TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN VARIASI DIAMETER (*CALCULATION OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATION USING DIAMETER VARIATIONS)*

(Studi kasus: Gedung Parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan)

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

ADHITYA CAKRA AMARTA

18511161

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN KAPASITAS DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN VARIASI DIAMETER (*CALCULATION OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATION USING DIAMETER VARIATIONS*)

(Case Study: DR. Kanujoso Djatiwibowo Regional Public Hospital Balikpapan)

Disusun oleh:

Adhitya Cakra Amarta
18511161

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 26 Februari 2025 oleh
dewan penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.	Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T	Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.
NIK : 215111305	NIK : 045110407	NIK : 215111308

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

3/3 2025

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

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sadar dan bersungguh-sungguh bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik SIpil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang bersumber dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumber yang jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiasi dalam penulisan laporan Tugas Akhir saya, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 27 Februari 2025

Yang [illegible]:an,



Adhitya Cakra Amarta

(18511161)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur penulis kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini d. Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga *yaumul akhir.*

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dorongan moral dan materil dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam - dalamnya kepada.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi , S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing I
3. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T selaku dosen penguji I
4. Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng.. selaku dosen penguji II
5. Keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi, biaya dan doa.
6. Saudari Rizki Amalia, S.Psi., saudara Ir. Wisanggeni Paramusesa Widayat, S,T., M.T., selaku rekan yang memberikan semangat serta motivasi.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membaca.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 27 Februari 2025

Adhitya Cakra Amarta

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Umum 4
2.2 Kapasitas Dukung Fondasi Bored Pile 4
BAB III LANDASAN TEORI 9
3.1 Tanah 9
3.1.1 Klasifikasi Jenis Tanah 9
3.1.2 Batas-batas Atterberg 11
3.2 Penyelidikan Tanah 13
3.3 Standar Penetration Test (SPT) 14

3.4 Fondasi Tiang Pancang 15
3.5 Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) 16
3.6 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor 19
3.6.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal 18
3.6.2 Kapasitas Dukung Ijin 22
3.6.3 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok 23
3.6.4 Jumlah Tiang (n) 23
3.6.5 Jarak Tiang (s) 24
3.6.6 Efisiensi Kelompok Tiang 25
3.6.7 Kapasitas Ijin Kelompok Tiang 25
3.6.8 Analisis Distribusi Beban 26
3.7 Penurunan Fondasi Tiang 27
3.7.1 Tiang Tunggal 27
3.7.2 Penurunan Kelompok Tiang 32
3.7.3 Penurunan yang Diijinkan 34
3.8 Distribusi Beban Gempa 35
3.8.1 Analisis Distribusi Beban Gempa 35
3.9 Structural Analysis Program (SAP2000) 38
BAB IV METODE PENELITIAN 41
4.1 Metode Penelitian 41
4.2 Pengumpulan Data 41
4.3 Analisis Pembebanan 42
4.4 Analisis Fondasi Tiang Bor 42
4.5 Bagan Alur Pelaksanaan Penelitian 43
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Data Gedung Parkir RS DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan 46
5.1.1 Data Umum Proyek 47
5.1.2 Spesifikasi Material 47
5.1.3 Denah Konstruksi 47
5.1.4 Data Struktur 48
5.2 Pembebanan Struktur 49

5.2.1 Hasil Program SAP2000 53
5.3 Data Karakteristik Tanah 55
5.4 Fondasi Tiang Bor 55
5.4.1 Kapasitas Tiang Bor Tunggal 55
5.4.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor 61
5.4.3 Distribusi Beban ke Tiap Kelompok 64
5.4.4 Penurunan Fondasi Tiang Bor 66
5.5 Penurunan Yang Diizinkan 70
5.6 Pembahasan 70
5.6.1 Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Tunggal 71
5.6.2 Hasis Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor Kelompok 72
5.6.3 Hasil Penurunan Fondasi Tiang Bor 73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 74
6.1 Kesimpulan 74
6.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya 7
Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS 10
Tabel 3. 2 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah 13
Tabel 3. 3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles,1977) 29
Tabel 3. 4 Nilai Indeks Kompresi (Cc) 33
Tabel 3. 5 Klasifikasi Profil Tanah 34
Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan (I) Untuk Berbagai Kategori Bangunan 35
Tabel 5. 1 Analisis Beban Mati Pada Lantai 49
Tabel 5. 2 Respon Spektrum Perioda Pendek 51
Tabel 5. 3 Parameter Percepatan Spektrum Desain 51
Tabel 5. 4 Faktor Koreksi Kerentanan 51
Tabel 5. 5 Hasil Analisis Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen 52
Tabel 5. 6 Rangkuman Hasli Lubang Bor 1 54
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang dan Jumlah Tiang 59
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Blok Tiang Kelompok 61
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Batas- batas Atterberg 12
Gambar 3. 2 Kurva pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung 12
Gambar 3. 3 Tahapan Pengujian Standard Penetration Test (SPT) 14
Gambar 3. 4 Tiang yang Ditinjau dari Cara Mendukung Beban 17
Gambar 3. *5* Nilai N-SPT yang Digunakan untuk Desain Tahanan Ujung 18
Gambar 3. 6 Daya dukung ujung batas bore pile (Reese and Wright) 19
Gambar 3. 7 Tahanan Geser Selimut borepile pada tanah pasiran 21
Gambar 3. 8 Jarak Antar Tiang 23
Gambar 3. 9 Pembebanan Fondasi dan Momen Kelompok Tiang 25
Gambar 3. 10 (a) Faktor Penurunan Io Poulus dan Davis; (b) Koreksi 27
Gambar 3. 11 (a) Koreksi Kedalaman Rh; Koreksi Angka Poisson, Rμ 27
Gambar 3. 12 Koreksi Kekakuan lapisan Pendukung, R_b 28
Gambar 3. 13 Penurunan Tiang Dengan Metode Penyebaran 2:1 32
Gambar 3. 14 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek 36
Gambar 3. 15 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek ($\mathbf{S_1}$) 36
Gambar 4. 1 Bagan Alur Analisis Struktur dengan Software SAP2000 42
Gambar 4. 2 Bagan Alur Metode Pelaksanaan Penelitian 43
Gambar 5. 1 Lokasi Gedung parker RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo 45
Gambar 5. 2 Denah Gedung 47
Gambar 5. 3 Hasil Respon Spektrum 51
Gambar 5. 4 Permodelan SAP2000 Dalam 3 Dimensi 53
Gambar 5. 5 Permodelan Beban Pada Fondasi Tiang Bor 55
Gambar 5. 6 Susunan Tiang Bor Pada Pilecap Dalam Satuan Meter 62
Gambar 5. 7 Permodelan Fondasi Tiang Bor Kelompok 62
Gambar 5. 8 Distribusi Beban Pada Kelompok Tiang 67
Gambar 5. 9 Perbandingan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal 70
Gambar 5. 10 Perbandingan Kebutuhan Jumlah Tiang Fondasi 70
Gambar 5. 11 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang 71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian Standard Penetration Test (SPT) 78
Lampiran 2 Denah Struktur 81

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ϕ = sudut geser tanah (^{O})

ϕ‘ = sudut gesek dalam tanah asli di lapangan (^{O})

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

B_g = lebar kelompok tiang (m)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

C_s = koefisien respon seismik

D = beban mati (kN/m^2)

D = diameter tiang (m)

E_g = efisiensi kelompok tiang

E_p = modulus elastis tiang (kN/m^2)

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode pendek

Fi = nilai gaya geser horizontal yang terjadi pada tingkat ke-i

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode 1 detik

h_n = ketinggian struktur (m)

Hi = tinggi lantai ke-i (m)

I_e = faktor keutamaan gempa

JHL = jumlah hambatan lekat (kg/cm)

K = eksponen yang terkait dengan periode struktur

L = beban hidup (kN/m^2)

L = panjang tiang (m)

m = jumlah tiang dalam 1 kolom

n = jumlah tiang

n = jumlah tiang dalam 1 baris

N_c, N_q, $N\gamma$ = faktor daya dukung *Meyerhoff*

p = keliling tiang (m)

p = beban yang bekerja (kN)

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Q_{ult} = kapasitas dukung *ultimate* tiang (kN)

Q_{all} = kapasitas dukung ijin tiang (kN)

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

q = tekanan vertikal efektif tanah pada ujung bawah tiang (kN/m^2)

Q_s = kapasitas dukung selimut tiang (kN)

q_s = tahanan gesek tiang per satuan luas (kN/m^2)

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

q_{c1} = rata-rata nilai konus sepanjang 8D keatas dari ujung tiang (kg/cm^2)

q_{c2} = rata-rata nilai konus sepanjang 4D kebawah dari ujung tiang (kg/cm^2)

Q_g = beban maksimum kelompok tiang (kN)

R_{SX} = beban gempa dinamik arah x

R_{SY} = beban gempa dinamik arah y

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

S = penurunan tiang tunggal (m)

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respon desain pada periode 1 detik

SF = *safety factor*

S_g = penurunan tiang kelompok (m)

S_{izin} = penurunan izin (m)

S_{MS} = parameter respon spektral percepatan pada periode pendek

S_{M1} = parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik

S_s = parameter percepatan gempa terpetakan pada periode pendek

S_1 = parameter percepatan gempa terpetakan pada periode 1 detik

T = periode getar struktur (detik)

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

T_c = periode *computed* (detik)

V = gaya geser dasar seismik (kN)

W = berat seismik efektif (kN)

W_i = berat lantai ke-i (kN)

W_p = berat tiang (kN)

ABSTRAK

Rumah Sakit merupakan salah satu sarana kesehatan yang harus diperhatikan kelayakannya untuk menunjang pelayanan kesehatan di kota Balikpapan. Salah satu yang diperhatikan adalah kelayakan bangunan rumah sakit tersebut. Gedung parker merupakan salah satu komponen yang mendukung kegiatan rumah sakit. Gedung parkir Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan menggunakan fondasi tiang pancang dengan diameter 0,6 m dan kedalaman 14 m. pada penelitian ini, peneliti akan melakukan perencanaan ulang terhadap fondasi tiang pancang menggunakan fondasi tiang bor dengan variasi diameter. Hal ini bertujuan untuk menganalisis pengatuh variasi diameter terhadap kapasitas dukung dan penurunan terhadap fondasi tiang bor.

Fondasi tiang bor direncanakan untuk dianalisa menggunakan variable 3 macam diameter, yaitu 0,6 m, 0,7 m, 0,8 m dengan kedalaman 14 meter yang sama dengan fondasi *existing*. Data yang digunakan adalah *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Detail engineering Design* (DED). Aplikasi struktur yang digunakan dalam analisis yaitu SAP2000 V22 beserta data beban gempa yang terdapat pada wilayah Balikpapan. Metode yang digunakan untuk perhitungan analisis kapasitas dukung tiang bor adalah *Meyerhof* dan *Reese and Wright* . Sementara untuk perhitungan pejurunan tiang bor tunggal menggunakan metode *Poulos and Davis* (1980) dan untuk penurunan kelompok tiang metode yang digunakan adalah *Vesic* (1977).

Dari analisis yang telah dilakukan terhadap fondasi dengan diameter 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m diperoleh kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g) menggunakan metode *Meyerhof* yaitu 7823,814 kN, 10287,439 kN, dan 7442,642 kN. Kemudian pada perhitungan dengan metode *Reese and wright* diperoleh kapasitas dukung fondasi kelompok (Q_g) sebesar 6595,547 kN, 8237,487 kN, dan 7011,750 kN. Hal tersebut menunjukan bahwa semakin besar diameter dari tiang maka kapasitas dukung tiang kelompok akan semakin besar. Adapun analisis penurunan tiang kelompok (S_g) yang terjadi pada tiang perancang dengan variasi diameter 0,6 m, 0,7 m,dan 0,8 m menurut metode *Meyerhof* menghasilkan nilai sebesar 0,009935587 m, 0,013499776 m, dan 0,016407589 m . sementara untuk metode *Reese and Wright* 0,012564503 m, 0,010884323 m, dan 0,011964744 m. Seluruhnya masih dalam batas penurunan yang diizinkan.

Kata kunci: Fondasi tiang pancang, fondasi tiang bor, kapasitas dukung fondasi, penurunan fondasi

ABSTRACT

Hospitals are one of the health facilities that must be considered for their feasibility to support health services in the city of Balikpapan. One of the things that needs attention is the feasibility of the hospital building. The parking building is one of the components that support hospital activities. The parking building of DR. Kanujoso Djatiwibowo Regional General Hospital (RSUD) Balikpapan uses a pile foundation with a diameter of 0.6 m and a depth of 14 m. In this study, the researcher will redesign the pile foundation using a bored pile foundation with variations in diameter. This aims to analyze the effect of variations in diameter on the bearing capacity and settlement of the bored pile foundation.

The bored pile foundation is planned to be analyzed using 3 variations of diameter, namely 0.6 m, 0.7 m, 0.8 m with a depth of 14 meters which is the same as the existing foundation. The data used are Standard Penetration Test (SPT) and Detailed Engineering Design (DED). The structural application used in the analysis is SAP2000 V22 along with earthquake load data found in the Balikpapan area. The method used for calculating the bearing capacity of bored piles is Meyerhof and Reese and Wright. Meanwhile, for the calculation of single bored pile settlement using the Poulos and Davis (1980) method and for the settlement of the pile group the method used is Vesic (1977).

From the analysis that has been carried out on the foundation with diameters of 0.6 m, 0.7 m, and 0.8 m, the group pile bearing capacity (Q_g) was obtained using the Meyerhof method, namely 7823.814 kN, 10287.439 kN, and 7442.642 kN. Then in the calculation using the Reese and Wright method, the group foundation bearing capacity (Q_g) was obtained at 6595.547 kN, 8237.487 kN, and 7011.750 kN. This shows that the larger the diameter of the pile, the greater the bearing capacity of the pile group. The analysis of the pile group settlement (S_g) that occurs in the design pile with variations in diameter of 0.6 m, 0.7 m, and 0.8 m according to the Meyerhof method produces values of 0.009935587 m, 0.013499776 m, and 0.016407589 m. while for the Reese and Wright method 0.012564503 m, 0.010884323 m, and 0.011964744 m. All of them are still within the allowable settlement limits.

***Keywords**: Pile foundation, bored pile foundation, foundation bearing capacity, foundation settlement*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Balikpapan merupakan salah satu kota di provinsi Kalimantan Timur yang menempati posisi kedua sebagai kota terbesar setelah kota Samarinda dengan total penduduk sebanyak 738.532 jiwa pada 31 Desember 2023. Mengingat banyaknya jumlah penduduk yang ada di kota Balikpapan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah kesehatan. Rumah Sakit merupakan salah satu sarana kesehatan yang harus diperhatikan kelayakannya untuk menunjang pelayanan kesehatan di kota Balikpapan. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah kelayakan bangunan rumah sakit tersebut.

Gedung parkir rumah sakit merupakan salah satu bangunan yang perlu diperhatikan kelayakannya karena menjadi penunjang untuk kenyamanan dan keamanan mobilitas pasien maupun karyawan rumah sakit tersebut. Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan berupaya untuk membangun gedung parkir baru yang diharapkan dapat memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna rumah sakit.

Jenis fondasi yang digunakan gedung parkir Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan adalah tiang pancang. Penelitian dilakukan untuk melihat apakah struktur bawah yang sudah ada berupa fondasi tiang pancang dapat dirancang ulang menggunakan fondasi *bored pile*, sehingga dapat diketahui perbandingan nilai kapasitas dukung antara fondasi yang sudah ada dengan fondasi baru yaitu *bored pile*. Salah satu kelebihan fondasi *bored pile* antara lain adalah penggalian tanah dapat dilakukan di ruang yang relatif sempit dan ruang yang terbatas.

Berdasarkan kekuatan struktur yang dimiliki, *bored pile* memiliki keunggulan yang relatif lebih baik. Peningkatan kapasitas dukung aksial yang didapatkan melalui pengeboran yang mencapai lapisan tanah keras yang lebih dalam, serta

diameter dari tiang yang bisa diatur dengan lebih leluasa. Pengecoran beton *in-situ* juga dapat menghasilkan tiang monolitik yang dapat meningkatkan kekuatan tekan serta tarik dan meminimalkan potensi kegagalan pada sambungan. Momen lentur yang lebih tunggu pada *bored pile* memungkinkan struktur menahan beban lateral dengan lebih efektif. Peningkatan momen inersia penampang tiang berkontribusi pada resistensi yang lebih baik terhadap momen lentur, mengurangi risiko keruntuhan akibat gaya horizontal seperti angin dan gempa.

Deformasi lateral pada *bored pile* relatif lebih kecil dibandingkan dengan tiang pancang, hal ini dapat diartikan pergeseran horizontal struktur bisa diminimalisir. Disebabkan oleh kekakuan tiang yang lebih tinggi dan interaksi tiang dengan tanah lebih efektif. Stabilitas lateral yang tinggi sangat penting untuk bangunan tinggu atau struktur dengan beban beban lateral yang signifikan. Dengan demikian, *bored pile* memberikan keunggulan dalam hal kekuatan struktur, momen lentur, dan deformasi lateral. Fondasi *bored pile* dapat menjadi pilihan dalam gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar kapasitas dukung fondasi tiang pancang pada fondasi eksisting?
2. Berapa besar penurunan yang terjadi pada fondasi pada fondasi eksisting?
3. Bagaimana perbandingan nilai kapasitas dukung dan penurunan fodasi tiang eksisting dengan fondasi alternatif?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa nilai kapasitas dukung tiang dan penurunan pada fondasi eksisting (tiang pancang)?
2. Berapa nilai dukung tiang dan penurunan pada fondasi alternatif (tiang bor)?
3. Bagaimana perbandingan nilai kapasitas dukung dan penurunan tiang

eksisting dengan fondasi alternatif?

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang akan diteliti dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data yang berkaitan dengan proyek konstruksi Gedung Parkir Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
2. Data tanah yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah N-*Standart Penetration Test* (SPT) pada pada lahan proyek pembangunan Gedung Parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
3. Struktur bawah di lapangan atau *existing* menggunakan fondasi tiang pancang dengan diameter 0,6 m dengan kedalaman 14 m.
4. Perhitungan struktur bangunan gedung sesuai dengan SNI 2847-2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
5. Perencanaan tahan gempa sesuai dengan SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.
6. Beban gempa yang digunakan sesuai dengan wilayah Kota Balikpapan.
7. Analisis penurunan tiang pancang menggunakan metode Penyebaran 2:1.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca mengenai analisis daya dukung *bored pile*, penurunan fondasi *bored pile* dengan menggunakan variasi diameter yang berbeda beserta dengan perbandingannya dan diharapkan dapat menjadi bahan referensi yang dapat digunakan oleh pembaca.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada umumnya bangunan bertingkat memiliki beban yang cukup berat sehingga memerlukan fondasi yang dapat memikul beban dengan baik. Salah satu jenis struktur bawah yang paling sering digunakan pada gedung bertingkat adalah fondasi dalam yaitu *bored pile*. Sama seperti fondasi yang lain, berfungsi untuk meneruskan dan mendistribusikan berat yang diakibatkan oleh struktur atas ke arah lapisan tanah, yang diharapkan dapat berdiri dengan kokoh (Nakazawa, 1983*)*.

Pemasangan tiang bor dapat dilakukan dengan cara mengebor tanah dengan diameter yang telah ditentukan hingga mencapai kedalaman rencana, Kemudian tulangan baja yang telah dirakit dimasukan ke dalam lubang bor dan dilakukan pengecoran ke dalam lubang. Fondasi tersebut dapat dipasang pada posisi tanah yang cukup keras di kedalaman yang telah ditentukan sehingga mengurangi getaran tanah yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada bangunan sekitar.

2.2 Kapasitas Dukung Fondasi *Bored Pile*

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2018) bertujuan untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung ultimit hasil desain eksisting dengan alternatif desain fondasi *bored pile* pada kedalaman 18 m. Metode statis digunakan dalam perhitungan analisa struktur serta pembebanan menggunakan apilkasi SAP 2000. Variasi diameter yang digunakan adalah 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m pada kedalaman 12,6 m dengan kondisi 11,6 m dan qc sebesar 90 kg/cm². Dari ketiga variasi yang digunakan diambil nilai yang paling besar, yaitu 12157,09 kN dengan diameter sebesar 0,8m dan jumlah tiang sebanyak 1 buah yang memiliki beban terbesar berada pada *frame* 333 yaitu sebesar 2881,653 kN dan penurusan fondasi sebesar 3043,868 kN, dengan jumlah tiang sebanyak 3 dan terletak pada kedalaman 11 m. Penurusan yang terjadi sebesar 1,75 mm. Kemampuan yang dimiliki oleh material

tiang menentukan kapasitas dukung fondasi tiang untuk menahan beban struktural. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh nilai tegangan ijin dengan mutu K-300 sebesar 249 kg/cm² lebih besar daripada nilai Tegangan. yang terjadi pada tiang yaitu sebesar 57,289 kg/cm² sehingga fondasi aman untuk digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Idris (2019) bertujuan untuk mengetahui beban struktur yang diterima, kapasitas daya dukung, dimensi, serta penurunan fondasi tiang bor. SNI 1726-2012 digunakan sebagai acuan dalam perhitungan analisa struktur serta *STAADPro V8i* sebagai aplikasi yang membantu dalam pembebanan. Setelah dianalisa dan dihitung pembebanan struktur atas didapatkan hasil beban terbesar pada kolom (B5-C5) dengan nilai Pu = 13944,2 kN, Muy = 1394,973 kN, dan Mux = 278,139 kN. Kedalaman fondasi yang direncanakan adalah 20 m dengan diameter yang digunakan yaitu 0,9 m dan 0,8 m berdasarkan penentuan perhitungan kapasitas dukung. Tiang bor tunggal dengan diameter 0,9 m diperoleh nilai daya dukung 359,75 ton dan perkelompok dengan efisiensi 71,7394% didapatkan nilai 1548,49 ton. Sedangkan pada tiang bor tunggal dengan diameter 0,8 m diperoleh nilai daya dukung 313,5 ton dan perkelompok dengan efisiensi 75,7766% didapatkan nilai 950,423 ton. Penurunan terbesar terjadi pada kolom (B5-C5) sebesar 1,382 cm.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani (2019) bertujuan untuk mengetahui beban struktur yang diterima, kapasitas daya dukung, dimensi, serta penurunan fondasi tiang bor menggunakan metode statis. *ETABS* 2016 V.16.2.0 digunakan sebagai program bantu untuk menghitung analisa struktur gaya-gaya dalam pada struktur yang diperlukan untuk mendesain tulangan. Dimensi yang digunakan sebesar 0,6 m serta variasi yang digunakan adalah jumlah tiang dalam satu grup dengan diameter yang sama yaitu 5, 3, dan 2 tiang. Daya dukung ultimit tiang tunggal (Qa) dan daya dukung kelompok tiang (Qpg) menjadi hal yang dianalisa. Nilai yang didapatkan untuk Qa sebesar 241,301 ton. Sedangkan nilai Qpg berurutan variasi 5, 3, dan 2 adalah 965,2 ton, 784,71 ton, dan 452,44 ton. Tulangan yang digunakan adalah 12 D19 dengan penurunan fondasi tiang sebesar 2,3 cm. Penurunan yang terjadi masih dalam batas aman karena lebih kecil dari S

(ijin) yaitu sebesar 6 cm. Kemudian, P(max) yang dihasilkan juga lebih kecil dari kapasitas ijin tiang sehingga fondasi tiang bor dapat digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Tamimi (2020) bertujuan untuk mengetahui fondasi tiang bor yang aman, efektif, dan ekonomis dengan variasi dimensi. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m dengan panjang tiang sebesar 14 m serta metode yang digunakan dalam perhitungan analisa struktur adalah statis, teoritis, dan pembebanan menggunakan aplikasi bantuan yaitu *ETABS.* Penelitian yang dilakukan ini menggunakan metode *Reese and Wright* dengan hasil analisis struktur masing-masing sebesar 2731,4232 kN, 295,4614 kN, dan 3890,5856 kN. Kemudian, dengan menggunakan metode *Skempton* diperoleh hasil masing-masing sebesar 2196,6498 kN, 2644,3589 kN, dan 3115,3824 kN. Hasil keseluruhan yang diperoleh terhadap beban total yang akan diterima adalah aman.

Penelitian yang dilakukan oleh Mutiarasella (2020) bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penuruan fondasi tiang bor yang akan dibandingkan pada fondasi eksisting (telapak). Fondasi eksisting berupa fondasi telapak beton bertulang dengan dimensi 3,5 m x 3,5 m x 0,5 m dan kedalaman -2,00 m. Fondasi yang digunakan sebagai pembanding adalah fondasi tiang bor dengan diameter 0,6 m dengan panjang tiang 13 m. Pada penelitian ini metode *Meyerhof*f (1951) digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi dengan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium. Sementara untuk penurunan tiang tunggal digunakan metode Poulos dan Davis (1980), dan untuk tiang kelompok menggunakan metode Vesic (1969). Nilai yang didapatkan untuk daya dukung ultimit (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) dari hasil analisis pada fondasi eksisting sebesar 3303,349 kN dan 1321,340 kN. Tiang bor menghasilkan nilai daya dukung ultimit (Qu), daya dukung ijin (Qall), dan daya dukung kelompok tiang (Qg) sebesar 6744,230 kN, 2697,692 kN, dan 5395,384 kN. Nilai penurunan fondasi eksisting dan alternatif sebesar 12,2 cm dan 3,6 cm untuk tiang tunggal serta 6,4 untuk kelompok. Nilai dari kedua fondasi tersebut telah memenuhi syarat menurut SNI 8460-2017 yaitu kurang dari $0{,}15+(D/600)$ sebesar 15,1 cm.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Penilitian Sebelumnya						**Penilitian yang dilakukan**
Peneliti	**Hidayat (2018)**	**Idris (2019)**	**Ramadhani (2019)**	**Tamini (2020)**	**Mutiarasella (2020)**	**Amarta (2024)**
Judul	Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Fondasi *Bored Pile* pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta.	Perencanaan Fondasi Tiang Bor pada Rusunami Sentraland Bekasi Jawa Barat.	Studi Perencanaan Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) pada Gedung Transmart Malang.	Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung dengan Fondasi *Bored Pile*.	Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana.	Perhitungan Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Menggunakan Variasi Diameter
Metode	Metode *Schmetmann*, Metode *Nottingham* Metode *Meyerhof* dan *Reese and Wright*, Metode Numerik (SAP 2000).	Metode Statis (SPT), Metode *Meyerhof*, Metode Numerik (STAAD Pro V8i).	Metode Statis (SPT), Metode *Meyerhof*, Metode Semi Empiris.	Metode Skempton, *Reese and Wright*, Metode Numerik (ETABS).	Metode *Meyerhof*, Metode Numerik (SAP 2000), Metode Paulos Davis (1980), Metode Vasic.	Metode *Meyerhof*, Metode Reese and Wright, Metode Numerik (SAP 2000), Metode Paulos Davis (1980), Metode Vasic.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Penilitian Sebelumnya						**Penilitian yang dilakukan**
Peneliti	**Hidayat (2018)**	**Idris (2019)**	**Ramadhani (2019)**	**Tamini (2020)**	**Mutiarasella (2020)**	**Amarta (2024)**
Tujuan	Mengetahui perbandingan kapasitas dukung ultimit hasil *design* eksisting dengan alternarif desain *bored pile* kedalaman 18m	Mengetahui daya dukung penurunan, dan penulangan fondasi tiang bor dan *pilecap*.	Mengetahui daya dukung jumlah tulangan dan penurunan fondasi tiang bor *pilecap*.	Mengtahui daya dukung fondasi *bored pile* dengan variasi dimensi	Mengetahui daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor yang akan dibandingkan pada fondasi eksisting (tapak).	Mengetahui daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor yang akan dibandingkan pada fondasi eksisting dengan variasi dimensi.
Hasil	Kapasitas dukung fondasi tiang untuk menahan beban struktural tegangan.	Berdasarkan perhitungan daya dukung digunakan fondasi dengan kedalaman 20 dan 2 diameter yaitu 0,8 m dan 0,9 m.	Fondasi tiang bor dapat digunakan karena pmax yang dihasilkan dari gaya eksentrisitas lebih kecil dari kapasitas ijin tiang.	Fondasi tiang bor secara keseluruhan aman terhadap beban total yang akan diterima.	Fondasi eksisting (telapak) dan fondasi alternatif (fondasi tiang bor) secara keseluruhan telah memenuhi syarat penurunan pada fondasi menurut sni 8460-2017.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Tanah memiliki peran yang cukup krusial dalam perencanaan sebuah Gedung. Tidak hanya sebagai bahan baku namun tanah juga digunakan sebagai fondasi dalam mendirikan sebuah bangunan. Tanah dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu pasir, krikil, lanau, dan lempung. Pada umumnya sebuah bangunan dibuat diatas ataupun di bawah permukaan tanah. Maka dari itu,xx diperlukan suatu sistem fondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah (Bowless, 1997).

3.1.1 Klasifikasi Jenis Tanah

Menurut Hardiyatmo (2012), secara umum tanah diklasifikasikan sebagai tanah kohesif dan non kohesif. Klasifikasi didasarkan oleh ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan (uji sedimentasi) dan plastis. *Unfied Soil Classification System (USCS)* merupakan salah satu sistem klasifikasi atau cara pengatagorian yang banyak digunakan. Sifat indeks tanah yang sederhana seperti indeks plastis, batas cair, dan distribusi ukuran butiran menjadi acuan dalam pengatagorian pada sistem ini.

Pengatagorian tanah dalam *USCS* terbagi menjadi dua, yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau/lempung). Termasuk berbutir kasar apabila lolos uji saringan 200 kurang dari 50% dan termasuk berbutir halus apabila lolos uji saringan 200 lebih dari 50%. Pada pengatagorian tanah dibedakan menjadi sejumlah kelompok sub kelompok yang tertera pada Simbol-simbol yang digunakan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

G = Kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

C = Lempung (*clay*)

M = Lanau (*silt*)

O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic sand*)

W = Gradasi baik (*well-graded*)

P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium[A]				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Kelompok	Nama Kelompok[B]
TANAH BERBUTIR KASAR>50% tertahan ayakan No. 200	Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan ayakan No. 4)	Kerikil bersih (Butir halus[C] < 5%)	Cu ≥ 4 dan 1 ≤ Cc ≤ 3[D]	GW	Kerikil[E] bergradasi baik
			Cu < 4 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3[D]	GP	Kerikil[E] bergradasi jelek
		Kerikil dengan butir halus (Butir halus[C] > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil[E, F, G] lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	GC	Kerikil[E, F, G] lempungan
	Pasir (Lebih besar ≥50% Fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4)	Pasir bersih (Butir halus[H] < 5%)	Cu ≥ 6 dan 1 ≤ Cc ≤ 3[D]	SW	Pasir[I] bergradasi baik
			Cu < 6 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3[D]	SP	Pasir[I] bergradasi jelek
		Pasir dengan butirhalus (Butir halus[H] > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir[F,G,I] lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir[F,G,I] lempungan
TANAH BERBUTIR HALUS 50% lolos Ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair < 50	Non Organik	PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis "A"	CL	Lempung[K,L,M] rendah
			PI < 4 atau terletak di bawah garis "A"	ML	Lanau[K,L,M]
	Lanau dan lempung Batas cair < 50	Organik	Batas cair - kering oven	*OL*	Lempung[K,L,M,N] organik
			Batas cair – tidak kering		*Lanau[K,L,M,O] organik*

Lanjutan Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium[A]				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Kelompok	Nama Kelompok[B]
TANAH BERBUTIR HALUS 50% lolos Ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair ≥ 50	Non Organik	PI terletak pada atau di atas garis "A"	CH	Lempung[K,L,M] tinggi
			PI terletak di bawah garis "A"	MH	Lanau[K,L,M] elastis
		Organik	*Batas cair - kering oven*	OH	Lempung[K,L,M,P] organik
			Batas cair – tidak kering		*Lempung[K,L,M,O] organik*
TANAH BEROGANIK	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik			PT	Gambut

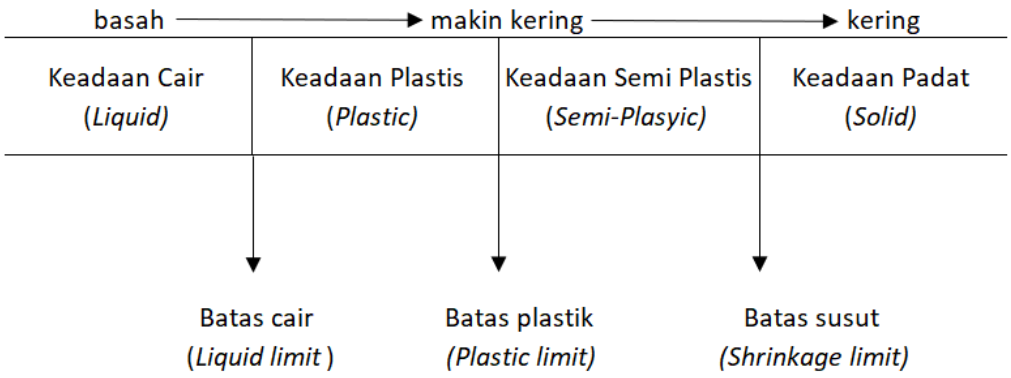
[A] Berdasarkan material lolos ayakan 3 inci (75 mm)
[B] Apabila contoh lapangan mengandung bongkahan atau kerakal, atau keduanya tambahkan "dengan bongkahan atau kerakal atau keduanya" pada nama kelompok
[C] Kerikil-kerikil dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda:GW–GM Kerikil bergradasi baik dengan lanau GW–GC Kerikil bergradasi baik dengan lempung GP–GM Kerikil bergradasi jelek dengan lanau GP–GC Kerikil bergradasi jelek dengan lempung
[D] $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$
[E] Apabila tanah mengandung ≥ 15% pasir, tambahkan "dengan pasir" pada nama kelompok
[F] Apabila butiran halus diklasifikasikan sebagai CL–ML gunakan simbol ganda GC–GM atau SC–SM.
[G] Apabila butiran halus adalah organik, tambahkan "dengan butiran halus organik" pada nama kelompok
[H] Pasir-pasir dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda:SW–SM Pasir bergradasi baik dengan lanauSW–SC Pasir bergradasi baik dengan lempungSP–SM Pasir bergradasi jelek dengan lanau SP–SC Pasir bergradasi jelek dengan lempung
[L] Apabila tanah mengandung ≥ 15% kerikil, tambahkan "dengan kerikil" pada nama kelompok
[J] Apabila batas-batas Atterberg berada di dalam daerah yang diarsir, tanah adalah lempung lanauanCL–ML
[K] Apabila tanah mengandung 15% sampai 29% tertahan ayakan No. 200, tambahkan "dengan pasir"atau "dengan kerikil" mana yang paling dominan
[L] Apabila tanah mengandung ≥ 30% tertahan ayakan No. 200 dan dominan pasir, tambahkan "pasiran" pada nama kelompok
[M] Apabila tanah mengandung ≥ 30% tertahan ayakan No. 200 dan dominan kerikil, tambahkan "kerikilan" pada nama kelompok
[N] PI ≥ 4% dan berada pada atau di atas garis "A"
[O] PI < 4% atau berada di bawah garis "A"
[P] PI berada di atas garis "A"
[Q] *PI berada di bawah garis "A"*

(Sumber: SNI 6371-2015)

3.1.2 Batas-batas Atterberg

Tanah berbutir halus memiliki sifat plastis yang harus diperhatikan. Sifat plastis ini dikarenakan adanya kandungan partikel mineral lempung pada tanah. Definisi dari plastisitas adalah kemampuan butir-butir tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk tanpa terjadi perubahan *volume* tanpa retak. Jumlah nilai kadar air tanah memengaruhi wujud tanah sehingga tanah dapat berwujud cair, plastis, semi plastis, dan padat. Memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar

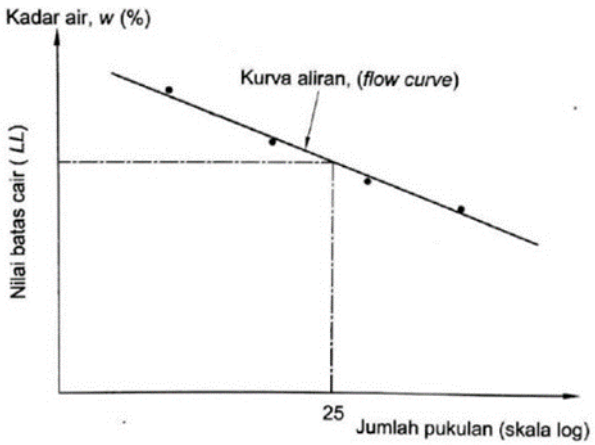
airnya (Atterberg, 1991) dalam (Hardiyatmo, 2012). Batas-batas yang dimaksud adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), batas susut (*shringkage limit*), indeks plastisitas (*plasticity index*). Pada Gambar 3.1 sebagai berikut dapat dilihat batas konsistensi pada tanah kohesif.



Gambar 3. 1 Batas- batas Atterberg
(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

1. Batas cair

   Batas cair (LL) merupakan batas nilai kadar air tanah pada keadaan cair dan plastis. Pengujian *Casagrande* digunakan dalam penentuan batas cair. Hasil darin pengujian *Casagrande* adalah hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan dan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk penentuan kadar air pada pukulan ke-25.



Gambar 3. 2 Kurva pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung
(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

2. Batas Plastis

   Batas plastis (*PL)* merupakan batas nilai kadar air tanah pada keadaan plastis dan semi plastis. Ditandai dengan mulai retaknya tanah yang digulung silinder dengan diameter 3,2 mm.

3. Batas Susut

   Batas susut (*SL)* merupakan batas nilai kadar air tanah pada keadaan semi plastis dan padat. Ditandai dengan tidak adanya perubahan *volume* ketika kadar air pada tanah diuapkan.

4. Indeks Plastisitas

   Indeks plastisitas (*PI)* adalah perbedaan nilai antara batas cair (*LL)* dan batas plastis (*PL)*. Keplastisitasan tanah diketahui dari indeks plastisitas. Nilai *PI* yang tinggi menunjukan bahwa tanah tersebut mengandung banyak butiran halus atau lempung. Jika Nilai *PI* rendah maka hal ini menunjukan tanah memiliki sedikit butiran halus dan sedikitnya pengurangan kadar air yang mengakibatkan tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7,00	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7,00 -17,00	Plastisitas >Sedang	LempungBerlanau	Kohesif
> 17,00	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

3.2 Penyelidikan Tanah

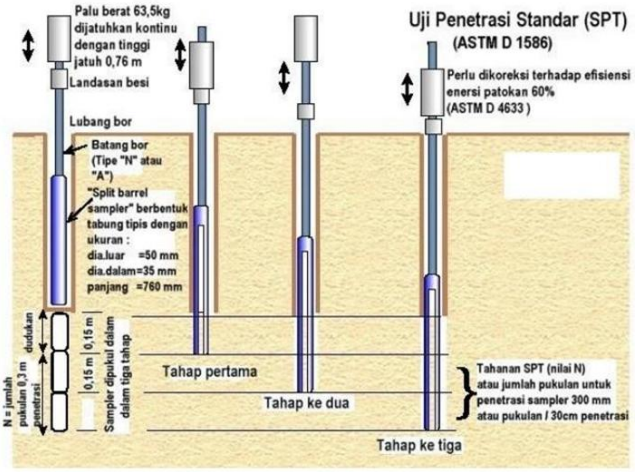
Penyelidikan tanah dibutuhkan dalam perencanaan pembangunan. Adanya penyelidikan tanah ini kita dapat mengetahui karakteristik dan daya dukung tanah. Hal ini digunakan sebagai dasar dalam konstruksi. Penyelidikan tanah dilakukan baik di lapangan (lokasi pembangunan) maupun di laboratorium. Tujuan dari penyelidikan tanah tersebut adalah untuk mengetahui kedalaman dari tanah padat,

kapasitas daya dukung tanah, kedalaman muka air tanah, analisis fondasi, dan simulasi proses konstruksi.

Upaya penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan dapat dilakukan dengan beberapa metode dua diantaranya adalah *cone penetration test (CPT)* dan *standard penetration test (SPT).* Dalam pengujiannya terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu penggalian lubang uji, pengambilan contoh tanah, dan pengujian *sample* di laboratorium. Tanah yang diuji terbagi menjadi dua yaitu tanah terganggu (*disturbed sample)* dan tanah tidak terganggu (*undisturbed sample).* Pengujian dilakukan pada tanah asli yang bebas humus dan akar tumbuhan. Pada penelitian ini, data tanah yang digunakan merpukan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait.

3.3 Standar Penetration Test (SPT)

Standard penetration test (*SPT*) merupakan metode pengujian tanah yang digunakan demi mendapatkan data kekuatan dan jenis tanah pada suatu lapisan tanah tertentu. Pengujian *SPT* dilakukan di lubang bor selepas pengambilan sampel tanah tiap 2 m. Pelaksanaan pengujian *SPT* dengan cara memukul tabung sedalam 0,45 m dengan palu seberat 63,5 kg dari ketinggian 0,76 m. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah jumlah pukulan pada penetrasi sedalam 0,15m . Gambar 3.3 berikut menunjukan skema pengujian *SPT.*



Gambar 3. 3 Tahapan Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)
(Sumber : SNI 4153:2008)

3.4 Fondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari bahan kayu, beton, atau baja yang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah dengan cara dipancang (Bowles,1981). Tiang pancang bekerja dengan mendistribusi beban secara vertikal sepanjang tiang dan ujung tiang pancang tersebut. Tiang pancang sendiri biasa digunakan untuk menahan beban struktur atas dan gaya angkat ke atas sebuah bangunan yang cukup besar dengan faktor gaya guling akibat beban yang ada berupa angin, gempa, dan sebagainya.

Fondasi tiang pancang dibagi menjadi dua berdasarkan cara pemindahan bebannya yaitu:

1. *End bearing pile (point bearing pile)*

   Tiang jenis ini meneruskan beban dari struktur atas ke tanah keras melalui tahanan ujung.

2. *Friction pile*

   Tiang jenis ini meneruskan beban dari struktur atas ke tanah keras melalui tahanan gesek dari tiang tersebut. Jenis tiang ini dibedakan menjadi dua berdasarkan jenis dari tanah tempat diletakkaan fondasi tersebut, yaitu pada tanah dengan butir kasar mudah menyalurkan air dan tanah butir halus yang sulit untuk menyalurkan air. Perbedaan dari kedua jenis tersebut adalah berkurang atau tidaknya pori tanah yang menentukan tanah disekitarnya menjadi *compact* atau tidak.

3.5 Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile)*

Fondasi tiang bor adalah fondasi yang pemasangannya dilakukan dengan cara mengebor terlebih dahulu, kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai lalu dilanjutkan dengan pengecoran beton (Hardiyatmo, 2015). Keunggulan dalam penggunaan tiang bor antara lain sebagai berikut:

1. Pemasangan tiang bor dapat dilakukan menembus batuan.
2. Kedalaman dan lebar tiang bor dapat diatur lebih fleksibel.
3. Pengangkutan dan pemancangan tidak memengaruhi tegangan pada

penulangan.

4. Minim polusi suara ketika dipasang.
5. Tidak bergerak dari posisi awalnya ketika dipasang pada tanah lempung yang berpotensi memiliki tanah bergelombang.
6. Minim potensi adanya kerusakan pada bangunan sekitarnya.
7. Dasar fondasi dapat diperbesar memberikan ketahanan terhadap gaya lateral dan gaya horizontal.

3.6 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor

Menurut Raharjo (2005) kapasitas daya dukung tiang adalah kemampuan tiang dalam mendukung beban fondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung ini menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan,

Berdasarkan perhitungan beban tiang dibedakan menjadi 2 macam, yaitu sebagai berikut:

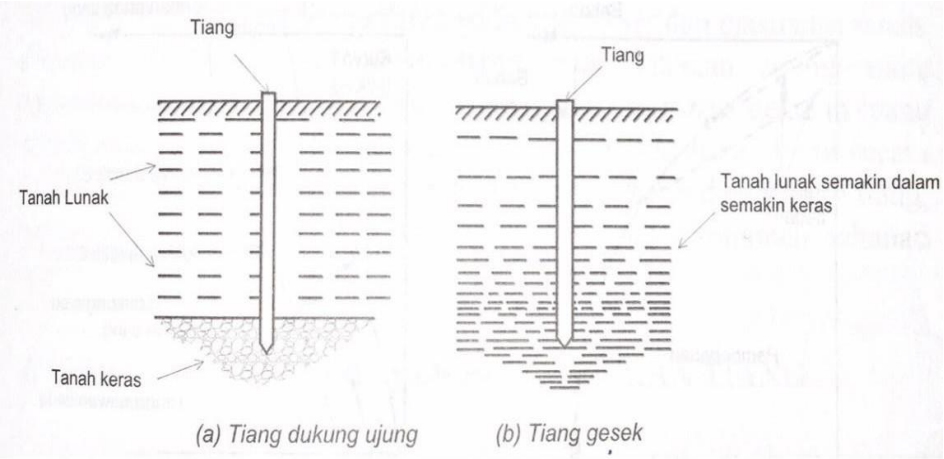
1. Tiang Dukung Ujung (*End Bearing Pile)*

   Tiang dukung ujung merupakan tiang dengan kapasitas dukung yang ditentukan dari tahanan ujung tiangnya. Tahanan ujung tiang yang terletak pada zona tanah lunak yang didasari tanah keras sangat sering digunakan. Pemasangan tiang biasanya mencapai tanah keras atau batuan dasar dan diharapkan untuk dapat mendukung beban yang telah diperhitungkan sehingga tidak mengakibatkan penurunan. Kapasitas dukung tiang bergantung pada tahanan dukung yang berada di bawah ujung tiang serta lapisan tanah keras.

2. Tiang gesek (*Friction Pile)*

   Tiang gesek memiliki kapasitas dukung yang ditentukan oleh tahanan gesek antara sisi tiang dengan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dengan konsolidasi tanah menjadi hal yang diperhitungkan dalam perhitungan kapasitas dukung tiang.

   Gambaran tiang yang diperhatikan berdasarkan cara mendukung bebannya menurut Tomlinson (1997) dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut:



Gambar 3. 4 Tiang yang Ditinjau dari Cara Mendukung Beban
(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Rumusan untuk daya dukung tiang bor ditunjukan oleh persamaan 3.1 berikut.

$$Q_{ult} = Qp + Qs \quad (3.1)$$

Keterangan:

Q_{ult} = daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

Perhitungan kapasitas dukung disesuaikan dengan jenis tanah. Menggunakan hasil penyelidikan tanah, diperoleh informasi jenis tanah lebih banyak berupa tanah sedang. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menunjang kebutuhan proyek.

3.6.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang tunggal merupakan kemampuan sebuah tiang dalam menahan beban tanpa adanya kegagalan. Daya dukung tiang dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Daya dukung ujung tiang

   Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya dukung ujung tiang adalah persamaan 3.2 dan persamaan 3.3, sebagai berikut:

a. Metode *Meyerhof*

$Q_p = A_p \cdot (40\ N_r) \cdot L_b / D < A_p \cdot 400\ N_r$ (3.2)

Keterangan,

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

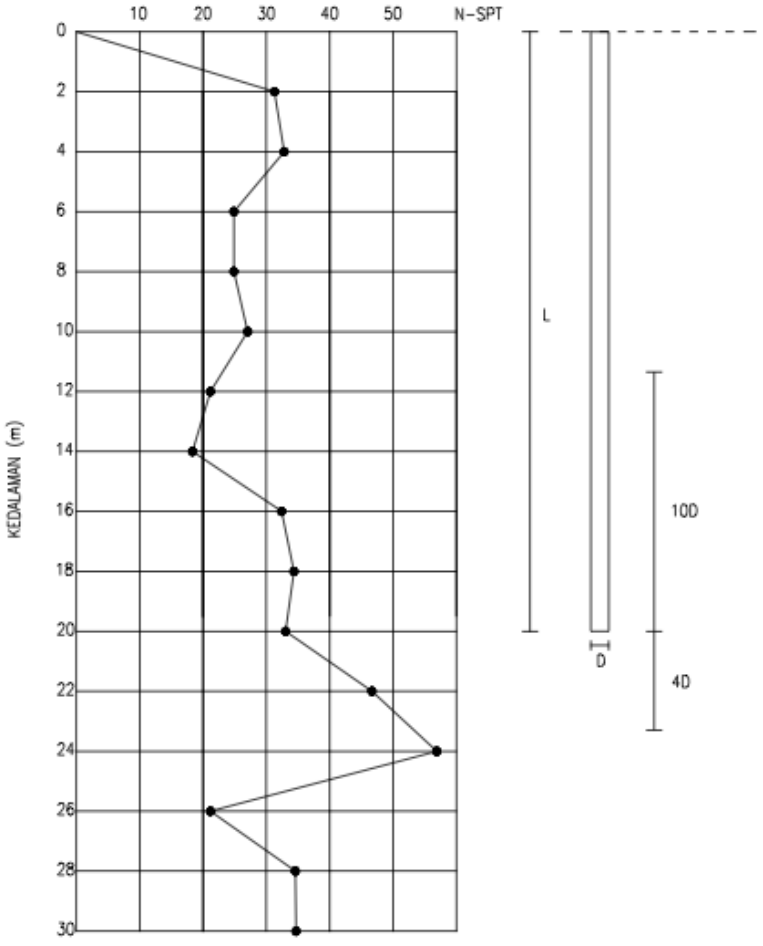
N_1 = Nilai SPT pada kedalaman 10D dari ujung tiang kebawah

N_2 = Nilai SPT pada kedalaman 4D dari ujung tiang keatas

N_r = Nilai SPT rata-rata pada elevasi tiang

A_p = Luas penampang tiang (m)

L_b = Panjang tiang (m)



Gambar 3. 5 Nilai N-SPT yang Digunakan untuk Desain Tahanan Ujung

(Sumber : *Meyerhof*, 1951)

b. Metode *Reese and Wright*

Q_p = $A_{p\,x}\ q_p$ (3.3)

Keterangan,

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang tiang (m)

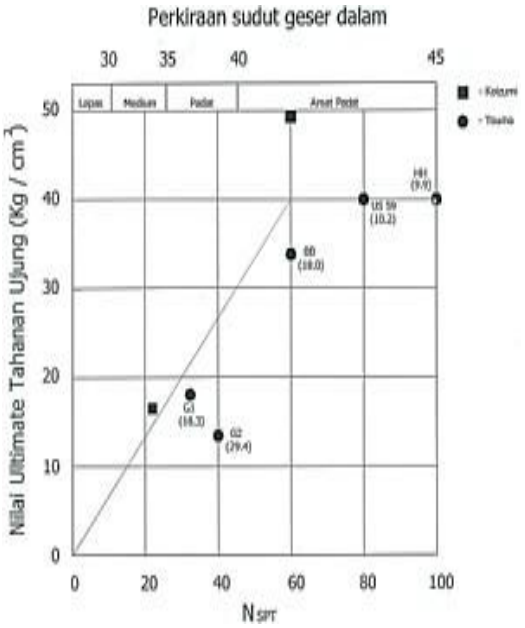
q_p = Tahanan ujung per satuan luas ($\frac{t}{m^2}$)

q_p = $9\ x\ c_u$, (untuk tanah kohesif)

q_p = $N < 60$, maka q_p= 7 N ($\frac{t}{m^2}$) < 400 ($\frac{t}{m^2}$)

q_p = $N > 60$, maka q_p= 400 ($\frac{t}{m^2}$)

N = Nilai rata-rata SPT



Gambar 3. 6 Daya dukung ujung batas *bore pile* (*Reese and Wright*)
(Sumber: *Reese and Wright*, 1977)

2. Daya Dukung Selimut

a. Metode *Meyerhof*

Penentuan daya dukung selimut metode *Meyerhof* berdasarkan persamaan 3.4 dan 3.5 berikut:

Q_s = L . p . fav (3.4)

Untuk tanah kohesif

$f_{s\,av}$ = 2 (Nr) (3.5)

Keterangan,

Q_s = daya dukung selimut (kN)

p = keliling tiang (m)

f = gesekan selimut ($\frac{kN}{m^2}$)

$f_{s\,av}$ = gesekan selimut rata-rata ($\frac{kN}{m^2}$)

Nr = nilai SPT rata-rata sepanjang tiang

L = panjang tiang (m)

b. Metode *Reese and Wright*

Penentuan daya dukung selimut metode *Reese and Wright* berdasarkan persamaan 3.6, 3.7, dan 3.8 berikut:

$$Q_s = f\ x\ L_i\ x\ p \quad (3.6)$$

Keterangan,

Q_s = Daya dukung selimut (pada tanah kohesif)(kN)

p = Keliling tiang (m^2)

f = Tahanan Satuan Gesekan Selimut ($\frac{kN}{m^2}$)

Li = Panjang Lapisan Tanah (m)

f = $\alpha\ x\ c_u$ (3.7)

Keterangan,

α = Faktor adhesi

α = 0,55 (Penelitian *Reese and Wright* (1977))

c_u = Kohesi Tanah ($\frac{t}{m^2}$)

Untuk tanah non kohesif,

$N < 53 \rightarrow f = 0,32\ N\ (\frac{t}{m^2})$

$53 < N < 100 \rightarrow f = 0,32\ N\ (\frac{t}{m^2})$

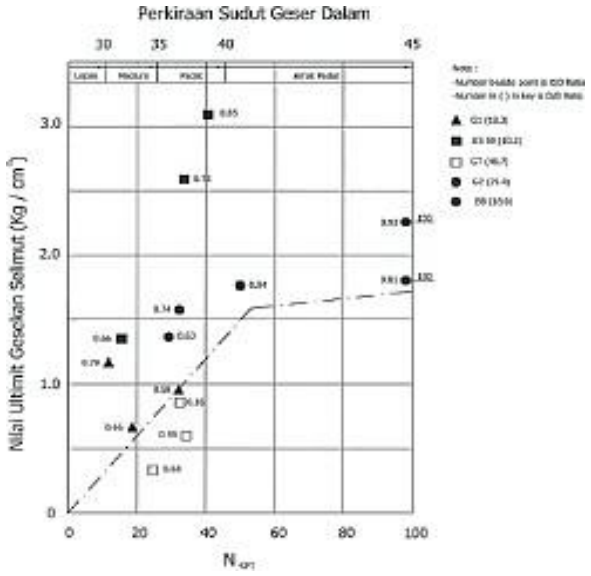
Nilai f juga dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8 berikut:

$$f = K0\ x\ \sigma v'\ x\ tan\varphi \quad (3.8)$$

Keterangan,

$K0$ = $1 - sin\varphi$

$\sigma v'$ = Tegangan Vertikal Efektif Tanah ($\frac{t}{m^2}$)



Gambar 3. 7 Tahanan Geser Selimut *borepile* pada tanah pasiran
(Sumber: *Reese and Wright*, 1977)

3.6.2 Kapasitas Dukung Ijin

Kapasitas ijin didapatkan dengan cara membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman yang sudah ditentukan. penggunaan faktor aman bertujuan sebagai berikut:

1. Memberikan angka toleransi terhadap perubahan kecil dari faktor yang tidak diketahui.
2. Memberikan angka toleransi terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
3. Memberikan angka toleransi terhadap terhadap bahan yang digunakan mendukung beban yang ada.
4. Memberikan angka toleransi terhadap penurunan tiang tunggal atau kelompok.
5. Memberikan angka toleransi terhadap ketidakseragaman penurunan masing masing tiang tunggal atau kelompok.

Persamaan kapasitas daya dukung ijin dirumuskan pada persamaan 3.9 berikut:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{S_f} \quad (3.9)$$

Keterangan:

Q_{all} = Kapasitas daya dukung ijin fondasi

Q_u = Kapasitas ultimit fondasi

S_f = Angka aman untuk tahanan ujung (2,5)

3.6.3 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Tiang kelompok merupakan beberapa tiang yang dipancang secara berdekatan dan dipasangkan *pile cap* menjadi satu bagian. Jarak antar tiang, jumlah tiang dalam kelompok, dan efisiensi kelompok tiang merupakan hal-hal yang harus diperhatikan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok. Kestabilan kapasitas kelompok tiang bergantung pada dua hal berikut:

1. Beban total struktur didukung oleh kapasitas dukung gesek dan ujung tanah.
2. Pengaruh dari konsolidasi tanah di sekitar tiang kelompok. Ketika kelompok tiang berada di tanah lunak, timbunan/pasir tidak padat dengan dasar tiang yang bertumpu pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak mempunyai resiko adanya keruntuhan geser umum (*general shear faiture*), jika memiliki faktor aman yang cukup terhadap bahaya keruntuhan tiang tunggalnya. Walaupun begitu, penurunan kelompok tiang masih tetap harus diperhitungkan secara keseluruhan ke dalam tanah lempung lunak (Hardiyatmo, 2010).

3.6.4 Jumlah Tiang (n)

Persamaan 3.10 digunakan untuk merumuskan penentuan jumlah tiang, sebagai berikut:

$$n = \frac{P}{Q_{all}} \quad (3.10)$$

Keterangan:

P = Beban yang bekerja

Q_{all} = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal

3.6.5 Jarak Tiang (s)

Perhitungan yang digunakan untuk menghitung jarak menurut Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik menggunakan persamaan 3.11 dan 3.12 serta digambarkan oleh Gambar 3.8 berikut:

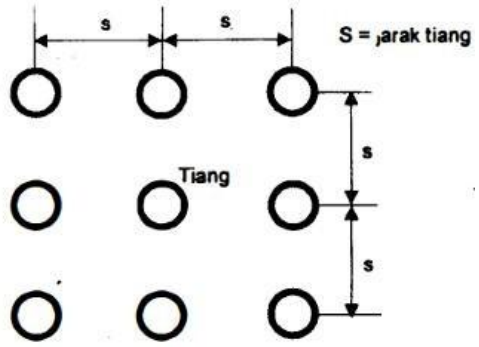
$$S \geq 2{,}5D \tag{3.11}$$

$$S \leq 3D \tag{3.12}$$

Keterangan:

S = Jarak pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)

D = Diameter (m)



Gambar 3. 8 Jarak Antar Tiang
(Sumber : Sardjono, 1991)

Persyaratan minimum untuk jarak antar tiang dalam kelompok adalah 0,6 m -2,0 m, hal ini berdasarkan pertimbangan berikut:

1. Bila S ≤ 2,5 D

   Maka tanah yang berada di antara tiang akan terlalu rapat dan mengakibatkan tanaah akan bergerak ke atas dan akan mengganggu tiang yang telah dipasang terlebih dahulu sehingga kedalaman fondasi akan menjadi tidak sama antara satu dan yang lain.

2. Bila S ≥ 3,5D

   Maka *pile cap* akan terlalu besar menyebabkan kenaikan biaya yang digunakan untuk membuat *pile cap*.

3.6.6 Efesiensi Kelompok Tiang

Besar atau kecilnya daya dukung kelompok tiang juga ditentukan dengan formasi dari kelompok tiang. Hal ini dirumuskan dengan persamaan 3.13 sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{((n-1)m+(m-1)n)}{90mn}\right) \quad (3.13)$$

Keterangan,

Eg = Efesiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris

n = Jumlah tiang dalam satu baris

θ = Arc tg d/s dalam derajat

S = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

3.6.7 Kapasitas Ijin Kelompok Tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dinyatakan dengan Persamaan 3.14 berikut:

$$Q_g = E_g \; x \; n \; x \; Q_u \quad (3.14)$$

Keterangan,

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang (ultimit)

E_g = Efisiensi kelompok tiang

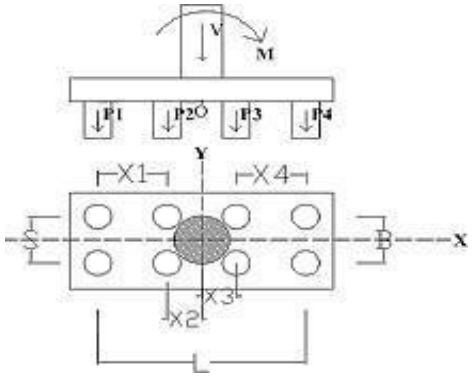
n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_u = Beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan reruntuhan

Jika kelompok tiang berada pada lapisan tanah yang kurang baik seperti pasir tidak padat, lempung lunak, dan tanah timbunan. Namun tumpuan dasar tiang berada pada lapisan kaku. Hal ini tidak berisiko keruntuhan geser umum pada kelompok tiang tersebut dengan syarat diberikan faktor aman yang cukup pada keruntuhan geser tunggal. Pada tiang kelompok yang bertumpu pada tanah lunak atau tidak kaku faktor aman pada keruntuhan blok juga harus diperhitungkan, utamanya pada jarak antar tiang dalam satu blok yang cukup dekat.

3.6.8 Analisis Distribusi Beban

Kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) dimana hal tersebut akan memengaruhi kapasitas daya dukung fondasi tiang (Hardyatmo, 2015). Gambar 3.9 menunjukan pembebanan seperti berikut:



Gambar 3. 9 Beban Sentris dan Momen Kelompok Tiang
(Sumber : Rizaldy, 2012)

Tekanan aksial dari masing-masing tiang dapat dihitung menggunakan persamaan 3.15 berikut ini.

$$Pi = \frac{P}{n_p} \pm \frac{M_y X_i}{n_y \sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{n_x \sum y^2} \quad (3.15)$$

Keterangan,

Pi = Beban akasial pada tiang ke-i

P = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang

Mx = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x

My = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y

n_p = Banyaknya tiang bor dalam kelompok

n_x = Banyaknya tiang bor dalam kelompok baris x

n_y = Banyaknya tiang bor dalam kelompok baris y

X_i, y_i = Absis atau jarak tiang ke pusat berat kelompok tiang ke tiang no-i

Σx^2 = Jumlah kuadrat absis-absis tiang bor

Σy^2 = Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang bor

3.7 Penurunan Fondasi Tiang

Penurunan (*settlement*) adalah ketika tanah di sekitar lokasi mengalami penurunan dan panjang tiang berkurang ketika dibebani. Pergerakan satu titik tertentu terhadap satu titik tetap sebagai referensi digunakan untuk menunjukan penurunan (*settlement).* Penurunan yang terjadi dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan berikut ini.

3.7.1 Tiang Tunggal

Menurut Haryatmo (2015) pada fondasi tiang tunggal penurunan jangka panjang yang terjadi cukup kecil akibat konsolidasi. Sehingga tidak perlu ditinjau karena pada perencanaan fondasi tiang meliputi kuat dukung ujung dan kuat dukung friksi atau penjumlahan dari keduanya. Persamaan 3.16, 3.17 serta gambar 3.10 dan 3.11 memberikan penjelasan mengenai formula penurunan yang memiliki beberapa metode.

1. Metode *Poulos and Davis*

a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{Q\ I}{Es\ D} \tag{3.16}$$

$$I = I_o\ R_k\ R_h\ R_\mu$$

b. Untuk tiang tahanan ujung

$$S = \frac{Q\ I}{Es\ D} \tag{3.17}$$

$$I = I_o\ R_k\ R_b\ R_\mu$$

Keterangan,

S = Penurunan untuk tiang tunggal

Q = Beban yang bekerja

Io = Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (Gambar 3.10 (a))

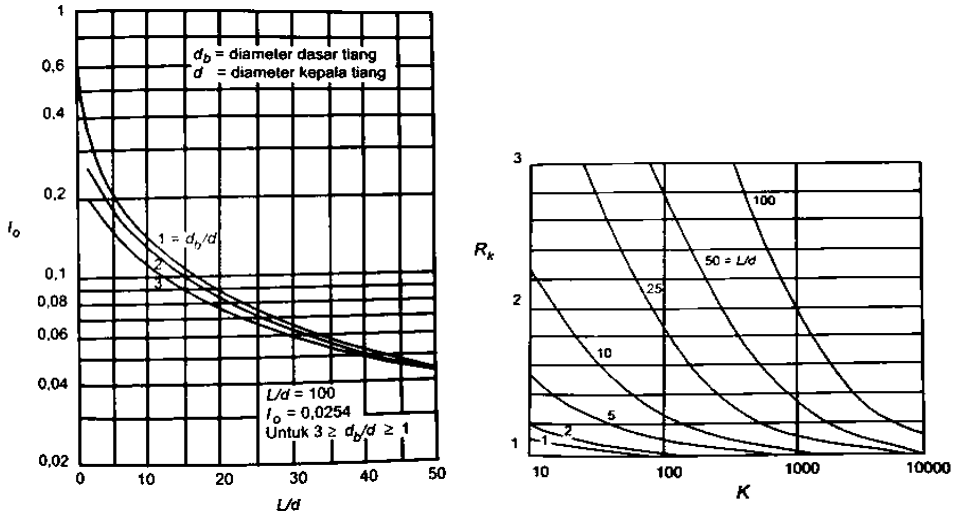
R_k = Faktor koreksi kemudahan mampatan tiang (Gambar 3.10 (b))

R_h = Faktor koreksi ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras (Gambar 3.11 (a))

R_μ = Faktor koreksi angka poisson μ (Gambar 3.11 (b))

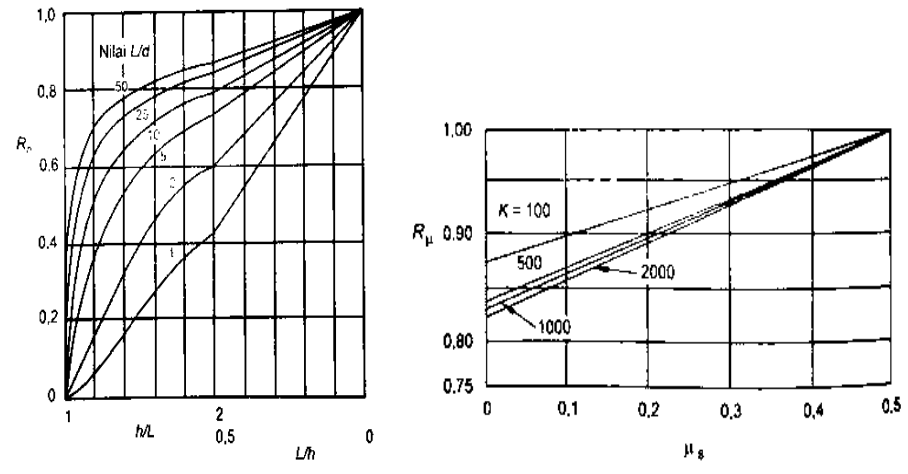
R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung (Gambar 3.12)

h = Kedalaman total lapisan tanah ujung tiang ke muka tanah



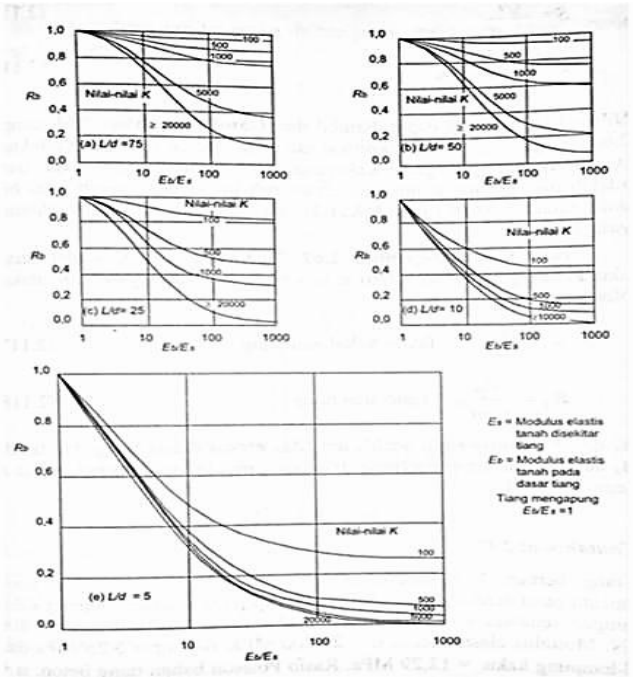
(a) (b)

Gambar 3. 10 (a) Faktor Penurunan Io Poulus dan Davis; (b) Koreksi
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)



(a) (b)

Gambar 3. 11 (a) Koreksi Kedalaman Rh; Koreksi Angka Poisson, Rμ
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)



Gambar 3. 12 Koreksi Kekakuan lapisan Pendukung, R_b
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Dari grafik pada gambar 3.10 dan 3.11 bisa didapatkan nilai koefisien, dengan R_b = faktor koreksi untuk kekuatan lapisan pendukung (Gambar 3.12). Kekerasan tanah pendukung bawah tiang dipengaruhi oleh penurunan, sebab itu mengurangi penurunan menjadi hal yang harus dilakukan. Terlihat lebih jelas pada tiang pendek (tiang kaku) yang terletak pada lapisan keras. Gambar 3.10 dan 3.11 terlihat ukuran kompresibilitas relatif antara tanah dengan tiang diperlihatkan dengan rumus 3.18 dan 3.19 berikut:

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} = \text{Faktor kekakuan tiang} \quad (3.18)$$

$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \text{Rasio area tiang} \quad (3.19)$$

Keterangan,

K = Faktor kekuatan tiang

E_p = Modulus elastisitas tiang

E_s = Modulus elastisitas tanah di sekitar tiang

E_b = Modulus elastisitas tanah di dasar tiang

E_p dan E_s merupakan modulus elastis dari bahan tiang dan tanah, A_p merupakan luas penampang tiang. Nilai kompresibel tiang berbanding terbalik dengan nilai K, semakin tinggi kompresibel tiang semakin rendah K. Elastisitas tanah ditunjukan oleh nilai *modulus young* hal ini juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan yang terjadi. Menggunakan data dari jenis tanah, sondir, dan $N_{SPT.}$ Tabel 3.4 berikut ini menunjukan nilai perkiraan modulus elastisitas tanah.

Tabel 3. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1977)

Macam Tanah	E (kN/m^2)
Lempung	
Sangat Lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 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
Loes	15000 - 60000
Serpih	140000 - 1400000

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Metode *Meyerhof*

a. Daya dukung tiang berdasarkan SPT

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.20)$$

Keterangan,

Q_{Ult}= Daya dukung ultimit (ton)

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

Q_b = Daya dukung ujung (ton)

W_p = Berat tiang (ton)

Sehingga,

$$Q_{ult} = Q_b + (Q_{s_{clay}} + Q_{s_{sand}}) - W_p \quad (3.21)$$

$$Q_{ult} = (40.N_b.A_b) + \left(\frac{N_c}{2}A_{sc} + \frac{N_s}{5}A_{ss}\right) - (V_{tiang}.\gamma_{beton}) \quad (3.22)$$

N_b = Nilai rata-rata N, berjarak 8D ke atas dan 4D ke bawah dari ujung tiang

A_b = Luas penampang ujungtiang (m²)

N_c = Nilai rata-rata N pada lapisan lempung

A_{sc} = Luas selimut tiang pada lapisan lempung (m²)

N_s = Nilai rata-rata N pada lapisan pasir

A_{ss}= Luas selimut tiang pada lapisan pasir (m²)

$\gamma beton$ = Massa jenis beton (2,5 $\frac{ton}{m^3}$)

Nilai m = 40 untuk koefisien tahanan ujung tiang dan nilai n = 0,2 untuk koefisien tahanan gesek tiang pada tanah lempung berpasir sedangkan n = 0,5 pada tanah lanau yang dianjurkan oleh *Meyerhof* (Ahmad, 2016).

b. Penurunan tiang tunggal

Penurunan fondasi tiang tunggal dihitung dengan persamaan berikut:

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (3.23)$$

$$S = \frac{(Q_p + \alpha.Q_f)L}{A_p.E_p} \quad (3.24)$$

$$S = \frac{(C_p.Q_p)}{D.qp} \quad (3.25)$$

$$S_{ps} = \frac{Q_f}{p.L}\ x\ \frac{D}{E_s}(1-\mu^2)I_{ws} \quad (3.26)$$

Keterangan,

S = Penurunan total fondasi tiang tunggal (m)

S_s = Penurunan akibat deformasi tiang tunggal (m)

S_p = Penurunan dari ujung tiang (m)

S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (m)

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

Q_f = Beban yang didukung selimut tiang (kN)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastis tiang ($\frac{kN}{cm^2}$)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang. (Vesic, 1977, α = 0,33 – 0,50)

Q_p = Perlawanan ujung di bawah beban kerja (kN)

qp = Kapasitas dukung batas di ujung tiang ($\frac{kg}{cm^2}$)

C_p = Koefisien empiris

P = Keliling tiang (m^2)

D = Diameter tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah ($\frac{kg}{cm^2}$)

μs = Angka poisson (m)

3. Metode *Vesic*

Penurunan tiang tunggal dihitung sebagai berikut:

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \,.\, L}{A_b \,.E_b} \tag{3.27}$$

Keterangan,

A_b = Luas penampang tiang

D = Diameter tiang

E_b = Modulus elastisitas tiang

L = Panjang tiang yang tertanam

Q = Beban kerja tiang

S = Penurunan total kepala tiang

3.7.2 Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan fondasi tiang tunggal tidak lebih besar dari penurunan fondasi tiang kelompok. Dipengaruhi oleh tegangan pada daerah yang lebih luas dan dalam. Penurunan kelompok tiang pada tanah pasir dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah metode Vesic (1969). Persamaan 3.28 berikut adalah penurunan kelompok tiang.

1. Penurunan Segera

$$S_g = S\sqrt{\frac{B_g}{D}} \tag{3.28}$$

Keterangan,

Sg = Penurunan fondasi kelompok tiang

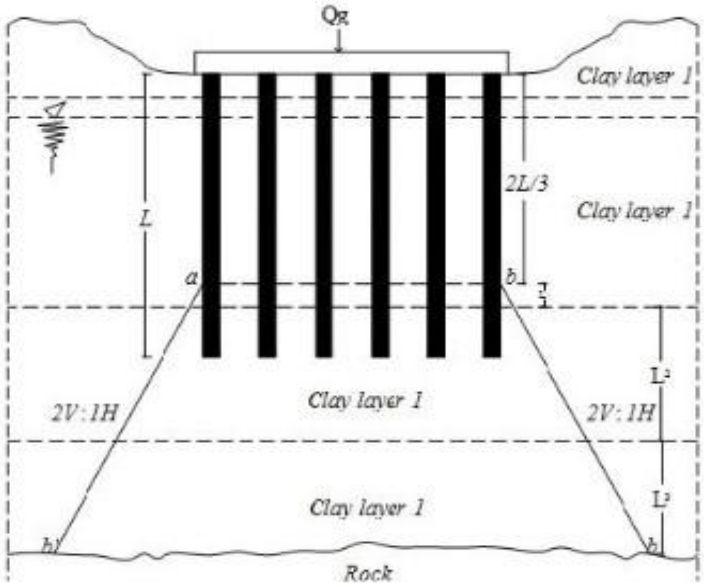
S = Penurunan fondasi tiang tunggal

Bg = Lebar kelompok tiang

D = Diameter tiang tunggal

2. Penurunan Jangka Panjang

   Penurunan terjadi sedikit demi sedikit sehingga hal ini tidak terjadi seketika sekaligus. Berikut ini merupakan Gambar 3.13 penurunan tiang dengan penyebaran 2:1.



Gambar 3. 13 Penurunan Tiang Dengan Metode Penyebaran 2:1
(Sumber: Tomlinson, 1986)

Prosedur berikut digunakan untuk penurunan kelompok tiang:

1. Beban kerja ditentukan
2. Pengalihan beban kerja di kedalaman 2/3D (di bawah *pilecap).* Karena penurunan di atas kedalaman tersebut cukup kecil, maka hal ini dapat diabaikan.
3. Dengan perkiraan persebaran beban kerja ke bawah fondasi tiang dengan pola 2:1 untuk vertikal : horizontal.
4. Kompresibel tanah, tegangan efektif awal (Po'), dan besarnya beban luar menentukan pembagian di masing-masing lapis tanah.

Perhitungan penurunan dapat dilihat pada persamaan 3.29 berikut:

$$S_{pg} = \sum \frac{C_c \Delta H}{1+e0} \cdot log \frac{P_o{}^F \Delta p}{P_o{}'} \quad (3.29)$$

Keterangan,

S_{pg} = Penurunan kelompok tiang (m)

Cc = Indeks kompresi (lihat tabel 3.5)

ΔH = Tebal lapisan (m)

ΔP = Tegangan efektif tanah pada lapisan ke-1 ($\frac{kN}{m^2}$)

e0 = Angka pori

Po' = Tegangan efektif tanah ($\frac{kN}{m^2}$)

Tabel 3. 5 Nilai Indeks Kompresi (Cc)

Jenis tanah	Nilai Cc
Gambut	1,00 - 4,50
Lempung plastis	0,15 - 1,00
Lempung kaku	0,06 - 0,15
Lempung setengah kaku	0,03 - 0,06
Pasir lepas	0,025 - 0,05
Pasir padat	0,005 - 0,01

(Sumber: Soedarno dan Purnomo, 1993)

3.7.3 Penurunan yang Diijinkan

Penurunan ijin adalah penurunan tiang pancang yang masih dianggap aman jika nilainya masih dibawah batas ijin. Toleransi struktur atas dan bangunan di sekeliling yang ditinjau dari tiap kasus dengan acuan integritas, stabilitas, dan fungsi dari struktur tersebut menjadi penentuan dari besarnya penurunan total dan penurunan yang diijinkan menurut SNI 8460-2017. Nilai maksimal dari penurunan dapat diketahui dengan hubungan antara penurunan yang diijinkan dan penurunan total, yaitu $S_{total} \leq S_{izin}$ dan dirumuskan pada persamaan 3.30 berikut.

$$S_{izin} = 15 \text{ cm} + B/600 \quad (3.30)$$

Keterangan,

S_{izin} = penurunan yang diijinkan (cm)

B = Lebar Bangunan (cm)

3.8 Distribusi Beban Gempa

Distribusi beban gempa merupakan gaya-gaya horizontal yang terjadi akibat gempa yang didistribusikan ke seluruh bangunan. Oleh sebab itu, bangungan sangat membutuhkan pendistribusian beban gempa dengan baik sehingga bangunan tidak runtuh karena gempa.

3.8.1 Analisis Distribusi Beban Gempa

Perhitungan yang dilakukan untuk menganalisis beban gempa ada beberapa langkah yang harus dilakukan.

1. Klasifikasi Profil Tanah

   Prosedur klasifikasi tanah demi memenuhi kriteria dalam desain *seismic* berupa amplifikasi pada bangunan. Menurut SNI Gempa 1726-2019 pasal 5.3. Tabel 3.6 menunjukkan klasifikasi profil tanah sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Klasifikasi Profil Tanah

Kelas Situs	Vs (m/det)	N atay Na	Su (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebihdari 3 m tanah karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, *PI* > 20, 2. Kadar air, w ≥ 40% 3. Kuat geser niralir Su < 25 kPa		

Lanjutan Tabel 3. 7 Klasifikasi Profil Tanah

Kelas Situs	Vs (m/det)	N atay Na	Su (kPa)
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikdan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salahsatu lebih dari karakteristik berikut : Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempungsangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut(ketebalan *H* > 3 m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan *H* > 7,5 dengan Indeks Plastisitas *PI* > 75) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh denganketebalan *H*> 35 m dengan Su < 50 kPa		

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI (1726-2019))

2. Periode Struktur Bangunan (T)

Besar beban gempa yang akan dioperasikan pada gedung ditentukan oleh periode struktur bangunan, Menurut SNI 03-1726-2019.

a. Waktu Getar Struktur (T)

Persamaan yang digunakan dalam waktu getar struktur pada rangka beton menurut SNI 03-1726-2091 adalah persamaan 3.31 berikut ini:

$$T_a = 0{,}0466\ x\ H^{0,9} \qquad (3.31)$$

Keterangan,

H = Tinggi struktur bangunan

b. Faktor Keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung menurut SNI 03-1726-2019 bagian 4.1.2 Tabel 1 pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I) yang ditunjukan pada tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Faktor Keutamaan (I) Untuk Berbagai Kategori Bangunan

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

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2019)

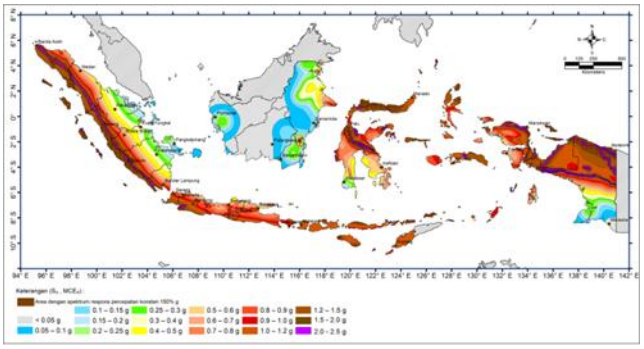
c. Nilai Respon Spektrum Gempa (C)

Nilai respon spektrum gema dapat diketahui dari parameter percepatan yang terpetakan. Hal ini tercantum pada SNI 03-1726-2019. Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) dan percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) merupakan parameter untuk mencari nilai respon spektrum gempa. Parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan 3.15.

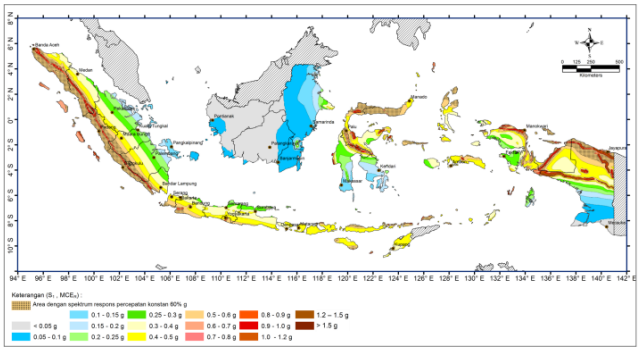
Pasal-pasal SNI 03-1726-2019 yang menentukan data $F_a, F_v, S_s, dan\ S_1$berikut ini:

1.) Pasal 6.2 menunjukan koefisien situs dari periode pendek pada periode 0,2 detik (F_a) dan periode jangka Panjang (F_v)

2.) Pasal 6.1.1 menunjukan parameter percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek redaman 5%(S_s) dan periode 1 detik dengan redaman 5% (S_1).



Gambar 3. 14 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik
(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2019)



Gambar 3. 15 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek (S_1)
(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2019)

d. Beban Geser Nominal (V)

Persamaan 3.32 berikut merupakan perhitungan beban geser nominal menurut SNI 03-1726-2012.

$$V = C_s \, x \, W_t \tag{3.32}$$

e. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

Nilai untuk gempa statik yang akan diambil pada nilai gaya geser gempa dinamik harus kurang dari 100%. Apabila kurang dari 100% maka harus dikalikan dengan faktor skala yang tertera pada persamaan 3.33 berikut.

$$\text{Faktor skala } = \frac{1 \, x \, V_s}{V_d} \geq 1 \tag{3.33}$$

3.9 *Structural Analysis Program* (SAP2000)

Program komputer yang digunakan untuk menganilisis serta merancang kekuatan struktur dari sebuah bangunan adalah SAP. Program ini menggunakan prinsip permodelan, eksekusi analisis, dan pemeriksaan yang dilakukan dalam sakali jalan. Permodelan tersebut dijalankan secara *real time* dan hal tersebut sangat memudahkan penggunaannya secara menyeluruh, singkat, dan hasil yang tepat. Menghasikan model struktur, grafik, dan *spreadsheet,* hal tersebut dapat disesuaikan dengan hal yang dibutuhkan demi penyusunan laporan analisis desain. Kemampuan yang dimiliki SAP 2000 ada beberapa, seperti berikut ini.

1. Kecepatan dan keakuratan analisis.
2. Pembebanan *static* dan *dynamic.*
3. Keakuratan permodelan elemen *shell.*
4. Menganalisa secara *dynamic* dengan *ritz* dan *eigenvalue.*
5. Bentuk geometri struktur yang kompleks dapat digunakan system koordinat ganda.

Langkah-langkah awal untuk penggunakaan program *SAP 2000* adalah sebagai berikut.

1. Gambar teknik yang digunakan diidentifikasi *joint, fram, restraint,* dan *constraint.*
2. Karakteristik material (kuat tekan beton, mutu baja, dan sebagainya) disesuaikan dengan pendefinisian karakteristik material dan *frame section.*

3. Kode pada gambar teknik disesuaikan ke penampang yang digunakan, yaitu balok, kolom, dan pelat.
4. Pembebanan (beban mati (W_d),beban hidup (W_L), kombinasi beban *(combo)* didefinisikan dengan koefisien berikut:
   a. 1,4 D
   b. 1,2 D + 1,6 L
   c. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L + 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
   d. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L + 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
   e. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L - 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
   f. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L - 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
   g. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L + 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
   h. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L + 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
   i. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L - 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
   j. (1,2 + 0,2 SDS) D + 1,0 L - 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
   k. (0,9 – 0,2 SDS) D + 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
   l. (0,9 – 0,2 SDS) D + 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
   m. (0,9 – 0,2 SDS) D - 1,3 Rsx + 0,39 Rsy
   n. (0,9 – 0,2 SDS) D - 1,3 Rsx - 0,39 Rsy
   o. (0,9 – 0,2 SDS) D + 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
   p. (0,9 – 0,2 SDS) D + 0,39 Rsx - 1,3 Rsy
   q. (0,9 – 0,2 SDS) D - 0,39 Rsx + 1,3 Rsy
   r. (0,9 – 0,2 SDS) D - 0,39 Rsx - 1,3 Rsy

   Keterangan:

   SDS = Parameter percepatan spectrum respons desain pada periode pendek
   D = Beban Mati
   L = Beban hidup
   Rsx = Beban gempa dinamik arah x
   Rsy = Beban gempa dinamik arah y
5. Analisis Struktur dengan *Run Analysis*

   Berdasarkan hasil analisis didapatkan gaya dalam pada kombinasi beban,

yaitu momen (M), gaya normal (P), dan gaya geser (H). Gaya-gaya dalam tersebut bekerja pada tiap kolom dan kombinasi beban tersebut dipakai untuk beban rencana pada analisis kapasitas dukung fondasi tiang bor.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan analisis kapasitas dukung fondasi tiang bor yang mengambil objek pada proyek pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan menggunakan metode *Meyerhof*, Poulos dan Davis, serta Vesic. Hal ini jiuga bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan fondasi tiang bor sebagai alternatif dari tiang pancang dalam proyek konstruksi ini. Penggunaan metode perhitungan yang berbeda memungkinkan para peneliti untuk membandingkan hasil dan memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang perilaku fondasi. Kapasitas dukung yang didapatkan hal ini diharapkan dapat menahan struktur atas dan penurunan (*settlement)* yang berada pada batas toleransi. Studi kasus ini diharapkan dapat memberikan konstribusi terhadap perkembangan desain fondasi yang lebih efisien dan ekonomis dalam proyek-proyek konstruksi di masa depan

Pada penelitian ini digunakan jenis fondasi tiang bor, dimana pada konsdisi eksisting yang menggunakan jenis tiang pancang. Dimensi yang digunakan adalah 0,6 m dan akan diberikan alternatif dimensi sebesar 0,5 m, 0,6 m, dan 0,7 m.

4.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan berasal dari proyek gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Data yang digunakan sebagai berikut:

1. Gambar teknis pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo.
2. Data beban pada pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanyjoso Djatiwibowo.
3. Data penyelidikan tanah hasil laboratorium dan N-SPT

4.3 Analisis Pembebanan

Besar beban yang akan ditumpu oleh fondasi didapatkan melalui analisis pembebanan. Analisis pembebanan yang dilakukan menggunakan program komputer *SAP 2000.* Penggunaan program ini dijalankan dengan memasukkan data struktur berupa kolom, balok, dan plat. Beban yang digunakan adalah beban mati, beban hidup, beban gempa. Data yang diperoleh adalah gaya-gaya yang akan bekerja pada kolom (aksial), geser, dan momen ini digunakan untuk analisis selanjutnya.

4.4 Analisis Fondasi Tiang Bor

Metode analisis penelitian yang dilakukan ada beberapa hal diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

   Studi Pustaka berfungsi untuk acuan bagi peneliti menganalisis setelah subjek ditentukan. Termasuk buku, pendapat, penelitian terdahulu, maupun teori-teori yang berhubungan dengan penelitian.

2. Metode Pengumpulan Data

   Faktor penting dalam penentuan jenis pekerjaan yang akan dipilih dalam perencanaan konstruksi adalah data. Data yang digunakan berupa gambar teknik, data beban, dan data penyelidikan tanah diperoleh dari CV. Explo Natha Persada.

Perhitungan kapasitas dukung tiang (tunggal dan kelompok) dan penurunan merupakan langkah yang diambil. Berikut adalah langkah penghitungan yang akan digunakan.

1. Menghitung Kapasitas Dukung

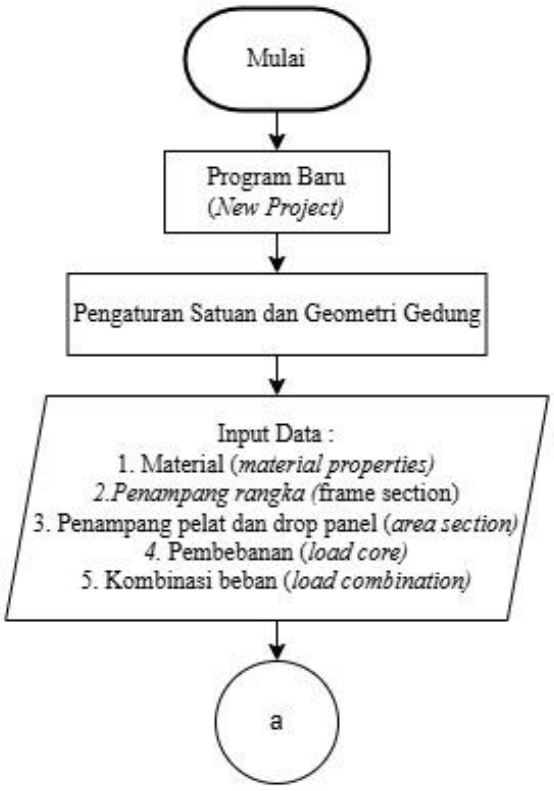
   Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perhitungan, yaitu:

   a. Mencari nilai daya dukung ujung dan selimut pada tiang,
   b. Mencari daya dukung ultimit tiang,
   c. Mencari daya dukung ijin tiang,
   d. Mencari jumlah tiang,

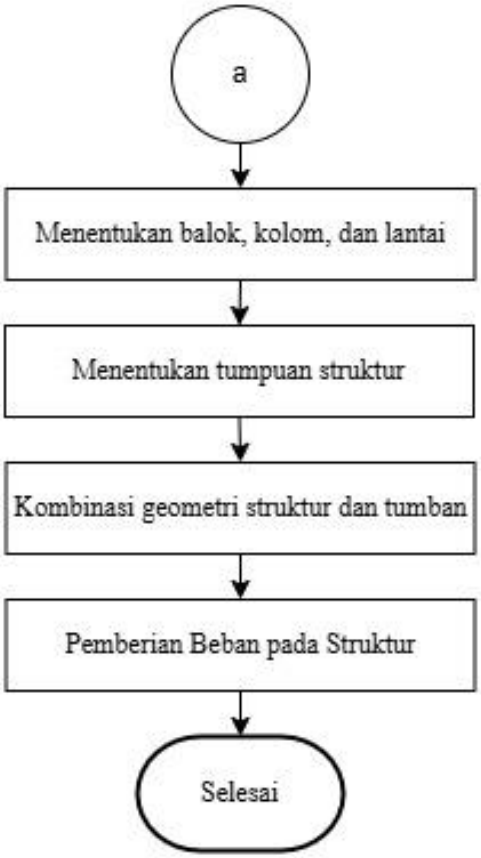
2. Menghitung Kapasitas Dukung Tiang Bor Kelompok
   a. Faktor efisiensi (Eg),
   b. Jumlah tiang (n),
   c. Jarak tiang kelompok (s).
3. Menghitung Penurunan Fondasi
   a. Penurunan fondasi eksisting.
   b. Penurunan fondasi tiang bor tunggal (S),
   c. Penurunan fondasi tiang bor kelompok (Sg),

4.5 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

Penelitian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan, berupa pengumpulan data dan literatur, analisis data, perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi eksisting, hasil dan pembahasan beserta kesimpulan dan saran. Alur dari pembebanan menggunakan program *SAP 2000* dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



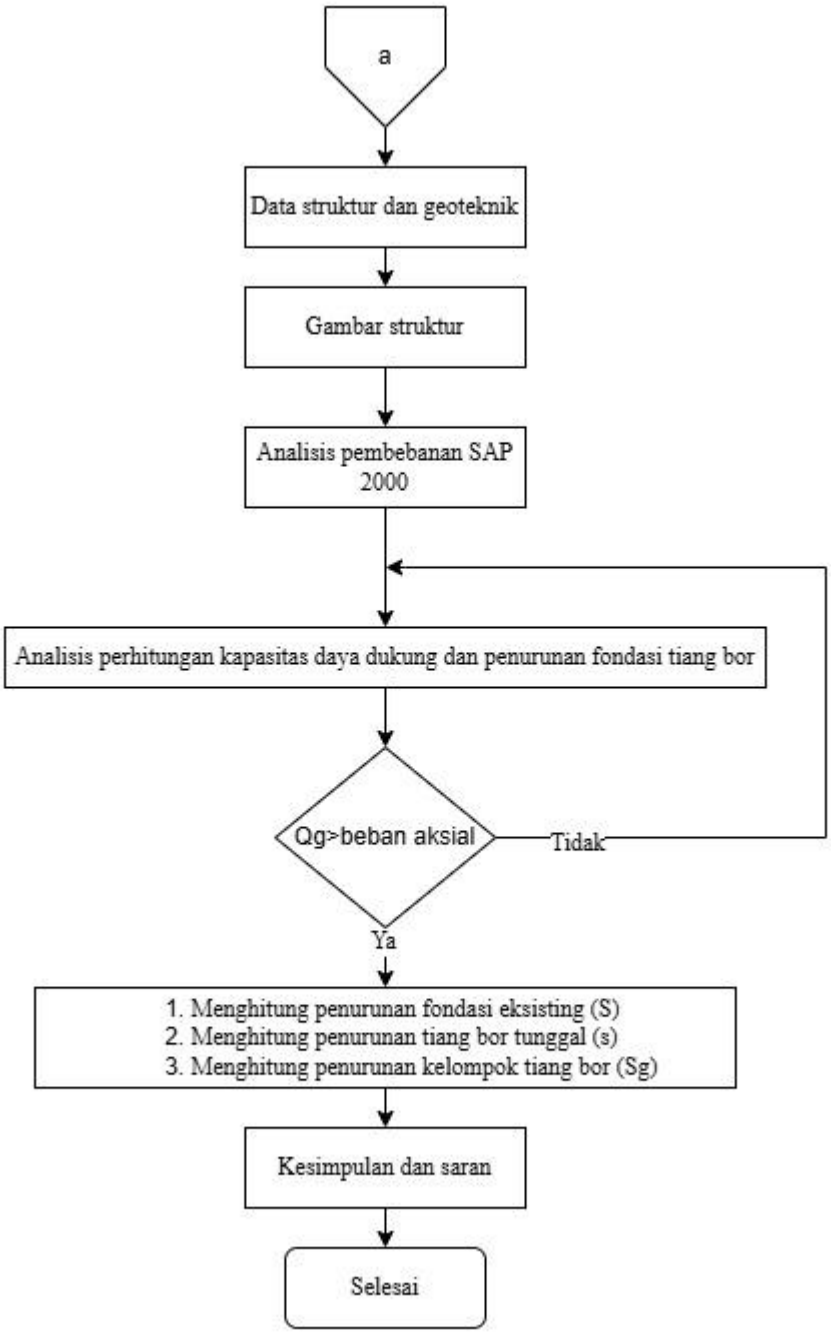
Gambar 4. 1 Bagan Alir Analisis Struktur dengan *Software* SAP2000



Lanjutan Gambar 4. 2 Bagan Alir Analisis Struktur dengan *Software* SAP2000



Gambar 4. 3 Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian

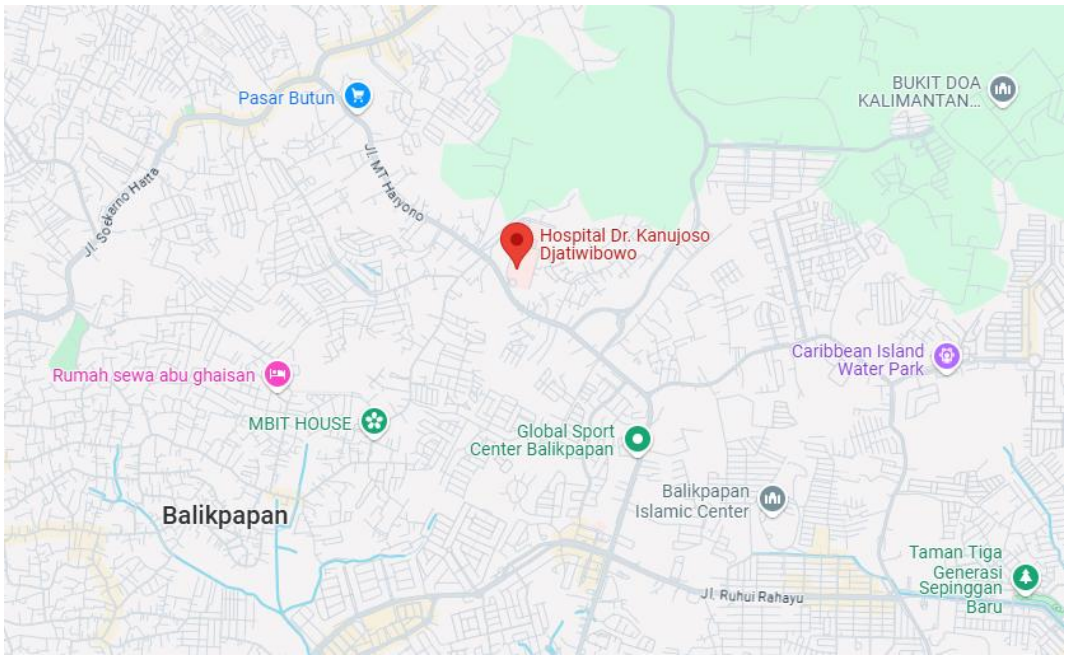


Lanjutan Gambar 4. 2 Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Gedung Parkir RS DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

Gedung parkir rumah sakit DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan merupakan gedung yang dibangun sebagai sarana pendukung pelayanan kinerja rumah sakit. Gedung tersebut berada di jalan MT Haryono No 656, Batu Ampar, Kecamatan Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Gedung tersebut direncanakan akan dibangun tujuh lantai dengan tambahan *basement* dan dak menggunakan beberapa variasi pada panjang bentang dan jarak antar portal. Elevasi *basement* berada pada kedalaman -3,45 m, sementara fondasi pada kedalamanan -6,45 m. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini



Gambar 5. 1 Lokasi Gedung parker RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo
(Sumber: Google Earth)

5.1.1 Data Umum Proyek

Data umum pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo adalah sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Gedung Parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan
2. Pemilik Proyek : Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur
3. Perencanaan : CV. EXPLO NATHA PERSADA
4. Lokasi Proyek : Jalan MT Haryono No.656
5. Konstruksi Bagian Atas : Beton Bertulang
6. Konstruksi Bagian Bawah : Tiang Pancang

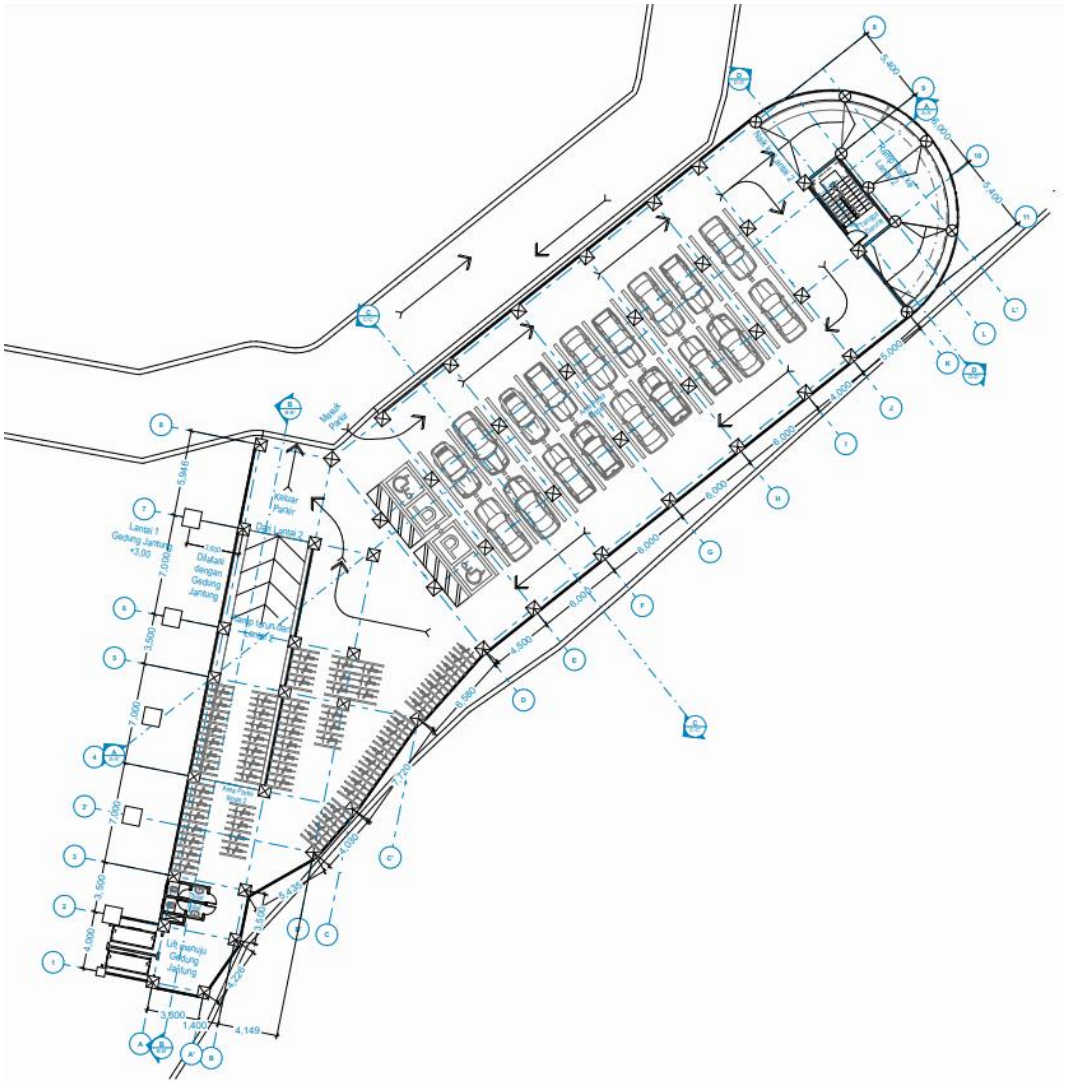
5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan adalah:

1. Beton :
   - Mutu Kolom : K – 300, $f'c$= 24,90 MPa
   - Mutu Balok dan *Sloof* : K – 300, $f'c$ = 24,90 MPa
   - Mutu Pelat Lantai : K – 300, $f'c$ = 24,90 MPa
   - Mutu *Pile Cap* : K – 300, $f'c$ = 24,90 MPa
2. Baja tulangan (*Reinforcement Bar*)
   - Baja Tulangan : U-420 (ULIR)
     : U-280 (POLOS)

5.1.3 Denah Konstruksi

Denah pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo ditunjukan pada Gambar 5.2 berikut:



Gambar 5. 2 Denah Gedung
(Sumber : PT EXPLO NATHA PERSADA)

5.1.4 Data Struktur

Gedung ini memiliki dua struktur utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Konstruksi atas yang dimiliki oleh gedung ini adalah beton bertulang dan konstruksi bawah menggunakan tiang pancang. Perhitungan menggunakan tiang bor dalam penelitian ini meliputi perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi.

Struktur atas merupakan struktur yang terletak di atas dan tegak lurus dengan fondasi. Struktur atas terdiri dari beberapa bagian, yaitu kolom, balok, pelat, dan atap. Kolom memegang peran yang cukup penting pada sebuah struktur bangunan.

Jika terjadi kegagalan dengan kolom, dapat mengakibatkan keruntuhan struktur yang berhubungan dengannya. Pada kondisi terburuknya dapat terjadi keruntuhan total pada struktur bangunan (Istimawan D., 1999). Beban bangunan yang dimiliki disalurkan menuju fondasi melalui kolom, kemudian disalurkan ke tanah keras yang ada di bawah bangunan tersebut Sementara balok dalam sistem struktur bertugas untuk menanggung dan menyalurkan beban ke elemen kolom. Pada saat terjadi pergerakan pada bangunan kolom-kolom tetap menjadi satu kesatuan untuk mempertahankan bentuk serta posisinya.

Pada pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan menggunakan komponen struktur atas sebagai berikut:

1. Kolom

   Menggunakan beton bertulang dengan $f'c = 24{,}9$ MPa
2. Balok

   Menggunakan beton bertulang dengan $f'c = 24{,}9$ MPa

5.2 Pembebanan Struktur

Pada proyek pembangunan gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan digunakan pembebanan sebagai berikut.

1. Beban Hidup

   Beban hidup merupakan beban dari pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang bukan termasuk beban konstruksi. Hal ini tertulis pada SNI 1727 : 2013. Pada SNI 03-1726-2019 telah dikategorikan dari fungsinya dan untuk nilai lantai parkir mobil di angka $4 - 6 \frac{kN}{m^2}$
2. Beban Mati

   Pembebanan beban mati adalah sebagai berikut:

   a. Lantai

      Analisis beban mati pada lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1 barikut ini:

Tabel 5. 1 Analisis Beban Mati Pada Lantai

No	Material	Dimensi	Berat *Volume*	Beban	Ket
		m	kg/m3	kg/m3	
1	Plat beton	0.12	2400	312.00	
2	Spesi	0.03	1700	51.00	
3	Pasir	0.03	1600	48.00	
4	Keramik			10.42	
5	*Plafond*			9.27	
6	*Mechanical*/Electrical			12.00	
7	Partisi			73.40	
Qd Lantai				204.09	kg/m^2
				0.20	t/m2
				2.002	kN/m^2

3. Beban gempa

   Pada pembangunan ini difungsikan sebagai gedung parkir yang memiliki tipe tanah pasir halus.

   a. Perioda Struktur Bangunan (T)

      Besar beban gempa yang akan digunakan pada gedung ditentukan oleh perioda struktur bangunan hal ini berdasarkan SNI 03-1726-2012.

      1) Perioda Fundamental Pendekatan (T_a)

         Gedung parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo memiliki 7 lantai dengan dak ditambah dengan *basement*, dengan ketinggian total sebesar 24,5 m. Gedung ini memiliki struktur rangka beton pemikul momen. Pada pendekatan Ct dan x nilai koefisiennya dapat dilihat di SNI 03-1726-2012, persamaan yang digunakan dijelaskan berikut ini:

$$T_a = 0{,}0466\ x\ H^{0,9}$$
$$= 0{,}0466\ x\ 24{,}5^{0,9}$$
$$= 0{,}8291 \text{ detik}$$

      2) Perioda Computed (T_c)

         Analisis menggunakan program SAP2000 mendapatkan hasil *perioda computed* sebesar 1,163 detik.

      3) Perioda (T)

         Pendekatan koefisien batas atas yang disesuaikan berdasarkan SNI 03-1726-2019 pada Tabel 14 digunakan untuk mendapatkan

perioda fundamental dan didapatkan nilai C_u sebesar 1,5. Sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T = C_u \, x \, T_a$$
$$= 1{,}7 \, x \, 0{,}8291$$
$$= 1{,}4095 \text{ detik}$$

Persyaratan perioda sebagai berikut :

Jika *Tc* > Cu Ta maka T = Cu Ta

Jika Ta < Tc < Cu Ta maka T = Tc, dan

Jika Tc < Ta maka T = Ta

Hasil yang didapatkan dari perhitungan adalah sebesar 0,9612 detik, maka T yang dipakai adalah 1,163 detik menurut persyaratan diatas.

b. Faktor Keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori risiko untuk gedung parkir termasuk dalam kategori risiko III. Hal ini dikatakan dalam SNI 03-1726-2019 pada bagian 4.1.2 dengan nilai 1,25.

c. Nilai Respon Spektrum Gempa

Nilai respon spektrum gempa dapat diketahui melalui parameter percepatan terpetakan. Hal ini dijelaskan dalam SNI 03-1726-2019. Parameter ini terdiri dari dua percepatan batuan dasar yang membedakan adalah perioda pendek ((S_s) dan perioda 1 detik (S_1). Dijelaskan pada Gambar 5.10.

SNI 03-1726-2019 menjelaskan pasal-pasal dalam penentuan data F_a, F_v, S_s, S_1.

1. Pasal 6.2
   a) Koefisien situs untuk perioda 0,2 detik (F_a)
   b) Koefisien situs untuk perioda panjang (F_v)
2. Pasal 6.1.1
   a) Merujuk pada peta gambar, parameter percepatan respon sprectal MCE pada perioda pendek redaman 5%(S_s)
   b) Merujuk pada peta gambar, parameter percepatan respon sprectal MCE pada perioda 1 detik, redaman 5% (S_1)

Berdasarkan hal tersebut didapatkan nilai yang digunakan pada perhitungan respon spektrum yang ditunjukan pada Tabel 5.2, 5.3, dan 5.4. Respon spektrum tersaji pada Gambar 5.10.

Tabel 5. 2 Respon Spektrum Perioda Pendek

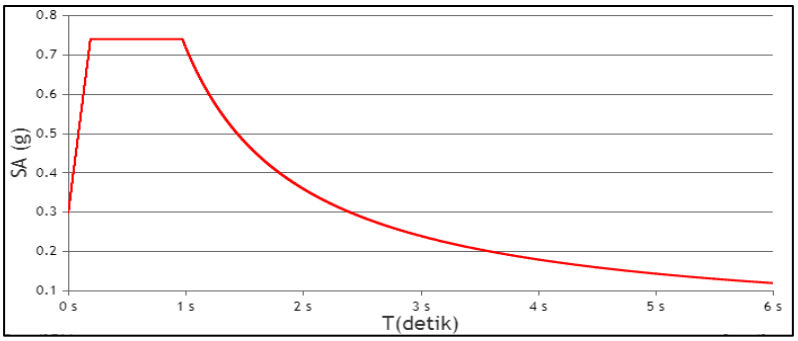
Respon Spectrum Percepatan Periode Pendek	
Ss	0,12
Fa	2,4
S_{MS}	0,288
S_1	0,087
F_v	4,2
S_{M1}	0,3654

Tabel 5. 3 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter Percepatan Spectrum Desain	
S_{DS}	0,192
S_{D1}	0,2436

Tabel 5. 4 Faktor Koreksi Kerentanan

Faktor Koreksi Kerentanan	
C_{RS}	0,900
C_{R1}	0,900
S_{Dsr}	0,567
S_{D1r}	0,260



Gambar 5. 3 Hasil Respon Spektrum
(Sumber : Desain Spektra Indonesia, 2024)

d. Beban Geser Nominal (V)

Perhitungan beban geser nominal menurut SNI 03-1726-2019 sebagai berikut :

$$V = C_s \, x \, W_t$$
$$= 0{,}0328 \, x \; 113416{,}4109$$
$$= 3720{,}058$$

e. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

Nilai dari gaya geser gempa dinamik yang di ambil tidak boleh kurang dari 85% dari nilai gempa statik. Apabila nilai tersebut kurang dari 85% maka harus dikalikan dengan factor skala. Berikut ini persamaan factor skala yang digunakan :

$$\text{Faktor skala} = \frac{0{,}85 \, x \, Vs}{Vd} \geq 1$$

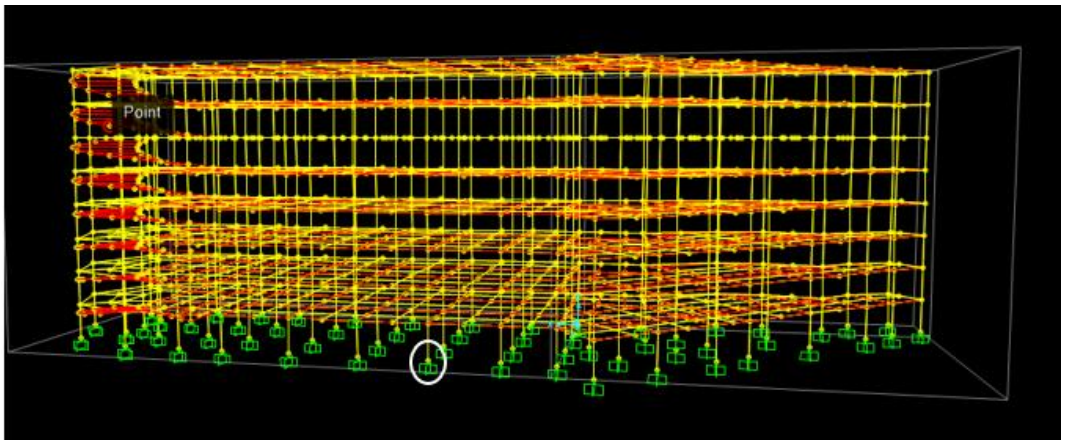
Hasil pengecekan dari gaya geser pada analisis pembebanan gedung, dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut:

Tabel 5. 5 Hasil Analisis Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

	ARAH - X	ARAH - Y
V_s(kN)	3248,64	3000,93
V_d(kN)	2369,44	2228,45
Cek $V_d \geq V_s$	NOT OKE	NOT OKE
Faktor Skala	1,371	1,347
Skala V_d	3361,45	3301,58

5.2.1 Hasil Program SAP2000

Hasil dari analisa pembebanan gedung dilakukan melalui program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut:



Gambar 5. 4 Permodelan SAP2000 Dalam 3 Dimensi
(Sumber: *Software* SAP2000)

Analisa dari struktur menggunakan program SAP2000 dengan asumsi jepit-jepit ditujukan agar tidak adanya pergeseran pada struktur. Pelat lantai dari basement hingga dak merupakan beban mati dari struktur. Beban mati untuk tiap lantai adalah 6,63 $\frac{kN}{m^2}$.

Beban gempa tiap lantai dimasukan dan dihitung berdasarkan ketinggian dan portal. Beban gempa dimasukan secara dua arah, yaitu horizontal (x) dan vertical (y). Ketinggian dari tiap lantai memengaruhi besar beban gempa karena semakin tinggi lantai maka nilai beban gempa akan membesar.

Hasil dari program SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam *frame* XXX dengan kombinasi beban sebagai berikut:

Beban aksial (P) = 2380,158 kN
Gaya Lateral (H) = 534,2378 kN
Momen arah x (Mx) = 483,8561 kNm
Momen arah y (My) = 408,0719 kNm

Data dari kolom yang didapatkan tersebut pada dasarnya akan digunakan untuk menganalisa fondasi tiang bor yang akan digunakan.

5.3 Data Karakteristik Tanah

Setelah dilakukan penyelidikan tanah didapatkan hasil dareah tersebut merupakan tanah pasir. Metode *standard penetration test* (SPT) digunakan untuk penyelidikan tanah pada wilayah proyek Gedung Parkir RSUD DR. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Berikut ini hasil pengujian tanah yang dilakukan di lokasi dan dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Rangkuman Hasli Lubang Bor 1

Kedalaman (m)	N-SPT	Keterangan
2	12	Pasir Halus
4	7	
6	7	Pasir Kelempungan
8	5	
10	8	
12	60	Pasir Halus
14	60	
16	60	
18	60	
20	60	
22	60	
24	60	

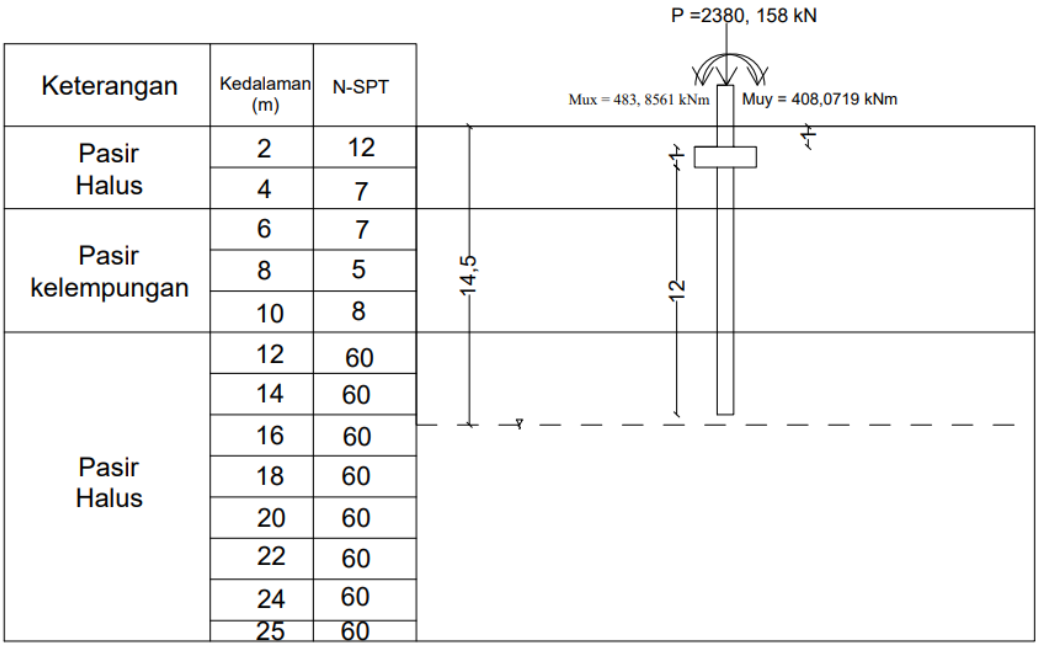
(Sumber : PT BUMI INDONESIA)

5.4 Fondasi Tiang Bor

Analisis dari SAP2000 pada *frame* yang dianalisa mendapatkan hasil berupa beban aksial geser, momen x dan momen y masing-masing sebesar 2380,158 kN, 534,2378 kN, 483,8561 kNm, 408,0719 kNm.

5.4.1 Kapasitas Tiang Bor Tunggal

Pada analisis pembebanan menggunakan aplikasi SAP2000 pada frame yang di maksud menghasilkan luaran berupa beban aksial geser, momen x dan momen y. sektsa dari desain fondasi tiang bir enggunakan beban tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Keterangan	Kedalaman (m)	N-SPT
Pasir Halus	2	12
	4	7
Pasir kelempungan	6	7
	8	5
	10	8
Pasir Halus	12	60
	14	60
	16	60
	18	60
	20	60
	22	60
	24	60
	25	60

Gambar 5. 5 Permodelan Beban Pada Fondasi Tiang Bor

1. Metode *Meyerhof*

   1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang untuk diameter

      Berikut ini perhitungan kapastias dukung ujung tiang menggunakan metode *Meyerhof*:

Luas tiang $(A_p) = \pi \; x \; r^2$

$= \pi \; x \; 0{,}3^2$

$= 0{,}283 \; m^2$

10D $= 10 \; x \; 0{,}6$

$= 6 \; m$

4D $= 4 \; x \; 0{,}6$

$= 2{,}4 \; m$

$N = \frac{60+60+60+60+60}{10}$

$= 30$

$Q_p = A_{p \; x \; 40N_r \; x} \frac{L_b}{D} < A_p x \; 400 \; N_r$

$= 0{,}283x(40x30)x\frac{14}{0{,}6} < 0{,}283x400x \; 30$

$= 7916{,}813 < 3392{,}920$

$= 3392{,}920\ kN$

2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

1) Pasir halus

a) Kedalaman 0 - 4 m

p $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

$N = 7$

Qs $= L\ x\ p\ x\ 2\ x\ N_r$

$= 2\ x\ 1{,}88\ x\ 2\ x\ 7$

$= 52{,}778$ kN

2) Lanau

a) Kedalaman 4 - 10 m

p $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

$Nr = \frac{7+5+8}{3}$

$= 6{,}6667$

Qs $= L\ x\ p\ x\ 2\ x\ N_r$

$= 6\ x\ 1{,}88\ x\ 2\ x\ 6{,}6667$

$= 100{,}530$ kN

3) Pasir

a) Kedalaman 10 - 14 m

P $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

$Nr = \frac{60+60}{2}$

$= 60$

Qs $= L\ x\ p\ x\ 2\ x\ N_r$

$= 4\ x\ 1{,}88\ x\ 2\ x\ 60$

$= 904{,}778$ kN

4) Jumlah

$$\sum Q_s = 70{,}371 + 100{,}530 + 904{,}778\ kN$$
$$= 1058{,}088\ kN$$

3. Kapasitas Dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$
$$= 3392{,}920066 + 1058{,}088\ kN$$
$$= 4451{,}008472\ kN$$

4. Kapasitas dukung ijin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{S_f}$$
$$= \frac{4451{,}008472}{3}$$
$$= 1483{,}669\ kN$$

5. Jumlah Tiang (n)

$$n = \frac{P}{Q_{all}}$$
$$= \frac{2380{,}158}{1483{,}669}$$
$$= 1{,}604$$
$$\approx 2\ tiang$$

2. Reese and Wright

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang untuk Diameter

Berikut ini perhitungan kapastias dukung ujung tiang menggunakan metode *Reese and Wright*

Luas tiang $(A_p) = \pi\ x\ r^2$
$= \pi\ x\ 0{,}3^2$
$= 0{,}283\ m^2$

$N_{spt} = 60$

$q_p = 400$

$Q_p = q_{p\ x\ A_p}$
$= 400\ x\ 0{,}283$

$= 1109{,}48\ kN$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

1) Pasir Halus

a) Kedalaman 0 - 4 m

p $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

L $= 2\ m$

N_{spt} $= 12$

f_s $= 19{,}865\ \frac{kN}{m^2}$

Qs $= L\ x\ p\ x\ f_s$

$= 2\ x\ 1{,}88\ x\ 19{,}865$

$= 74{,}892$ kN

2) Lanau

a) Kedalaman 4 - 10 m

p $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

L $= 6\ m$

N_{spt} $= 6{,}6666$

f_s $= 22{,}468\ \frac{kN}{m^2}$

Qs $= L\ x\ p\ x\ f_s$

$= 2\ x\ 1{,}88\ x\ 22{,}468$

$= 254{,}109$ kN

3) Pasir

a) Kedalaman 10 - 14 m

p $= 2\ x\ \pi\ x\ r$

$= 1{,}88\ m$

L $= 4\ m$

N_{spt} $= 60$

f_s $= 156{,}96\ \frac{kN}{m^2}$

$$\text{Qs} \quad = L\ x\ p\ x\ f_s$$
$$= 2\ x\ 1{,}88\ x\ 156{,}96$$
$$= 1183{,}450\ kN$$

4) Jumlah

$$\sum Q_s \quad = 74{,}892 + 254{,}109 + 1183{,}450\ kN$$
$$= 1512{,}452\ kN$$

c. Kapasitas Dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u \quad = Q_p + Q_s$$
$$= 1109{,}48 \ + 1512{,}452\ kN$$
$$= 2621{,}937\ kN$$

d. Kapasitas dukung ijin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} \quad = \frac{Q_u}{S_f}$$
$$= \frac{2621{,}937}{3}$$
$$= 873{,}979\ kN$$

e. Jumlah Tiang (n)

$$\text{n} \quad = \frac{P}{Q_{all}}$$
$$= \frac{2380{,}158}{873{,}979}$$
$$= 2{,}723$$
$$\approx 3\ tiang$$

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang dan Jumlah Tiang

	Meyerhof			***Reese and Wright***		
	60 cm	70 cm	80 cm	60 cm	70 cm	80 cm
Qp (kN)	3392,92007	4618,1412	6031,85789	1109,48486	1510,13217	1972,41753
Qs (kN)	1058,08841	1234,43647	1410,78454	1512,4527	1764,52815	2016,6036
Qu (kN)	4451,00847	5852,57767	7442,64244	2621,93756	3274,66033	3989,02113
Qall (kN)	1483,66949	1950,85922	2480,88081	873,979188	1091,55344	1329,67371
Jumlah tiang (n)	2	2	1	3	3	2

5.4.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor

Sebagai fondasi, kapasitas dukung kelompok tiang bor dapat dihitung dengan persamaan berikut. Dengan nilai efisien kelompok tiang berdasar S ≥ 3D.

1. *Meyerhof*

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{((n-1)m+(m-1)n)}{90mn}\right)$$

$$= 1 - 21{,}801 \left(\frac{((1-1)2+(2-1)1)}{90\ x\ 2\ x\ 1}\right)$$

$$= 0{,}878$$

$$Q_g = E_g\ x\ n\ x\ Q_{all}$$

$$= 0{,}838x\ 4\ x\ 1483{,}669$$

$$= 7823{,}814 \text{ kN}$$

2. *Reese and Wright*

$$E_g = 0{,}838$$

$$Q_g = E_g\ x\ n\ x\ Q_{all}$$

$$= 0{,}838\ x\ 8\ x\ 873{,}979$$

$$= 6595{,}547 \text{ kN}$$

Untuk mengetahui nilai Q_g sudah sesuai makan akan dicek menggunakan nilai Q_{ug}, nilai Q_{ug} harus lebih besar dari nilai Q_g

$$A_p = \pi\ x\ r^2$$

$$= \pi\ x\ 0{,}3^2$$

$$= 0{,}283\ m^2$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p}$$

$$= \frac{3392{,}92}{0{,}283}$$

$$= 12000\ \frac{kN}{m^2}$$

$$L = 12\ m$$

$$p = \pi\ x\ D$$

$$= \pi\ x\ 0{,}6$$

$$= 1{,}885\ m$$

$$F_s = \frac{Q_s}{p\ x\ L}$$

$$= \frac{1058{,}088}{1{,}855\ x\ 12}$$

$$= 46{,}777\ \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_{ug} = L_g\ x\ B_g\ x\ q_p + \sum[2\ x\ (L_g\ x\ B_g)\ x\ \Delta L\ x\ F_s$$

$$= 3\ x\ 1{,}5\ x\ 12000 + \sum[2\ x\ (3\ x\ 1{,}5) x\ 12\ x\ 46{,}777$$

$$= 59052\ kN$$

$$Q_{ug} > Q_g$$

a. *Meyerhof*

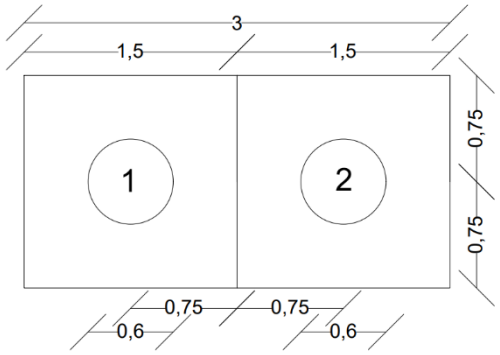
Nilai dari Q_{ug} sudah melebihi nilai dari Q_g $59052\ kN > 7823{,}814\ kN$ sehingga dinyatakan AMAN.

b. Reese and Wright

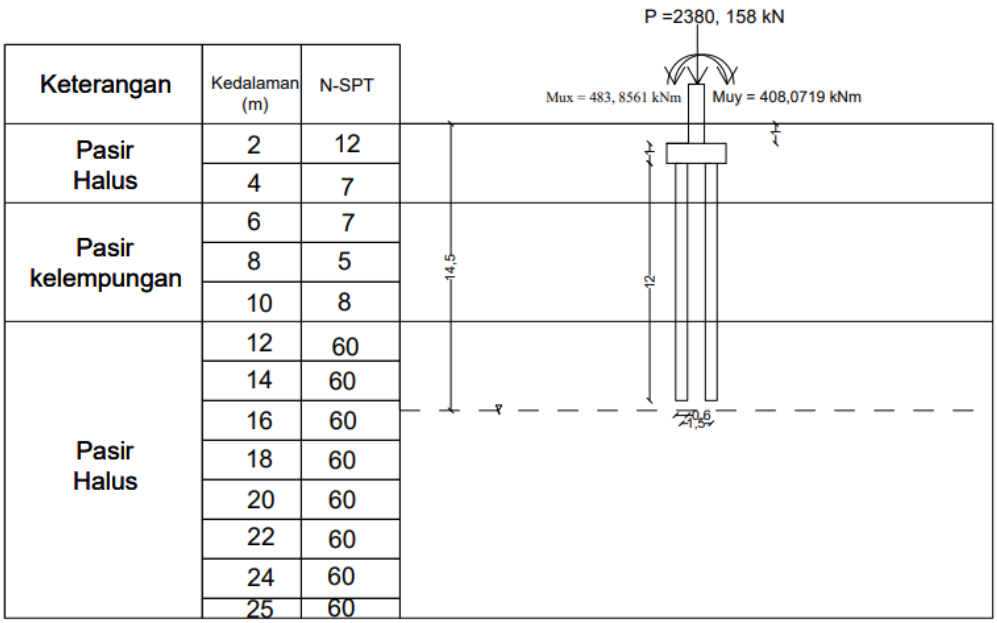
Nilai dari Q_{ug} sudah melebihi nilai dari Q_g $37319{,}144\ kN > 6595{,}574\ kN$ sehingga dinyatakan AMAN.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Blok Tiang Kelompok

	Diameter	Ap	Qp	qp	Qs	Fs	Qug	Qg
	(cm)	(m^2)	(kN)	(kN/m^2)	(kN)	(kN/m^2)	(kN)	(kN)
Metode Meyerhof	60	0,283	3392,920	12000	1058,088	46,778	59052,000	7823,814
	70	0,385	4618,141	12000	1234,436	46,778	80376,333	10287,439
Metode Reese and Wright	80	0,503	6031,858	12000	1410,785	46,778	52490,667	7442,642
	60	0,283	1109,485	3924	1512,453	66,865	37319,145	6595,547
	70	0,385	1510,132	3924	1764,528	66,865	50795,502	8237,487



Gambar 5. 6 Susunan Tiang Bor Pada *Pilecap* Dalam Satuan Meter



Keterangan	Kedalaman (m)	N-SPT
Pasir Halus	2	12
	4	7
Pasir kelempungan	6	7
	8	5
	10	8
Pasir Halus	12	60
	14	60
	16	60
	18	60
	20	60
	22	60
	24	60
	25	60

Gambar 5. 7 Permodelan Fondasi Tiang Bor Kelompok

Gambar 5.6 merupakan susunan tiang bor pada *pile cap* dalam meter yang telah dihitung dalam analisis di atas. Serta digambarkan dilapangan dengan Gambar 5.7 sebagi permodelan fondasi tiang bor kelompok

5.4.3 Distribusi Beban Ke Tiap Kelompok

Beban yang dapar diterima tiap tiang (P_i) pada kelompok tiang bor dengan diameter 0,6 m ditentukan dengan persamaan berikut ini.

Beban aksial (P) $= 2380{,}158$ kN

Berat Pilecap (W) $= B_g \; x \; L_g \; x \; h \; x \; \gamma$

$= 3 \; x \; 1{,}5 \; x \; 1 \; x \; 24$

$=$ 108 kN

Berat tiang (W_g) $= A_p \; x \; \gamma \; n \; x \; L$

$= 0{,}283 \; x \; 24 \; x \; 2 \; x \; 12$

$=$ 162,86 kN

Berat Total (P_t) $= P + W + W_g$

$= 2380{,}158 + 108 + 162{,}86$

$=$ 2651,018 kN

Untuk mencari dimensi pelat penutup tiang (*pilecap)* ditentukan dengan banyaknya tiang dalam satu kelompok, sehingga jarak tiang akan memengaruhi dimensi pelat penutup tiang (Teng, 1962). Jarak minimum serta dimensi dari penutup yang dianjurkan tertera pada Tabel 3.3. Berikut ini perhitungan untuk absis tiang terhadap pusat penutup tiang:

$\sum x^2$ $= 2 \; x \; 0{,}75^2$

$= 1{,}125 \; m^2$

$\sum y^2$ $= 0$

M_x $=$ 483,8561 kNm (didapatkan dari $SAP2000$)

M_y $=$ 408,0719 kNm (didapatkan dari $SAP2000$)

P_i $= \frac{P_t}{n} + \frac{M_y \; x \; x_i}{\sum x^2} + \frac{M_x \; x \; y_i}{\sum y^2}$

$P_i 1$ $= \frac{2651{,}018}{2} + \frac{408{,}0719 \; x \; 0{,}75}{1{,}62} + \frac{483{,}8561 \; x 0}{0}$

$=$ 1597,557 kN

$P_i 2$ $= \frac{2651{,}018}{2} - \frac{408{,}0719 \; x \; 0{,}75}{1{,}62} + \frac{483{,}8561 \; x \; 0}{0}$

$=$ 1053,461 kN

Kekuatan tiang bor juga dapat dihitung menggunakan material yang digunakan. Dengan mutu beton K-300 serta diameter tiang sebesar 0,6 dan

panjang tiang sebesar 12. Berikut ini merupakan perhitungan dari kekuatan tiang bor menggunakan material.

$\sigma = \frac{P}{A}$

Dengan:

$P = 2380{,}158\ kN$

A $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ D^2$

$= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 0{,}6^2$

$= 0{,}283\ m^2$

$\sigma = \frac{P}{A}$

$= \frac{2380{,}158}{0{,}283}$

$= 69{,}249\ \frac{kg}{cm^2}$

$\sigma_{ijin} = K - 300$

$= 300\ x\ 0{,}83$

$= 249\ \frac{kg}{cm^2}$

$\sigma = 69{,}249\ \frac{kg}{cm^2} \quad < \quad \sigma_{ijin} = 249\ \frac{kg}{cm^2} \longrightarrow$ (AMAN)

5.4.4 Penurunan Fondasi Tiang Bor

1. Penurunan Tiang Tunggal

   Mekanisme pengalihan beban memengaruhi penurunan, sehingga penyelesaian perhitungan menggunakan metode pendekatan. Oleh sebab itu perhitungan penurunan tiang tunggal dihitunf dengan persamaan 3.16 dan 3.17 berikut.

   a. Perkiraan penurunan tiang apung atau friksi

      Q $= 2380{,}158$ kN

      $E_s = 20.000\ \frac{kN}{m^2}$

      $E_b = 5\ x\ E_s$

      $= 5\ x\ E_s$

$= 100000 \ \frac{kN}{m^2}$

E_p $= 4700 \ x \ \sqrt{f_c{}'}$

$= 4700 \ x \ \sqrt{25}$

= 23500 Mpa

$= 23500000 \ \frac{kN}{m^2}$

Untuk $\frac{db}{d}$ $= \frac{0,6}{0,6} = 1$, diameter ujung atas sama besarnya

Untuk $\frac{L}{d}$ $= \frac{12}{0,6} = 20$

Dari masing-masing grafik diperoleh :

I_o = 0,0775 (untuk $\frac{L}{d} = 20, \frac{db}{d} = 1$) (Gambar 3.10 (a))

R_μ = 0,89 (untuk $\mu_s = 0,25, K = 1288$) (Gambar 3.11 (b))

R_k = 1,15 (untuk $\frac{L}{d}$ = 25, K = 1288) (Gambar 3.10 (a))

R_h = 0,75 (untuk $\frac{L}{d}$ = 25, $\frac{L}{h}$ = 0,7) (Gambar 3.11 (a))

R_b = 0,85 (untuk $\frac{L}{d}$ = 25, $\frac{E_b}{E_s} = 5$, K = 1288) (Gambar 3.12)

Maka diperoleh penurunan friksi sebagai berikut:

I $= I_o \ x \ R_k \ x \ R_b \ x \ R_\mu$

$= 0,0775 \ x \ 0,9 \ x \ 0,85 \ x \ 0,89$

= 0,05276

S_f $= \frac{Q \ x \ I}{E_s \ x \ D}$

$= \frac{2380,158 \ \text{ x } 0,05276}{20000 \ x \ 0,6}$

= 0,0153 m

b. Perkiraan penurunan tiang dukung ujung

I $= I_o \ x \ R_k \ x \ R_h \ x \ R_\mu$

$= 0,0775 \ x \ 0,9 \ x \ 0,75 \ x \ 0,89$

$= 0,0465$

S_u $= \frac{Q \ x \ I}{E_s \ x \ D}$

$$= \frac{2380{,}158 \ \ x\ 0{,}0465}{20000\ x\ 0{,}6}$$

= 0,00923 m

c. Perkiraan penurunan total

S = $S_f + S_u$

= 0,0153 m + 0,00923 m

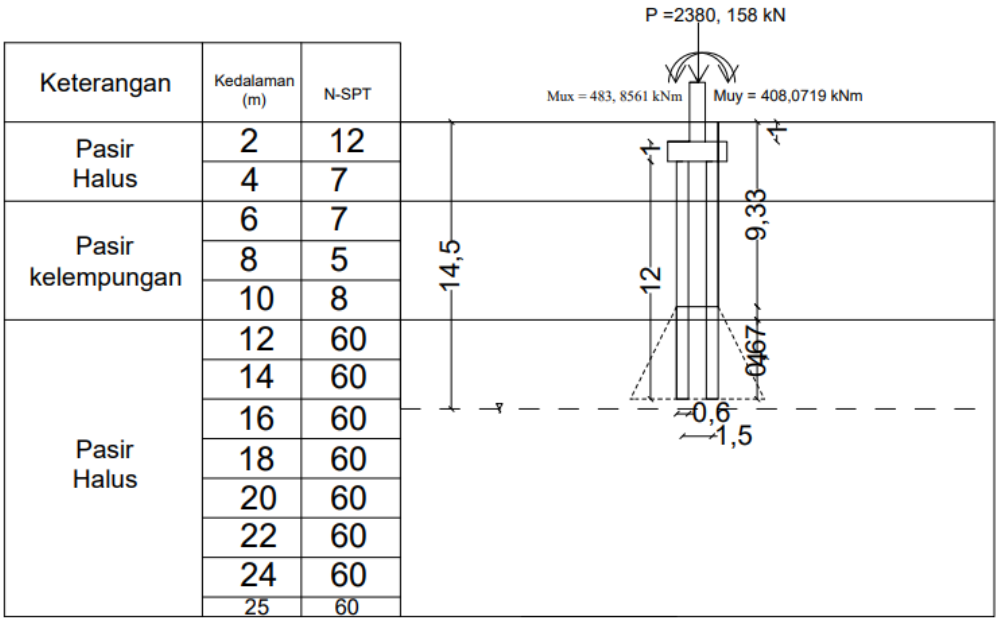
= $0{,}02460\ m$

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal

Keterangan	Diameter		
	60 cm	70 cm	80 cm
Beban yang bekerja (Q) (kN)	2.380,16	2.380,16	2.380,16
Modulus elastisitas tanah (Es) (kN/m^2)	20.000,00	20.000,00	20.000,00
Modulus elastisitas tanah didasar tiang (Eb) (kN/m^2)	100.000,00	100.000,00	100.000,00
Modulus elastisitas bahan tiang (Ep) (kN/m^2)	23.500.000	23.500.000	23.500.000
Faktor penurunan (Io)	0,0775	0,08	0,09
Faktor koreksi angka *poisson* Rμ	0,89	0,84	0,79
Faktor koreksi kompresi (Rk)	0,9	1,15	1,15
Faktor koreksi kedalaman Rh	0,75	0,73	0,71
Faktor koreksi kekakuan lapisan pendukung Rb	0,85	0,85	0,85
I untuk tiang friksi	0,05276588	0,065688	0,06950025
Penurunan tiang apung atau friksi (S) (m)	0,01537185	0,013600903	0,01338839
I untuk ujung tiang	0,04655813	0,0564144	0,05805315
Penurunan ujung tiang (S) (m)	0,00923464	0,009591085	0,00863598
Penurunan Total (S)	0,02460649	0,023191988	0,02202437

2. Penurunan Tiang Kelompok

Tegangan pada area yang luas serta lebih dalam memengaruhi penurunan kelompok tiang. Berdasarkan Gambar 5.8 menunjukan daerah ujung tiang berada pada lapisan tanah pasir halus, maka perhitungan penurunan tiang kelompok yang digunakan adalah persamaan berikut.



Keterangan	Kedalaman (m)	N-SPT
Pasir Halus	2	12
	4	7
Pasir kelempungan	6	7
	8	5
	10	8
Pasir Halus	12	60
	14	60
	16	60
	18	60
	20	60
	22	60
	24	60
	25	60

Gambar 5. 8 Distribusi Beban Pada Kelompok Tiang

P = 2380,16 kN

B = $3\ m$

H = $1\ m$

L = $12\ m$

A1 = $(3 + 0{,}333)x(1{,}5 + 0{,}333)$

= $6{,}1111\ m$

A2 = $(3 + 7{,}666)x(1{,}5 + 7{,}6666)$

= $126\ m$

$\sigma'_0 1$ = $(5\ x\ 21) + (9{,}6\ x\ 15)$

= $249\ m$

$\sigma'_0 2$ = $(0{,}333\ x\ 15) + (4{,}5\ x\ 22) + (9{,}5\ x\ (22 - 9{,}81)$

= $219{,}8\ m$

$\Delta\sigma^1 1$ = $\frac{2.380{,}16}{6{,}1111}$

= $389{,}480\ m$

$\Delta\sigma^1 2$ = $\frac{2380{,}16}{97{,}777}$

= $24{,}342\ m$

a. Kedalaman 9,333 m – 10 m

$$S_c = \frac{C_c}{1+\ell_0}\ x\ \Delta H\ x\ \log\frac{\sigma'_0 1 + \Delta\sigma^1 1}{\sigma'_0 1}$$

$$S_c 1 = \frac{0{,}03}{1+0{,}6}\ x\ 0{,}6666\ x\ \log\frac{249 + 389{,}480}{249}$$

$$= 0{,}00511 \text{ m}$$

b. Kedalaman 10 m – 14 m

$$S_c = \frac{C_c}{1+\ell_0}\ x\ \Delta H\ x\ \log\frac{\sigma'_0 1 + \Delta\sigma^1 1}{\sigma'_0 1}$$

$$S_c 2 = \frac{0{,}01}{1+0{,}45}\ x\ 15{,}333\ x\ \log\frac{219{,}8 + 24{,}342}{219{,}8}$$

$$= 0{,}00482 \text{ m}$$

c. Total S_c

$$S_c = S_c 1 + S_c$$

$$= 0{,}00511 \text{ m} + 0{,}00482 \text{ m}$$

$$= 0{,}00993 \text{ m}$$

5.5 Penurunan yang Diizinkan

Dengan mengadakan hubungan pada penurunan yang diizinkan dan penurunan total, hal ini pada umumnya digunakan untuk memprediksi penurunan maksimum. Sebagai syarat untuk dibandingkan yaitu $S_{total} \leq S_{izin}$. Berikut ini hasil dari perhitungan untuk penurunan izin yang ditunjukan pada SNI 8460-2017.

$$S_{izin} = 15 \text{ cm} + \frac{b}{600}$$

$$= 15 \text{ cm} + \frac{60}{600}$$

$$= 15{,}1 \text{ cm}$$

$$S_{total} = 0{,}00993\ m \leq S_{izin} = 0{,}151\ m \longrightarrow \quad \text{Aman}$$

5.6 Pembahasan

Sebuah perencanaan pada pembangunan gedung, fondasi menjadi hal sangat penting. Struktur fondasi pada bangunan yang direncanakan dan dibangun harus memenuhi standard dari segi keamanan untuk menahan beban yang bekerja pada bangunan itu sendiri dan sekitarnya. Dalam hal mitigasi masalah tersebut fondasi harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Persyaratan dari segi kekuatan, hal ini berlaku untuk struktur fondasinya itu sendiri dan tanah yang mendukung fondasi tersebut (*streght requirement*)
2. Persyaratan penurunan yang sudah ditentukan (*serviceability requirement*)

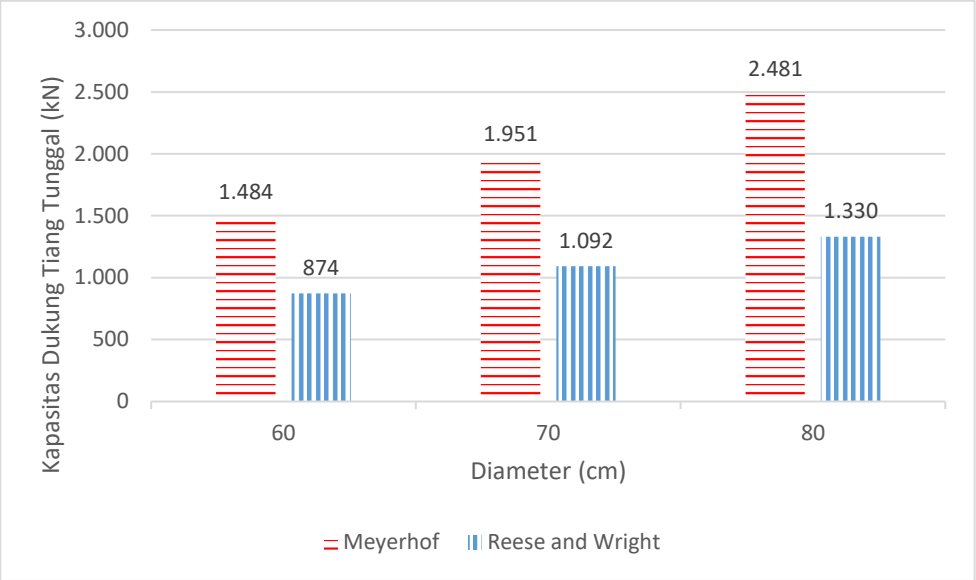
Persyaratan tersebut perlu didukung dengan memperhatikan data-data yang baik. Seperti data tanah, beban yang diterima fondasi, ukuran dari tiang, jarak antar tiang, kedalaman fondasi, dan mutu dari fondasi tersebut.

Dengan perhitungan fondasi yang tepat dibutuhkan data yang mendukung. Data tanah yang digunakan untuk pembangunan gedung parkir RSUD Dr. Kanudjoso Djatiwibowo merupakan data N-spt. Serta Analisa kapasitas dukung fondasi menggunakan metode statik.

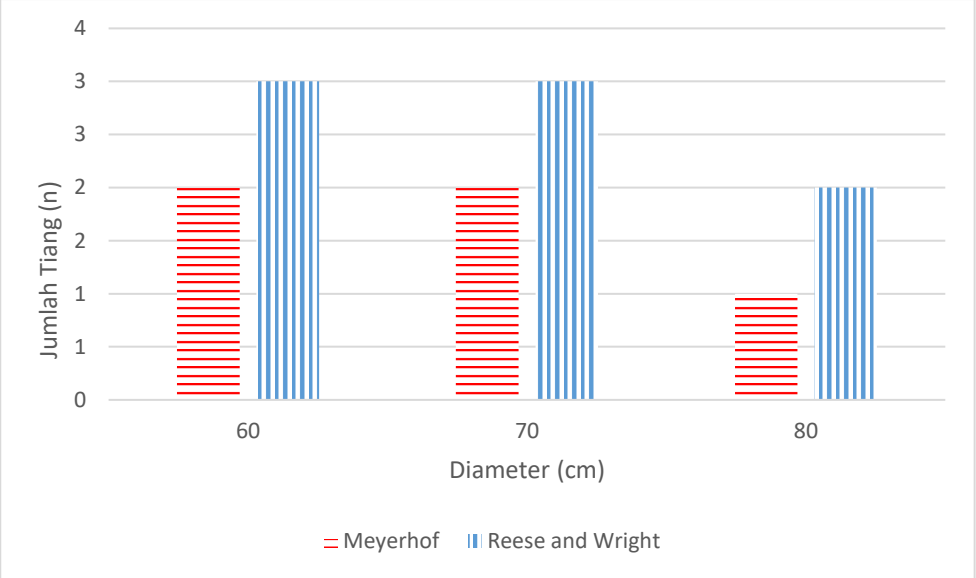
5.6.1 Hasil Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Tunggal

Fondasi tiang bor ini memiliki kapasitas dukung yang diteliti menggunakan diameter 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m di kedalaman hingga mencapai 14 m. Analisis yang digunakan menggunakan metode *Meyerhof* dan *Reese and Wright* yang berdasarkan pada uji N-spt. Kapasitas dukung (Q_u) diperoleh dari kapasitas dukung ujung (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s). Hasil dari analisis dapat dilihat pada tabel 5.7 diatas.

Berdasarkan tabel, didapatkan nilai hasil dari analisis dukung ultimit (Q_u), dukung ujung tiang (Q_p), dukung selimut tiang (Q_s), kapasitas daya dukung ijin fondasi (Q_{all}), dan jumlah tiang yang digunakan (n). dijelaskan dengan Gambar 5.9 berupa gambar grafik perbandingan kapasitas dukung fondasi tiang tunggal dan gambar 5.10 gambar grafik perbandingan jumlah tiang yang dibutuhkan. Sehingga dapat diketahui berapa besar perbedaan pada fondasi dengan variasi diameter yang berbeda.



Gambar 5. 9 Perbandingan Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal

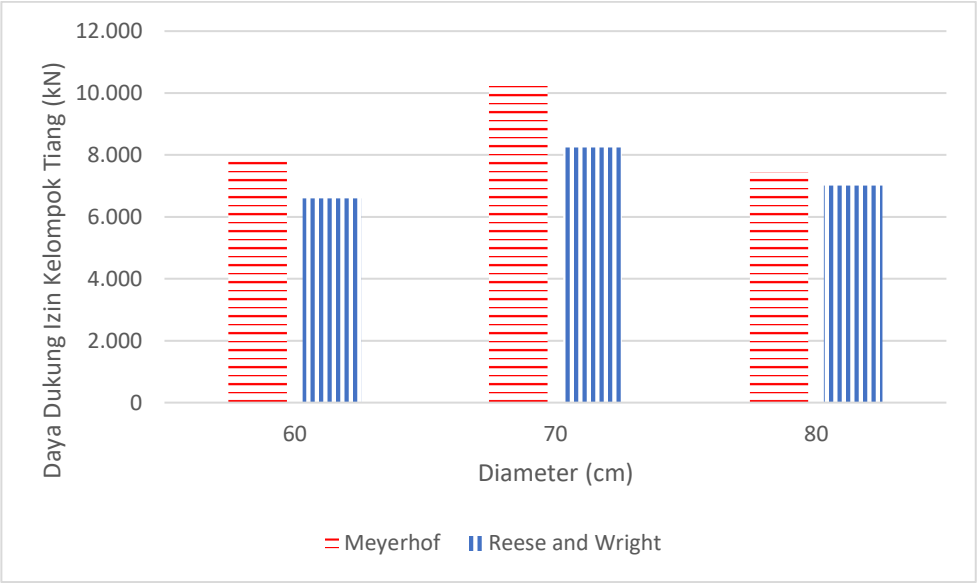


Gambar 5. 10 Perbandingan Kebutuhan Jumlah Tiang Fondasi

5.6.2 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor Kelompok

Mengacu pada perhitungan kapasitas dukung dari fondasi tiang bor tunggal didapatkan hasil berupa jumlah tiang sebesar 1 – 3 buah tiang tiap kelompok tiang bor. Analisis menunjukan hasil dari kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g) dan kapasitas dukung ultimit tiang kelompok (Q_{ug}) yang dapat dilihat pada tabel 5.8

diatas. Dilakukan pengecekan terhadap keamanan kelompok tiang bahwa fondasi dikatakan aman jika kapasitas dukung ultimit tiang kelompok (Q_{ug}) lebih besar dari kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g). Melihat dari hasil yang didapatkan melalui perhitungan menunjukan nilai kapasitas dukung ultimit tiang kelompok (Q_{ug}) sudah melebihi dari nilai kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g). Sehingga hasil yang didapatkan yaitu fondasi yang digunakan masuk kategori aman dan memenuhi syarat.



Gambar 5. 11 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

5.6.3 Hasil Penurunan Fondasi Tiang Bor

Analisis pada penurunan tiang tunggal menggunakan metode *Poluos and Davis* (1980) dan pada penurunan tiang kelompok menggunakan metode *vesic* (1969). Nilai dari penurunan tiang kelompok pada umumnya lebih besar daripada tiang tunggal, karena pengaruh tegangan di daerah yang tercakup lebih luas. Nilai penurunan akan semakin besar jika beban yang didukung tiang lebih besar. Pada Tabel 5.11 diatas dapat dilihat rekapitulasi untuk penurunan tiang bor yang terjadi.

Berdasarkan hasil yang didapatkan menyatakan bahwa penurunan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan penurunan yang diizinkan dari SNI 8460 – 2017 yang telah dihitung.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung serta penurunan tiang bor pada gedung parkir RSUD Dr. Kanudjoso Djatiwibowo Balikpapan dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai daya dukung ultimit (Q_u) dengan menggunakan metode *Meyerhof* untuk diameter 60, 70, dan 80 cm berturut-turut adalah 4451,008 kN, 5852,577 kN, dan 7442,642 kN. Sementara nilai daya dukung ijin (Q_{all}) yang dihasilkan fondasi tiang bor dengan metode dan diameter yang sama adalah 1483,669 kN, 1950,859 kN, 2480,880 kN .
2. Nilai daya dukung ultimit (Q_u) dengan menggunakan metode *Reese and Wright* untuk diameter 60, 70, dan 80 cm berturut-turut adalah 2621,937 kN, 3274,660 kN, 3989,021 kN, Sementara nilai daya dukung ijin (Q_{all}) yang dihasilkan fondasi tiang bor dengan metode dan diameter yang sama adalah 873,979 kN, 1091,553 kN, 1329,673 kN.
3. Nilai penurunan fondasi yang terjadi pada tiang tunggal untuk diameter 60, 70, dan 80 cm dengan metode *Meyerhof* adalah 0,0246 m, 0,0231 m, 0,0220 m. Sementara nilai penurunan fondasi yang terjadi pada tiang tunggal untuk diameter 60, 70, dan 80 cm dengan metode *Reese and Wright* adalah 0,0262 m, 0,0231 m, 0,0220 m.
4. Nilai penurunan fondasi yang terjadi pada tiang kelompok untuk diameter 60, 70, dan 80 cm dengan metode *Meyerhof* adalah 0,00993 m, 0,01813 m, 0,01640 m. Sementara nilai penurunan fondasi yang terjadi pada tiang tunggal untuk diameter 60, 70, dan 80 cm dengan metode *Reese and Wright* adalah 0,01256 m, 0,01088 m, 0,01196 m.

Nilai dari semua fondasi tersebut telah memenuhi syarat menurut SNI 8460 – 2017 yaitu kurang dari 0,15 + (D) sebesar 15,1 cm.

6.2 Saran

Agar dapat mengoptimalkan perencanaan fondasi tiang bor disarankan untuk melakukan Analisa sebagai berikut:

1. Menggunakan metode yang lain dalam melakaukan analisis pada fondasi, demi mendapatkan hasil yang lebih presisi.
2. Menggunakan aplikasi lain *Soil Vision*, Plaxis 3D, dan lain-lain,agar dapat dibandingkan dengan hasil yang sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, 2016. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang dengan Metode *Meyerhof*.

Anonim., 2017, BUKU PEDOMAN TUGAS AKHIR DAN PRAKTIK KERJA, jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Badan Standarisasi Nasional, 2017, SNI-8460-2017; Persyaratan Perancangan Geoteknik, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI-1726-2012; Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Bowles, J. E., 1981. Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill, New York.

Bowles, J. E., 1997, Analisis dan Desain Fondasi. Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta Gunawan, R., 1983, Pengantar Teknik Fondasi, Kansius, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2010, Analisis dan Perancangan FONDASI I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C., 2010, Analisis dan Perancangan FONDASI II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C., 2012. Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 2015, Analisis dan Perancangan FONDASI I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C., 2015, Analisis dan Perancangan FONDASI II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hadihardaja, Joetata., 1997, Rekayasa Fondasi II (Fondasi Dalam dan Fondasi Dangkal). Jakarta: Gunadarma Press.

Haq, Dhiya'ul, 2018, Pengaruh Variasi Dimensi Terhdap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Hidayat, 2018, Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Fondasi Bored Pile Pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta. Tugas Akhir, Universitas Ilam Indonesia, Yogyakarta

Idris, 2019 Perencanaan Fondasi Tiang Bor Pada Rusunami Sentraland Bekasi Jawa Barat. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang, Jawa Timur.

Meyerhof, G.G., 1951. The Ultimate Bearing Capacity of Foundation. Geotechnique, vol. 2, 1951

Mutiarasella, 2020. Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana. Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Nakazawa, K., 1983. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Tokyo: McGraw-Hill.

Purnama Putra, Paksitya. "Teknik Fondasi – 3. Daya Dukung Fondasi Dangkal (Beban Eksentris)" Youtube, uploaded by Pay Presents, 9 March 2021, https://www.youtube.com/watch?v=1iAePXBupoc. Accessed 14 Sep 2021

Purnama Putra, Paksitya. "Teknik Fondasi – 5. Penurunan Fondasi Dangkal" Youtube, uploaded by Pay Presents, 24 March 2020, https://www.youtube.com/watch?v=pMUBQ1YRFZ0. Accessed 14 September 2021

Purnama Putra, Paksitya. "Teknik Fondasi – 9. Daya Dukung Tiang Grup & Penurunannya" Youtube, uploaded by Pay Presents, 27 April 2020, https://www.youtube.com/watch?v=pMUBQ1YRFZ0. Accessed 14 Sep 2021

Ramadhani, 2019, Studi Perencanaan Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Gedung

Raharjo, P.P., 2005, Manual Fondasi Tiang, Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

Sardjono, HS, 1998, Fondasi Tiang Pancang, Sinar Wijaya, Surabaya, Transmart Malang, Skripsi, Institut Teknologi Nasional, Jawa Timur.

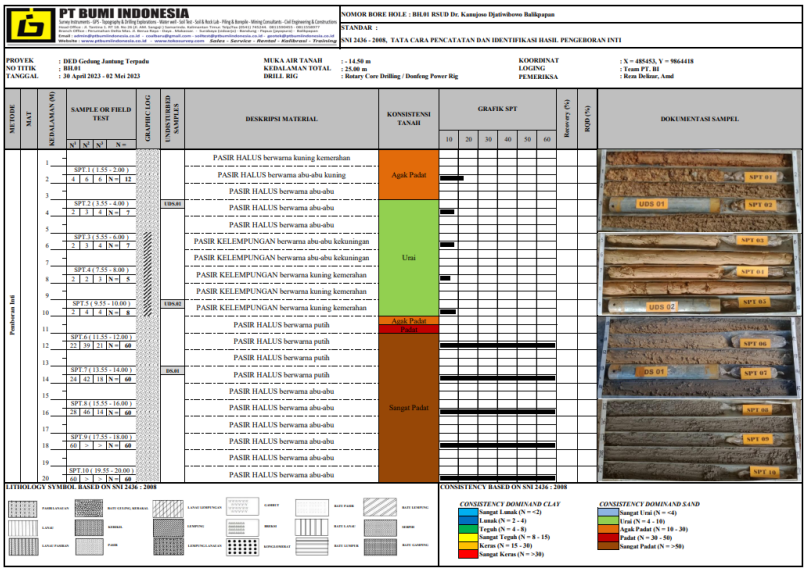
Sudarmo, Djatmiko dan Purnomo, Edy, 1993, Mekanika Tanah 1, Yogyakarta : Kanisius.

Tamini, 2020. Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung dengan Fondasi Bored Pile. Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Verhoef, P., 1994. Soil Mechanics and Foundation Design. Rotterdam: Balkema.

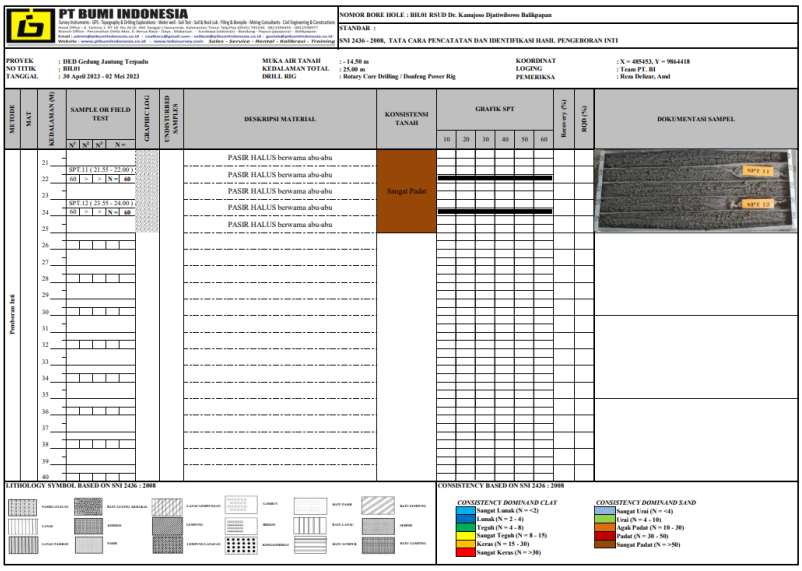
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)



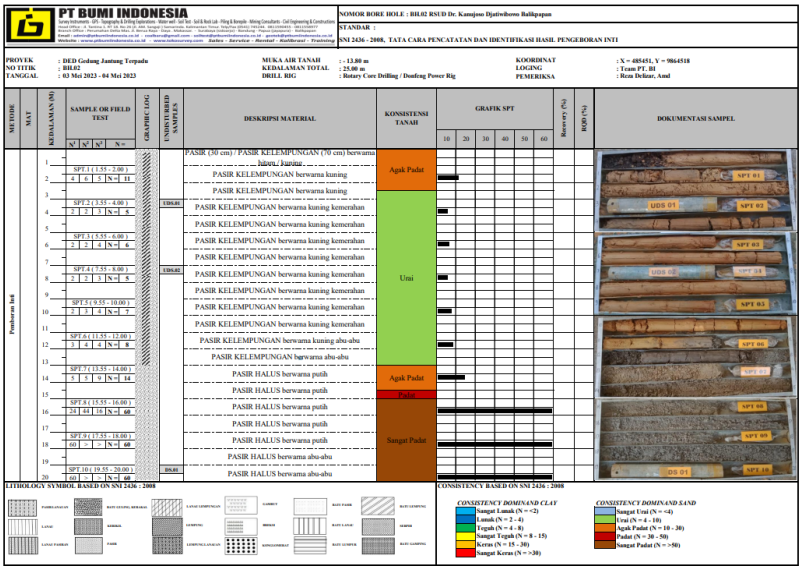
Gambar Lampiran 1. 1 Data Bor log BH1

(Sumber : PT BUMI INDONESIA)



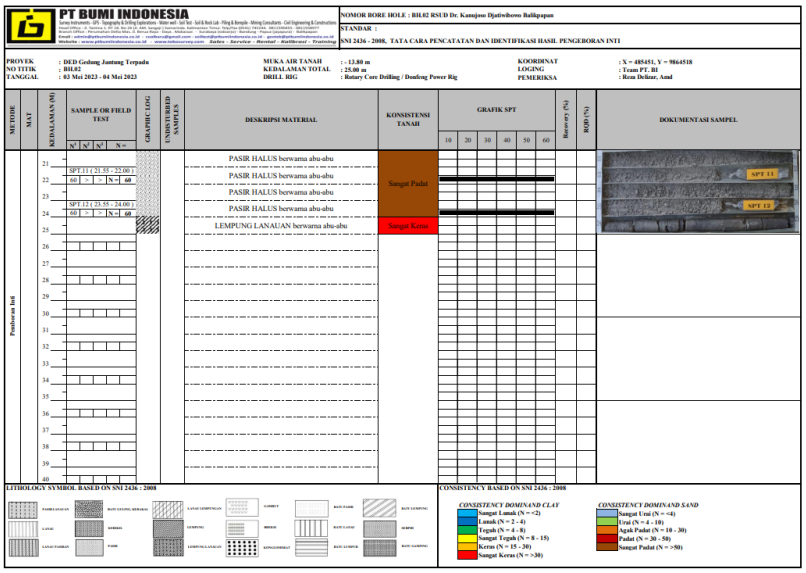
Gambar Lampiran 1. 2 Lanjutan Data Bor log BH1

(Sumber : PT BUMI INDONESIA)



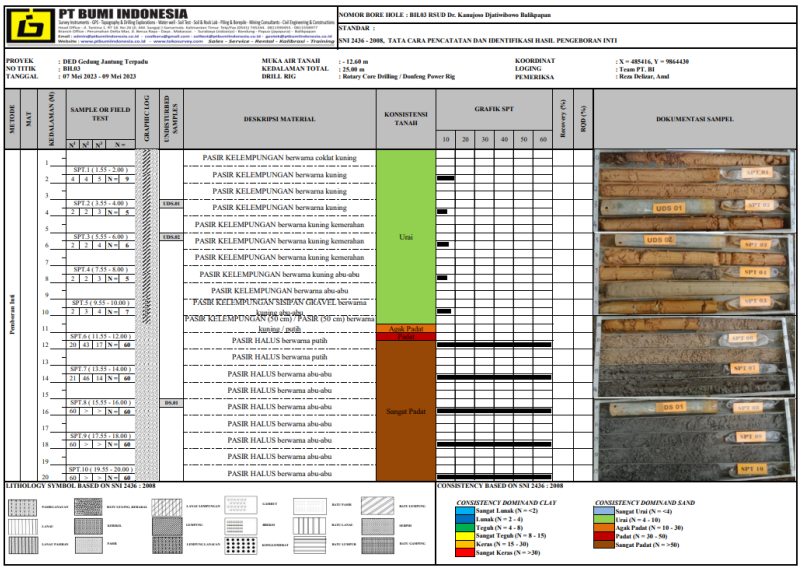
Gambar Lampiran 1. 3 Data Bor log BH2

(Sumber : PT BUMI INDONESIA)



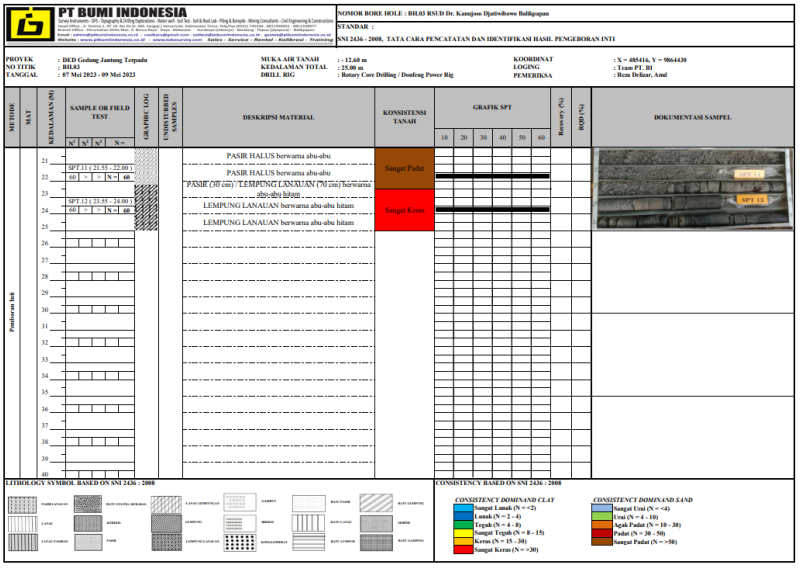
Gambar Lampiran 1. 4 Lanjutan Data Bor log BH2

(Sumber : PT BUMI INDONESIA)



Gambar Lampiran 1. 5 Data Bor log BH3

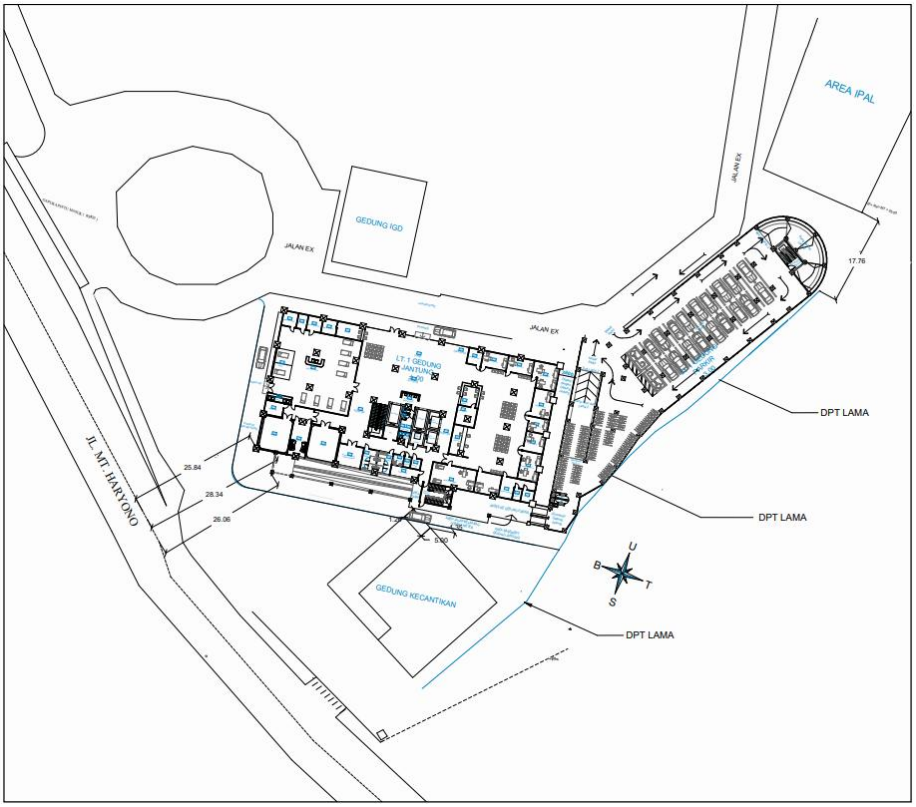
(Sumber : PT BUMI INDONESIA)



Gambar Lampiran 1. 6 Lanjuta Data Bor log BH3

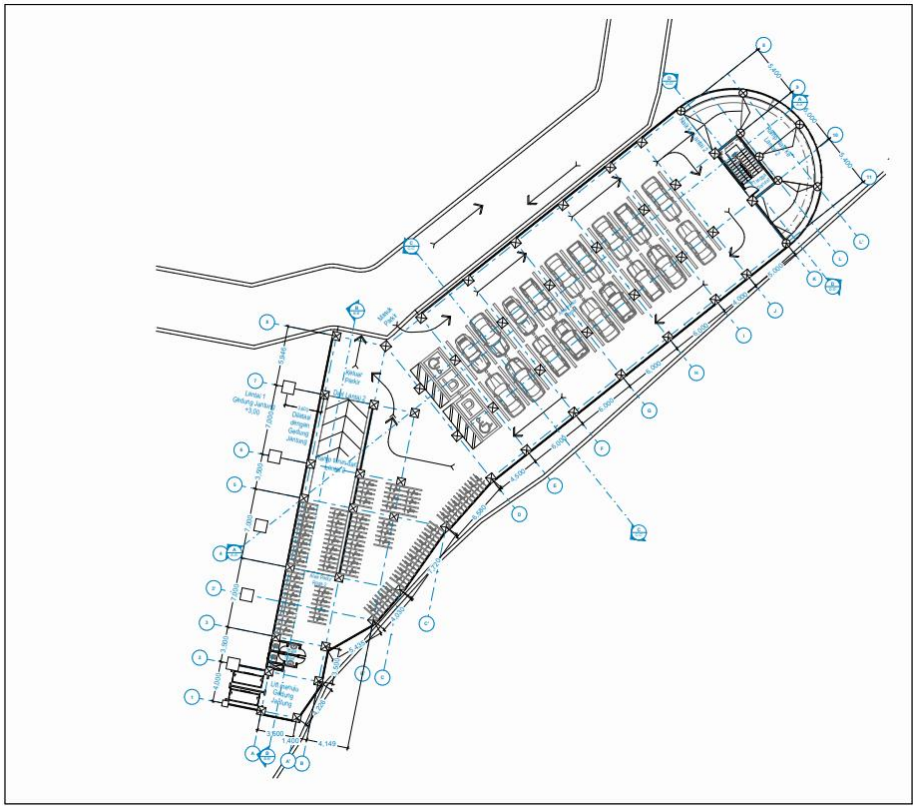
(Sumber : PT BUMI INDONESIA)

Lampiran 2 Denah Struktur



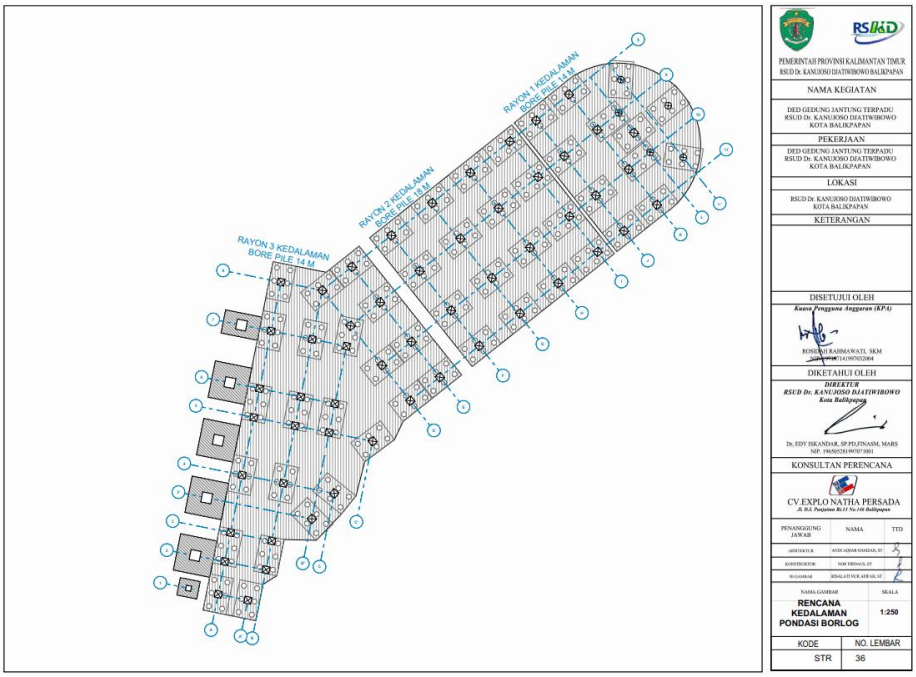
Gambar Lampiran 2. 1 Gambar Denah Lokasi Struktur

(Sumber : CV EXPLO NATHA PERSADA)



Gambar Lampiran 2. 2 Gambar Denah Struktur

(Sumber : CV EXPLO NATHA PERSADA)



Gambar Lampiran 2. 3 Gambar Denah Fondasi Struktur

(Sumber : CV EXPLO NATHA PERSADA)