud yaitu jenis bangunan, tinggi bangunan, dan fungsi pada bangunan, serta seberapa besar bangunan lalu seberapa cepat penurunan

yang terjadi dan distribusinya. Kemungkinan struktur akan mampu mengatasi penurunan tergantung dengan waktu penurunan itu sendiri, jika semakin lambat penurunan maka semakin besar potensi struktur menahan beban. Oleh karena itu, pada tanah berpasir dan tanah lempung untuk kriterianya bisa berbeda.

Untuk penurunan maksimum bisa diasumsi dengan ketepatan yang sama,dan biasanya berkolrelasi antara penurunan maksimum dengan penurunan yang diizinkan. Untuk penurunan yang aman ada syaratnya sebagai berikut

Penurunan total ≤ penurunan ijin SIjin = 10% x Diameter tiang

2.7.5. Penurunan Elastisitas Tiang kelompok Metode *Vesic* (1977)

Untuk mencari penurunan elastis pada fondasi tiang kelompok maka dapat menggunakan metode *Vesic*. Berikut adalah Persamaan metode *Vesic* (2.34).

$Sg = Se \times \sqrt{\frac{Sg}{D}}$ (2.34)

Dimana :

Sg = Penurunan fondasi pada jenis tiang kelompok (m)

Se = Total penurunan yang terjadi di tiang pancang (m)

Bg = Jarak antar tepi kelompok tiang (m)

D = Diameter Tiang Bor (m)

2.7.6. Perhitungan *Pile Cap*

Pile cap memiliki fungsi untuk mengikat atau mengelompokan tiang pancang dan meneruskan beban dari kolom ke tiang pancang. Perhitngan *pile cap* menggunakan SNI 2847-2019. Berikut adalah tahapan perhitungan *pile cap.*

a. Geser Satu Arah

Geser satu arah adalah gaya geser yang terjadi pada satu arah pada daerah pembebanan. Berikut adalah rumus untuk mencari besar gaya geser satu arah.

Vu = σ x L x G' .....(2.35)

σ = P/A (ton/m) (2.36)

A = Luas penampang *pile cap* (m^2) = panjang X x Y .....(2.37)

G' = Daerah pembebanan untuk geser satu arah

= L-(L/2 + lebar kolom/2 + d) (mm) .....(2.38)

d = Ketebalan efektif di *pile cap* (mm)

= Asumsi tebal – selimut beton .....(2.39)

φVc = 1/6√fc' x b x d

φVc harus lebih besar dari Vu = (oke)

dimana:

P = Beban pada kolom (ton)

L = Panjang arah X atau Y (mm)

Φ = 0,75

fc'= Mutu beton (Mpa)

b = Panjang *pile cap* X atau Y (mm)

d = asumsi tebal – selimut beton

b. Geser 2 arah

Geser dua arah adalah gaya geser yang timbul pada dua arah pada daerah pembebanan. Berikut adalah rumus untuk mencari besar gaya geser dua arah.

$Vc_1 = (1 + \frac{2}{\beta c}) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{6}$ .....(2.40)

$Vc_2 = (\frac{as\ ,\ d}{bo} + 2) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{12}$ .....(2.41)

$Vc_3 = \frac{1}{3} \text{ x } \lambda \text{ x } \sqrt{fc'} \text{ x bo x d}$ .....(2.42)

Vc diambil yang paling kecil

$Vu = \sigma \text{ x } (L^2 - B'^2)$

Vc harus lebih besar dari

Vu = (oke)Dimana:

σ = P/A (ton/m)

B' = Keliling kritis

= c + d (mm)

c = Lebar kolom X atau Y (mm)

d = Tebal efektif (mm)

bo = 4 x B' (mm)

βc = Panjang kolom X / Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

d = Tebal efektif (mm)

fc' = Mutu beton (Mpa)

b = Panjang *pile cap* X atau Y (mm)

*a*s = Karena letak kolom di tengah *pile cap* maka nilainya 40

c. Perhitungan Tulangan Lentur

Lebar penampnag kritis

P = Beban kolom (ton)

N_s = Jumlah tiang yang dipancang

S = Jarak antar tiang yang dipancang (m)

Ø = memiliki nilai 0,9

b = panjang *pile cap* X atau Y (m)

d = Tebal efektif dari *pile cap* (m)

B = (Lebar *pile cap* X atau Y / 2) – (Lebar kolom / 2)

q' = Berat *pile cap* pada penampang

= γ beton x lebar *pile cap* x tebal *pile cap* (kgm)

Mu_1 = 2 x (P / ns x s) – 0,5 x q' x B^2 (kNm) .....(2.43)

Rn= Mu / ø x b x d^2 .....(2.44)

$\rho_{perlu} = [1-\sqrt{1-\frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ x\ fc'}}]\ \frac{0{,}85\ x\ fc'}{fy}$ .....(2.45)

As $_{perlu}$ = ρ x b x d .....(2.46)

As $_{min}$ = 0,0018 x b x tebal selimut (mm^2) .....(2.47)

Antara As $_{perlu}$ dan As $_{min}$ pilih yang paling besar

Penulangan Tarik:

Jumlah tulangan = panjang X atau Y / jarak antar tulangan

$As_{tulangan}$= 0,25 x π x $D_{tulangan}$ x jumlah tulangan

$As_{tulangan}$ harus lebih besar dari As_{perlu} atau As_{min}

ΣH= 0

Cc= Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a = (As x fy) / 0,85 x fc' x b (mm) .....(2.48)

c= a / β_1 (mm) .....(2.49)

Kontrol:

εs= (d – c) / c x εc .....(2.50)

nilai εs harus lebih dari fy / Es maka (oke) baja mencapai leleh

εs > 0,005 maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,85 x fc' x a x b x (d – a / 2) (kNm) .....(2.51)

Mu_2 = ø x Mn (kNm) .....(2.52)

Mu_1 < Mu_2 (oke)

Penulangan Desak:

Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

Jumlah tulangan = panjang X atau Y / jarak antar tulangan

$As_{tulangan}$= 0,25 x π x $D_{tulangan}$ x jumlah tulangan .....(2.53)

Tulangan desak harus lebih besar dari 20% tulangan tarik (oke)

Jika dimensi *pile cap* jarak X=Y (berbentuk persegi) maka bisa dihitung salahsatu saja, jika dimensi berbeda (bukan persegi) maka harus dihitung satu persatu pada geser satu arah, geser dua arah, dan penulangannya.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui daya dukung dan besar penurunan untuk fondasi *bored pile* pada pembangunan gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi. Penyusunan tugas akhir ini dibuat bertujuan untuk menganalisis beban menggunakan program SAP2000, hasil dari permodelan di *software* SAP2000 akan diperoleh beban bangunan serta reaksi-reaksi pada kolom dan balok akibat beban diatasnya. Untuk menghitung daya dukung dan konsolidasi fondasi menggunakan perhitungan manual dan juga menggunakan *software plaxis* dan *allpile*.

3.2. Lokasi Proyek

Proyek pembangunan gedung Instalasi Bedah Sentral RSUD dr. Loekmono Hadi terletak di Jl. dr. Lukmonohadi No. 19, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah.

Gambar 3.1 Lokasi Proyek

3.3. Data Umum

Data umum dari proyek gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi Kudus adalah sebagai berikut:

1.	Nama Proyek	:	Pembangunan Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmono Hadi
2.	Lokasi Proyek	:	Jl. dr. Loekmono hadi No. 19 Kudus 59348
3.	Nilai Kontrak	:	Rp.56.629.099.000,-
4.	Konsultan MK	:	PT. Aretas Wicaksana KSO CV. Ediyasa
5.	Kontraktor	:	PT. Duta Mas Indah KSO PT. Sembilan Sembilan Cahaya

3.4. Data Teknis

Untuk data teknis didapat dari lapangan sebagai berikut :

1. Kedalaman *spun pile* : 17 m
2. Nilai Diameter *spun pile* : 40 cm
3. Mutu beton *spun pile* : K300

3.5. Metode Pengumpulan Data

Metode pada pengumpulan data yang dipakai untuk mencapai aksud dan tujuan studi menggunakan beberapa metode antara lain :

1. **Langkah awal** yaitu studi kepustakaan terhadap textbook dan referensi jurnal mengenai analisis daya dukung fondasi.
2. **Langkah kedua** yaitu menentukan lokasi pengambilan data di proyek tersebut.
3. **Langkah ketiga** yaitu mengumpulkan data yang diperlukan dari pihak penyedia jasa yaitu PT. Sembilan Sembilan Cahaya.
4. **Langkah keempat** yaitu diskusi dan analisis mengenai data-data yang didapat dengan dosen pembimbing mengacu teori yang terkait.
5. **Langkah kelima** yaitu analisis perhitungan, permodelan struktur dan menyimpulkan dari hasil tersebut.

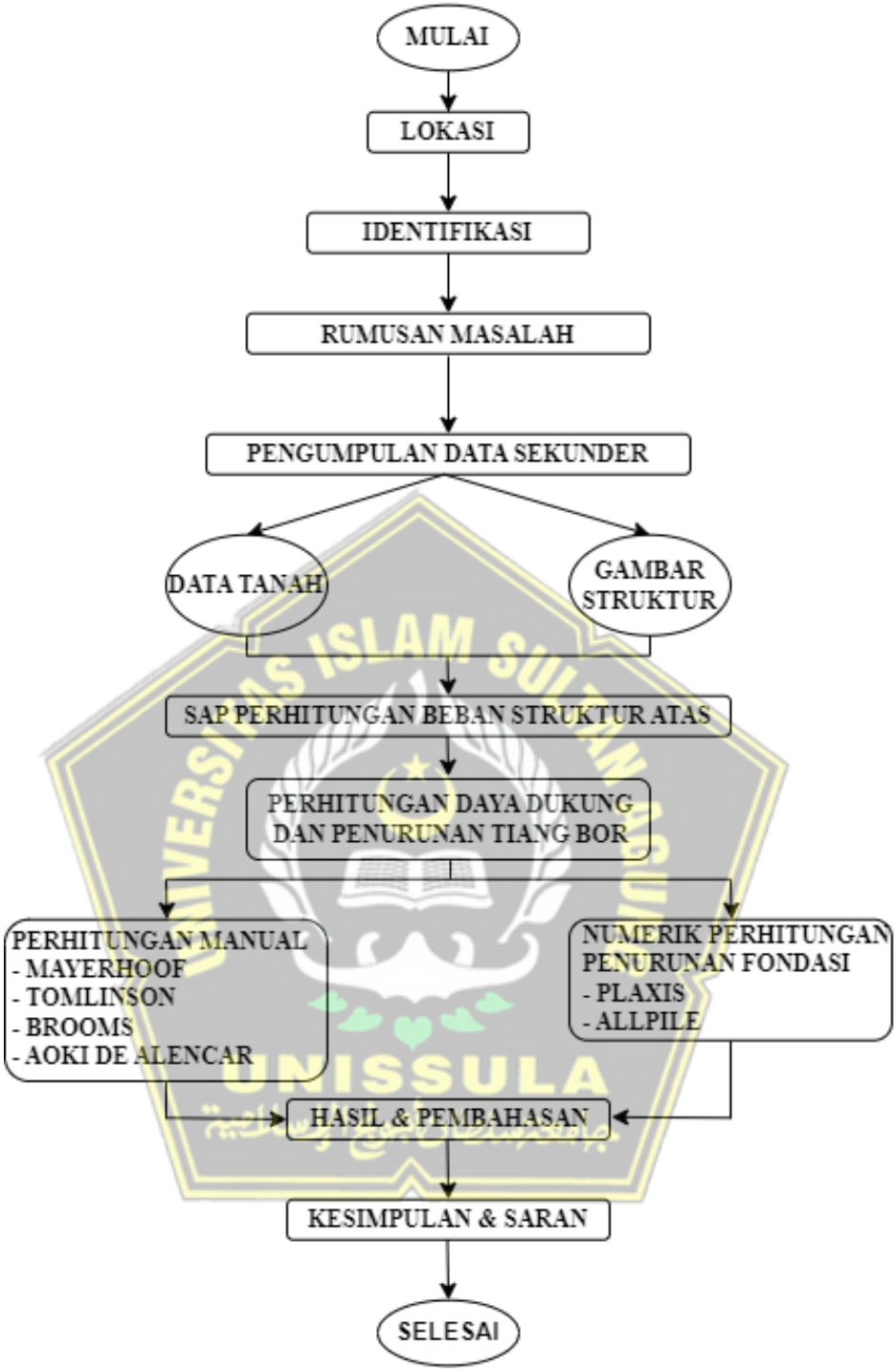
3.6. Metode Analisis Data

Dalam adanya perencanaan fondasi *bored pile* ini penyusun melakukan Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. mengidentifikasi dari data tanah SPT bertujuan untuk mengetahui fsktor keamanan (SF).
2. Perhitungan beban ultimit pada stuktur gedung menggunakan software SAP2000.
3. Perhitungan secara manual dari daya dukung fondasi *bored pile* dengan digunakannya teori (metode) yang telah ada berdasarkan hasil uji *Standar Penetration Test* (SPT).
4. Menghitung dan menganalisis daya dukung ultimit dan ijin fondasi *bored pile* dengan menggunakan metode *Mayer hoff, Tomlinson, dan Reese & Wright*
5. Menghitung dan menganalisis daya dukung lateral fondasi *bored pile* dengan metode *Brooms*.
6. Menganalisis menggunakan software *plaxis* dan *allpile* dengan tujuan untuk membandingkan dengan perhitungan manual.

3.7. Metode Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam mengolah data yang telah terkumpul yaitu dengan analisis deskriptif yakni dilakukan dengan mengolah data dengan cara mendeskripsikan atau menggaambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya. Hasil daya dukung dan konsolidasi tanah dapat diketahui dengan menguraikan data untuk kemudian disesuaikan dengan tetap mengacu pada data sekunder, langkah berikutnya menghitung besarnya kapasitas daya dukung fondasi dan langkah terakhir membandingkan menggunakan aplikasi untuk mencari efisiensi penggunaan fondasi. Dalam melakukan pengolahan atau pemrosesan data dengan menggunakan metode perhitungan dapat dilihat pada diagram alur metodologi pada gambar 3.2



Gambar 3.2 *Flow Chart*

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada perencannan fondasi sebelumnya menggunakan fondasi *spun pile* dengan ukuran 40x40 cm. Pada penelitian ini, fondasi yang digunakan adalah fodasi *bored pile* dengan diameter 50 cm.

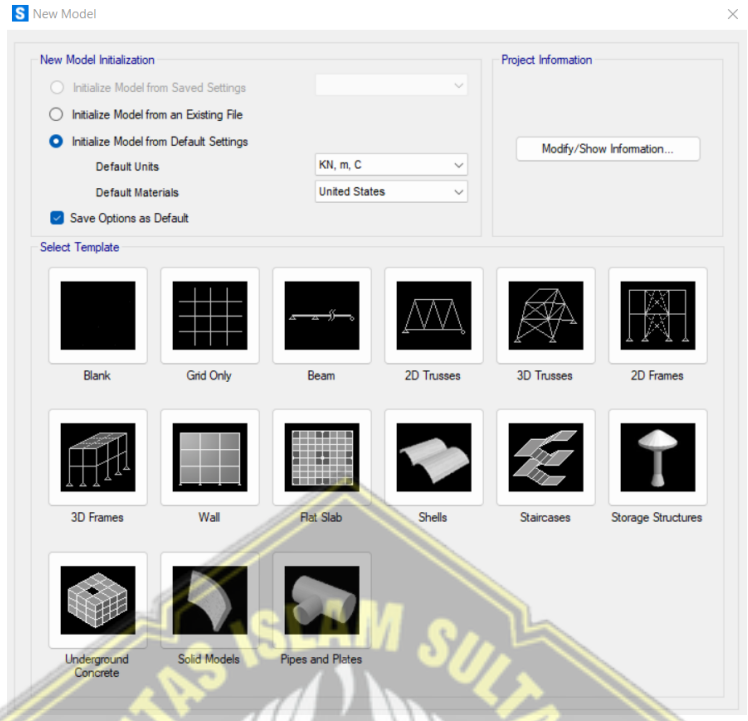
Tahap awal yang dilakukan adalah menganailisis pembebanan dengan menggunakan SAP 2000 V.23 untuk mengetahui besarnya beban yang diterima kolom. Pembebanan mengacu SNI 03-1727-2019 PPURG dan SKBI 1.3.53.1987 sebagai Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, Struktur Beton mengacu pada SNI 2847:2019 untuk Bangunan Gedung, dan beban gempa mengacu pada SNI 1726: 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4.2 Permodelan Struktur Atas Menggunakan *Software* SAP2000 V.23

Tahap awal permodelan yaitu membuat permodelan gedung sesuai data pada lapangan Design struktur atas menggunakan software SAP200 v.23 untuk mengetahui besar gaya yang ada pada bangunan. Yang mana gaya didapatkan untuk perhitungan selanjutnya pada perencanaan fondasi *bored pile*. Yang dimodelkan sesuai pada Gambar 4.17.

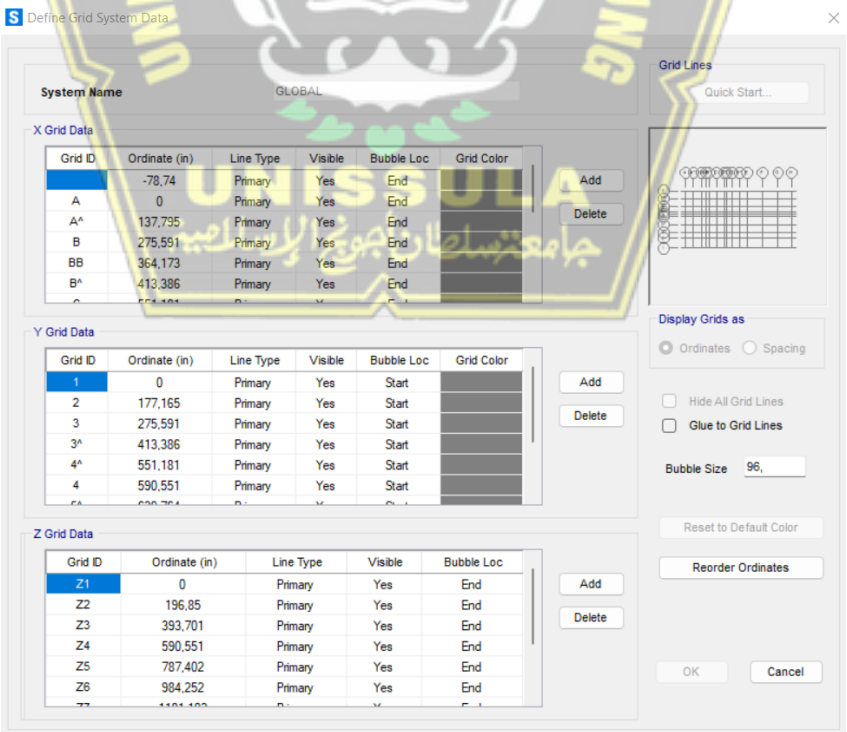
Perhitungan beban bangunan menggunkan aplikasi SAP 2000 V.23. berikut langkah-langkahmya:

a. Model frame 3D, new model, ganti satuan menjadi kN, m, C lalu klik 3D model.



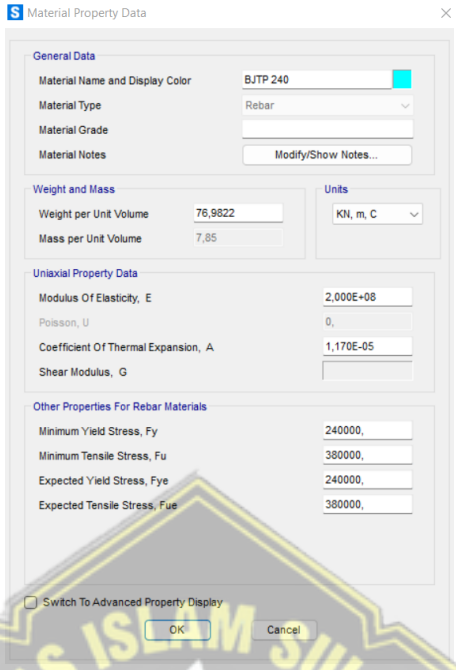
Gambar 4.1 *New Model*

b. Mengatur koordinat, klik kanan, lalu klik Edit *Grid* data

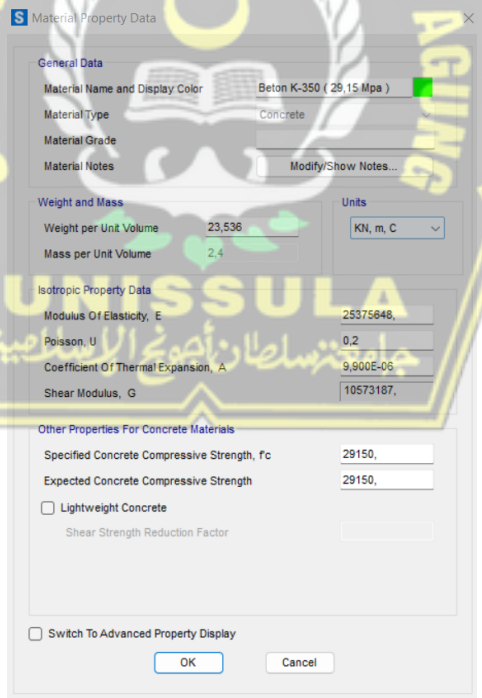


Gambar 4.2 *Edit Grid*

c. Lalu klik *define – materials – modify*

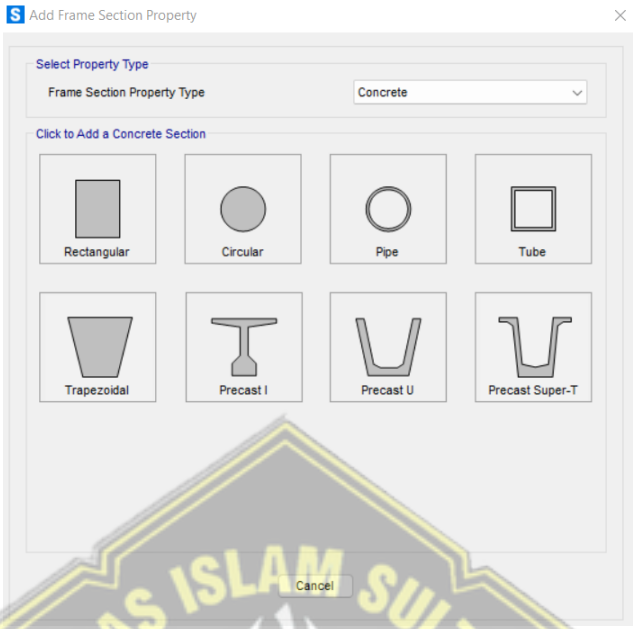


Gambar 4.3 Material Baja



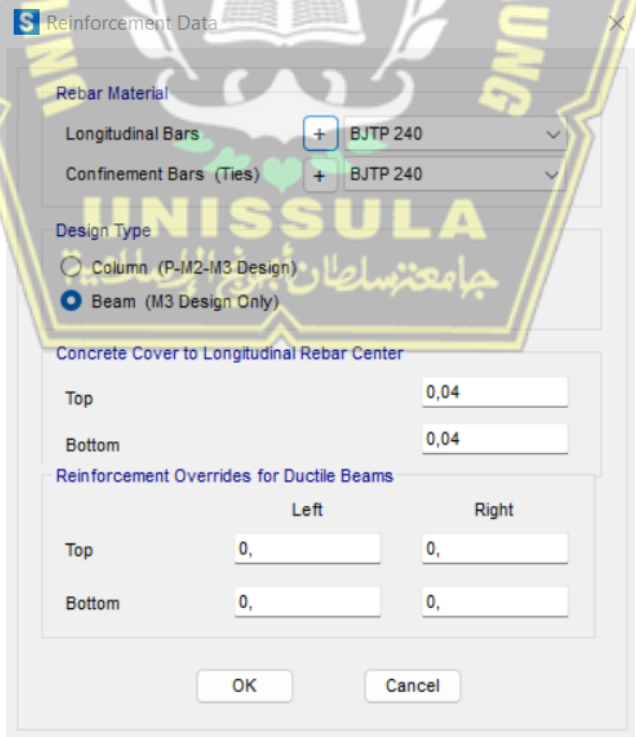
Gambar 4.4 Material Beton

d. Klik *define* – *section properties* – *frame section* –lalu pilih bahannya karena pakai beton jadinya pilih *concrete*.

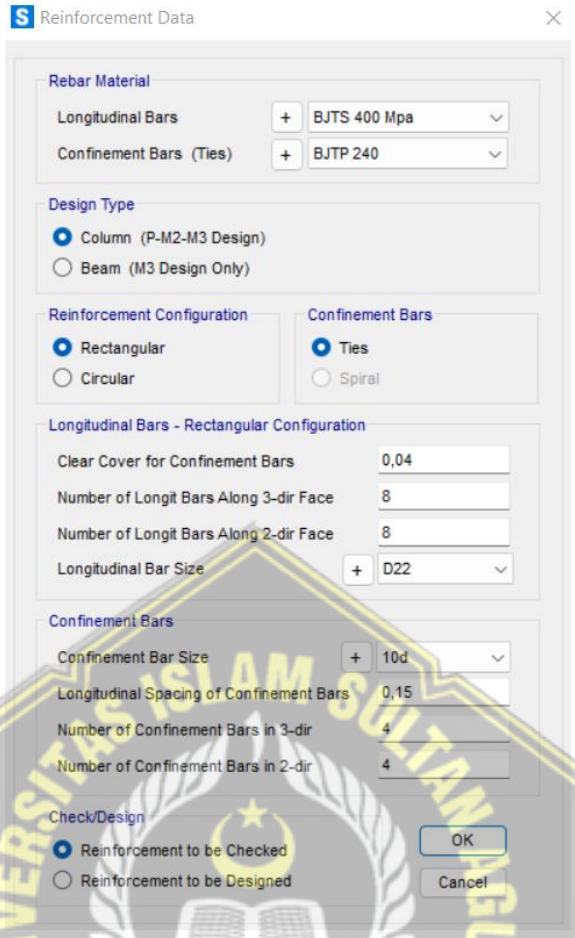


Gambar 4.5 Material *Frame Section*

e. Lalu pilih bentuk sesuai kebutuhan dan klik *concreate reinforcemet*

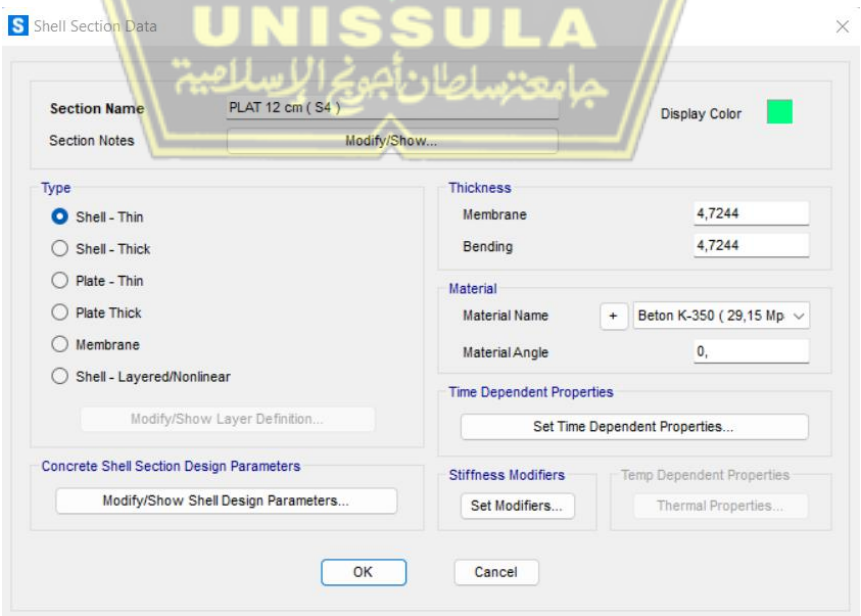


Gambar 4.6 *Reinforcement* Data untuk *Beam*



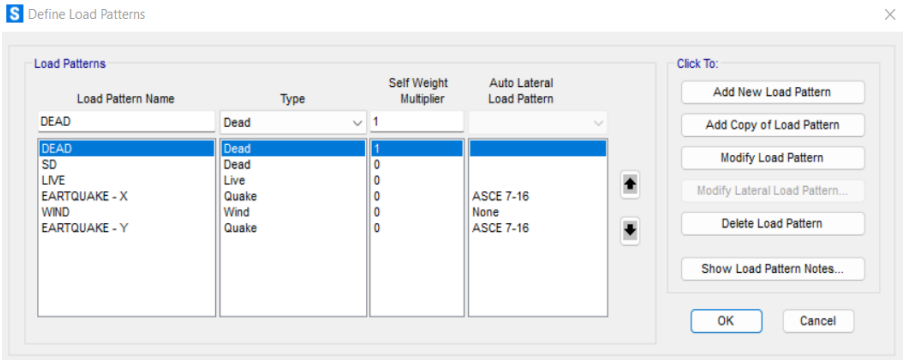
Gambar 4.7 *Reinforcement* Data untuk Kolom

f. Untuk plat, klik *Define – section properties – area section – modify*



Gambar 4.8 *Shell Section* Data

g. Klik define – load pattrens – lalu muncul dialognya, dan isi sesuai beban yang akan di input



Gambar 4.9 *Load Pattrens*

h. Selanjutnya membuat kombinasi beban yang akan digunakan berdasarkan SNI 2847 2019 : Pasal 5.3.1 :

- 1.4 D + 1.4 SDL
- 1.2 D + 1.2 SDL +1.6 LL
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL + 1 EDx + 0.3 Edy
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL + 1 EDx - 0.3 Edy
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL - 1 EDx + 0.3 Edy
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL - 1 EDx - 0.3 Edy
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL + 1 EDy + 0.3 Edx
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL + 1 EDy - 0.3 Edx
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL - 1 EDy + 0.3 Edx
- 1.37 D + 1.37 SDL + 1 LL - 1 EDx - 0.3 Edy
- 0.73 D + 0.73 SDL + 1 EDx + 0.3 Edy
- 0.73 D + 0.73 SDL + 1 EDx - 0.3 Edy
- 0.73 D + 0.73 SDL - 1 EDx + 0.3 Edy
- 0.73 D + 0.73 SDL - 1 EDx - 0.3 Edy
- 0.73 D + 0.73 SDL + 1 EDy + 0.3 Edx
- 0.73 D + 0.73 SDL + 1 EDy - 0.3 Edx
- 0.73 D + 0.73 SDL - 1 EDy + 0.3 Edx
- 0.73 D + 0.73 SDL - 1 EDy - 0.3 Edx

Keterangan :

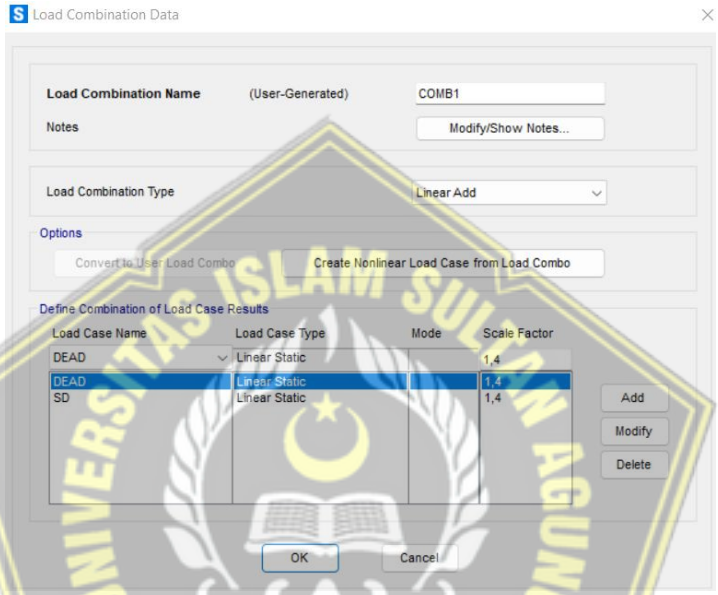
D = Beban Mati Sendiri Struktur

SDL = Beban Mati Tambahan Yang Didapat Pada Struktur

LL = Beban Hidup

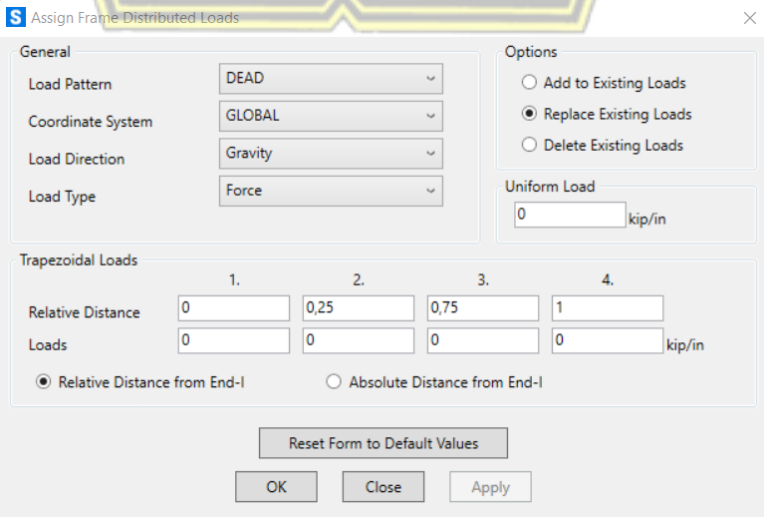
EDx = Beban Gempa Arah x (dipilih beban gempa dinamik)

EDy = Beban Gempa Arah y (dipilih beban gempa dinamik)



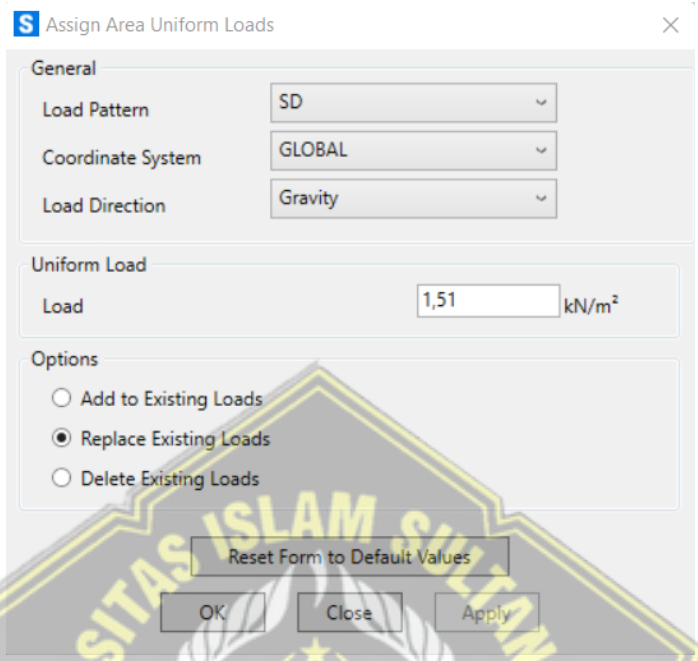
Gambar 4.10 *Load Combination* Data

i. Untuk pembebanan balok, seleksi dulu kemudian dibebani, klik *Assign - frameload – distributed*

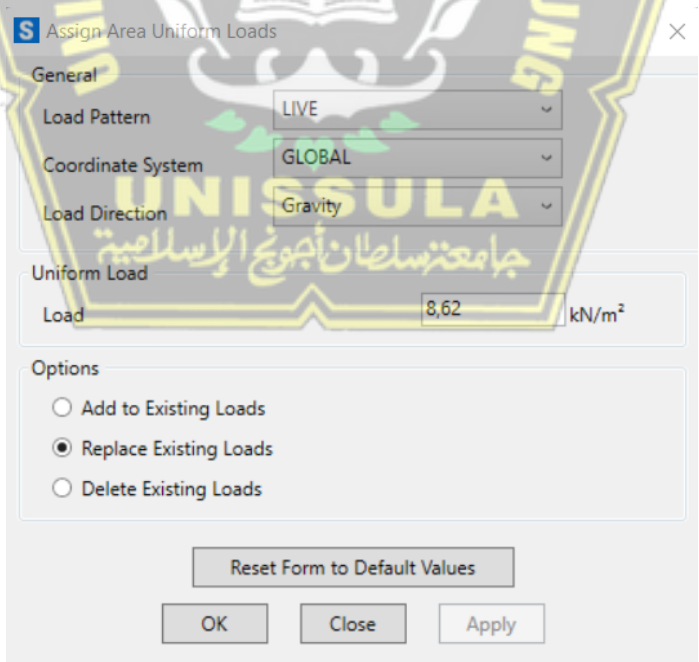


Gambar 4.11 *Load Pattren Loads*

j. Untuk beban mati dan hidup tambahan pada plat, seleksi plat yang akan dibebani, klik *assign – area load – uniform to frame*

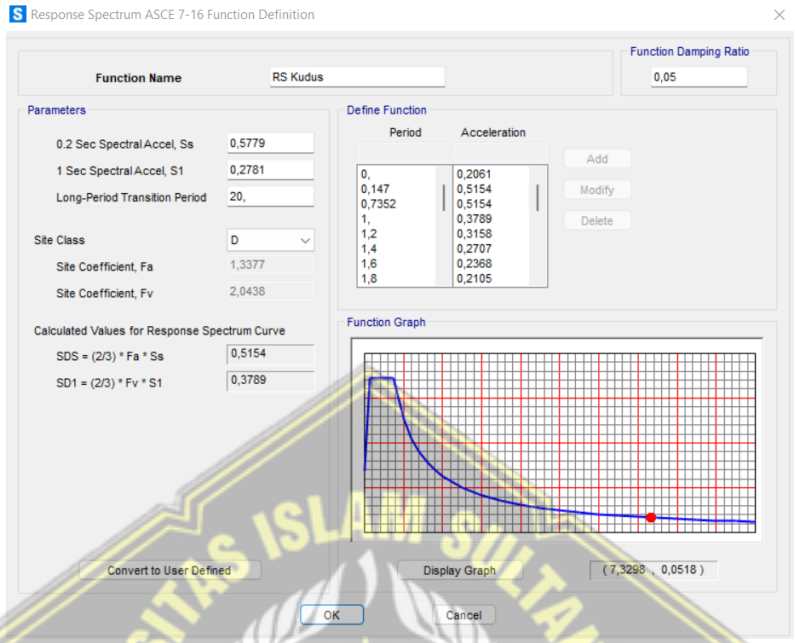


Gambar 4.12 *Load Pattern Dead*



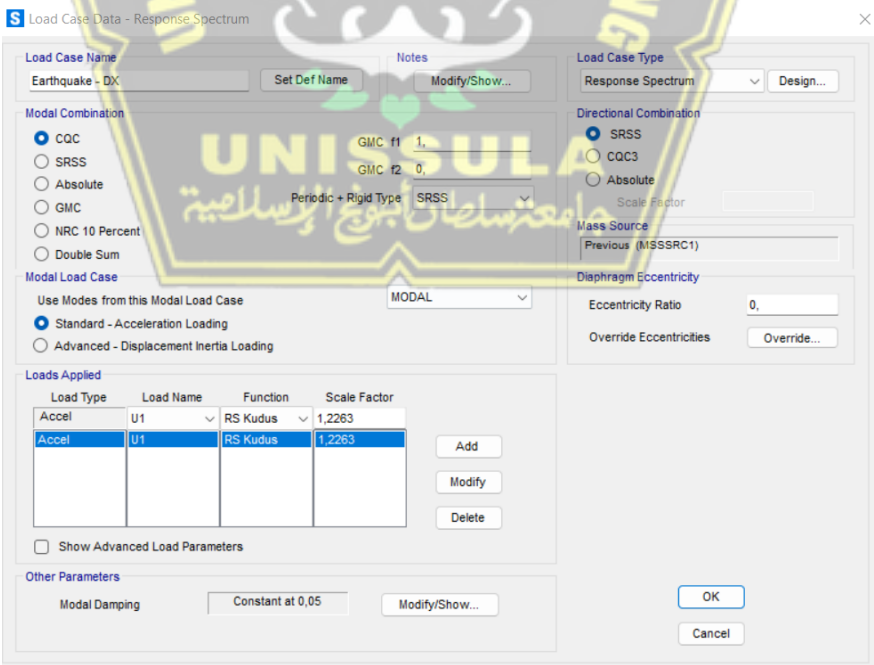
Gambar 4.13 *Load Pattern Live*

k. 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



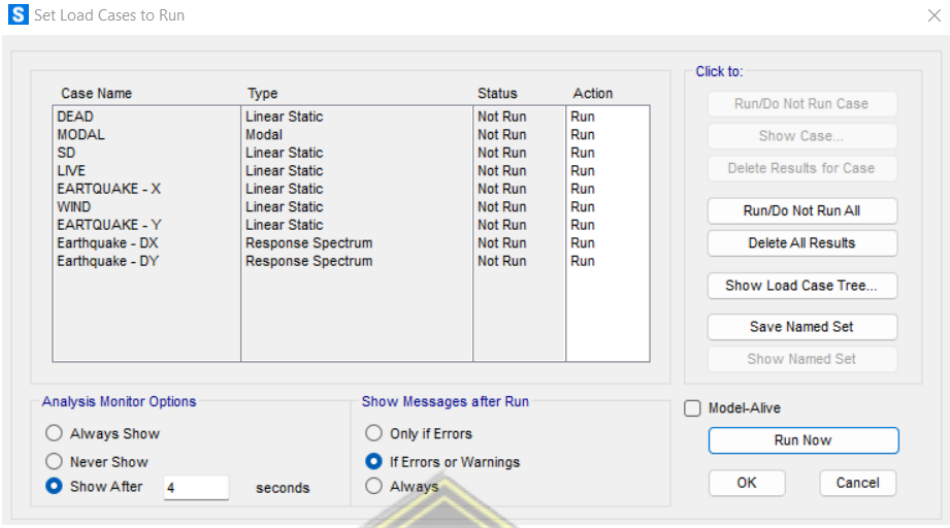
Gambar 4.14 *Response Spectrum*

l. Klik *define – load cases- modify RSX dan RS*

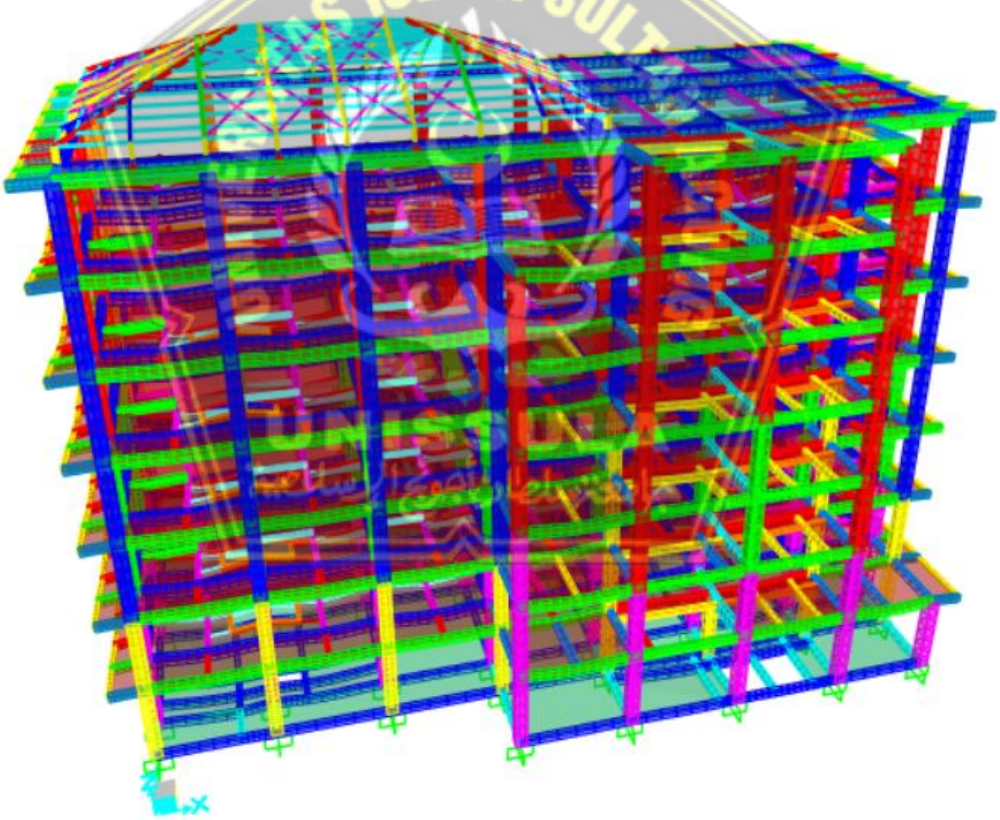


Gambar 4.15 *Load Case Respon Sprectrum*

m. Setelah semua data di input, klik *Analyze* – *Run Analyze* – ok



Gambar 4.16 *Run Analyze*



Gambar 4.17 Hasil *Run Analyze* dan Pemodelan 3D Struktur Atas dengan SAP2000 V.23

4.2.1. Beban Mati (*Dead Load)*

Permodelan SAP 2000 v23 beban mati tentu mengacu pada SNI 03-1727-2020 dan SKBI.1.3.53.1987. Berikut adalah beban-beban yang bekerja:

a. Berat plat lantai (125 mm) = tebal plat x γbeton
= 0,125 x 2400
= 300 kg/m^2

- Berat Plafond = 11 kg/m^2
- Berat pengait langit-langit = 7 kg/m^2
- Finishing lantai (100 mm) = 0,1 x 2100
= 210 kg/m^2
- Berat total plat lantai = 300+11+7+210
= 528 kg/m^2

b. Berat atap = 9,16 kg/m^2

4.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup tentu mengacu pada SNI 1927-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung didapatkan berat bangunan untuk gedung Rumah Sakit yaitu sebesar 879 kg/m^2 atau (8,62 kN/m^2).

Berikut adalah beban hidup yang digunakan dengan mengacu pada SNI 1927- 2020, dapat dilihat Tabel 4.1

Tabel 4.1 Beban Hidup SNI 1927 – 2020

Hunian (Rumah Sakit)	Merata (KN/m^2)	Terpusat (KN)
Ruang Labolatorium	2,87	4,45
Ruang Pasien	1,92	4,45
Koridor diatas Lantai Pertama	3,83	4,45

(Sumber : SNI 1927-2020)

4.2.3. Beban Gempa

Beban gempa atau gaya gempa adalah beban pada bangunan yang terjadi akibat gempa bumi. Beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019, faktor penyesuaian

struktur yang terdiri dari luasan gempa, percepatan tanah puncak, faktor prioritas bangunan, faktor redaman gempa, dan periode osilasi alami.

4.2.3.1. Faktor Keamanan

Berdasarkan (SNI 1726:2019) maka didapat kategori resiko I dengan faktor keamanan 1,0. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel 4.1 dan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada tabel 4. 2.

Tabel 4.2 Kategori risiko bangunan pada bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

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

- Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 4.3 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, *I*
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 4.4 Kategori Nilai Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
SDS < 0.167	A	A
0.167 ≤ SDS ≤ 0.33	B	C
0 .33 ≤ SDS ≤ 0.50	C	D
0.50 ≤ SDS	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 4.5 Kategori Nilai Desain Seismik Berdasarkan Nilai SD1

Nilai SD1	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
SD1 < 0.067	A	A
0.067 ≤ SD1 ≤ 0.133	B	C
0 .133 ≤ SD1 ≤ 0.20	C	D
0.20 ≤ SD1	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

4.2.3.2. Zona Wilayah Gempa

Untuk mendapatkan data-data parameter gempa maupun grafik *Response spectrum* dapat dilihat pada website puskim.pu.go.id/Aplikasi.

- Parameter dasar Ss dan S1

  Percepatan dari batuan dasar MCER di lokasi pembangunan gedung ini pada periode pendek sekitar (0.2 detik) dan 1 detik yang didapat berdasarkan nilai data puskim yaitu:

  Ss = 0,5779 g

  S1 = 0,2781 g

- Kelas lokasi (klasifikasi situs)

  Profil tanah pada hasil investigasi secara geoteknik pada titik B.02 yang berlokasi di pembangunan gedung Instalasi Bedah Sentral RSUD dr. Loekmono Hadi Kudus dapat dikategorikan ke dalam situs kelas SD (tanah sedang).

- Parameter nilai respons spektra percepatan Sms dan Sm1

  Sms = 0,5779 g

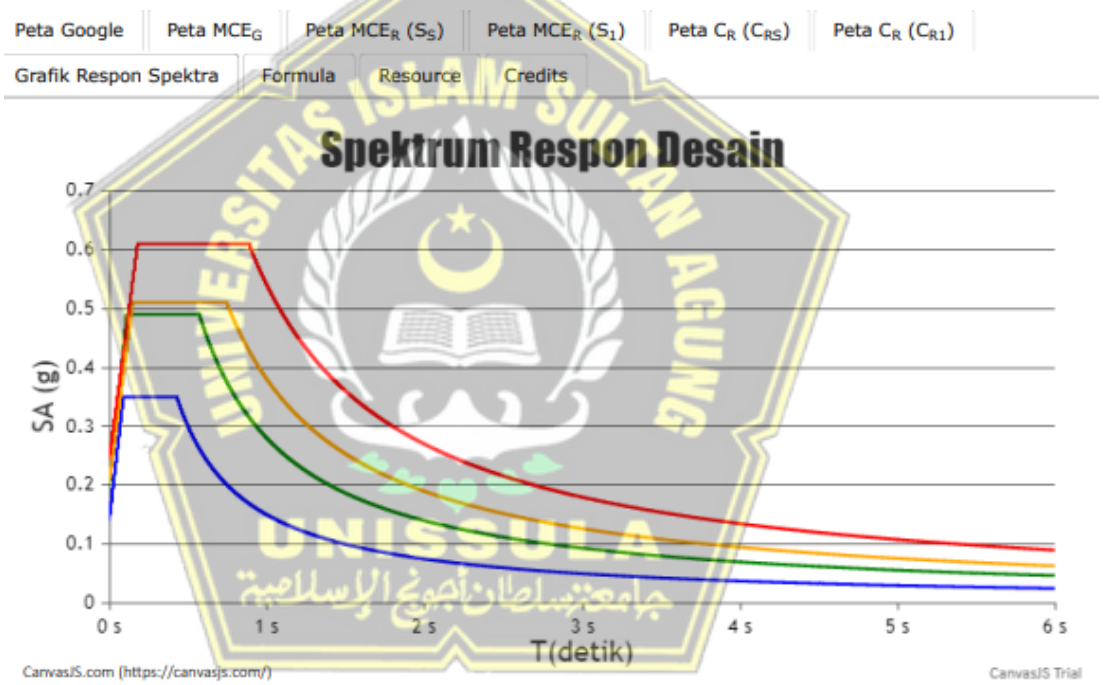
  Sm1 = 0,2781 g
- Nilai parameter percepatan spektra desain

  Parameter percepatan spektra desain untuk situs di lokasi struktur adalah: Sds = 0,5154 g

  Sd1 = 0,3789 g
- Percepatan spektra

  To = 0,15 detik

  Ts = 0,75 detik



Gambar 4.18 Spektral Percepatan

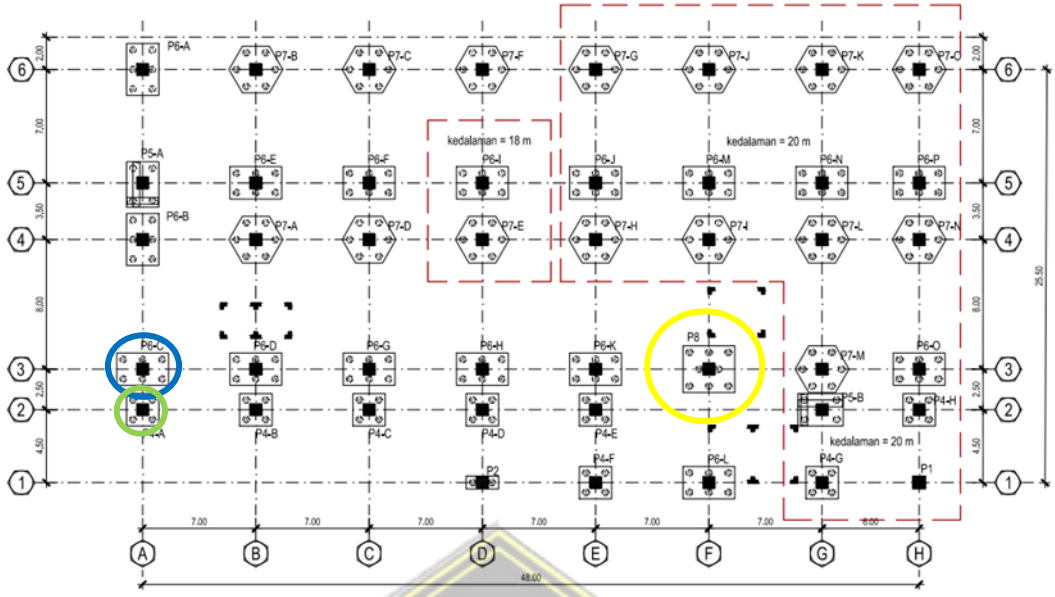
(Sumber: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi)

Setelah semua data pembebanan dimasukkan pada SAP2000 V.23, maka didapatkan hasil output yang dapat dilihat pada hasil seperti dibawah ini. Sedangkan joint yang digunakan dilihat pada Gambar 4.19

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
129	5	COMB2	Combination	-339,244	-6,68	-4,173	-0,3434	-5,8318	8,0112	129-1	5
130	5	COMB2	Combination	-1996,279	-5,214	-0,095	-0,1882	-4,4014	7,1436	130-1	5
131	5	COMB2	Combination	-4514,693	-6,962	-54,543	-0,4149	75,9272	9,9461	131-1	5
132	0	COMB2	Combination	-5015,719	6,304	60,653	-0,3083	111,3708	10,659	132-1	0
133	5	COMB2	Combination	-4674,488	-4,654	-33,725	-0,4984	41,7018	8,8333	133-1	5
134	0	COMB2	Combination	-5313,344	11,05	19,419	-0,4577	44,5813	20,8471	134-1	0
135	5	COMB2	Combination	-1774,228	2,309	-8,913	-0,2609	0,6971	-6,3307	135-1	5
139	5	COMB2	Combination	-2637,642	4,599	-35,482	-0,1015	43,1025	-10,1369	139-1	5
140	5	COMB2	Combination	-2296,647	-13,754	-2,847	-0,4225	-12,5646	18,9452	140-1	5
141	5	COMB2	Combination	-1899,555	25,726	-2,841	-0,4943	-14,276	-45,4707	141-1	5
142	5	COMB2	Combination	-2870,541	-3,62	5,545	-0,133	-14,102	4,4912	142-1	5
143	0	COMB2	Combination	162,291	-4,997	50,058	-0,1523	100,5277	13,6544	143-1	0
144	5	COMB2	Combination	-3147,792	-3,103	3,355	-0,1972	-11,766	3,2741	144-1	5
145	5	COMB2	Combination	-2866,151	9,974	3,519	-0,2077	-12,6587	-17,9994	145-1	5
146	5	COMB2	Combination	-2236,166	1,133	0,443	-0,1864	-8,1767	-3,7493	146-1	5
147	5	COMB2	Combination	-2153,442	0,862	1,037	-0,1868	-9,6893	-3,4095	147-1	5
148	5	COMB2	Combination	-1824,156	7,826	0,338	-0,213	-9,1466	-14,829	148-1	5
149	5	COMB2	Combination	-5341,26	-8,275	-52,502	-0,3745	71,3611	12,0154	149-1	5
150	5	COMB2	Combination	-7036,415	-1,565	9,145	-0,4961	-29,8693	0,9366	150-1	5
151	5	COMB2	Combination	-5769,07	0,793	-45,495	-0,4823	56,5918	-3,1011	151-1	5
152	5	COMB2	Combination	-5543,593	3,113	-45,545	-0,4551	54,9513	-7,0138	152-1	5
153	5	COMB2	Combination	-5277,318	2,512	-46,628	-0,439	55,113	-6,1711	153-1	5
154	5	COMB2	Combination	-5045,157	1,142	-45,89	-0,406	52,4705	-4,1073	154-1	5
155	5	COMB2	Combination	-4668,524	14,687	-46,462	-0,4244	51,7193	-26,1796	155-1	5
156	0	COMB2	Combination	-5616,451	8,233	59,26	-0,3721	110,3761	13,759	156-1	0
157	0	COMB2	Combination	-5858,459	3,369	47,902	-0,3667	93,4569	5,7431	157-1	0
158	0	COMB2	Combination	-5892,957	-0,16	57,614	-0,4183	110,9281	-0,1436	158-1	0
159	0	COMB2	Combination	-5646,255	0,00456	58,627	-0,428	114,2947	-0,0334	159-1	0
160	0	COMB2	Combination	-5587,088	-1,361	58,655	-0,433	115,9775	-2,3848	160-1	0
161	0	COMB2	Combination	-5311,631	-0,0094	50,623	-0,4287	104,4924	-0,3338	161-1	0
162	0	COMB2	Combination	-5101,578	-13,527	60,015	-0,4849	121,4176	-22,3723	162-1	0
163	5	COMB2	Combination	-5287,285	-11,305	-33,669	-0,4278	40,3031	19,5519	163-1	5
164	5	COMB2	Combination	-5652,495	-0,541	-31,957	-0,445	36,0221	1,9607	164-1	5
165	5	COMB2	Combination	-5540,11	-0,277	-31,391	-0,4532	33,4123	1,3866	165-1	5
166	5	COMB2	Combination	-5277,268	-0,222	-30,683	-0,4357	30,5557	1,1466	166-1	5
167	5	COMB2	Combination	-5254,963	-0,318	-29,942	-0,4125	27,7158	1,1599	167-1	5
168	0	COMB2	Combination	-5252,282	0,6	-29,241	-0,4086	-25,0246	1,4786	168-1	0
169	0	COMB2	Combination	-4863,231	-13,452	-26,862	-0,3974	-19,5362	-21,4409	169-1	0
170	0	COMB2	Combination	-6333,831	14,725	15,92	-0,4506	40,1619	26,7358	170-1	0
171	0	COMB2	Combination	-6813,306	1,362	14,234	-0,4543	38,9677	4,9223	171-1	0
172	0	COMB2	Combination	-6755,158	1,299	14,859	-0,4615	41,6417	4,6841	172-1	0
173	0	COMB2	Combination	-6632,785	1,161	15,365	-0,4527	44,1563	4,3149	173-1	0
174	0	COMB2	Combination	-6666,477	1,985	15,594	-0,4345	46,1629	5,4923	174-1	0

Dari data tersebut maka dipilih beban terberat, sedang, dan yang terkecil.

- Kolom 150 dengan beban 7036,415 KN (717,51 ton)
- Kolom 155 dengan beban 4668,524 KN (476,06 ton)
- Kolom 148 dengan beban 1824,156 KN (186,01 ton)



Gambar 4.19 Denah Fondasi

Fondasi yang akan direncanaka dapat dilihat pada Gambar 4.19

Lingkaran kuning : Fondasi P8 dengan beban 717,51 ton

Lingkaran biru : Fondasi P6-C dengan beban 476,06 ton

Lingkaran hijau : Fondasi P4-A dengan beban 186,01 ton

4.3. Data Dari Perencanaan

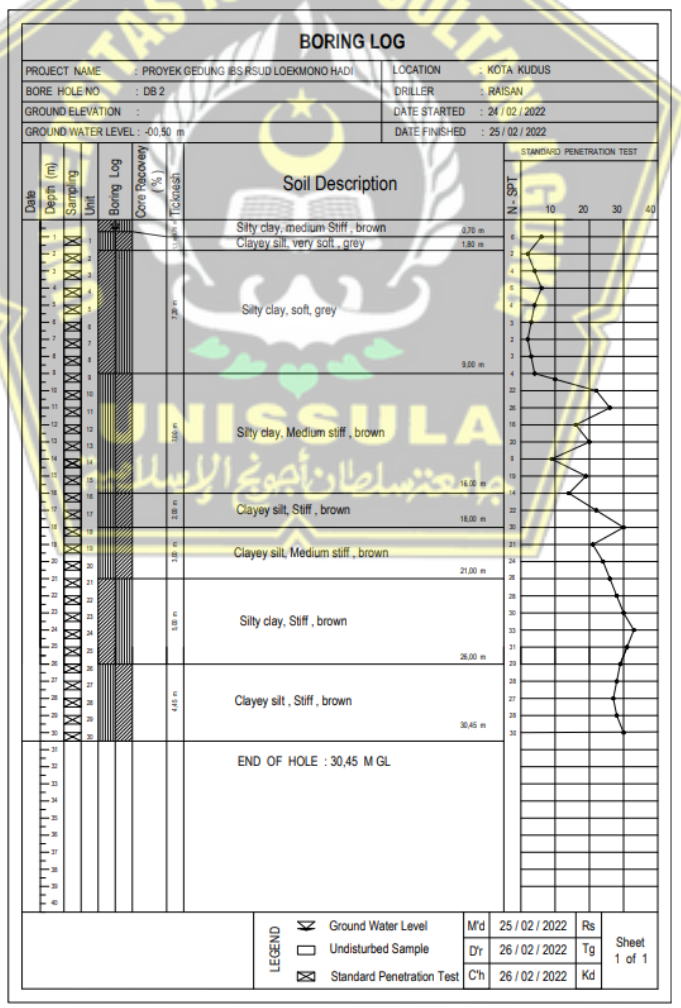
Spesifikasi umum pada data perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Tinggi bangunan = 38 m
2. Panjang Bangunan = 48 m
3. Lebar Bangunan = 25,5 m
4. Jumlah Lantai = 7
5. Fungsi Bangunan = Rumah Sakit
6. Jenis Konstruksi = Beton Bertulang
7. Konstruksi Atap = Spandek
8. Struktur Bawah = Fondasi *Bored Pile*
9. Diameter *Bored Pile* = 50 cm
10. Mutu Beton = Fc'29,15 Mpa = K-350

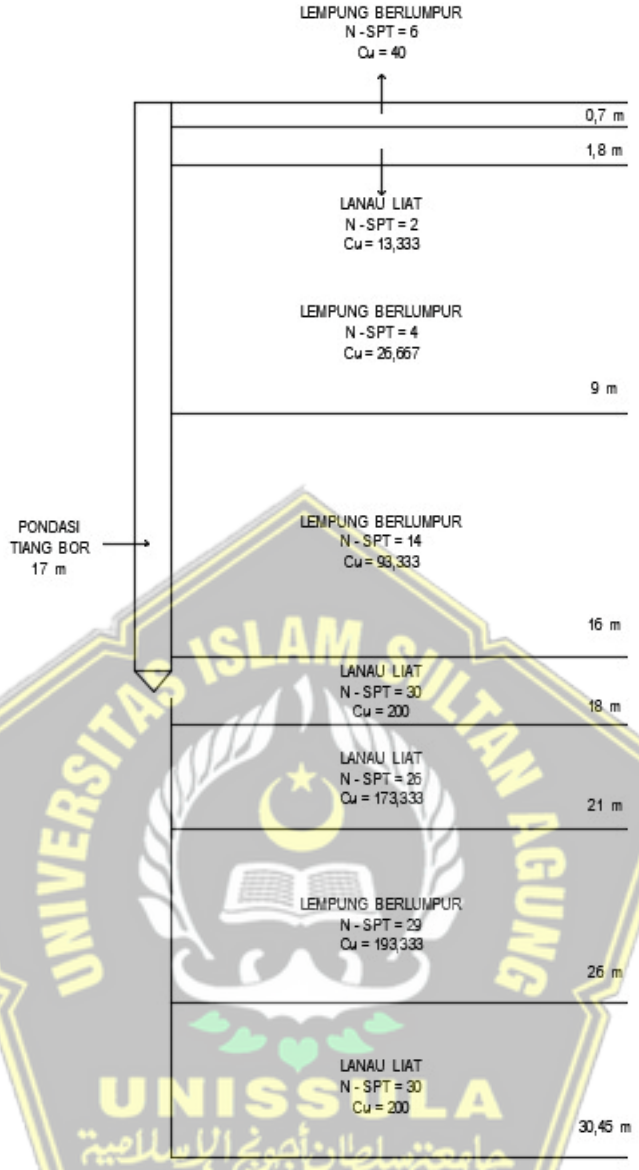
4.4. Perhitungan Kapasitas Dari Daya Dukung Aksial Fondasi *Bored Pile*

Data fondasi *bored pile* :

1. Diameter (d) = 50 cm = 0,5 m
2. Kedalaman (L) = 1700 cm = 17 m
3. Keliling tiang (K) = π x d
   = 3,14 x 50
   = 157 cm = 1,57 m
4. Luas selimut tiang (As) = π x d x L
   = 3,14 x 50 x 1700
   = 266900 cm2 = 26,69 m^2
5. Luas penampang tiang (Ap) = ¼ x π x d
   = ¼ x 3,14 x 50^2
   = 1962,5 cm^2 = 0,19625 m^2



Gambar 4.20 Data Tanah



Gambar 4.21 Penentuan Parameter Tanah

4.4.1. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Data Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT)

4.4.1.1. Metode *Aoki de Alencar*

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

a. Perhitungan dari nilai kapasitas dukung ujung tiang (Qp) pada tanah tipe kohesif kedalaman 17 meter

Perlawanan dari konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang dan 1,5D di bawah ujung tiang.

Tabel 4.6 Nilai dari qc didasar tiang

No.	Kedalaman (m)	qc (kg/cm^2)
1	16,2	48
2	16,4	40
3	16,6	40
4	16,8	45
5	17	47
6	17,2	47
7	17,4	60
8	17,6	57
9	17,8	85
Σqc		469

Maka nilai qc rata-rata adalah :

qci = $\frac{\Sigma qc}{n} = \frac{469}{9}$ = 52,111 kg/cm^2

Dari persamaan (2.2), kapasitas dukung ujung persatuan luas (qp) =

qp = $\frac{qci}{Fb}$ (Nilai F_b dari tabel 2.1, tiang bor = 3,5)

qp = $\frac{52,111}{3,5}$ = 14,889 kg/cm^2

Kapasitas dukung ujung tiang (Qp) pada tanah kohesif :

Qp = qp x Ap

= 14,889 x 1962,5

= 29219,444 kg/cm^2

= 292,194 kN

b. Perhitungan dari kapasitas dukung kulit (Qs) pada tanah tipe kohesif

Dari persamaan (2.3), kapasitas dukung kulit tiap satuan luas (f) pada kedalaman fondasi L = 17 m

qc (side) = Perlawanan konus rata-rata di masing lapisan tanah sepanjang tiang

qc (side) = $\frac{12+8+7+5+8+65+40+38+47}{9}$ = 25,556 kg/cm^2

f = qc (side) $\frac{as}{Fs}$ (Nilai F_s dan a_s dari tabel 2.1 dan tabel 2.2)

f = 25,556 x $\frac{0,03}{7}$ = 0,110 kg/cm^2

Kapasitas dukung kulit (Qs)

Qs = f x As

= 0,110 x 266900

= 29232,4 kg

= 292,324 kN

c. Perhitungan Dari Kapasitas Dukung Ultimit (Qu)

Qu = Qp + Qs

= 292,194 + 292,324

= 584,519 kN

d. Perhitungan Kapasitas Dukung Ijin (Qall)

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

$= \frac{584,519}{2,5}$

= 233,807 kN

Untuk hasil perhitungan kapasitas daya dukung berdasarkan nilai dari data sondir / CPT dengan digunakan metode *Aoki de Alencar* dapat dilihat pada table 4.7

4.4.1.2. Metode *Tomlinson*

Analisa perhitungan daya dukung fondasi boredpile untuk tanah kohesif menggunakan metode *Tomlinson*, pada kedalaman 17 m

a. Perhitungn nilai kohesi tanah

Cu = $\frac{1}{20}$ x qc

= $\frac{1}{20}$ x 47

= 230,456 kN

b. Perhitungan daya dukung di ujung tiang *boredpile*

Qp = $\frac{(Nc\ x\ Cu)+(\gamma+Df)x\ Ap}{3}$

Dimana :

Nc = factor daya dukung dibawah ujung tiang bor, bernilai 9

γ = berat jenis tanah (nonkohesif), bernilai 1,4

Li = Kedalaman tiang

AP = luas penampang ujung tiang

Qp $= \frac{(Nc\ x\ Cu)+(\gamma+Li)x\ Ap}{3}$

$= \frac{(9\ x\ 230{,}456)+(1{,}4+17)x\ 0{,}19625}{3}$

= 692,572 kN

c. Perhitungan daya dukung selimut fondasi *boredpile*

Qs $= \frac{(s\ x\ (D\ x\ Df)x\ (\alpha\ x\ Cu)}{5}$

Dimana :

D = diameter tiang bor

Li = kedlaman tiang

s = factor bentuk, untuk tiang biasa; s = 1

α = factor adhesi, untuk tanah non kohesif; α = 0,55

Qs $= \frac{(s\ x\ (D\ x\ Li)x\ (\alpha\ x\ Cu)}{5}$

$= \frac{(1\ x\ (0{,}5\ x\ 17)x\ (0{,}55\ x\ 230{,}456)}{5}$

= 215,477 kN

d. Perhitungan daya dukung ultimit fondasi *boredpile*

Qult = Qp + Qs

= 692,572 + 215,477

= 908,049 kN

e. Perhitungan daya dukung ijin fondasi *bored pile*

Qall $= \frac{Qu}{SF}$

$= \frac{908{,}049}{2{,}5}$

= 363,220 kN

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

4.4.2. Perhitungan Dari Kapasitas Daya Dukung Aksial Berdasarkan Hasil Nilai *Standard Penetration Test* (SPT)

4.4.2.1. Metode *Reese and Wright*

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

a. Perhitungan kapasitas dukung ujung tiang (Qp)

Qp = q_p x A_p

Dengan qp = 9 x Cu

Untuk : $Cu = N - SPT\ x\ \frac{2}{3}\ x\ 10$

Dimana :

Qp = Nilai daya dukung di ujung tiang (kN)

Ap = Luas dari penampang tiang (m^2)

Qp = Nilai tahanan ujung di tiang (kN/m^2)

Untuk tanah dengan tipe kohesif pada lapisan tanah di kedalaman 17 meter berikut ini :

Cu = N-SPT x $\frac{2}{3}$ x 10

= 22 x $\frac{2}{3}$ x 10

= 146,667 kN/m^2

qp = 9 x C_u

= 9 x 146,667

= 1320 kN

Qp = Ap x qp

= 0,19625 x 1320

= 259,05 kN

b. Perhitungan dari kapasitas dukung kulit (Qs)

Gesekan selimut tiang per satuan luas disebabkan karena jenis tanah dan parameter dari kuat geser tanah

pada tanah tipe kohesif

Qs = f x L x p

f $_{(kohesif)}$ = α x Cu

Dimana :

Qs = Nilai daya dukung di selimut tiang (kN)

f = Nilai gesekan di selimut tiang (kN/m^2)

α = Faktor adhesi

-0,32 untuk tanah tipe non-kohesif

-0,55 untuk tanah tipe kohesif

Cu = Kohesi pada tanah (kN/m^2)

Untuk tanah dengan tipe kohesif ditemukan di lapisan tanah kedalaman 17 meter berikut ini :

$f_{(kohesif)}$ = α x Cu

= 0,55 x 146,667

= 80,667 kN/m^2

Qs = f x Li x K

= 80,667 x 17 x 1,57

= 2152,993 kN

c. Perhitungan Kapasitas dukung ultimit (Qu)

Untuk kedalaman 17 meter (kohesif)

Qu = Qp + Qs

= 259,05 + 2152,993

= 2412,043 kN

d. Perhitungan Kapasitas dukung ijin (Qall)

Untuk kedalaman 17 meter (kohesif)

Qall $= \frac{Qu}{SF}$

$= \frac{2412,043}{3}$

= 804,014 kN

Untuk hasil perhitungan daya dukung aksial berdasarkan hasil SPT dengan tanah kohesis dan non kohesif Metode *Reese and Wright* (1977) dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10.

4.4.2.2. Metode *Mayerhoff*

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

a. Perhitungan kapasitas dukung di ujung tiang (Qp)

Qp = Ap x Cu x Nc (kohesif)

Dimana :

Ap = Nilai luas penampang di tiang (m^2)

Cu = Kohesi pada tanah (kN/m^2)

Nc = Faktor dari daya dukung tanah

Untuk lapisan tanah kedalaman 17 meter (Tipe kohesif)

$Qp = Ap\ x\ Cu\ x\ Nc$ (Faktor daya dukung dari tanah untuk fondasi di tiang *bored pile*

Nc = 9)

Qp = 0,19625 x 146,667 x 9

= 259,05 kN

b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Qs)

Qs = α x Cu x K x Li

Dimana :

K = Keliling di penampang tiang (m)

Li = Tebal lapisan pada tanah ke-i (m)

Untuk lapisan tanah kedalaman 17 meter (kohesif)

Qs = $\alpha\ x\ Cu\ x\ K\ x\ L$ (Berdasarkan persamaan, *factor adhesi* α = 0,55)

= 0,55 x 146,667 x 1,57 x 17

= 2152,993 kN

c. Perhitungan Kapasitas dukung ultimit (Qu)

Untuk kedalaman 17 meter (kohesif)

Qu = Qp + Qs

= 259,05 + 2152,993

= 2412,043 kN

d. Perhitungan Kapasitas dukung ijin (Qall)

Untuk kedalaman 17 meter (kohesif)

Qall $= \frac{Qu}{SF}$

$= \frac{2412,043}{3}$

= 804,014 kN

Untuk hasil perhitungan daya dukung aksial berdasarkan hasil SPT dengan tanah kohesif dan non kohesif Metode *Mayerhoff* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12.

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

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

L	qci	qp	Ap	As	f	Qp	Qs	Qu	Qall
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	11,111	3,175	1962,5	15700	0,110	62,302	17,196	79,497	31,799
2	6	1,714	1962,5	31400	0,110	33,643	34,391	68,034	27,214
3	7,667	2,190	1962,5	47100	0,110	42,988	51,587	94,575	37,830
4	12,444	3,556	1962,5	62800	0,110	69,778	68,782	138,560	55,424
5	9,333	2,667	1962,5	78500	0,110	52,333	85,978	138,311	55,324
6	6,333	1,810	1962,5	94200	0,110	35,512	103,173	138,685	55,474
7	5,556	1,587	1962,5	109900	0,110	31,151	120,369	151,520	60,608
8	5,556	1,587	1962,5	125600	0,110	31,151	137,564	168,715	67,486
9	17,222	4,921	1962,5	141300	0,110	96,567	154,760	251,327	100,531
10	35,889	10,254	1962,5	157000	0,110	201,234	171,955	373,189	149,276
11	53	15,143	1962,5	172700	0,110	297,179	189,151	486,329	194,532
12	56,333	16,095	1962,5	188400	0,110	315,869	206,346	522,215	208,886
13	37,444	10,698	1962,5	204100	0,110	209,956	223,542	433,498	173,399
14	27,556	7,873	1962,5	219800	0,110	154,508	240,738	395,245	158,098
15	34,889	9,968	1962,5	235500	0,110	195,627	257,933	453,560	181,424
16	36,889	10,540	1962,5	251200	0,110	206,841	275,129	481,970	192,788
17	52,111	14,889	1962,5	266900	0,110	292,194	292,324	584,519	233,807
18	66	18,857	1962,5	282600	0,110	370,071	309,520	679,591	271,836
19	52,667	15,048	1962,5	298300	0,110	295,310	326,715	622,025	248,810
20	57	16,286	1962,5	314000	0,110	319,607	343,911	663,518	265,407

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung dengan Metode *Tomlinson*

L	qc	Cu (kN)	Ap	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
0	0	0	0,19625	0	0	0	0
1	12	58,840	0,19625	176,677	3,236	179,913	71,965
2	4	19,613	0,19625	59,062	2,157	61,220	24,488
3	8	39,227	0,19625	117,968	6,472	124,440	49,776
4	12	58,840	0,19625	176,873	12,945	189,818	75,927
5	7	34,323	0,19625	103,388	9,439	112,827	45,131
6	7	34,323	0,19625	103,454	11,327	114,781	45,912
7	5	24,517	0,19625	74,099	9,439	83,538	33,415
8	5	24,517	0,19625	74,165	10,787	84,952	33,981
9	8	39,227	0,19625	118,360	19,417	137,777	55,111
10	48	235,360	0,19625	706,825	129,448	836,272	334,509
11	65	318,716	0,19625	956,960	192,823	1149,783	459,913
12	33	161,810	0,19625	486,306	106,794	593,100	237,240
13	40	196,133	0,19625	589,341	140,235	729,576	291,830
14	18	88,260	0,19625	265,787	67,960	333,747	133,499
15	38	186,326	0,19625	560,052	153,719	713,771	285,508
16	28	137,293	0,19625	413,018	120,818	533,835	213,534
17	47	230,456	0,19625	692,572	215,477	908,049	363,220
18	80	392,266	0,19625	1178,067	388,343	1566,410	626,564
19	45	220,650	0,19625	663,283	230,579	893,862	357,545
20	57	279,490	0,19625	839,868	307,438	1147,307	458,923

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

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

L	N-SPT	Cu	qp	f	K	Ap	Qp	Qs	Qult	Qall
0	0	0	0	0	1,57	0,19625	0	0	0	0
1	6	40	360	22	1,57	0,19625	70,65	34,54	105,19	35,063
2	2	13,333	120	7,333	1,57	0,19625	23,55	23,027	46,577	15,526
3	4	26,667	240	14,667	1,57	0,19625	47,1	69,08	116,18	38,727
4	6	40	360	22	1,57	0,19625	70,65	138,16	208,81	69,603
5	4	26,667	240	14,667	1,57	0,19625	47,1	115,133	162,233	54,078
6	3	20	180	11	1,57	0,19625	35,325	103,62	138,945	46,315
7	2	13,333	120	7,333	1,57	0,19625	23,55	80,593	104,143	34,714
8	3	20	180	11	1,57	0,19625	35,325	138,16	173,485	57,828
9	4	26,667	240	14,667	1,57	0,19625	47,1	207,24	254,34	84,78
10	22	146,667	1320	80,667	1,57	0,19625	259,05	1266,467	1525,517	508,506
11	26	173,333	1560	95,333	1,57	0,19625	306,15	1646,407	1952,557	650,852
12	16	106,667	960	58,667	1,57	0,19625	188,4	1105,28	1293,68	431,227
13	20	133,333	1200	73,333	1,57	0,19625	235,5	1496,733	1732,233	577,411
14	9	60	540	33	1,57	0,19625	105,975	725,34	831,315	277,105
15	19	126,667	1140	69,667	1,57	0,19625	223,725	1640,65	1864,375	621,458
16	14	93,333	840	51,333	1,57	0,19625	164,85	1289,493	1454,343	484,781
17	22	146,667	1320	80,667	1,57	0,19625	259,05	2152,993	2412,043	804,014
18	30	200	1800	110	1,57	0,19625	353,25	3108,6	3461,85	1153,95
19	21	140	1260	77	1,57	0,19625	247,275	2296,91	2544,185	848,062
20	24	160	1440	88	1,57	0,19625	282,6	2763,2	3045,8	1015,267

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

L	N-SPT	Ap	Cu	K	a	Qp	Qs	Qult	Qall
0	0	0,19625	0	1,57	0,55	0	0	0	0
1	6	0,19625	40	1,57	0,55	70,65	34,54	105,19	35,063
2	2	0,19625	13,33	1,57	0,55	23,55	23,027	46,577	15,526
3	4	0,19625	26,667	1,57	0,55	47,1	69,08	116,18	38,727
4	6	0,19625	40	1,57	0,55	70,65	138,16	208,81	69,603
5	4	0,19625	26,667	1,57	0,55	47,1	115,133	162,233	54,078
6	3	0,19625	20	1,57	0,55	35,325	103,62	138,945	46,315
7	2	0,19625	13,333	1,57	0,55	23,55	80,593	104,143	34,714
8	3	0,19625	20	1,57	0,55	35,325	138,16	173,485	57,828
9	4	0,19625	26,667	1,57	0,55	47,1	207,24	254,34	84,78
10	22	0,19625	146,667	1,57	0,55	259,05	1266,467	1525,517	508,506
11	26	0,19625	173,333	1,57	0,55	306,15	1646,407	1952,557	650,852
12	16	0,19625	106,667	1,57	0,55	188,4	1105,28	1293,68	431,227
13	20	0,19625	133,333	1,57	0,55	235,5	1496,733	1732,233	577,411
14	9	0,19625	60	1,57	0,55	105,975	725,34	831,315	277,105
15	19	0,19625	126,667	1,57	0,55	223,725	1640,65	1864,375	621,458
16	14	0,19625	93,333	1,57	0,55	164,85	1289,493	1454,343	484,781
17	22	0,19625	146,667	1,57	0,55	259,05	2152,993	2412,043	804,014
18	30	0,19625	200	1,57	0,55	353,25	3108,6	3461,85	1153,95
19	21	0,19625	140	1,57	0,55	247,275	2296,91	2544,185	848,062
20	24	0,19625	160	1,57	0,55	282,6	2763,2	3045,8	1015,267

4.5 Hasil Perhitungan

Dikarenakan kedalaman fondasi tiang bor berada di kedalaman 17 meter, dan jenis tanah tersebut merupakan tanah kohesif. Maka yang di cantumkan adalah hasil perhitungan tanah kohesif dengan beberapa metode. Setelah menganalisis daya dukung aksial tanah di fondasi dengan perhitungan menggunakan metode Aoki de Alencar, Tomlinson, Reese & Wright, dan metode Meyerhof. Berikut ini adalah table hasil perhitungan maupun perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 4.13

Table 4.11 Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung Aksial Tanah

Metode	Daya Dukung Ujung (Qp)	Daya Dukung Selimut (Qs)	Daya Dukung Ultimit (Qult)	Daya Dukung Ijin (Qall)
Aoki de Alencar	292,194	292,324	584,519	233,807
Tomlinson	692,572	215,477	908,049	363,220
Reese and Wright	259,05	2152,993	2412,043	804,014
Mayerhoff	259,05	2152,993	2412,043	804,014

Pada tabel 4.11 dapat dipilih daya dukung fondasi yang memiliki hasil nilai terkecil yang dijadikan acuan untuk perhitungan berikutnya. Hasil di nilai daya dukung fondasi yang mempunyai hasil terkecil yaitu dari perhitungan dengan menggunakan nilai CPT dengan metode *Aoki de Alencar* dengan daya dukung ujung sebesar 292,194 kN, daya dukung selimut sebesar 292,324 kN, daya dukung ultimit sebesar 584,519kN, dan daya ijin sebesar 233,807 kN

4.6. Daya Dukung Lateral

Gaya lateral adalah beban pada arah *horizontal*. Berikut metode untuk mencari beban lateral

4.6.1. Metode *Brooms* 1964

Untuk mencari beban lateral dapat menggunakan Persamaan (2.21) dan (2.22), Untuk daya dukung fondasi terhadap gaya lateral berdasarkkan data tanah dapat dilihat pada Tabel 4.14 :

Tabel 4.12 Berat Jenis Tanah

Jenis Tanah	γsat (kN/m^3)	γdry (kN/m^3)
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

γ = 16 kN/m^3

Kp = $\tan^3 (45 + \frac{\phi}{2})$

Kp = 3,044

D = 0,5 m

L = 17 m

Fc' = 350 kg/cm^3 = 29,15 Mpa

Kekakuan tiang fondasi

Ep = 4700√fc'

= 4700√29,15

= 25375,647 kN/m^2

Ip = $\frac{1}{64}$ x π x D^4

= $\frac{1}{64}$ x 3,15 x 0,5^4

= 0,003

Untuk mencari nilai kekakuan dari fondasi tiang nantinya dibutuhkan nilai ηh yang diperoleh dari Tabel 2.4 nilai – nilai ηh untuk jenis tanah tipe kohesif. Nilai ηh didapat 150 kN/m^2

Untuk factor kekakuan tanah

T $= \left(\frac{Ep\ x\ lp}{\eta h}\right)^{1,5}$

T $= \left(\frac{25375,647\ x\ 0,003}{150}\right)^{1,5}$

= 0,0118

4T = 4 x T

= 4 x 0,0118

= 0,0473 m

Dari hasil perhitungan diatas, L > 4T yaitu 16 m > 0,0473 m, maka tergolong fondasi yang elastis.

- Keruntuhan Tanah

  Mmax = D x γ x L^3 x Kp

  = 0,5 x 16 x 17^3 x 3,044

  = 119641,376

- Menentukan Tahanan Tiang Momen

  W $= \frac{lp}{(\frac{d}{2})} = \frac{0,003}{\frac{0,5}{2}}$ = 0,0123

- Menentukan Momen Maksimum Tiang (My)

  fb = 0,4 x Fc'

  = 0,4 x 29,15

  = 11,66 MPa

  = 11660 kN/m^2

  My = fb x W

  = 11660 x 0,0123

  = 143,017 kN.m

- Nilai Hu

f $= 0{,}82 \sqrt{\frac{Hu}{D\ x\ Kp\ x\ \gamma}}$

$= 0{,}82 \sqrt{\frac{Hu}{0{,}5\ x\ 3{,}044\ x\ 16}}$

f $= 0{,}166 \sqrt{Hu}$

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

Hu $= \frac{2\ x\ 143{,}017}{0+(2\ x\ 0{,}166)\ x\ \frac{\sqrt{Hu}}{3}}$

Hu $= \frac{2584{,}65}{\sqrt{Hu}}$

Hu $= \frac{2584{,}65}{Hu\hat{}\frac{1}{2}}$

Hu $= 2584{,}65$ x $Hu\hat{}\frac{-1}{2}$

Hu x $Hu\hat{}\frac{1}{2}$ $= 2584{,}65$ x $Hu\hat{}\frac{-1}{2}$ x $Hu\hat{}\frac{1}{2}$

$Hu\hat{}\frac{3}{2}$ $= 2584{,}65$ x Hu^0

$Hu\hat{}\frac{3}{2}$ $= 2584{,}65$ x 1

$Hu\hat{}\frac{3}{2}$ $= 2584{,}65$

$[Hu\hat{}\frac{3}{2}]\hat{}\frac{2}{3}$ $= 2584{,}65\hat{}\frac{2}{3}$

Hu $= \sqrt[3]{(2584{,}65)^2}$

Hu $= \sqrt[3]{(6680415{,}62}$

Hu $= 188{,}337$ kN

Hu_{ijin} $= \frac{188{,}337}{SF}$

$= \frac{188{,}337}{3}$

$= 62{,}779$ kN

Perhitungan pada tahanan lateral ijin adalah :

55 $= \frac{Hu}{Kp\ x\ \gamma\ x\ D^2}$

55 $= \frac{188{,}337}{3{,}044\ x\ 16\ x\ 0{,}5^2}$

Hu $= 669{,}68$ kN

Jadi, nilai Hu > Huijin yaitu 669,68 kN > 62,779 kN. Maka nilai Hu aman.

4.7. Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang

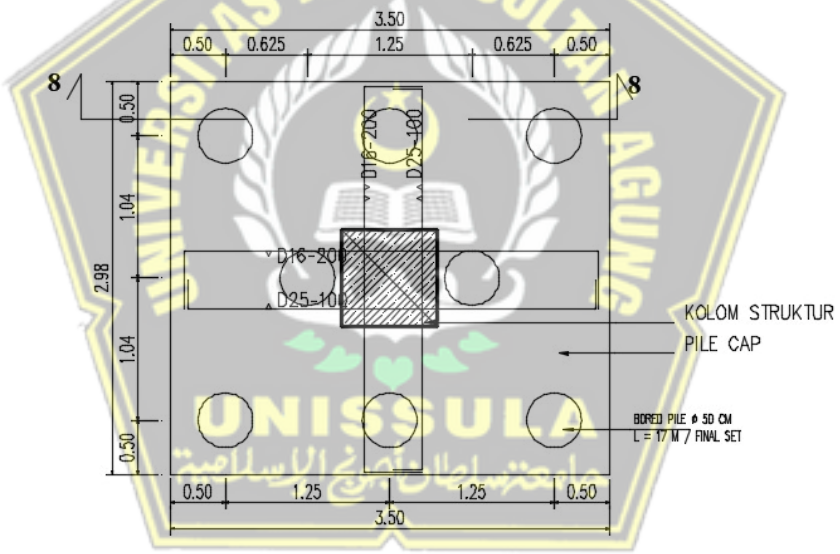
Untuk mencari daya dukung kelompok tiang dapat digunakan metode berikut.

4.7.1. Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang Metode *Converse-labrare*

Metode *Converse-labrare* adalah metode untuk mencari efisiensi di kelompok tiang pancang. Untuk mencari efisiensi di kelompok tiang pancang maka digunakan Persamaan (2.30).

$$Eg = 1 - \left(\frac{(m-1)n+(n-1)m}{90 \text{ x m x n}}\right) \text{ x } \theta$$

- Fondasi P8



Gambar 4.22 Detail *Pile Cap* P8

P = 717,51 ton

S = 1,25 m

d = 0,5 m

n_{tiang} = 8 tiang

m = 3

n = 2

θ = $\tan^{-1}$ (d/s)

= $\tan^{-1}$ (0,5/1,2)

= 21,80

Eg = 0,677

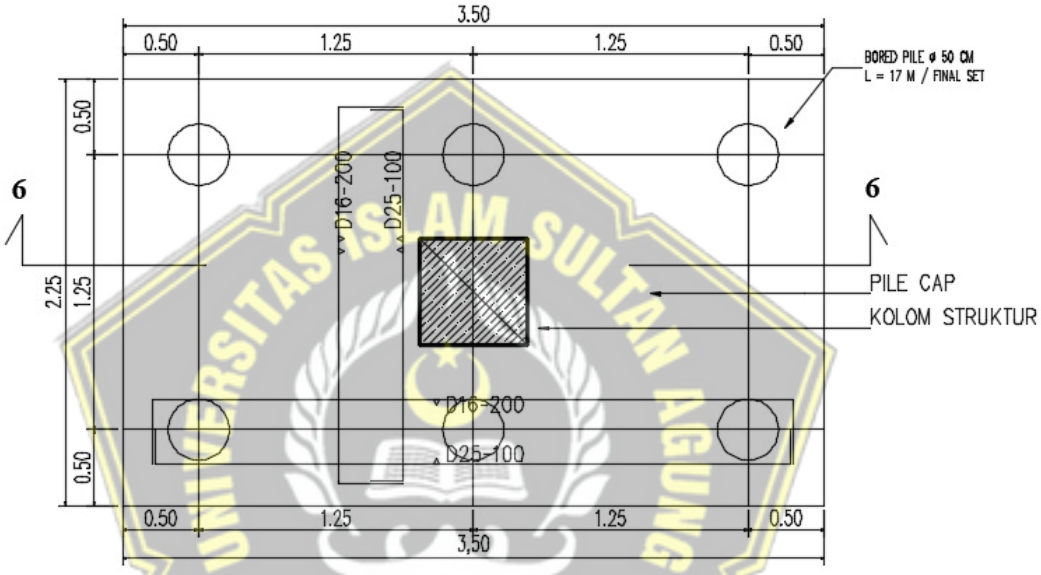
$Q_{all\ (group)}$ = n_{tiang} x $Q_{all\ (group)}$ x Eg

= 8 x 233,807 x 0,677

= 1266,329 ton

$Q_{all\ (group)}$ > P yaitu 1266,329 ton > 717,51 ton

- Fondasi P6-C



Gambar 4.23 Detail *Pile Cap* P6-C

P = 476,06 ton

S = 1,25 m

d = 0,5 m

n_{tiang} = 6 tiang

m = 3

n = 2

θ = $\tan^{-1}$ (d/s)

= $\tan^{-1}$ (0,5/1,5)

= 21,80

Eg = 0,717

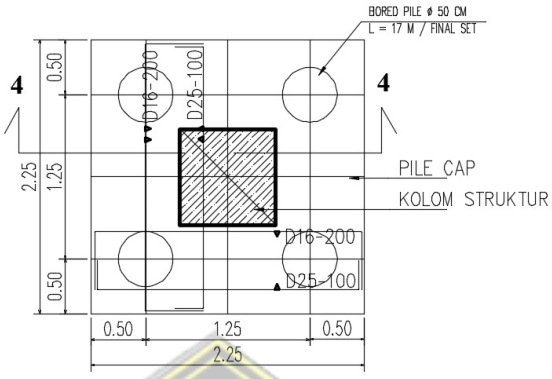
$Q_{all\ (group)}$ = n_{tiang} x $Q_{all\ (group)}$ x Eg

= 6 x 233,807 x 0,717

= 1006,384 ton

$Q_{all\ (group)}$ > P yaitu 1006,384 ton > 476,06 ton

- Fondasi P4-A



Gambar 4.24 Detail *Pile Cap* P4-A

P = 186,01 ton

S = 1,25 m

d = 0,5 m

n_{tiang} = 4

m = 2

n = 2

θ = $\tan^{-1}$ (d/s)

= $\tan^{-1}$ (0,5/0,5)

= 21,80

Eg = 0,758

$Q_{all\ (group)}$ = n_{tiang} x $Q_{all\ (group)}$ x Eg

= 4 x 233,807 x 0,758

= 708,68 ton

$Q_{all\ (group)}$ > P yaitu 708,68 ton > 186,01 ton

Table 4.13 Hasil Dari Setiap Tipe Fondasi

Tipe Fondasi	m	n	s	D	Eg	n tiang	Q_{all} (single)	$Q_{allowed}$ (group)	Beban Kolom
P8	3	2	1,25	0,5	0,677	8	233,807	1266,329	717,510

P6-C	3	2	1,25	0,5	0,717	6	233,807	1006,384	476,06
P4-A	2	2	1,25	0,5	0,758	4	233,807	708,68	186,01

4.8. Penurunan Elastis Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Metode Vesic (1977)

Untuk mencari penurunan elastis tiang tunggal maka dapat menggunakan metode *vesic*. Berikut persamaan (2.30) untuk mencari penurunan elastis tiangtunggal.

Se = Se(1) + Se(2) +Se(3)

Nilai Se(1) diperoleh dari Persamaan (2.31):

Se(1) $= \frac{(Qwp + \xi \, x \, Qwp)L}{Ap \, x \, Ep}$

Nilai Se(2) diperoleh dari Persamaan (2.32):

Se(2) $= \frac{(Qwp \, x \, Cp)}{Dqp}$

Nilai Se(3) diperoleh dari Persamaan (2.33):

Se(3) $= \frac{Qws \, x \, Cs}{L \, x \, qp}$

Kapasitas dukung fondasi

Qp = 292,194 ton

Qwp = 292,194 / 4

= 73,0485 ton

Qs = 292,324 ton

Qws = 292,324 / 4

= 73,081

ξ = 0,67 (Faktor Empirik)

L = 17

D = 0,5 m

Ap = 0,25 x π x D^2

= 0,25 x 3,14 x $0,5^2$

= 0,19625 m^2

Ep = 2,1 x 10^6

Cp = 0,03 (koefisien empiric)

Cs = (0,93 + 0,16 $\sqrt{L/D}$) x Cp

= (0,93 + 0,16 $\sqrt{17/0,5}$) x 0,03

= 0,056%

qp = $\frac{Qp}{Ap}$

= $\frac{292,194}{0,19625}$ = 1488,886 (tahanan ultimit ujung tiang)

Elastisitas tiang tunggal :

Se(1) = $\frac{(Qwp + \xi\ x\ Qwp)L}{Ap\ x\ Ep}$

= $\frac{(73,0485 + 0.67\ x\ 73,0485)17}{0,19625\ x\ 2,1x10^6}$

= 0,00096058

Se(2) = $\frac{(Qwp\ x\ Cp)}{D\ x\ qp}$

= $\frac{(73,0485\ x\ 0,03)}{0,5\ x\ 1488,8866}$

= 0,002944

Se(3) = $\frac{Qws\ x\ Cs}{L\ x\ qp}$

= $\frac{129,525\ x\ 0,055}{17\ x\ 1488,8866}$

= 0,000161296

Se = 0,0002792 + 0,002944 + 0,000161296

= 0,00340 m

= 3,40 mm

Sijin = 10% x D

= (10/100) x 0,5

= 0,05 m

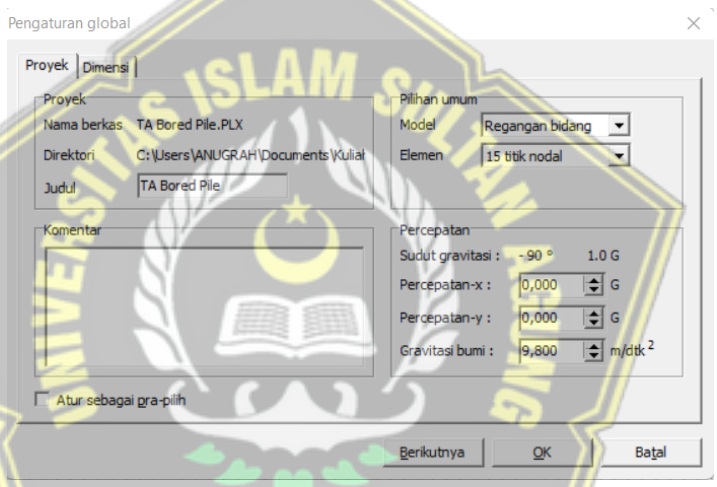
= 50 mm

Syarat yang diijinkan Se<Sijin yaitu 3,40 mm < 50 mm maka aman (OKE)

4.9. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Program *Plaxis*

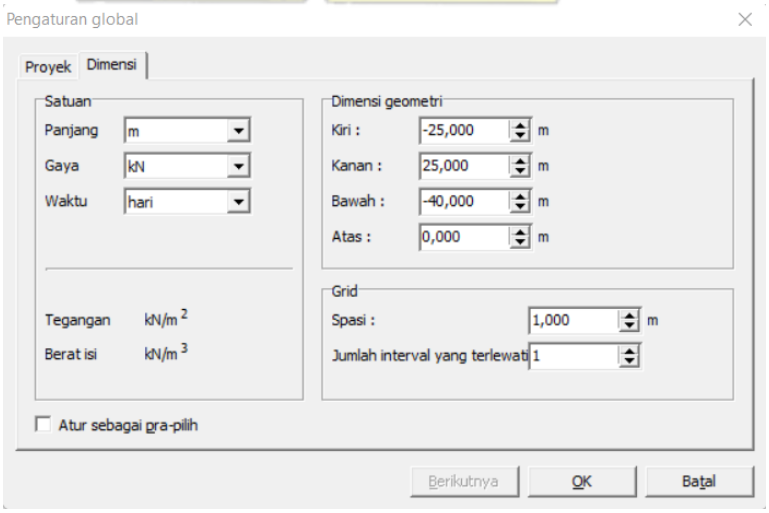
Berikut langkah-langkah permodelan pada fondasi P8 dengan menggunakan *software Plaxis V 8.6*

1. Tahapan pertama input data menggunakan *software PLAXIS V 8.6* dengan menentukan judul dan satuan unakan, dapa dilihat di Gambar 4.25



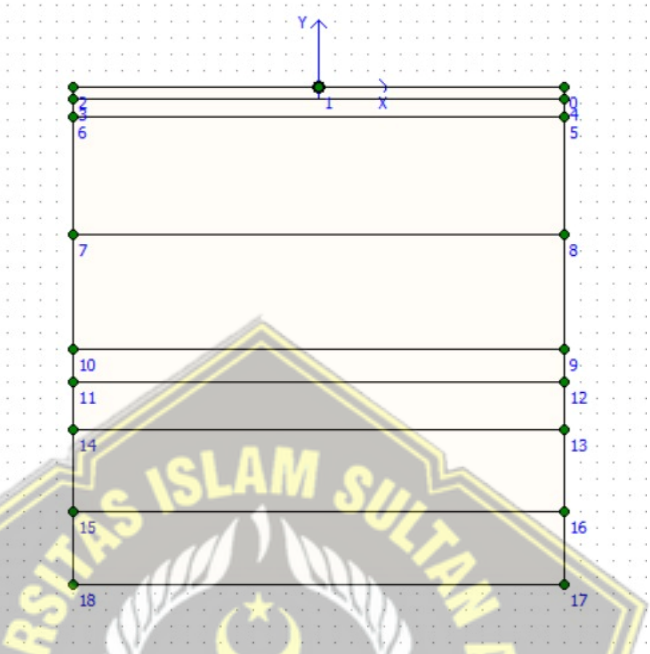
Gambar 4.25 *General Setting*

2. Lalu input data dimensi sesui dengan fondasi rencana, terdapat pada Gambar 4.26



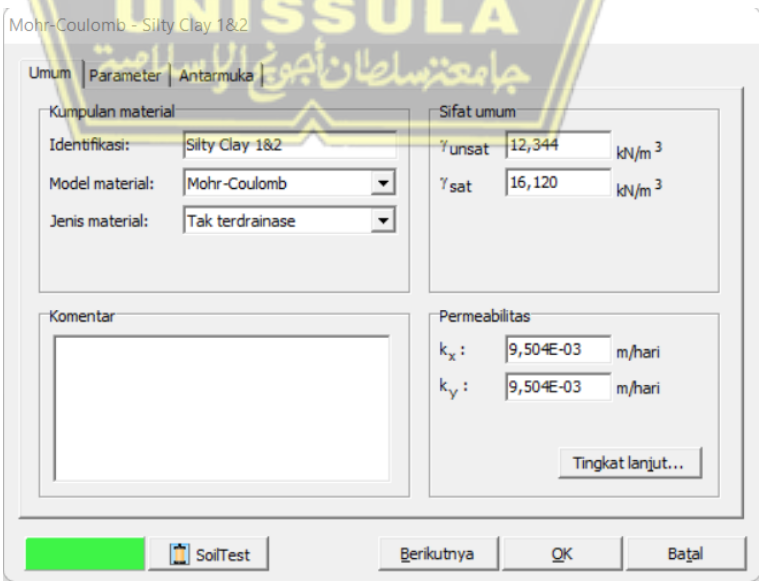
Gambar 4.26 *General Setting*

3. Kemudian pada tahap selanjutnya klik untuk mengatur pemodelan kontur, terdapat pada Gambar 4.27

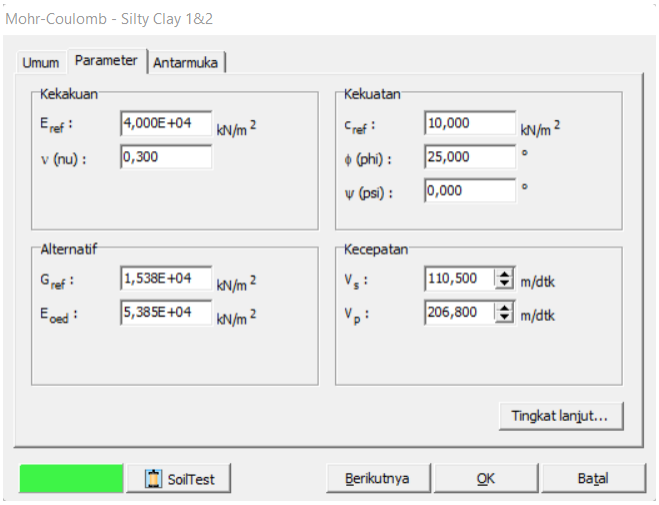


Gambar 4.27 Pemodelan Kontur Tanah

4. Klik untuk menentukan material tanah, terdapat pada Gambar 4.28 hingga Gambar 4.30



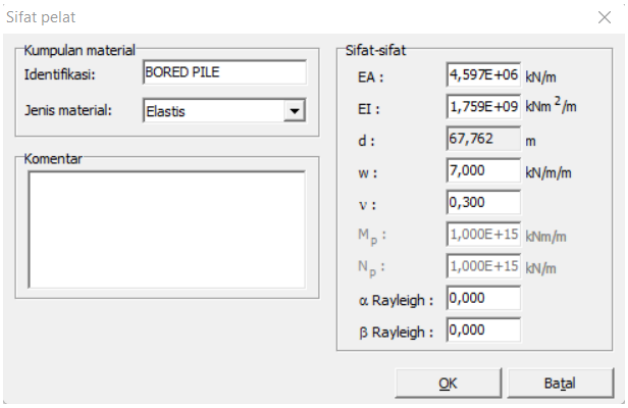
Gambar 4.28 Data Umum



4.29 *Mohr Coloumb*

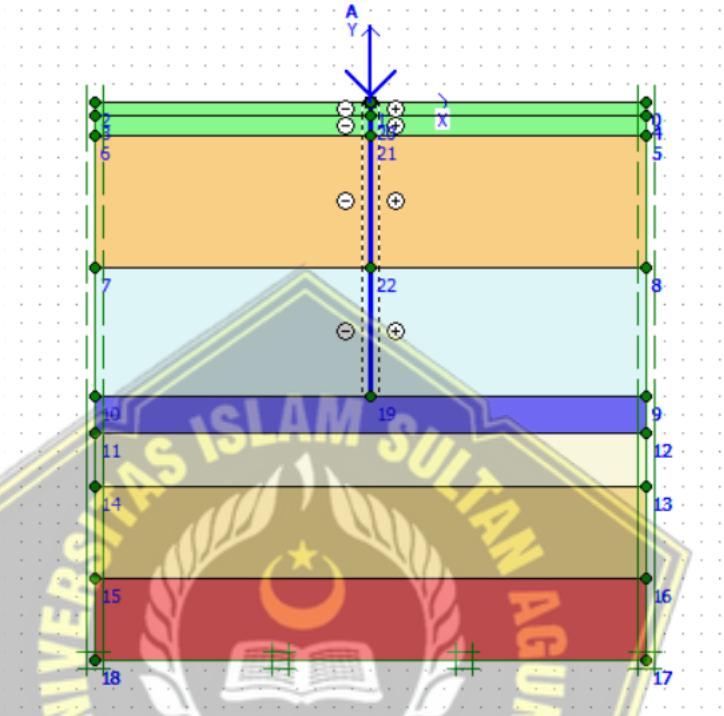
Gambar 4.30 *Mohr Coloumb*

5. Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan, sesuai Gambar 4.31



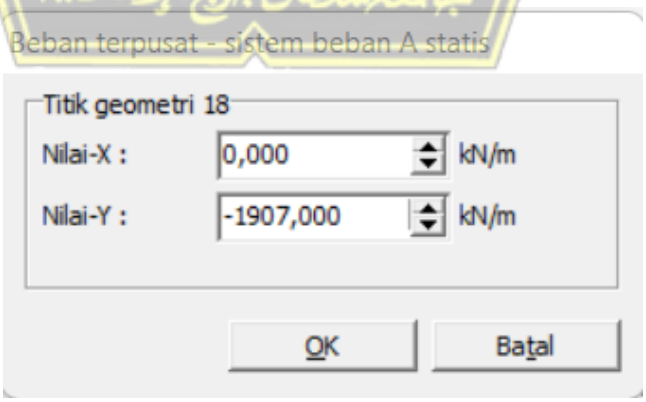
Gambar 4.31 Data Material Fondasi

6. Kemudian klik untuk menentukan fondasi *bored pile* yang sudah ditentukan. Setelah itu klik untuk mengaktifkan tekanan positif dan negatif didaerah sekeliling fondasi, terdapat di Gambar 4.32



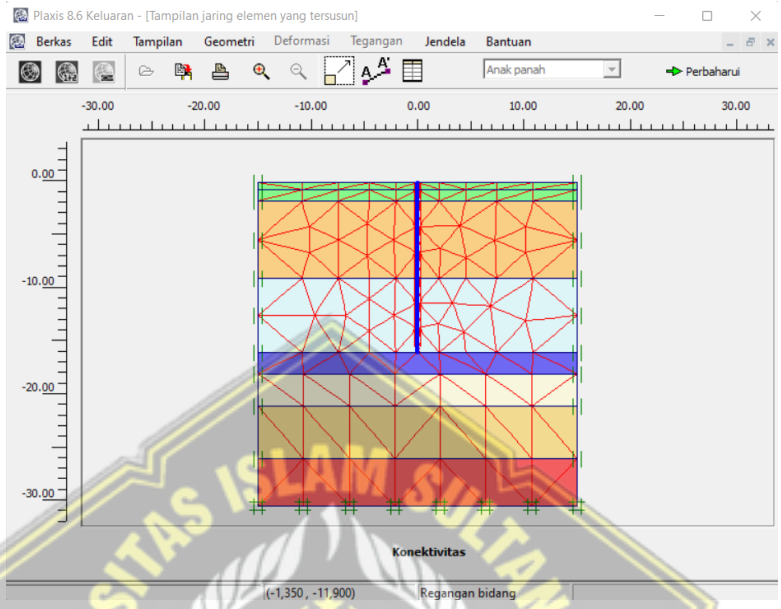
Gambar 4.32 Pemodelan

7. Lalu tekan untuk mengisi beban dari beban bangunan, beban yang di gunakan sebesar 1907 kN/m2 , terdapay di Gambar 4.33

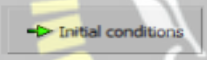


Gambar 4.33 Input Pembebanan

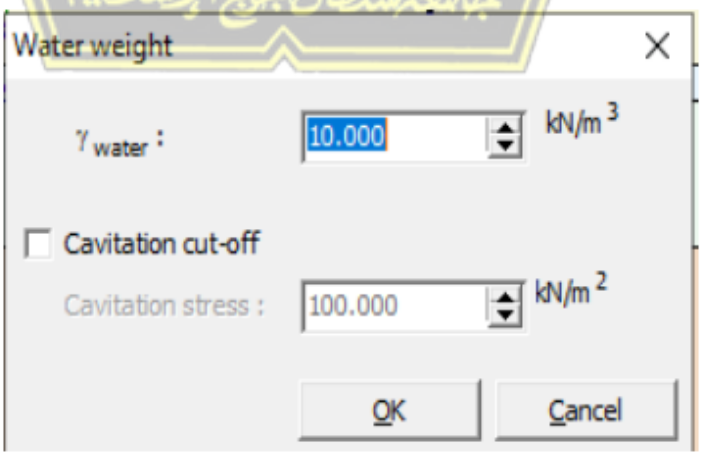
8. Klik untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen, sesuai pada Gambar 4.34



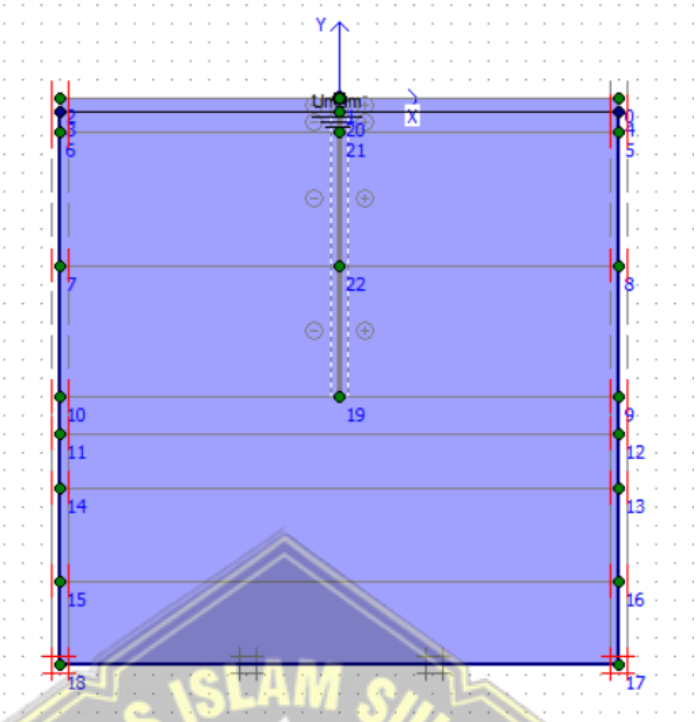
Gambar 4.34 Susunan Jaringan Elemen

9. Lalu klik 

yang ada di toolbar, kemudian klik untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 8 meter di bawah tanah, terdapat di Gambar 4.35 hingga Gambar 4.36

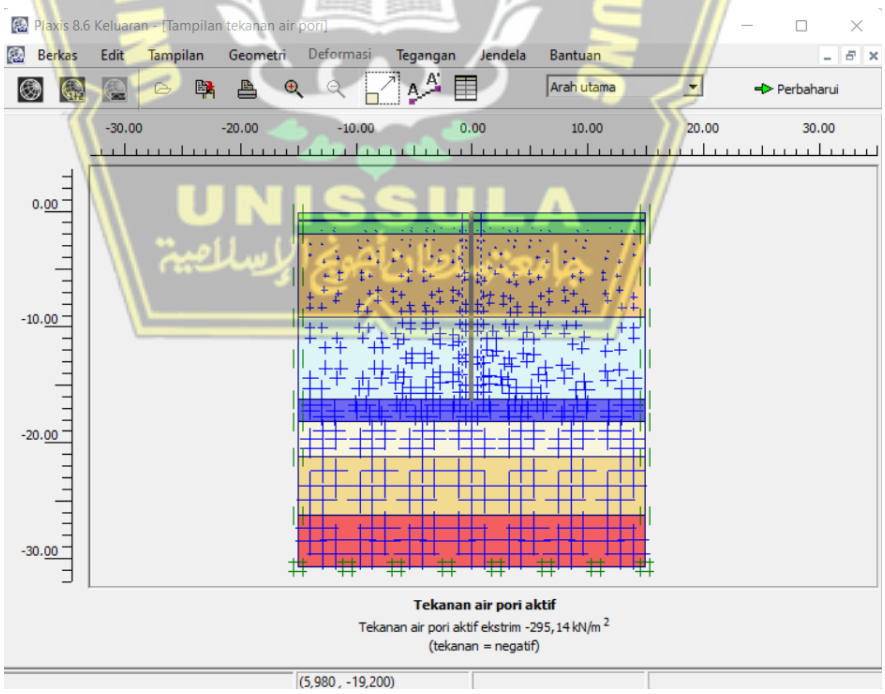


Gambar 4.35 *Water Weight*



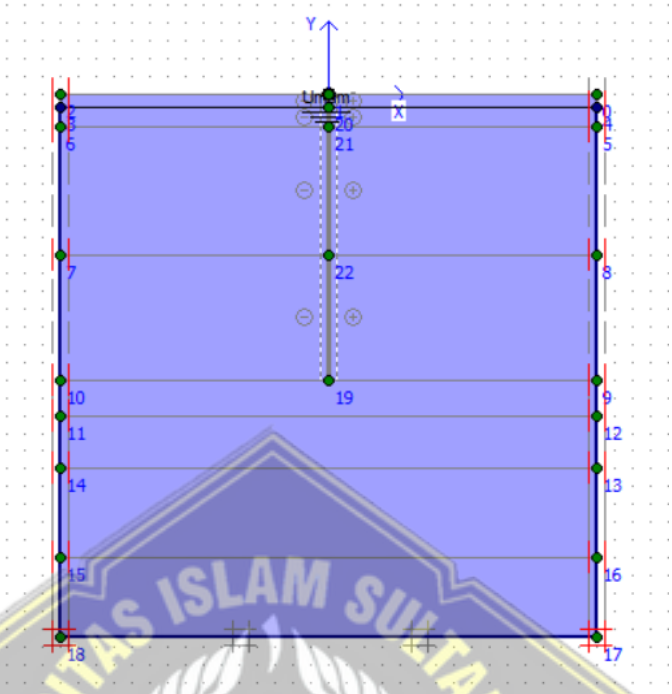
Gambar 4.36 Muka Air Tanah

10. Kemudian klik sesuai pada Gambar 4.37



Gambar 4.37 *Output Soil Stressess*

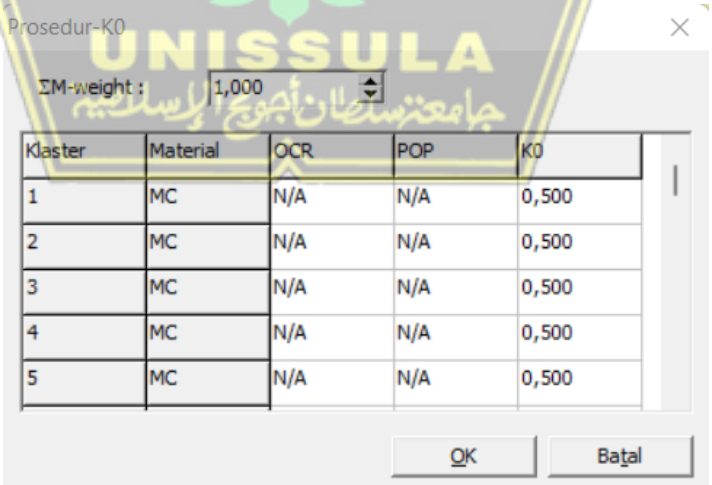
11. Klik dan didapatkan sesuai Gambar 4.38



Gambar 4.38 Tekanan Air Pori

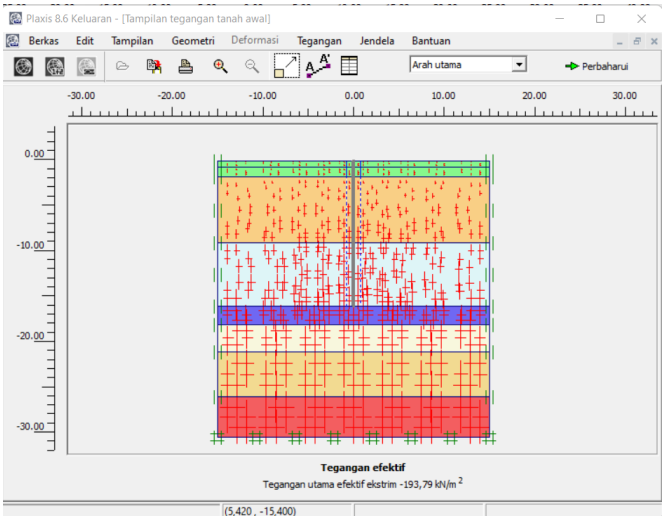
12. Kemudian klik lalu akan muncul prosedur – K0 sesuai Gambar 4.39. Tekan tombol

untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunkan software *PLAXIS V 8.6*, dapat dilihata di Gambar 4.40



Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,500
2	MC	N/A	N/A	0,500
3	MC	N/A	N/A	0,500
4	MC	N/A	N/A	0,500
5	MC	N/A	N/A	0,500

Gambar 4.39 Prosedur K0



Gambar 4.40 Tekanan Efektif Tanah

13. Sesudah permodelan serta menginput parameternya selesai, lalu melakukan perhitungan diantaranya analisis konsolidasi satu tahun dan sepuluh tahun. Dengan mengaktifkan fondasi dan beban setelah itu menghitung konsolidasi yang terjadi. Deformasi yang terjadi bisa dilihat seperti pada gambar 4.41 dan untuk besar konsolidasi pada table 4.15.

Gambar 4.41 Deformasi Yang Terjadi

Tabel 4.14 Konsolidasi

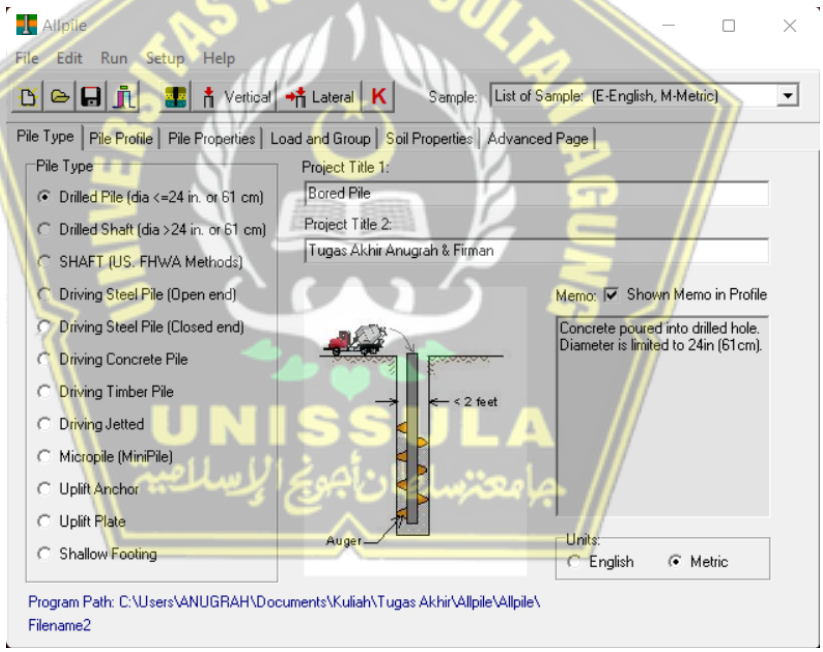
Tahapan	Hari	Displacement (mm)
Tahap 1 (Konsolidasi)	365	-2,47
Tahap 2 (Konsolidasi)	3650	-2.47

4.10. Analisa Pemodelan Fondasi dengan Program *Allpile*

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

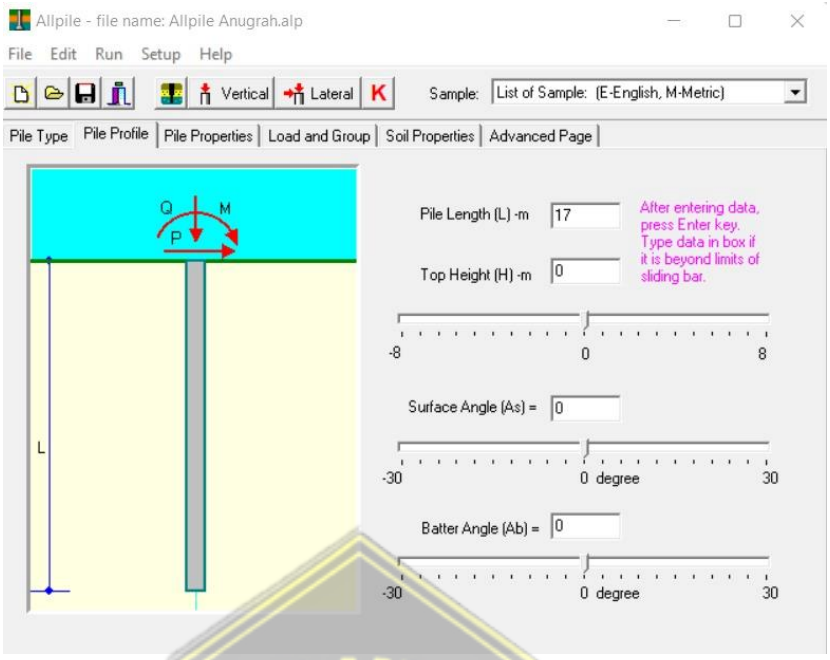
Berikut tahapan yang dilakukan dalam menganalisa pemodelan menggunakan program *Allpile* :

1. Menentukan menu *pile type* atau tipe fondasi yang akan dipakai dan mengisikan judul nama pada kolom *project title* yang dapat dilihat pada Gambar 4.42.



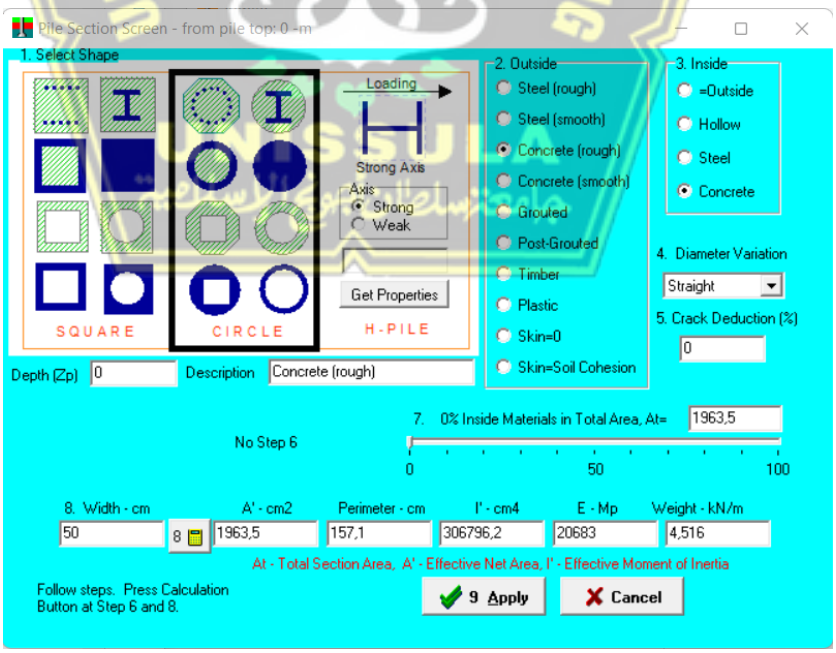
Gambar 4.42 *Pile Type*

2. Menentukan *pile profile* atau profil tiang yang diisi menyesuaikan dengan rencana tiang yang akan di input seperti kedalaman atau panjang tiang. Pada analisa pemodelan ini menggunakan tiang *bored pile* dengan panjang tiang 17 meter seperti pada Gambar 4.43.



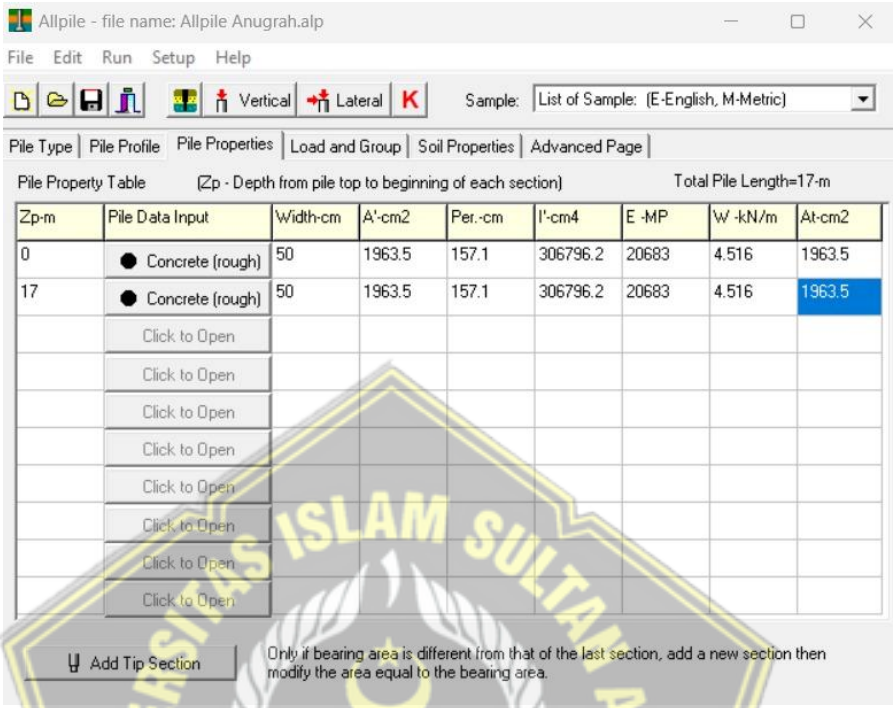
Gambar 4.43 *Pile Profil*

3. Menentukan *pile properties* atau menu properti tiang fondasi, yang dilakukan dengan mengisi data *pile properties* yang akan digunakan seperti : bentuk, material yang digunakan, tulangan, diameter, dan kendala pada fondasi seperti pada Gambar 4.44.



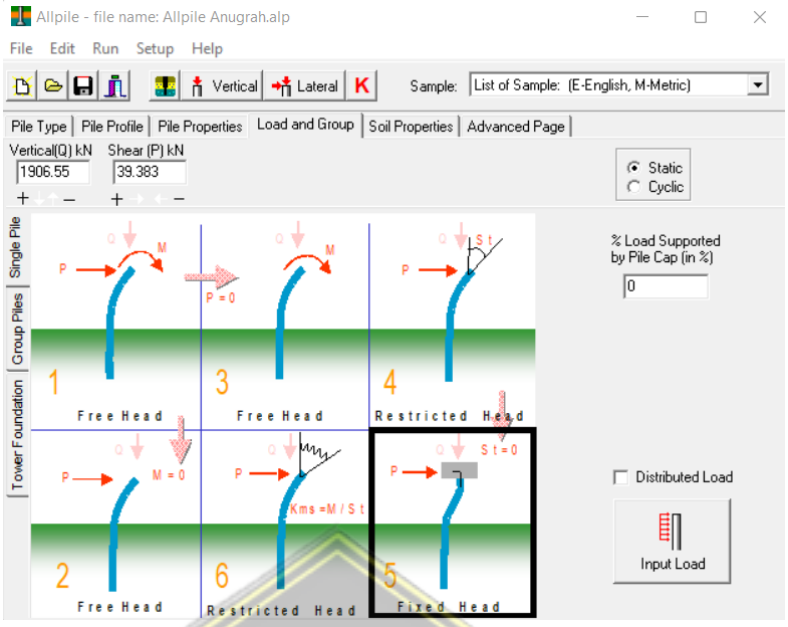
Gambar 4.44 *Menu Pile Properties*

Pada kedalaman lapisan fondasi sendiri yaitu 17 meter untuk kedalaman tanah serta karakteristik tiang menyesuaikan kondisi yang terdapat di lapangan seperti pada Gambar 4.45.



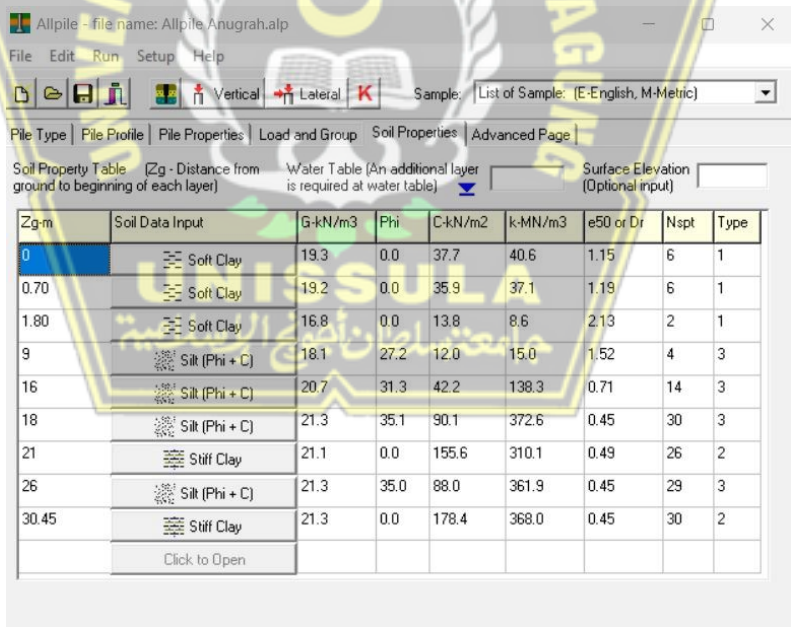
Gambar 4.45 *Setting* Kedalaman Fondasi

4. *Load and Group* merupakan cara memasukan pembebanan yang akan di lakukan pada tipe fondasi yang akan direncanakan dengan menginput nilai beban sesuai dengan hasil program SAP2000 V.23 yang didapat dengan beban *vertikal* maupun *horizontal* sebesar 1906,55 kN dan 38,383 kN seperti pada Gambar 4.46.



Gambar 4.46 *Load and Group*

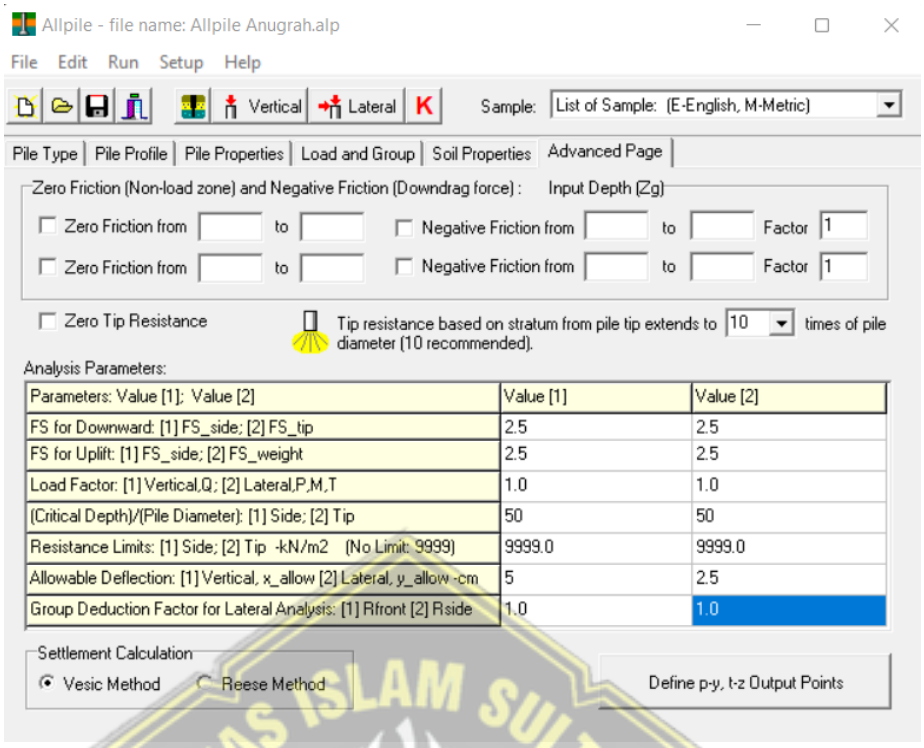
5. Selanjutnya, menginput data tanah yang telah didapat dan sesuai pada lokasi dalam *Soil Properties* seperti pada Gambar 4.47.



Zg-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	19.3	0.0	37.7	40.6	1.15	6	1
0.70	Soft Clay	19.2	0.0	35.9	37.1	1.19	6	1
1.80	Soft Clay	16.8	0.0	13.8	8.6	2.13	2	1
9	Silt (Phi + C)	18.1	27.2	12.0	15.0	1.52	4	3
16	Silt (Phi + C)	20.7	31.3	42.2	138.3	0.71	14	3
18	Silt (Phi + C)	21.3	35.1	90.1	372.6	0.45	30	3
21	Stiff Clay	21.1	0.0	155.6	310.1	0.49	26	2
26	Silt (Phi + C)	21.3	35.0	88.0	361.9	0.45	29	3
30.45	Stiff Clay	21.3	0.0	178.4	368.0	0.45	30	2
	Click to Open							

Gambar 4.47 *Soil Properties*

6. *Advenced Page* ini dengan mengisi faktor keamanan dan batas-batas keamanan yang direncanakan seperti pada Gambar 4.48.

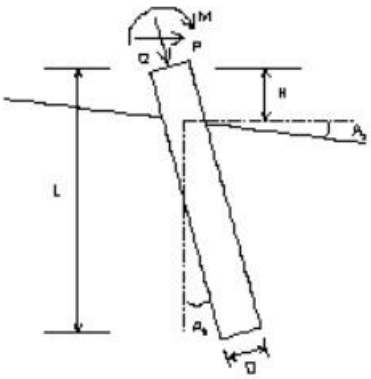


Gambar 4.48 *Advanced Page*

7. Setelah semua data selesai dimasukkan dalam program, selanjutnya jalankan program atau klik *Run program* dengan menekan tombol F5 agar program melakukan analisa serta memberikan hasil *output* analisa *vertical* dan *lateral* seperti pada Gambar 4.49

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1,0
Load Factor for Lateral Loads= 1,0
Loads Supported byPile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 476,1 -kN
Shear Load, P= 0,0 -kN
Slope Restain St= 0,00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 17,0 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	19.3	0.0	37.7	40.6	1.15	6
0.70	19.2	0.0	35.9	37.1	1.19	6
1.80	16.8	0.0	13.8	8.6	2.13	2
9	18.1	27.2	12.0	15.0	1.52	4
16	20.7	31.3	42.2	138.3	0.71	14
18	21.3	35.1	90.1	372.6	0.45	30
21	21.1	0.0	155.6	310.1	0.49	25
26	21.3	35.0	88.0	361.9	0.45	29
30.45	21.3	0.0	178.4	368.0	0.45	30

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0,0	50	1963.5	157.1	306796.2	20683	4.516
17,0	50	1963.5	157.1	306796.2	20683	4.516

Vertical capacity
Weight above Ground= 0,00 Total Weight= 76,77-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 457,603-kN Side Resistance (Up)= 457,601-kN
Tip Resistance (Down)= 573,218-kN Tip Resistance (Up)= 0,000-kN
Total Ultimate Capacity(Down)= 1030,821-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 534,373-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 412,328-kN Total Allowable Capacity(Up)= 213,749-kN
N/G! Qallow < Q

Settlement Calculation:
At Q= 476,08-kN Settlement= 0,22745-cm
At Xallow= 5,00-cm Qallow= 1020,69214-kN

Note: If program can't find result or the result exceeds the up limits. The result shows 9999.

Gambar 4.49 Hasil Analisis *Vertikal Allpile*

Dari hasil analisis *vertikal* pada *Allpile*, dengan beban maksimum struktur atas sebesar P = 1906,6 kN dihasilkan kapasitas dukung ultimit tiang fondasi *bored pile* yaitu sebesar Qu = 1030,821 kN dan kapasitas dukung ijin tiang tunggal fondasi *bored pile* yaitu sebesar Qall = 412,328 kN. Sehingga diketahui fondasi *bored pile* tersebut mampu untuk menahan beban dari output struktur atas yang dipikul dan dinyatakan memenuhi syarat **AMAN**, karena nilai kapasitas dukung ultimit fondasi lebih besar dari beban maksimum struktur atas yang bekerja.

Tabel 4.15 Hasil Daya Dukung Aksial dengan Manual dan Program

No.	Perhitungan Daya Dukung Aksial	Qu (kN)	Qall (kN)
1.	*Metode Aoki de Alencer*	584,519	233,807
2.	*Tomlinson*	908,049	363,220
2.	*Metode Reese and Wright*	2412,043	804,014
3.	*Metode Mayerhoff*	2412,043	804,014
4.	*Program Allpile*	1030,821	412,328

Dari hasil analisis *vertikal* pada *Allpile*, dapat diketahui juga hasil total penurunan atau *settlement* yang terjadi pada tiang fondasi *bored pile* tunggal yaitu sebesar 2,27 mm dengan batas total penurunan yang terjadi sebesar 50 mm. Sehingga dinyatakan bahwa total penurunan yang terjadi memenuhi syarat **AMAN**, karena hasil total penurunan tidak melebihi batas total penurunan yang diijinkan.

Table 4.16 Hasil Total Penurunan Tiang Tunggal dengan Manual dan program

No.	Perhitungan Daya Dukung Aksial	Se (mm)	Sijin (mm)
1.	Manual	3,40	50
2.	Program *Allpile*	2,27	50
3.	Program *Plaxis*	2,47	50

4.11. Penurunan Elastis Dari Tiang Kelompok Menggunakan Metode *Vesic* (1977)

Untuk mencari penurunan fondasi tiang kelompok dapat menggunakan metode *Vesic*. Berikut adalah Persamaan (2.31) metode *Vesic*.

Sg = Se x $\sqrt{\frac{Bg}{D}}$

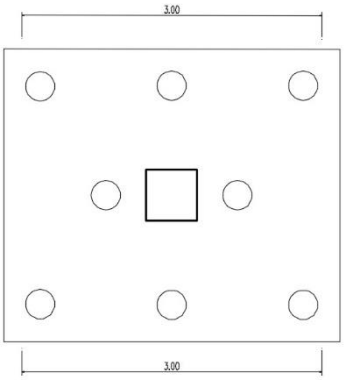
- Fondasi P8

  Diketahui :

  Se = 0,00340 m

  Bg = 3,0 m

  D = 0,5 m



Sg = Se x $\sqrt{\frac{Bg}{D}}$

= 0,00340 x $\sqrt{\frac{3,0}{0,5}}$

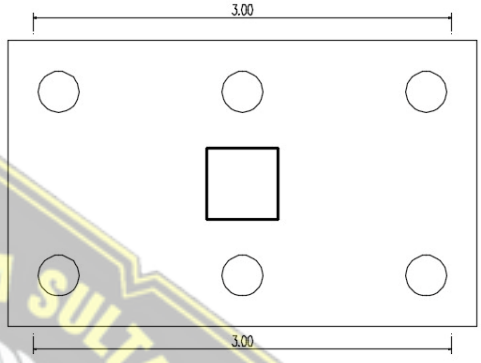
= 0,00833 m

= 8,33 mm

Penurunan fondasi P8 sebesar 8,33 mm. syarat yang diijinkan Sg<Sijin yaitu 8,33 mm < 50mm maka aman (OKE)

- Fondasi P6-C

Diketahui :



Se = 0,00340 m

Bg = 3,0 m

D = 0,5 m

Sg = Se x $\sqrt{\frac{Bg}{D}}$

= 0,00340 x $\sqrt{\frac{3,0}{0,5}}$

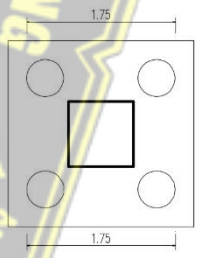
= 0,00833 m

= 8,33 mm

Penurunan fondasi P6-C sebesar 8,33 mm. syarat yang diijinkan Sg<Sijin yaitu 8,33 mm < 50 mm maka aman (OKE)

- Fondasi P4-A

Diketahui :



Se = 0,00340 m

Bg = 1,75 m

D = 0,5 m

Sg = Se x $\sqrt{\frac{Bg}{D}}$

= 0,00340 x $\sqrt{\frac{1,75}{0,5}}$

= 0,00636 m

= 6,36 mm

Penurunan fondasi P4-A sebesar 6,36 mm. syarat yang diijinkan Sg<Sijin yaitu 6,36 mm < 50 mm maka aman (OKE)

4.11. Perhitungan *Pile Cap*

- ***Pile cap* P8**

1. **Geser Satu Arah**

Arah X

P = 717,510 ton

bX = 3500 mm

= 3,5 m

bY = 2980 mm

= 2,98 m

A = bX x bY

= 3,5 x 2,98

= 10,43 m^2

Selimut = 75 mm

Fc' = 29,15 Mpa

Kolom = 700 x 700 mm

Tebal = 1500 mm

σ = P/A

= 717,510 / 10,43

= 68,793 ton/m^2

d = asumsi tebal – selimut beton

= 1200 – 75

= 1125 mm

G' = bX - $(\frac{bX}{2} + \frac{lebar\ kolom}{2} + d)$

= 3500 - $(\frac{3500}{2} + \frac{700}{2} + 1125)$

= 275 mm

= 0,275 m

Vu = σ x bX x G' (satuan meter)

= 68,793 x 3500 x 0,275

= 66,213 ton

φVc = 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{fc'}$ x bX x d

= 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{29,15}$ x 3500 x 1125

= 2657356,732 N

= 266,695 ton

φVc > Vu = 266,695 > 66,213 (OKE)

Arah Y

P = 717,51 ton

bX = 3500 mm

= 3,5 m

bY = 2980 mm

= 2,98 m

A = bX x bY

= 3,5 x 2,98

= 10,43 m^2

Selimut = 75 mm

Fc' = 29,15 Mpa

Kolom = 700 x 700 cm

Tebal = 1500 mm

σ = P/A

= 717,51 / 10,43

= 68,793 ton/ m^2

d = asumsi tebal – selimut beton

= 1200 – 75

= 1125 mm

G' = bY - $(\frac{bY}{2} + \frac{lebar\ kolom}{2} + d)$

= 2980 - $(\frac{2980}{2} + \frac{700}{2} + 1125)$

= 15 mm

Vu = σ x bY x G' (satuan meter)

= 68,793 x 2,98 x 0,015

= 3,075 ton

φVc = 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{fc'}$ x bY x d

= 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{29,15}$ x 2980 x 1125

= 2262549,446 N

= 227,072 ton

φVc > Vu = 227,072 > 3,075 (OKE)

2. Geser Dua Arah

Arah X

bX = 3500 mm

= 3,5 m

d = 1125 mm

as = karena letak kolom ditengah *pile cap*, maka nilainya 40

βc = Panjang kolom X/Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

cX_{kolom} = 700 mm

B' = cX + d

= 700 + 1125

= 1825 mm

= 1,825 m

bo = 4 x B'

= 4 x 1,825

= 7300 mm

Vc1 $= (1 + \frac{2}{\beta c}) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{6}$

$= (1 + \frac{2}{1}) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{6}$

= 22169947,59 N

= 2225,001 ton

Vc2 $= (\frac{as\ .\ d}{bo} + 2) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{12}$

$= (\frac{40\ .\ 1125}{7300} + 2) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{12}$

= 30167325,95 N

= 3027,627 ton

Vc3 $= \frac{1}{3}$ x λ x $\sqrt{fc'}$ x bo x d

$= \frac{1}{3}$x 1 x $\sqrt{29,15}$ x 7300 x 1125

= 14779965,06 N

= 1483,334 ton

Vc diambil yang paling kecil, maka dipakai Vc3= 1483,334 ton

Vu = σ x (bX^2 – B'^2) (satuan meter)

= 68,793 x ($3,5^2$ – $1,825^2$)

= 613,590 ton

φVc = 0,75 x Vc pakai

= 0,75 x 1483,334

= 1112,501 ton

φVc > Vu = 1112,501 ton > 613,590 ton (AMAN)

Arah Y

bY = 2980

d = 1125

as = karena letak kolom ditengah *pile cap*, maka nilainya 40

βc = Panjang kolom X/Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

cY_{kolom} = 700 mm

B' = cY + d

= 700 + 1125

= 1825 mm

= 1,825 m

bo = 4 x B'

= 4 x 1825

= 7300 mm

Vc1 = $(1 + \frac{2}{\beta c})\ \frac{\sqrt{fc'}\text{ x bo x d}}{6}$

= $(1 + \frac{2}{1})\ \frac{\sqrt{29,15}\text{ x 7300 x 1125}}{6}$

= 22169947,59 N

= 2225,001 ton

Vc2 = $(\frac{as\ .\ d}{bo} + 2)\ \frac{\sqrt{fc'}\text{ x bo x d}}{12}$

$= (\frac{40 \,.\, 1425}{7300} + 2)\ \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{12}$

= 30167325,95 N

= 3027,627 ton

Vc3 $= \frac{1}{3}$ x λ x $\sqrt{fc'}$ x bo x d

$= \frac{1}{3}$x 1 x $\sqrt{29,15}$ x 7300 x 1125

= 14779965,06 N

= 1483,334 ton

Vc diambil yang paling kecil, maka dipakai Vc3= 1483,334 ton

Vu = σ x ($bY^2 – B'^2$) (satuan meter)

= 84,528 x ($2,98^2 – 1,825^2$)

= 381,785 ton

φVc = 0,75 x Vc pakai

= 0,75 x 1483,334

= 1112,501 ton

φVc > Vu = 1112,501 ton > 381,785 ton (AMAN)

3. Perhitungan Tulangan Lentur

Arah X

Lebar penampang kritis

P = 717,51 ton

n_s = 8 tiang

s = 1250 mm

= 1,25 m

ø = memiliki nilai 0,9

bX = 3500 mm

= 3,5 m

d = 1125 mm

cX_{kolom} = 700 mm

fc' = 29,15 Mpa

fy = 390 Mpa

Es = 200000

β1 = 0,85

εc = 0,003

tebal = 1200

B = $\frac{bX}{2}$ - $\frac{cX}{2}$

= $\frac{3500}{2}$ - $\frac{700}{2}$

= 1400 mm

= 1,4 m

q' = γ beton x bX x tebal *pile cap* (satuan meter)

= 2400 x 3,5 x 1,2

= 10080 kg/m^2

Mu_1 = 2 x ($\frac{P}{ns}$ x s) – 0,5 x q' x B^2 (satuan dijadikan kg/m)

= 2 x ($\frac{717510}{8}$ x 1,25) – 0,5 x 10080 x 1,4^2

= 214343,475 Kgm

= 2101,991 kNm

Rn = $\frac{\text{Mu1 x 1000000}}{\text{ø x bX x d}^2}$

= $\frac{2101{,}991 \text{ x } 1000000}{0{,}9 \text{ x } 3500 \text{ x } 1125^2}$

= 0,527

ρperlu = [1-$\sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0{,}85\ x\ fc\prime}}$] $\frac{0{,}85\ x\ fc\prime}{fy}$

= [1-$\sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}527}{0{,}85\ x\ 29{,}15}}$] $\frac{0{,}85\ x\ 29{,}15}{390}$

= 0,001367

As perlu = ρ x bX x d

= 0,001367 x 3500 x 1125

= 5381,057 mm^2

As min = 0,0018 x bX x d

= 0,0018 x 3500 x 1125

= 7087,5 mm^2

As diambil yang paling besar, maka diambil As min = 7087,5 mm^2

- **Penulangan Tarik P8**

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

Missal pakai D25-100, maka = 3500/100

= 35 = 35 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 36 tulangan

As tulangan = ¼ x π x Dtulangan^2 x jumlah Tulangan

= ¼ x 3,14 x 25^2 x 36

= 17662,5 mm^2

As tulangan > As yang diambil = 17662,5 > 7087,5 (OKE)

Jadi digunakan tulangan 36 D25 dengan jarak 100 mm.

Cek control :

ΣH = 0

Cc = Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a $= \frac{(As\ yang\ diambil\ x\ fy)}{0{,}85\ x\ fc'\ x\ bX}$

$= \frac{(7087{,}5\ \ x\ 390)}{0{,}85\ x\ 29{,}15 x\ 4600}$

= 31,874 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{31{,}874}{0{,}85}$

= 37,498 mm

εs $= \frac{d-c}{c\ x\ \varepsilon c}$

$= \frac{1125-37{,}498}{37{,}498\ \ x\ 0{,}003}$

= 0,087

Fy/Es $= \frac{390}{200000}$

= 0,00195

εs > fy/Es yaitu 0,087 > 0,00195 (OKE)

εs > 0,005, maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,9 x fc' x a x bX x (d-a/2)

= 0,9 x 29150 x 0,032 x 3,5 x (1,125 – 0,032/2)

= 3065,589 kNm

Mu_2 = ø x Mn

= 0,85 x 3065,589

= 2759,03 kNm

$Mu_1 < Mu_2$ yaitu 2101,991 < 2759,03 (OKE)

- **Penulangan Desak P8**

Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

Missal dipakai D16-200

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

= 3500/200

= 17,5 = 18 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 19 tulangan

As tulangan = ¼ x π x D tulangan^2 x jumlah tulangan

= ¼ x 3,14 x 16^2 x 19

= 381824 m^2

= 3818,24 mm^2

Nilai 20% = 20% x tulangan Tarik

= 20/100 x 17662,5

= 3532,5 mm^2

Tulangan desak > 20% tulangan tarik, 3818,24 > 3532,5 (OKE).

Jadi digunakan tulangan 19 D16 dengan jarak 200 mm.

Arah Y

Lebar penampang kritis

P = 717,51 ton

n_s = 8 tiang

s = 1250 mm

= 1,25 m

ø = 0,9

bY = 2980 mm

= 2,98 m

d = 1125 mm

cY_{kolom} = 700 mm

fc’ = 29,15 Mpa

fy = 390 Mpa

Es = 200000

β1 = 0,85

εc = 0,003

tebal = 1200 mm

= 1,2 m

B $= \frac{bY}{2} - \frac{cY}{2}$

$= \frac{2980}{2} - \frac{700}{2}$

= 1140 mm

q’ = γ beton x bY x tebal *pile cap* (satuan meter)

= 2400 x 2980 x 1200

= 8582,4 kg/m^2

Mu_1 = 2 x (P/ns x s) – 0,5 x q’ B^2 (satuan dijadikan kg/m)

= 2 x (717,510/8 x 1,25) – 0,5 x 8582,4 x 1,14^2

= 218645,0315 Kgm

= 2144,175 kNm

Rn $= \frac{\text{Mu1 x 1000000}}{\text{ø x bY x d}^2}$

$= \frac{2144,175 \text{ x } 1000000}{0,9 \text{ x } 2980 \text{ x } 1125^2}$

= 0,632

ρperlu $= [1-\sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ x\ fc'}}]\ \frac{0,85\ x\ fc'}{fy}$

$= [1-\sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,632}{0,85\ x\ 29,15}}]\ \frac{0,85\ x\ 29,15}{390}$

= 0,001641

As perlu = ρ x bY x d

= 0,001641 x 2980 x 1125

= 5501,050 mm^2

As min = 0,0018 x bY x d

= 0,0018 x 2980 x 1125

= 6034,5 mm^2

As diambil yang paling besar, maka diambil As min = 6034,5 mm^2

- **Penulangan Tarik P8**

Jumlah tulangan = bY / jarak antar tulangan

Missal pakai D25-100, maka = 2980/100

= 29,8 = 30 + 1 (karena ada Tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 31 tulangan

As tulangan = ¼ x π x Dtulangan^2 x jumlah tulangan

= ¼ x 3,14 x 25^2 x 31

= 1520937,5 m^2

= 15209,375 mm^2

As tulangan > As yang diambil = 15209,375 > 6034,5 (OKE)

Jadi digunakan tulangan 31 D25 dengan jarak 100 mm.

Cek control :

ΣH = 0

Cc = Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a $= \frac{(As\ yang\ diambil\ x\ fy)}{0{,}85\ x\ fc'\ x\ bY}$

$= \frac{(6034\ x\ 390)}{0{,}85\ x\ 29{,}15 x\ 2980}$

= 31,874 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{31{,}874}{0{,}85}$

= 37,498 mm

εs $= \frac{d-c}{c\ x\ \varepsilon c}$

$= \frac{1425-37{,}498}{37{,}498\ x\ 0{,}003}$

= 0,087

Fy/Es $= \frac{390}{200000}$

= 0,00195

εs > fy/Es yaitu 0,087 > 0,00195 (OKE)

εs > 0,005, maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,85 x fc' x a x bY x (d-a/2)

= 0,85 x 29150 x 0,032 x 2,98 x (1,125-0,032/2)

= 2610,130 kNm

Mu_2 = ø x Mn

= 0,9 x 2610,130

= 2349,117

Mu_1 < Mu_2 yaitu 2144,175 < 2349,117 (OKE)

- **Penulangan Desak P8**

Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

Missal dipakai D16-200

Jumlah tulangan = bY / jarak antar tulangan

= 2980/200

= 14,9 = 15 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan Pada ujungnya)

= 16 tulangan

As tulangan = ¼ x π x D tulangan^2 x jumlah tulangan

= ¼ x 3,14 x 16^2 x 16

= 849056 m^2

= 8490,56 mm^2

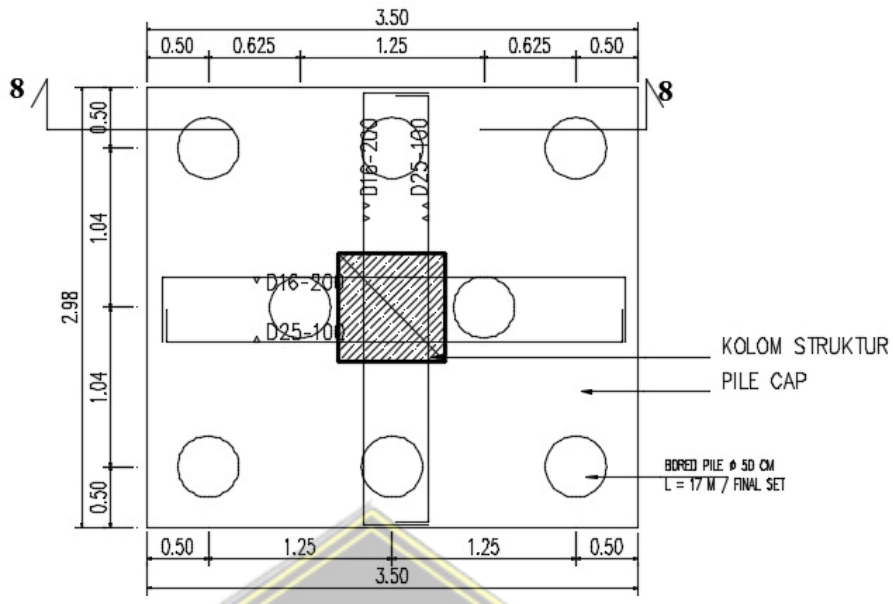
Nilai 20% = 20% x tulangan Tarik

= 20/100 x 15209,375

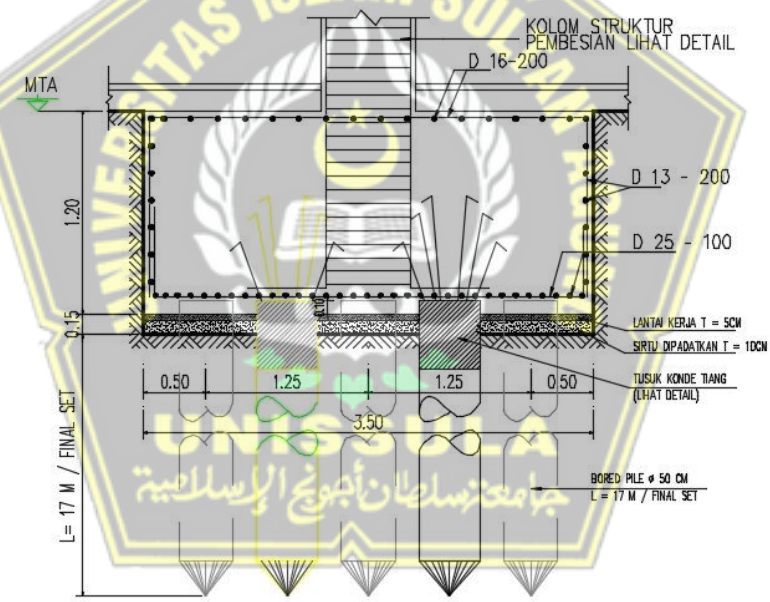
= 3041,875 mm^2

Tulangan desak > 20% tulangan tarik, 8490,56 > 3041,875 (OKE).

Jadi digunakan tulangan 16 D16 dengan jarak 200 mm.



Gambar 4.50 Detail *Pile Cap* P8



Gambar 4.51 Potongan *Pile Cap* P8

- ***Pile cap* P6-C**

1. Geser Satu Arah

Arah X

P = 476,060 ton

bX = 3500 mm

= 3,5 m

bY = 2250 mm

= 2,25 m

A = bX x bY

= 3,5 x 2,25

= 7,875 m^2

Selimut = 75 mm

Fc' = 29,15 Mpa

Kolom = 700 x 700 mm

Tebal = 1200 mm

σ = P/A

= 476,060 / 7,875

= 60,452 ton/m^2

d = asumsi tebal – selimut beton

= 1200 – 75

= 1125 mm

G' = bX - $(\frac{bX}{2} + \frac{lebar\ kolom}{2} + d)$

= 3500 - $(\frac{3500}{2} + \frac{700}{2} + 1125)$

= 275 mm

= 0,275 m

Vu = σ x bX x G' (satuan meter)

= 60,452 x 3500 x 0,275

= 58,185 ton

φVc = 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{fc'}$ x bX x d

= 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{29,15}$ x 3500 x 1125

= 2657356,732 N

= 266,695 ton

φVc > Vu = 266,695 ton > 58,185 ton (OKE)

Arah Y

P = 476,06 ton

bX = 3500 mm

= 3,5 m

bY = 2250 mm

= 2,25 m

A = bX x bY

= 3,5 x 2,25

= 7,875 m^2

Selimut = 75 mm

Fc' = 29,15 Mpa

Kolom = 700 x 700 cm

Tebal = 1200 mm

σ = P/A

= 476,06 / 7,875

= 60,452 ton/ m^2

d = asumsi tebal – selimut beton

= 1200 – 75

= 1125 mm

G' = bY - $(\frac{bY}{2} + \frac{lebar\ kolom}{2} + d)$

= 2800 - $(\frac{2200}{2} + \frac{700}{2} + 1125)$

= 350 mm

Vu = σ x bY x G' (satuan meter)

= 60,452 x 2,25 x 350

= 47,606 ton

φVc = 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{fc'}$ x bY x d

= 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{29,15}$ x 2250 x 1125

= 1708300,756 N

= 171,447 ton

φVc > Vu = 171,447 ton > 47,606 ton (OKE)

2. Geser Dua Arah

Arah X

bX = 3500 mm

= 3,5 m

d = 1125 mm

as = karena letak kolom ditengah *pile cap*, maka nilainya 40

βc = Panjang kolom X/Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

cX_{kolom} = 700 mm

B' = cX + d

= 700 + 1125

= 1825 mm

= 1,825 m

bo = 4 x B'

= 4 x 1825

= 7300 mm

Vc1 $= (1 + \frac{2}{\beta c}) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{6}$

$= (1 + \frac{2}{1}) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{6}$

= 22169947,59 N

= 2225,001 ton

Vc2 $= (\frac{as \,.\, d}{bo} + 2) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{12}$

$= (\frac{40 \,.\, 1125}{7300} + 2) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{12}$

= 30267325,95 N

= 3027,627 ton

Vc3 $= \frac{1}{3}$ x λ x $\sqrt{fc'}$ x bo x d

$= \frac{1}{3}$x 1 x $\sqrt{29,15}$ x 7300 x 1125

= 14779965,06 N

= 1483,334 ton

Vc diambil yang paling kecil, maka dipakai Vc3 = 1483,334 ton

Vu = σ x (bX^2 – B'^2) (satuan meter)

= 60,452 x ($3,5^2 - 1,825^2$)

= 539,295 ton

φVc = 0,75 x Vc pakai

= 0,75 x 1483,334

= 1112,501 ton

φVc > Vu = 1112,501 ton > 539,295 ton (AMAN)

Arah Y

bY = 2250

d = 1125

as = karena letak kolom ditengah *pile cap*, maka nilainya 40

βc = Panjang kolom X/Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

cY_{kolom} = 700 mm

B' = cY + d

= 700 + 1125

= 1825 mm

= 1,825 m

bo = 4 x B'

= 4 x 1825

= 7300 mm

Vc1 $= (1 + \frac{2}{\beta c}) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{6}$

$= (1 + \frac{2}{1}) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{6}$

= 22169947,59 N

= 2225,001 ton

Vc2 $= (\frac{as \,.\, d}{bo} + 2) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{12}$

$= (\frac{40 \,.\, 1125}{7300} + 2) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{12}$

= 30167325,95 N

= 3027,627 ton

Vc3 $= \frac{1}{3}$ x λ x $\sqrt{fc'}$ x bo x d

$= \frac{1}{3}$x 1 x $\sqrt{29,15}$ x 7300 x 1125

= 14779965,06 N

= 1483,334 ton

Vc diambil yang paling kecil, maka dipakai Vc3 = 1483,334 ton

Vu = σ x (bY^2 – B'^2) (satuan meter)

= 60,452 x ($2,25^2$ – $1,825^2$)

= 104,695 ton

φVc = 0,75 x Vc pakai

= 0,75 x 1483,334

= 1112,501 ton

φVc > Vu = 1112,501 ton > 104,695 ton (AMAN)

3. Perhitungan Tulangan Lentur

Arah X

Lebar penampang kritis

P = 476,06 ton

n_s = 6 tiang

s = 1250 mm

= 1,25 m

ø = memiliki nilai 0,9

bX = 3500 mm

= 3,5 m

d = 1125 mm

cX_{kolom} = 700 mm

fc' = 29,15 Mpa

fy = 390 Mpa

Es = 200000

β1 = 0,85

εc = 0,003

tebal = 1200 cm

B = $\frac{bX}{2} - \frac{cX}{2}$

= $\frac{3500}{2} - \frac{700}{2}$

= 1400 mm

= 1,4 m

q' = γ beton x bX x tebal *pile cap* (satuan meter)

= 2400 x 3,5 x 1,2

= 10080 kg/m^2

Mu_1 = 2 x ($\frac{P}{ns}$ x s) – 0,5 x q' B^2 (satuan dijadikan kg/m)

= 2 x ($\frac{476060}{6}$ x 1,8) – 0,5 x 16560 x 1,4^2

= 188479,933 Kgm

= 1848,357 kNm

Rn $= \frac{\text{Mu1 x 1000000}}{\text{ø x bX x d}^2}$

$= \frac{5178,414 \text{ x } 1000000}{0,9 \text{ x } 3500 \text{ x } 1125^2}$

= 0,464

ρperlu $= [1-\sqrt{1-\frac{2\,x\,Rn}{0,85\,x\,fc'}}]\,\frac{0,85\,x\,fc'}{fy}$

$= [1-\sqrt{1-\frac{2\,x\,0,464}{0,85\,x\,29,15}}]\,\frac{0,85\,x\,29,15}{390}$

= 0,0012

As perlu = ρ x bX x d

= 0,0012 x 3500 x 1125

= 4725,498 mm^2

As min = 0,0018 x bX x d

= 0,0018 x 3500 x 1125

= 7078,5 mm^2

As diambil yang paling besar, maka diambil As min = 7078,5 mm^2

- **Penulangan Tarik P6-C**

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

Missal pakai D25-100, maka = 3500/100

= 35 = 35 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 36 tulangan

As tulangan = ¼ x π x Dtulangan^2 x jumlah Tulangan

= ¼ x 3,14 x 25^2 x 36

= 17662,5 mm^2

As tulangan > As yang diambil = 17662,5 > 7078,5 (OKE)

Jadi digunakan tulangan 36 D25 dengan jarak 100 mm.

Cek control :

ΣH = 0

Cc = Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a $= \frac{(As\ yang\ diambil\ x\ fy)}{0{,}85\ x\ fc'\ x\ bX}$

$= \frac{(7078{,}5\ \ x\ 390)}{0{,}85\ x\ 29{,}15 x\ 3500}$

= 31,875 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{31{,}875}{0{,}85}$

= 37,498 mm

εs $= \frac{d-c}{c\ x\ \varepsilon c}$

$= \frac{1125-37{,}498}{37{,}498\ \ x\ 0{,}003}$

= 0,087

Fy/Es $= \frac{390}{200000}$

= 0,00195

εs > fy/Es yaitu 0,0983> 0,00195 (OKE)

εs > 0,005, maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,9 x fc' x a x bX x (d-a/2)

= 0,9 x 29150 x 0,032x 4,6 x (1,125-0,032 /2)

= 3065,589 kNm

Mu_2 = ø x Mn

= 0,9 x 3065,589

= 5483,027 kNm

Mu_1 < Mu_2 yaitu 1848,357 < 5483,027 (OKE)

- **Penulangan Desak P6-C**

  Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

  Missal dipakai D16-200

  Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

  = 3500/200

  = 17,5 = 18 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan pada Ujungnya)

  = 19 tulangan

  As tulangan = ¼ x π x D tulangan^2 x jumlah tulangan

  = ¼ x 3,14 x 16^2 x 24

  = 381824 m^2

  = 3818,24 mm^2

  Nilai 20% = 20% x tulangan Tarik

  = 20/100 x 17662,5

  = 4611,875 mm^2

  Tulangan desak > 20% tulangan tarik, 4611,875 > 3818,24 (OKE).

  Jadi digunakan tulangan 19 D16 dengan jarak 200 mm.

Arah Y

Lebar penampang kritis

P = 476,06 ton

n_s = 6 tiang

s = 125mm

= 1,25 m

ø = 0,9

bY = 2250 mm

= 2,25 m

d = 1125 mm

cY_{kolom} = 700 mm

fc' = 29,15 Mpa

fy = 390 Mpa

Es = 200000

β1 = 0,85

εc = 0,003

tebal = 1200 mm

= 1,2 m

B $= \frac{bY}{2} - \frac{cY}{2}$

$= \frac{2250}{2} - \frac{700}{2}$

= 1050 mm

q' = γ beton x bY x tebal *pile cap* (satuan meter)

= 2400 x 2800 x 1500

= 10080 kg/m^2

Mu_1 = 2 x (P/ns x s) – 0,5 x q' B^2 (satuan dijadikan kg/m)

= 2 x (932560/6 x 1,8) – 0,5 x 6480 x 0,775^2

= 146822,725 Kgm

= 1439,839 kNm

Rn $= \frac{\text{Mu1 x 1000000}}{\text{ø x bY x d}^2}$

$= \frac{146822{,}725 \text{ x } 1000000}{0{,}9 \text{ x } 2250 \text{ x } 1125^2}$

= 0,562

ρperlu $= [1 - \sqrt{1 - \frac{2\,x\,Rn}{0{,}85\,x\,fc'}}]\,\frac{0{,}85\,x\,fc'}{fy}$

$= [1 - \sqrt{1 - \frac{2\,x\,0{,}562}{0{,}85\,x\,29{,}15}}]\,\frac{0{,}85\,x\,29{,}15}{390}$

= 0,001457

As perlu = ρ x bY x d

= 0,001457 x 2250 x 1125

= 3688,619 mm^2

As min = 0,0018 x bY x d

= 0,0018 x 2250 x 1125

= 455,6,25 mm^2

As diambil yang paling besar, maka diambil As perlu = 455,625 mm^2

- **Penulangan Tarik P6-C**

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

Missal pakai D25-100, maka = 2250/100

= 22,5 = 23 + 1 (karena ada Tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 24 tulangan

As tulangan = ¼ x π x Dtulangan^2 x jumlah Tulangan

= ¼ x 3,14 x 25^2 x 24

= 1177500 m^2

= 11775 mm^2

As tulangan > As yang diambil = 11775 > 455,625 (OKE)

Jadi digunakan tulangan 24 D25 dengan jarak 100 mm.

Cek control :

ΣH = 0

Cc = Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a $= \frac{(As\ yang\ diambil\ x\ fy)}{0{,}85\ x\ fc'\ x\ bY}$

$= \frac{(455{,}625\ \ x\ 390)}{0{,}85\ x\ 29{,}15 x\ 2250}$

= 31,874 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{31{,}874}{0{,}85}$

= 37,498 mm

εs $= \frac{d-c}{c\ x\ \varepsilon c}$

$= \frac{1125-37{,}498}{37{,}498\ \ x\ 0{,}003}$

= 0,087

Fy/Es $= \frac{390}{200000}$

= 0,00195

εs > fy/Es yaitu 0,0552 > 0,00195 (OKE)

εs > 0,005, maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,9 x fc' x a x bY x (d-a/2)

= 0,9 x 29150 x 0,032 x 2,25 x (1,125-0,032/2)

= 1970,736 kNm

Mu_2 = ø x Mn

= 0,9 x 1970,736

= 1773,662 kNm

Mu_1 < Mu_2 yaitu 1439,839 < 1773,662 (OKE)

- **Penulangan Desak P6-C**

Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

Missal dipakai D16-200

Jumlah tulangan = bY / jarak antar tulangan

= 2250/200

= 11,25 = 12 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan Pada ujungnya)

= 13 tulangan

As tulangan = ¼ x π x D tulangan^2 x jumlah tulangan

= ¼ x 3,14 x 16^2 x 13

= 689858 m^2

= 6898,58 mm^2

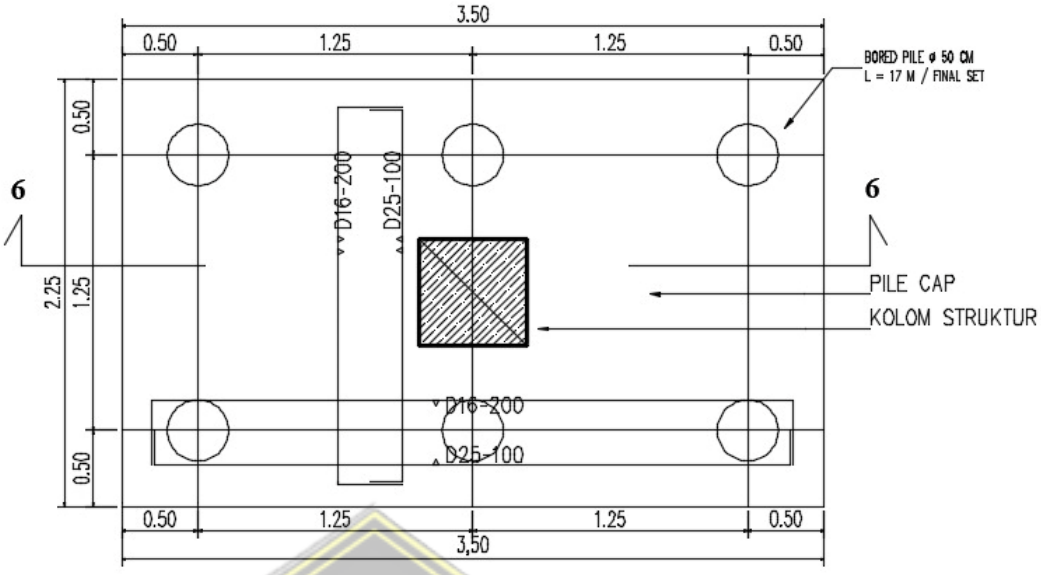
Nilai 20% = 20% x tulangan Tarik

= 20/100 x 11775

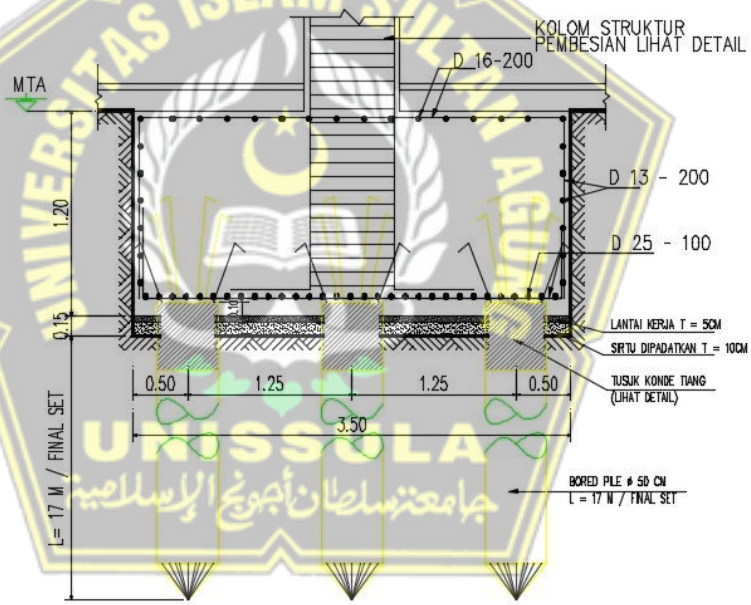
= 2355 mm^2

Tulangan desak > 20% tulangan tarik, 6898,58 > 2355 (OKE).

Jadi digunakan tulangan 13 D16 dengan jarak 200 mm



Gambar 4.52 Detai *Pile Cap* P6-C



Gambar 4.53 Potongan *Pile Cap* P6-C

- ***Pile cap* P4-A**

Karena pile cap berbentuk persegi (X=Y) maka hanya dihitung salah satu saja

1. Geser Satu Arah

P = 186,01 ton

bX = 2250 mm

= 2,25 m

bY = 2250 mm

= 2,25 m

A = bX x bY

= 2,25 x 2,25

= 5,0625 m^2

Selimut = 75 mm

Fc' = 29,15 Mpa

Kolom = 700 x 700 mm

Tebal = 1200 mm

σ = P/A

= 186,01 / 5,0625

= 36,743 ton/m^2

d = asumsi tebal – selimut beton

= 1200 – 75

= 1125 mm

G' = bX - $(\frac{bX}{2} + \frac{lebar\ kolom}{2} + d)$

= 2250 - $(\frac{2250}{2} + \frac{700}{2} + 1125)$

= 350 mm

= 0,35 m

Vu = σ x bX x G' (satuan meter)

= 36,743 x 2250 x 0,35

= 28,935 ton

φVc = 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{fc'}$ x bX x d

= 0,75 x $\frac{1}{6}$ x $\sqrt{29,15}$ x 2250 x 1125

= 1708300,756 N

= 171,447 ton

φVc > Vu = 171,447 ton > 28,935 ton (OKE)

2. Geser Dua Arah

bX = 2250 mm

= 2,25 m

d = 1125 mm

as = karena letak kolom ditengah *pile cap*, maka nilainya 40

βc = Panjang kolom X/Y = 1

λ = Karena beton normal maka nilainya 1

cX_{kolom} = 700 mm

B' = cX + d

= 700 + 1125

= 1825 mm

= 1,825 m

bo = 4 x B'

= 4 x 1825

= 7300 mm

Vc1 $= (1 + \frac{2}{\beta c}) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{6}$

$= (1 + \frac{2}{1}) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{6}$

= 22169947,59 N

= 2225,001 ton

Vc2 $= (\frac{as \,.\, d}{bo} + 2) \frac{\sqrt{fc'} \text{ x bo x d}}{12}$

$= (\frac{40 \,.\, 1125}{7300} + 2) \frac{\sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125}{12}$

= 30167325,95 N

= 3027,627 ton

Vc3 $= \frac{1}{3} \text{ x } \lambda \text{ x } \sqrt{fc'} \text{ x bo x d}$

$= \frac{1}{3} \text{x } 1 \text{ x } \sqrt{29,15} \text{ x } 7300 \text{ x } 1125$

= 14779965,06 N

= 1483,334 ton

Vc diambil yang paling kecil, maka dipakai Vc3 = 1483,334 ton

Vu = σ x (bX^2 – B'^2) (satuan meter)

= 36,743 x ($2,5^2$ – $1,125^2$)

= 63,634 ton

φVc = 0,75 x Vc pakai

= 0,75 x 1483,334

= 1112,501 ton

φVc > Vu = 1112,501 ton > 63,634 ton (AMAN)

3. Perhitungan Tulangan Lentur

Lebar penampang kritis

P = 186,01 ton

n_s = 4 tiang

s = 1250 mm

= 1,25 m

ø = memiliki nilai 0,9

bX = 2250 mm

= 2,25 m

d = 1125 mm

cX_{kolom} = 700 mm

fc' = 29,15 Mpa

fy = 390 Mpa

Es = 200000

β1 = 0,85

εc = 0,003

tebal = 1200

B = $\frac{bX}{2} - \frac{cX}{2}$

= $\frac{2250}{2} - \frac{700}{2}$

= 775 mm

= 0,775 m

q' = γ beton x bX x tebal *pile cap* (satuan meter)

= 2400 x 2,25 x 1,2

= 6480 kg/m^2

Mu_1 = 2 x ($\frac{P}{ns}$ x s) – 0,5 x q' B^2 (satuan dijadikan kg/m)

= 2 x ($\frac{186,01}{4}$ x 1,25) – 0,5 x 6480 x 0,775^2

= 114310,225 Kgm

= 1121 kNm

Rn $= \frac{Mu1 \text{ x } 1000000}{ø \text{ x } bX \text{ x } d^2}$

$= \frac{1121 \text{ x } 1000000}{0,9 \text{ x } 2250 \text{ x } 1125^2}$

= 0,437

ρperlu $= [1-\sqrt{1 - \frac{2\ x\ Rn}{0,85\ x\ fc'}}]\ \frac{0,85\ x\ fc'}{fy}$

$= [1-\sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0,437}{0,85\ x\ 29,15}}]\ \frac{0,85\ x\ 29,15}{390}$

= 0,001132

As perlu = ρ x bX x d

= 0,001132 x 2250 x 1125

= 2864,38 mm^2

As min = 0,0018 x bX x d

= 0,0018 x 2250 x 1125

= 4556,25 mm^2

As diambil yang paling besar, maka diambil As min = 4556,25 mm^2

- **Penulangan Tarik P4-A**

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

Missal pakai D25-100, maka = 2250/100

= 22,5 = 23 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan pada ujungnya)

= 24 tulangan

As tulangan = ¼ x π x $Dtulangan^2$ x jumlah Tulangan

= ¼ x 3,14 x 25^2 x 24

= 11775 mm^2

As tulangan > As yang diambil = 11775 > 4556,25 (OKE)

Jadi digunakan tulangan 24 D25 dengan jarak 100 mm.

Cek control :

ΣH = 0

Cc = Ts

0,85 x fc' x a x b = As x fy

a $= \frac{(As\ yang\ diambil\ x\ fy)}{0{,}85\ x\ fc'x\ bX}$

$= \frac{(4556{,}25\ \ x\ 390)}{0{,}85\ x\ 29{,}15x\ 2500}$

= 31,874 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{31{,}874}{0{,}85}$

= 37,498 mm

εs $= \frac{d-c}{c\ x\ \varepsilon c}$

$= \frac{1125-37{,}498}{37{,}498\ \ \ x\ 0{,}003}$

= 0,087

Fy/Es $= \frac{390}{200000}$

= 0,00195

εs > fy/Es yaitu 0,0749 > 0,00195 (OKE)

εs > 0,005, maka bisa menggunakan ø = 0,9

Mn = 0,9 x fc' x a x bX x (d-a/2)

= 0,9 x 29150 x 0,032 x 2,25 x (1,125 - 0,032/2)

= 1970,736 kNm

Mu_2 = ø x Mn

= 0,9 x 1970,736

= 1773,662 kNm

$Mu_1 < Mu_2$ yaitu 1121 < 1773,662 (OKE)

- **Penulangan Desak P4-A**

Tulangan desak diberikan 20% dari tulangan tarik

Missal dipakai D16-200

Jumlah tulangan = bX / jarak antar tulangan

= 2250/200

= 11,25 = 12 + 1 (karena ada tambahan 1 tulangan Pada Ujungnya)

= 13 tulangan

As tulangan = ¼ x π x D tulangan^2 x jumlah tulangan

= ¼ x 3,14 x 16^2 x 13

= 261248 m^2

= 2612,48 mm^2

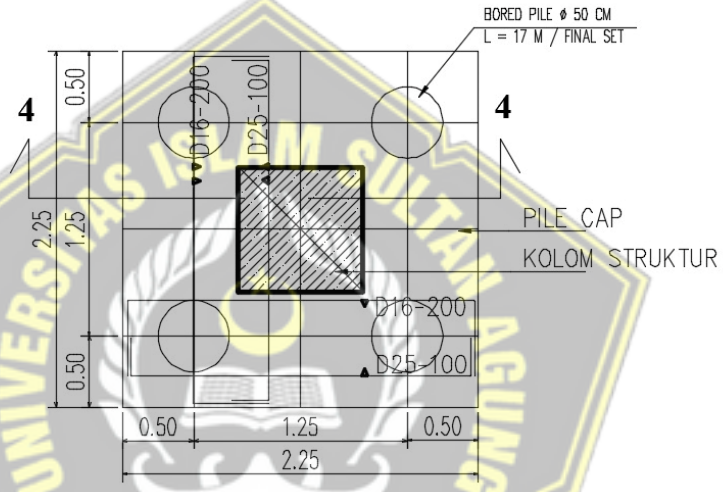
Nilai 20% = 20% x tulangan Tarik

= 20/100 x 11775

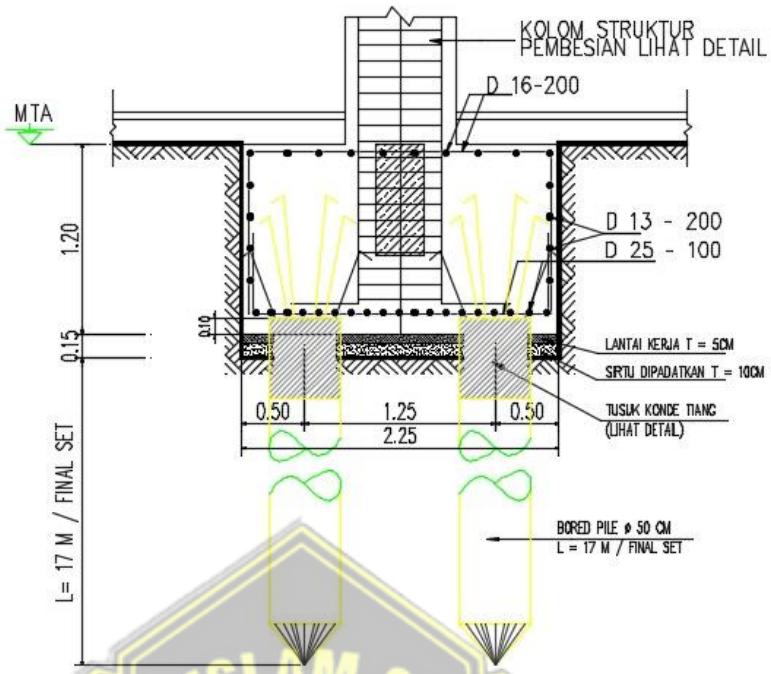
= 2355 mm^2

Tulangan desak > 20% tulangan tarik, 2612,48 > 2355 (OKE).

Jadi digunakan tulangan 13 D25 dengan jarak 200 mm.



Gambar 4.54 Detail *Pile Cap* P4-A



Gambar 4.55 Detail Potongan *Pile Cap* P4-A

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Pile Cap*

Tipe Fondasi	Panjang X (m)	Panjang Y (m)	Tebal (m)	Tulangan Tarik		Tulangan Desak	
				X	Y	X	Y
P8	3,5	2,98	1,2	36 D25-100	31 D25-100	16 D16-200	24 D16-200
P6-C	3,5	2,25	1,2	36 D25-100	24 D25-100	19 D16-200	13 D16-200
P4-A	2,5	2,5	1,2	24 D25-100	24 D25-100	13 D25-200	13 D25-200

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan pada analisis daya dukung dan penurunan fondasi bored pile pada Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD dr. Loekmonohadi, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam analisis pemodelan struktur dengan program SAP2000 diperoleh beberapa beban yang dipikul oleh fondasi bored pile yaitu :
   - Beban terbesar : 7036,415 kN (Kolom P8)
   - Beban menengah : 4668,524 kN (Kolom P6-C)
   - Beban terkecil : 1824,156 kN (Kolom P4-A)
2. Dalam analisis perhitungan daya dukung aksial fondasi bored pile secara manual pada tanah kohesif pada kedalaman 17 meter, dari beberapa metode diperoleh kapasitas daya dukung ultimit (Q_{ult}) dan kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) tiang *bored pile* yaitu sebesar :
   - Metode *Aoki de Alencar*, Qult = 584,519 kN dan Qall = 233,807 kN
   - Metode *Tomlinson*, Qult = 908,049 kN dan Qall = 363,220 kN
   - Metode *Reese and Wright*, Qult = 2412,043 kN dan Qall = 804,014 kN
   - Metode *Mayerhoff*, Qult = 2412,043 kN dan Qall = 804,014 kN

   Hasil perhitungan daya dukung lateral menggunkan metode *Brooms* diperoleh nilai Hu (gaya lateral) sebesar 669,68 kN.
3. Hasil perhitungan dari penurunan fondasi tiang tunggal menggunakan metode *vesic* (1977) penurunan sebesar 3,40 mm. Hasil perhitungan dari penurunan fondasi tiang kelompok dengan menggunakan metode *vesic* (1977) penurunan pada tiang kelompok P8 sebesar 8,33 mm, pada tiang kelompok P6-C sebesar 8,33 mm, dan pada tiang kelompok P4-A sebesar 6,36 mm.
4. Hasil konsolidasi menggunakan s*oftware* Plaxis dalam periode 1 tahun diperoleh sebesar 2,47 mm dan periode 10 tahun diperoleh sebesar 2,47 mm. Sedangkan Dalam analisis dengan program Allpile didapat hasil analisis yaitu :

Vertikal Analysis : Kapasitas dari daya dukung ultimit (Qult) = 1030,821 kN
Kapasitas dari daya dukung ijin (Qall) = 412,328 kN
Settlement = 2,27 cm

5. Hasil perhitungan pile cap diperoleh pada fondasi
   - P8 : Dimensi 3,5 m x 2,98 m
     Tebal 1,2 m
     Tulangan tarik arah X yaitu 36 D25-100 mm,
     arah Y yaitu 31 D25-100 mm
     Tulangan desak arah X 16 D16-200 mm
     arah Y 24 D16-200 mm
   - P6-C : Dimensi 4,6 m x 2,8 m
     Tebal 1,2 m
     Tulangan tarik arah X yaitu 36 D25-100 mm,
     arah Y yaitu 24 D25-100 mm
     Tulangan desak arah X 19 D16-200 mm
     arah Y 13 D16-200 mm
   - P4-A : Dimensi 2,5 m x 2,5 m
     Tebal 1,2 m
     Tulangan tarik arah X = Y yaitu 24 D25-100 mm,
     Tulangan desak arah X = Y yaitu 13 D16-200 mm

5.2. Saran

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

1. Dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi sebaiknya diperlukan data Teknik dan data laboratorium yang lebih lengkap, agar analisis dan perhitungan akan mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat, baik secara analitis maupun dengan program aplikasi.
2. Dikarenakan keterbatasan informasi yang diterima penulis, masih banyak terdapat kesenjangan dalam analisis daya dukung dana dan analisis kependudukan, oleh karena itu perhitungan daya dukung dana dan analisis kependudukan memerlukan perhitungan yang lebih akurat.

3. Semua analisis perhitungan manual maupun menggunakan program Allpile merupakan suatu prediksi sehingga perlu disesuikan dengan kondisi langsung dilapangan.
4. Dalam analisis perhitungan yang dilakukan oleh program aplikasi, perhitungan bantalan dan penurunan pondasi secara manual dibandingkan. Oleh karena itu, hasil perhitungan dalam laporan ini menyertakan perbandingan antara perhitungan manual dengan program aplikasi. Oleh karena itu, hasil perhitungan yang disajikan dalam laporan ini harus dibandingkan dengan hasil perhitungan manual dan perbandingan perhitungan dengan menggunakan program.
5. Oleh karena itu, menganalisis daya dukung pondasi dan penurunan membutuhkan pengalaman, ketelitian dan keterampilan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR PUSTAKA

Afifa, R. N. (2021). *Analisa Daya Dukung Bore Pile Pada Pembangunan Jembatan Kereta Api Antara Araskabu-Tebing Tinggi dan Lintas Tebing Tinggi-Siantar*.

Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi 2 Edisi ke-4. *Gramedia Pustaka Utama*, 275.

Ismoyojati, R., & Prananda, T. W. (2021). *TIANG i PANCANG HASIL STANDART PENETRATION TEST (SPT) DAN KALENDERING (STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL Oleh :*

Karim, F. S. (2013). *Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung Laboratrium Vokasi Univeristas Brawijaya Malang Menggunakan POndasi Bored Pile Tipe Franky Pile*. *1727*, 5–49.

Ningrum, P. W. (2022). Perencanaan Fondasi Bored Pile Rumah Sakit. *Perencanaan Fondasi Bored Pile Rumah Sakit*, 114.

Revaldo, L., & Johari, M. (2022). *Tugas akhir redesain fondasi pada gedung fakultas kedokteran gigi unissula semarang*.

Rohman, A. F. (2022). *BORED PILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN*.

Takaredase, J. (2016). Pelaksanaan Pada Pembangunan Gedung Auditorium. *Tinjauan Perencanaan Pondasi Dan Metode Pelaksanaan Pada Pembangunan Gedung Auditorium Politeknik Negeri Manado*.

Titi et al. (1999). *Evaluation of Bearing Capacity of Piles From Cone*. *November*.

Yahya, I., & Pramudya, M. A. (2022). *Analisa daya dukung dan konsolidasi fondasi micropile pada bangunan cagar budaya pasar johar selatan*.

Yusti, A., & Fahriani, F. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan CAPWAP. *Jurnal Fropil*, *2*(1), 19–31.