

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE
PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG WAHID
HASYIM APARTMEN MEDAN**

SKRIPSI

Disusun Oleh:

DIANA LUMBAN TOBING

16.811.0040



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN**

2019

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE
PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG WAHID
HASYIM APARTMEN MEDAN**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Program Studi Strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil
Universitas Medan Area*

Disusun Oleh:

DIANA LUMBAN TOBING

16.811.0040



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN**

2019

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI BORE PILE
PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG WAHID
HASYIM APARTMEN MEDAN**

SKRIPSI

Disusun Oleh:

Diana Lumban Tobing

16.811.0040

Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Edy Hermanto, MT

Ir. Nurmaidah, MT

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Prof. Dr. Armansyah Ginting, M.Eng



Ir. Kamaluddin Lubis, MT

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa Skripsi yang saya susun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam Skripsi ini.

Medan, Februari 2019

Penulis



Diana Lumban Tobing

16.811.0040

ABSTRAK

Pondasi adalah struktur bagian bawah dari konstruksi bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam pekerjaan teknik sipil, karena pondasi inilah yang akan memikul dan menahan suatu beban yang bekerja di atasnya. Dalam perencanaan pondasi perlu diperhitungkan besar beban yang diterima dan daya dukung tanah setempat. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan. Tujuan dari studi ini untuk menghitung daya dukung pondasi bore pile, dimana kapasitas daya dukung pondasi dihitung berdasarkan data *Standart Penetration Test* (SPT) dengan menggunakan 2 Metode yaitu Metode *Meyerhoof* dan Metode *Reese & Wright*. Dari hasil analisa dan perhitungan daya dukung tiang hasil SPT dengan kedalaman 10 m dan diameter tiang 80 cm, berdasarkan Metode *Meyerhoof*, daya dukung tiang tunggal (Q_{ijin}) sebesar 194,747 ton, sedangkan menggunakan Metode *Reese & Wright*, daya dukung tiang tunggal (Q_{ijin}) sebesar 163,95 ton. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan Metode *Converse – Labarre* didapat Q gabungan (2 tiang dilapangan) dengan Metode *Meyerhoof* sebesar 350,934 ton, dan menggunakan Metode *Reese & Wright* Q gabungan (2 tiang di lapangan) sebesar 295,438 ton. Hasil perhitungan beban aksial yang dipikul oleh bore pile dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 adalah sebesar $P = 776,117$ ton. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa Q gabungan bore pile jika hanya menggunakan 2 tiang tidak aman terhadap beban aksial bangunan. Namun jika menggunakan 6 tiang dengan Metode *Meyerhoof* dimana Q gabungan didapat sebesar 899,934 ton $> P = 776,117$ ton, maka pondasi aman dalam memikul beban yang ada di atasnya.

Kata kunci : Bore Pile, Kapasitas Daya Dukung, SPT, Beban Aksial

ABSTRACT

The foundation is the structure of the lower part of the construction of buildings that relate directly to the ground and is a very important work in a civil engineering work, because this foundation will carry and hold a load that works on it. In planning the foundation it is necessary to take into account the amount of the load received and the carrying capacity of the local soil. Every foundation must be able to support the load to the specified safety limit. The purpose of this study is to calculate the carrying capacity of bore pile foundations, where the bearing capacity of the foundation is calculated based on Standard Penetration Test (SPT) data using 2 methods, Meyerhoof Method and Reese & Wright Method. From the results of the analysis and calculation of bearing capacity of the SPT results with a depth of 10 m and a pole diameter of 80 cm, based on the Meyerhoof Method, the carrying capacity of a single pole (Q_{ijin}) was 194.747 tons, while using the Reese & Wright Method, the carrying capacity of a single pole (Q_{ijin}) was 163.95 tons. Based on the results of efficiency calculations with the Converse-Labarre Method, a combined Q (2 poles in the field) was obtained with the Meyerhoof Method of 350,934 tons, and using a combined Reese & Wright Q Method (2 poles in the field) of 295,438 tons. The results of the calculation of the axial load carried by the bore pile using the SAP 2000 application is $P = 776,117$ tons. From the data above it can be concluded that Q combined bore pile if only using 2 insecure poles against axial load of the building. But if you use 6 poles with the Meyerhoof Method where the combined Q is obtained at 899,934 tons $> P = 776,117$ tons, then the foundation is safe in carrying the load on it.

Keywords: *Bore Pile, Carrying Capacity, SPT, Axial Load*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga Penulis bisa menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Penyusunan skripsi yang berjudul “**Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan**” ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, Penulis telah mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material maupun spiritual. Oleh karena itu, sudah selayaknya Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., Rektor Universitas Medan Area;
2. Bapak Prof. Dr. Armansyah Ginting, M.Eng., Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT., Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area;
4. Bapak Ir. H. Edy Hermanto, MT., selaku Dosen Pembimbing I;
5. Ibu Ir. Nurmaidah, MT., selaku Dosen Pembimbing II;
6. Seluruh dosen dan sivitas akademik Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
7. Para direksi dan seluruh staff PT. Mitra Mandiri Asetindo;

8. Orang Tua tercinta dan seluruh keluarga (Kak Dinar, Kak Tiara, dan Dek Erick) yang telah memberi dukungan doa, semangat serta dukungan materi;
9. Rekan-rekan mahasiswa di kampus, terkhusus teman-teman seperjuangan ekstensi di Jurusan Teknik Sipil, maupun teman-teman satu kontrakan yang turut membantu dan mendukung di dalam doa dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
10. Kelompok kecil Gratia (Kak Mayta, Kristina, Meyti, dan Maria) yang mau mendengar keluh kesah dan menguatkan dalam doa selama proses penyusunan skripsi ini;
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu, yang turut membantu Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis sudah berupaya semaksimal mungkin dan menyadari kemungkinan terdapat kekurangan serta kesilapan didalam penyusunan skripsi ini. Oleh sebab itu, Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran guna penyempurnaan skripsi ini kedepannya. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi Penulis dan siapapun yang membacanya.

Medan, Februari 2019

Hormat Saya,

Diana Lumban Tobing

16.811.0040

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Pembahasan	3
1.3. Perumusan Masalah	3
1.4. Pembatasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian dan Fungsi Pondasi	5
2.1.1. Klasifikasi Pondasi Tiang	6
2.1.2. Persyaratan Pondasi Tiang	7
2.1.3. Penyelidikan Tanah	7
2.2. Pondasi Bore Pile	8
2.2.1. Penggunaan Pondasi Tiang Bor	10
2.2.2. Perancangan Pondasi Tiang Bor	11

2.2.3. Jenis-Jenis Pondasi Tiang Bor	12
2.2.4. Metode Pelaksanaan Bore Pile	18
2.2.5. Pengaruh Pemasangan Tiang Bor	25
2.3. Teori Daya Dukung	27
2.3.1. Analisis Terzaghi	28
2.3.2. Persamaan Daya Dukung Vesic	30
2.3.3. Analisis Meyerhof	32
2.4. Kapasitas Dukung Dari Hasil Pengujian di Lapangan	35
2.4.1. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Dari Hasil Sondir .	35
2.4.2. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Dari Hasil SPT	39
2.5. Faktor Aman	44
2.6. Pondasi Tiang Kelompok (Pile Group)	46
2.7. Kapasitas Kelompok Tiang dan Efisiensi Bore Pile	47
2.7.1. Kapasitas Kelompok Tiang	47
2.7.2. Efisiensi Tiang Bore Pile	47
2.7.3. Kapasitas Ijin Kelompok Tiang	50
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1. Data Umum Proyek	51
3.2. Data Teknis Proyek	52
3.3. Pengumpulan Data	52
3.3.1. Metode Pengumpulan Data	52
3.3.2. Sumber Data	53
3.4. <i>Flow Chart</i> Pengerjaan Analisis Pondasi	54

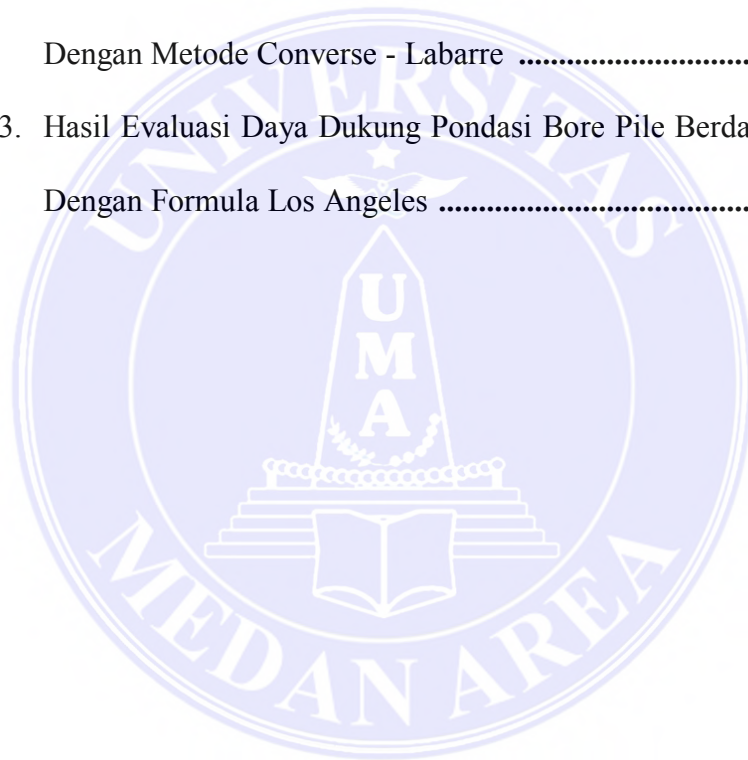
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Gambaran Umum Lokasi Proyek	55
4.2. Gambaran Umum Pengolahan Data	55
4.3. Analisis Struktur	55
4.3.1. Input Data SAP 2000	56
4.3.2. Spesifikasi Bahan	56
4.3.3. Pembebanan Struktur	57
4.4. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Bore Pile	62
4.5. Perhitungan Efisiensi Tiang	70
BAB V PENUTUP	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

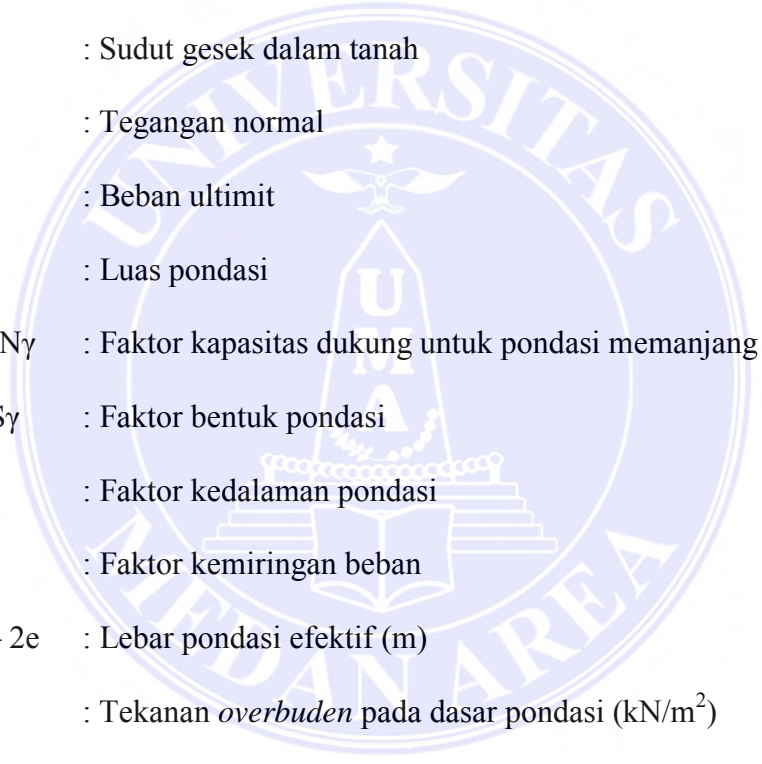
Gambar 2.1. Pondasi Bore Pile	9
Gambar 2.2. Jenis-Jenis Pondasi Bore Pile	12
Gambar 2.3. Pembuatan Bore Pile Mini Crane	13
Gambar 2.4. Bore Pile Gawangan	13
Gambar 2.5. Bore Pile Manual	14
Gambar 2.6. Langkah-langkah Pelaksanaan Tiang Bor Dalam Metode Kering	15
Gambar 2.7. Langkah-langkah Pelaksanaan Tiang Bor Dalam Metode Basah	16
Gambar 2.8. Langkah-langkah Pelaksanaan Tiang Bor Dengan Memasang <i>Casing</i>	17
Gambar 2.9. Gambar Skematik Alat Yang Digunakan Untuk Mengebor	20
Gambar 2.10. Faktor-Faktor Kapasitas Dukung Meyerhof	34
Gambar 2.11. Kerucut Mekanis (Kerucut Belanda), Urutan Pengoperasian Dan Data Tahanan Ujung	36
Gambar 2.12. Kerucut Listrik Dan Data CPT	37
Gambar 2.13. Daya Dukung Ujung Batas Tiang Bor Pada Tanah Pasiran (Reese & Wright, 1977)	43
Gambar 2.14. Pola-Pola Kelompok Tiang	46
Gambar 2.15. Efisiensi Kelompok Tiang	49
Gambar 3.1. Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan	51
Gambar 4.1. Pemodelan Struktur 3 Dimensi	59
Gambar 4.2. Gaya Normal Akibat Pembebanan Struktur	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai-Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi.....	30
Tabel 2.2. Faktor-Faktor Daya Dukung (Vesic, 1973)	32
Tabel 2.3. Faktor-Faktor Kapasitas Dukung Meyerhof (1963)	34
Tabel 4.1. Perhitungan Daya Dukung Ultimit & Ijin Bore Pile	69
Tabel 4.2. Hasil Evaluasi Daya Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Efisiensi Dengan Metode Converse - Labarre	76
Tabel 4.3. Hasil Evaluasi Daya Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Efisiensi Dengan Formula Los Angeles	76

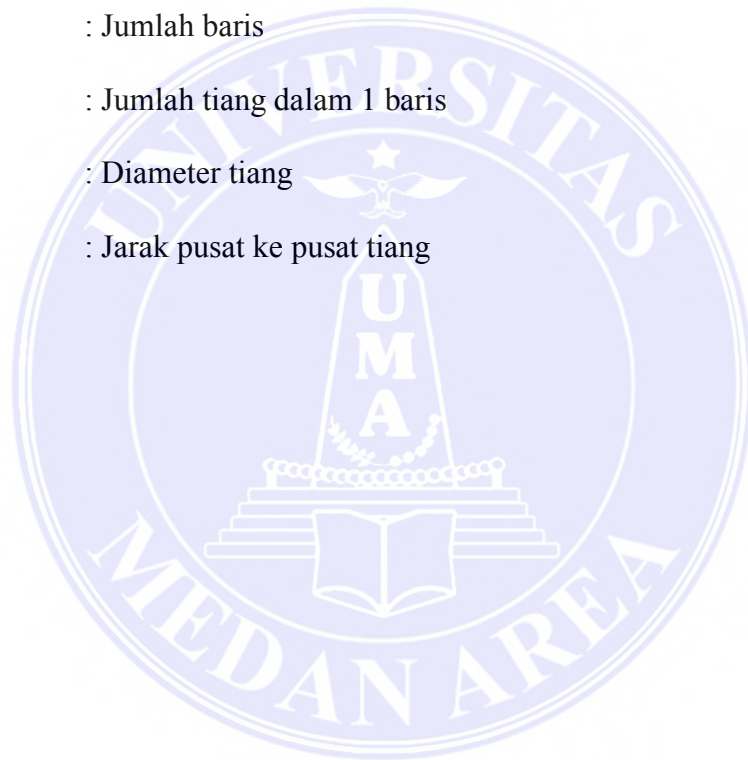


DAFTAR NOTASI



Q_{ult}	: Daya dukung ultimit tiang (ton)
Q_p	: Daya dukung ultimit ujung tiang (ton)
Q_s	: Daya dukung ultimit selimut tiang (ton)
τ	: Tahanan geser tanah
c	: Kohesi tanah
ν	: Sudut gesek dalam tanah
σ	: Tegangan normal
P_u	: Beban ultimit
A	: Luas pondasi
N_c, N_q, N_γ	: Faktor kapasitas dukung untuk pondasi memanjang
S_c, S_q, S_γ	: Faktor bentuk pondasi
d_c, d_q, d_γ	: Faktor kedalaman pondasi
i_c, i_q, i_γ	: Faktor kemiringan beban
$B' = B - 2e$: Lebar pondasi efektif (m)
$p_o = Df\gamma$: Tekanan <i>overbuden</i> pada dasar pondasi (kN/m^2)
Df	: Kedalaman pondasi (m)
γ	: Berat volume tanah (kN/m^3)
q_c	: Perlawanan ujung konus tiang (Kg/cm^2)
A_b	: Luas penampang tiang (cm^2)
q_f	: Jumlah hambatan lekat (Kg/cm)
O	: Keliling tiang (cm)
L_i	: Panjang lapisan tanah (m)

P	: Keliling tiang (m)
N	: Banyaknya perhitungan pukulan rata-rata statistik
f	: Tahanan satuan skin friction, (ton/m ²)
α	: Faktor adhesi
C_u	: Kohesi tanah (ton/m ²)
E_g	: Efisiensi kelompok tiang
θ	: Arc tan d/s
m	: Jumlah baris
n	: Jumlah tiang dalam 1 baris
d	: Diameter tiang
s	: Jarak pusat ke pusat tiang



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bangunan gedung harus direncanakan dengan baik untuk mencegah terjadinya kegagalan-kegagalan pada bangunan gedung tersebut. Perencanaan itu meliputi perencanaan kolom, balok, plat lantai, pondasi dan juga rangka atap dari bangunan tersebut. Perencanaan tersebut juga tidak lepas dari beban-beban yang bekerja pada bangunan gedung, baik berupa beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban-beban yang terjadi pada bangunan akan dipikul oleh struktur bangunan dan diteruskan ke pondasi untuk selanjutnya ditransfer ke tanah.

Salah satu bagian penting dalam sebuah perencanaan gedung adalah perencanaan pondasi. Pondasi merupakan struktur bagian bawah dari konstruksi bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi sebagai pemikul beban bangunan dari atas dan akan menyalurkannya ke dalam tanah. Keberadaan pondasi bukanlah sesuatu yang tidak penting, akan tetapi memiliki pengaruh besar dalam konstruksi bangunan yang akan dibangun (Jurnal Erwin Junianto Zebua dkk, 2016).

Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan dan keruntuhan dari tanah akan terjadi. Kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan pada

konstruksi yang berada di atas dari pondasi tersebut (Jurnal Henry Beteholi Hulu, 2015).

Pondasi sebagai struktur bawah secara umum dapat dibagi dalam 2 jenis, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pemilihan jenis pondasi tergantung kepada jenis struktur atas apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan juga tergantung pada jenis tanahnya. Untuk konstruksi beban ringan dan kondisi tanah cukup baik biasanya dipakai pondasi dangkal, tetapi untuk konstruksi beban berat biasanya jenis pondasi dalam adalah pilihan yang tepat.

Secara umum permasalahan pondasi dalam lebih rumit dari pondasi dangkal. Untuk itu penulis mencoba mengkonsentrasikan skripsi ini pada perencanaan pondasi dalam yaitu pada pondasi bore pile saja.

Pondasi bore pile adalah salah satu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor. Bore pile dipakai apabila tanah dasar yang kokoh mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m serta keadaan sekitar tanah bangunan sudah banyak berdiri bangunan-bangunan besar seperti gedung-gedung bertingkat sehingga dikhawatirkan dapat menimbulkan retak-retak pada bangunan yang sudah ada akibat getaran-getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan pemancangan apabila dipakai pondasi tiang pancang (Jurnal Ulfa Jusi, 2015).

Bore pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberi keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Oleh sebab itu dalam merencanakan suatu pondasi harus mengevaluasi daya dukung tanahnya.

Latar belakang inilah yang akhirnya mendorong penulis untuk mengangkat judul ini dengan cara menganalisis daya dukung pondasi bore pile di dalam pekerjaan konstruksi.

1.2. Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui besarnya kapasitas daya dukung pondasi bore pile dari data *Standart Penetration Test* (SPT).
2. Untuk mengetahui besarnya daya dukung kelompok tiang pada pondasi bore pile.
3. Untuk mengetahui besarnya efisiensi kelompok tiang dengan berbagai formula atau rumus efisiensi tiang yang ada.

1.3. Perumusan Masalah

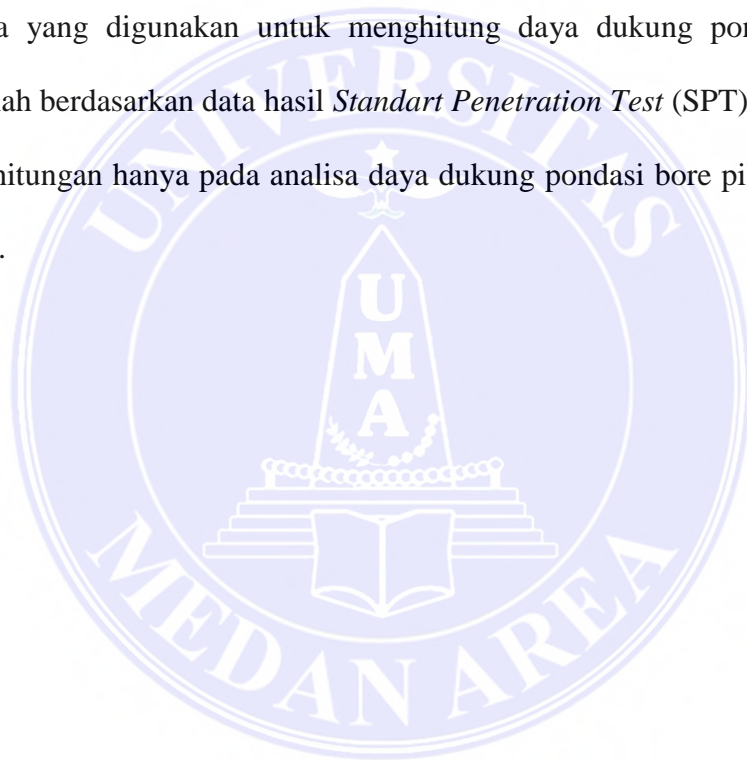
Adapun beberapa masalah yang timbul dalam pembahasan ini yaitu:

1. Bagaimana menghitung kapasitas daya dukung pondasi bore pile dengan menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT) pada proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan?
2. Bagaimana menghitung daya dukung kelompok tiang atau Q tiang gabungan?
3. Bagaimana menghitung efisiensi kelompok tiang?

1.4. Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah yang diambil untuk penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Tiang bore pile yang ditinjau adalah tiang yang tegak lurus atau hanya pada daya dukung aksial tiang.
2. Perhitungan beban vertikal bangunan dihitung berdasarkan bantuan program SAP 2000.
3. Data yang digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi bore pile adalah berdasarkan data hasil *Standart Penetration Test* (SPT).
4. Perhitungan hanya pada analisa daya dukung pondasi bore pile yang ditinjau saja.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian dan Fungsi Pondasi

Pondasi merupakan bagian bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah, yang menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban berguna, dan gaya-gaya luar terhadap gedung seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain. Pondasi berfungsi:

- a. Sebagai kaki bangunan atau alas bangunan.
- b. Sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat.
- c. Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan stabil/tetap (Setiawan, 2001).

Secara umum, pondasi tiang adalah elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Namun demikian fungsi pondasi tiang lebih dari itu dan penerapannya untuk masalah-masalah lain cukup banyak, diantaranya:

1. Untuk memikul beban-beban dari struktur atas.
2. Untuk menahan gaya angkat (up-lift force) pada pondasi atau dok di bawah muka air.
3. Untuk memadatkan tanah pasiran dengan cara penggetaran. Tiang ini kemudian ditarik lagi.
4. Untuk mengurangi penurunan.
5. Untuk memperkaku tanah di bawah pondasi mesin, mengurangi amplitude getraran dan frekuensi alamiah dari sistem.

6. Untuk memberikan tambahan faktor keamanan, khususnya pada kaki jembatan yang dikhawatirkan mengalami erosi.
7. Untuk menahan longsor atau sebagai soldier piles (Rahardjo, 2000).

2.1.1. Klasifikasi Pondasi Tiang

Berdasarkan metoda instalasinya, pondasi tiang pada umumnya dapat diklasifikasikan atas:

(1) Tiang Pancang

Sebuah tiang yang dipancang kedalam tanah sampai kedalaman yang cukup untuk menimbulkan tahanan gesek pada selimutnya atau tahanan ujungnya disebut pondasi tiang pancang. Pемancangan tiang dapat dilakukan dengan memukul kepala tiang dengan palu atau getaran atau dengan penekanan secara hidrolis.

(2) Tiang Bor

Sebuah tiang bor dikonstruksikan dengan cara penggalian sebuah lubang bor yang kemudian diisi dengan material beton dengan memberikan penulangan terlebih dahulu.

Kedua jenis tiang diatas dibedakan karena mekanisme pemikulan beban yang relatif tidak sama dan konsekuensinya secara empirik menghasilkan daya dukung yang berbeda, pengendalian mutu secara berbeda dan cara evaluasi yang tersendiri untuk masing-masing jenis tiang tersebut (Rahardjo, 2000).

2.1.2. Persyaratan Pondasi Tiang

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu pondasi tiang yaitu:

1. Beban yang diterima oleh pondasi tidak melebihi daya dukung tanah untuk menjamin keamanan bangunan.
2. Pembatasan penurunan yang terjadi pada bangunan pada nilai yang dapat diterima yang tidak merusak struktur.
3. Pengendalian atau pencegahan efek dari pelaksanaan konstruksi pondasi atau galian atau pekerjaan pondasi yang lain untuk membatasi pergerakan bangunan atau struktur lain disekitarnya (Rahardjo, 2000).

2.1.3. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya, dan untuk menentukan metode konstruksi yang efisien.

Karakteristik tanah amat bervariasi dan dapat berubah drastic hanya dalam jarak beberapa meter. Tujuan langsung dari penyelidikan tanah adalah untuk menentukan stratigrafi atau pelapisan tanah, menentukan sifat-sifat fisis dan teknis tanah, khususnya kuat geser dan sifat kemampatannya. Secara umum tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Memberikan pandangan-pandangan tentang kelayakan suatu lokasi untuk proyek dari aspek kondisi tanah.
2. Menentukan karakteristik tanah dan kemungkinan perilakunya akibat pembebanan, menafsirkan data tersebut dan digunakan untuk

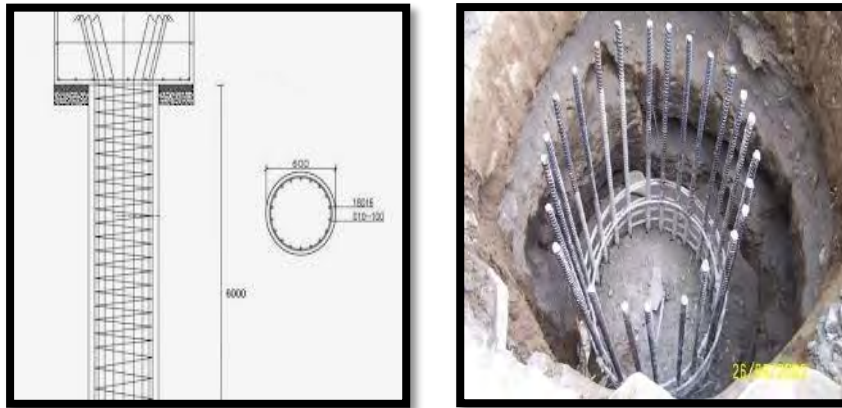
merekomendasikan perancangan, metode konstruksi dan cara pengamatan (Rahardjo, 2000).

2.2. Pondasi Bore Pile

Jika tiang pancang dipasang dengan cara dipukul ke dalam tanah, tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian dimasukkan tulangan yang telah dirangkai ke dalam lubang bor dan kemudian dicor beton (Hardiyatmo, 2015).

Pondasi tiang bor mempunyai karakteristik khusus karena cara pelaksanaannya yang dapat mengakibatkan perbedaan perilakunya di bawah pembebanan dibandingkan dengan tiang pancang. Hal-hal yang mengakibatkan perbedaan tersebut diantaranya:

- a. Tiang bor dilaksanakan dengan menggali lubang bor dan mengisinya dengan material beton, sedangkan tiang pancang dimasukan ke tanah dengan mendesak tanah disekitarnya (*displacement pile*).
- b. Beton dicor dalam keadaan basah dan mengalami masa curing di bawah tanah.
- c. Kadang-kadang digunakan casing untuk kestabilan dinding lubang bor dan dapat pula casing tersebut tidak dicabut karena kesulitan lapangan.
- d. Kadang-kadang digunakan slurry untuk kestabilan lubang bor yang dapat membentuk lapisan lumpur pada dinding galian yang mempengaruhi mekanisme gesekan tiang dengan tanah.
- e. Cara penggalian lubang bor disesuaikan dengan kondisi tanah (Rahardjo 2000).



Gambar 2.1 Pondasi Bore Pile

Sumber: <https://proyeksipil.blogspot.com/2012/11/sekilas-tentang-pondasi-bor-pile.html>

Keuntungan dalam pemakaian tiang bor dibandingkan dengan tiang pancang adalah:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung di letakkan di puncak tiang bor.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Tiang bor dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batu.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.
8. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Sedangkan kerugian menggunakan pondasi bore pile yaitu:

1. Pengecoran tiang bor dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan tiang bor mengurangi kapasitas dukung tiang bor, terutama bila tiang bor cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang (Hardiyatmo, 2015:398).

Sebagai konsekuensi dari keandalan yang ditawarkan oleh pondasi tiang bor, perhatian yang lebih besar harus dicurahkan pada detail pelaksanaannya dan pengaruh yang potensial terhadap perilaku serta biayanya. Hal ini dapat menuntut investasi lanjut misalnya untuk memperoleh data penyelidikan tanah yang lebih akurat dan engineer yang berpengalaman untuk pekerjaan inspeksi (Rahardjo, 2000).

2.2.1. Penggunaan Pondasi Tiang Bor

Karena kedalaman dan diameter dari tiang bor dapat divariasikan dengan mudah, maka jenis pondasi ini baik untuk beban ringan maupun untuk struktur berat seperti bangunan bertingkat tinggi dan jembatan

Dalam dekade terakhir ini pemakaian pondasi tiang bor semakin luas seperti diantaranya:

- a. Pondasi jembatan
- b. Menara transmisi listrik
- c. Fasilitas dok
- d. Soldier pile
- e. Kestabilan lereng
- f. Dinding penahan tanah
- g. Pondasi bangunan ringan pada tanah lunak
- h. Pondasi bangunan tinggi
- i. Struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar, dan lain-lain (Rahardjo, 2000).

2.2.2. Perancangan Pondasi Tiang Bor

Daya dukung pondasi tiang bor mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Sebagaimana formula umum dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton).

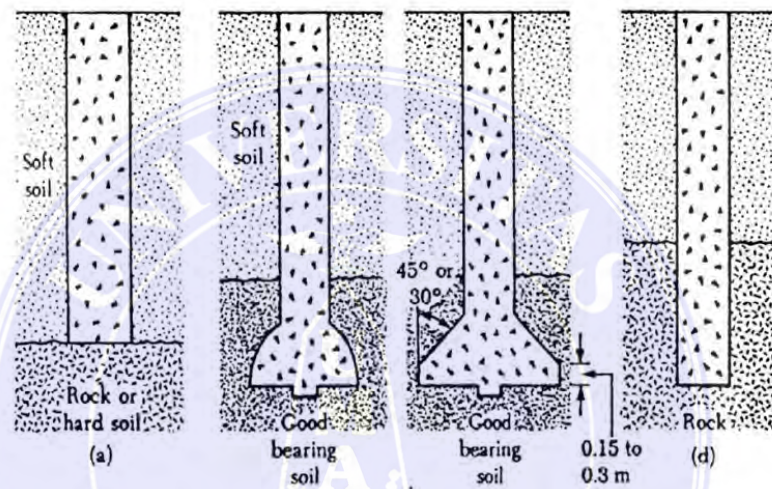
Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang (ton).

Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton) (Rahardjo, 2000).

2.2.3. Jenis-Jenis Pondasi Tiang Bor

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

- a. Bore pile lurus untuk tanah keras;
- b. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel;
- c. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium;
- d. Bore pile lurus untuk tanah berbatu-batuan.



Gambar 2.2 Jenis-Jenis Pondasi Bore Pile

Ada beberapa jenis alat dan metode pengerjaan bore pile, namun pada dasarnya sama diantaranya:

1. Bore Pile Mini Crane

Dengan alat bore pile mesin ini bias dilaksanakan pengeboran dengan pilihan diameter 30 cm, 40 cm, 60 cm, hingga 80 cm. metode bore pile menggunakan sistem wet boring (bor basah), dibutuhkan air yang cukup untuk mendukung kelancaran pelaksanaan pekerjaan sehingga sumber air harus diperhatikan jika menggunakan alat bore pile ini.



Gambar 2.3 Pembuatan bore pile mini crane

Sumber: <http://www.mandiriboredpile.com/2012/10/pondasi-bored-pile.html>

2. Bore Pile Gawangan

Alat bore pile ini memiliki sistem kerja yang mirip dengan bore pile mini crane, perbedaan hanya pada desain sasis dan tiang tempat gearbox, kemudian juga diperlukan tambang pada kanan dan kiri alat yang dikaitkan ketempat lain agar menjaga keseimbangan alat selama pengeboran.



Gambar 2.4 Bore pile gawangan

Sumber: <http://www.mandiriboredpile.com/2012/10/pondasi-bored-pile.html>

3. Bore Pile Manual/ *Strauss Pile*

Alat strauss pile ini menggunakan tenaga manual untuk memutar mata bornya, menggunakan metode bore pile kering (*dry boring*). Alat bore pile manual yang simple, ringkas dan mudah dioperasikan serta tidak bising saat pengerjaan menjadikan cara ini banyak digunakan diberbagai proyek seperti perumahan, pabrik, gudang, pagar, dan lain-lain. Kekurangannya terbatasnya pilihan diameter yakni hanya 20 cm, 25 cm, 30 cm, dan 40 cm. Tentu saja karena ini berhubungan dengan tenaga penggeraknya yang hanya tenaga manusia. Jadi cara ini kebanyakan digunakan untuk bangunan yang tidak begitu berat.



Gambar 2.5 Bore pile manual

Sumber: <http://www.mandiriboredpile.com/2012/10/pondasi-bored-pile.html>

Prinsip-prinsip pelaksanaan tiang bor pada tanah yang tidak mudah longsor adalah sebagai berikut:

- a. Tanah digali dengan mesin bor sampai kedalaman yang dikehendaki.
- b. Dasar lubang bor dibersihkan.
- c. Tulangan yang telah dirakit dimasukkan ke dalam lubang bor.

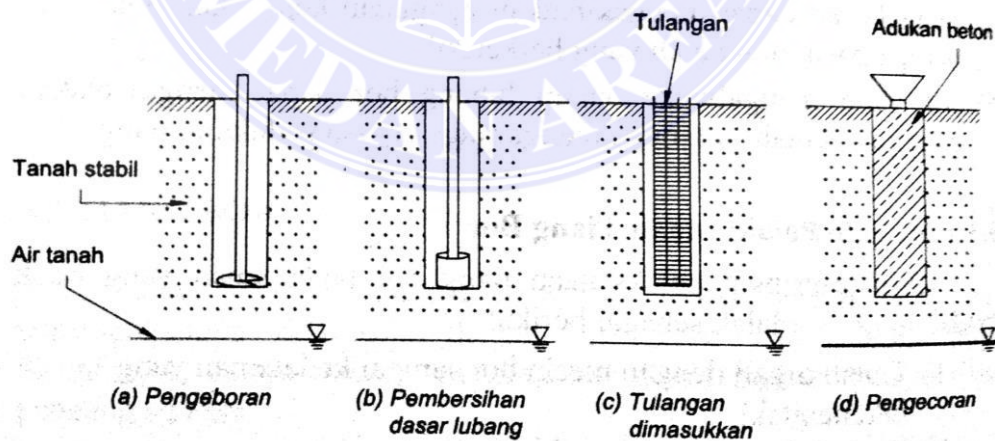
d. Lubang bor diisi/ dicor beton.

Terdapat tiga metode pelaksanaan pembuatan tiang bor:

1. Metode kering.

Metode kering cocok digunakan pada tanah di atas muka air tanah yang ketika dibor dinding lubangnya tidak longsor, seperti lempung kaku homogeny. Tanah pasir yang mempunyai sedikit kohesi juga lubangnya tidak mudah longsor jika dibor.

Metode kering juga dapat dilakukan pada tanah-tanah di bawah muka air tanah, jika tanahnya mempunyai permeabilitas rendah, sehingga ketika dilakukan pengeboran, air tidak masuk ke dalam lubang bor saat lubang masih terbuka. Pada metode kering, lubang dibuat dengan menggunakan mesin bor tanpa pipa pelindung (*casing*). Setelah itu, dasar lubang bor yang kotor oleh rontokan tanah dibersihkan. Tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor dan kemudian di cor.

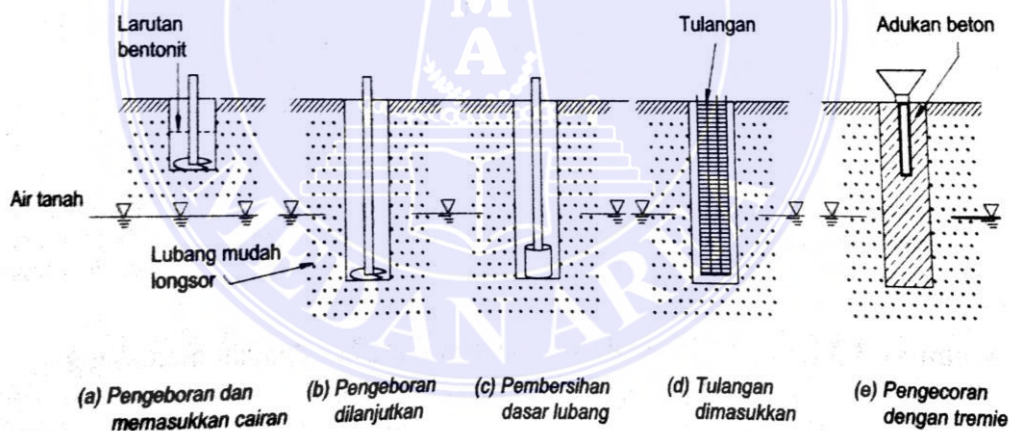


Gambar 2.6 Langkah-langkah pelaksanaan tiang bor dalam metode kering

Sumber : Hardiyatmo, 2015

2. Metode basah.

Metode basah umumnya dilakukan bila pengeboran melewati muka air tanah, sehingga lubang bor selalu longsor bila dindingnya tidak ditahan. Agar lubang tidak longsor, di dalam lubang bor diisi dengan larutan tanah lempung/*bentonite* atau larutan polimer. Jadi, pengeboran dilakukan di dalam larutan. Jika kedalaman yang diinginkan telah tercapai, lubang bor dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor yang masih berisi cairan *bentonite*. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang bor dengan pipa *tremie*. Larutan bentonite akan terdesak dan terangkat ke atas oleh adukan beton. Larutan yang keluar dari lubang bor, ditampung dan dapat digunakan lagi untuk pengeboran di lokasi selanjutnya.



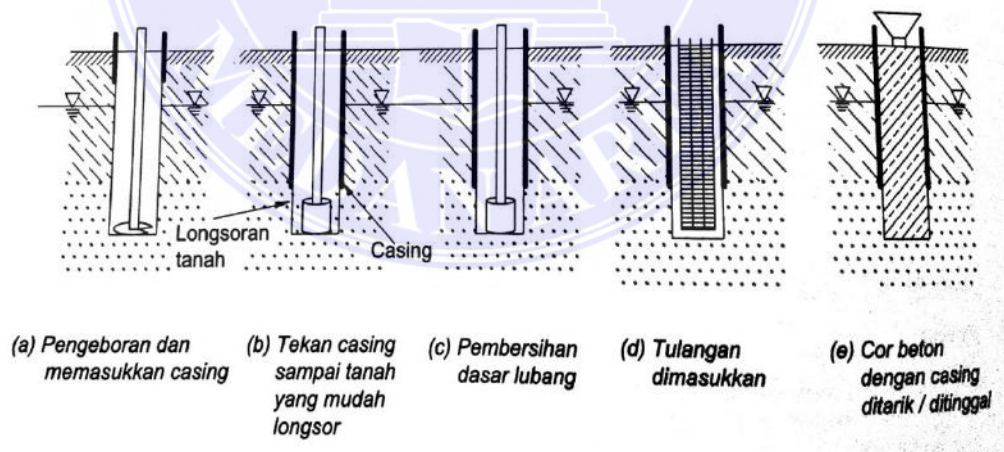
Gambar 2.7 Langkah-langkah pelaksanaan tiang bor dalam metode basah

Sumber : Hardiyatmo, 2015

3. Metode casing.

Metode ini digunakan bila lubang bor sangat mudah longsor, misalnya tanah di lokasi adalah pasir bersih di bawah muka air tanah. Untuk menahan agar lubang tidak longsor digunakan pipa selubung

baja (casing). Pemasangan pipa selubung ke dalam lubang bor dilakukan dengan cara memancang, menggetarkan atau menekan pipa baja sampai kedalaman yang ditentukan. Sebelum sampai menembus muka air tanah, pipa selubung dimasukkan. Tanah di dalam pipa selubung dikeluarkan saat penggalian atau setelah pipa selubung sampai kedalaman yang diinginkan. Larutan *bentonite* kadang-kadang digunakan untuk menahan longsornya dinding lubang, bila penggalian sampai di bawah muka air tanah. Setelah pipa selubung sampai pada kedalaman yang diinginkan, lubang bor lalu dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam pipa selubung. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang (bila pembuatan lubang digunakan larutan, maka untuk pengecoran digunakan pipa *tremie*), dan pipa selubung ditarik ke atas, namun kadang-kadang pipa selubung ditinggalkan di tempat (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 2.8 Langkah-langkah pelaksanaan tiang bor dengan memasang casing

Sumber : Hardiyatmo, 2015

2.2.4. Metode Pelaksanaan Bore Pile

Adapun yang menjadi metode pelaksanaan bore pile adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Lokasi Pekerjaan (*Site Preparation*)

Pelajari Lay-out pondasi dan titik-titik bore pile, membersihkan lokasi pekerjaan dari gangguan yang ada seperti bangunan-bangunan, tanaman atau pohon-pohon, tiang listrik atau telepon, kabel dan lain-lainnya.

2. Rute/ Alur Pengeboran

Merencanakan alur/urutan pengeboran sehingga setiap pergerakan mesin RCD, Excavator, Crane dan Truck Mixer dapat termobilisasi tanpa halangan.

3. Survey Lapangan dan Penentuan Titik Pondasi

Mengukur dan menentukan posisi titik koordinat bore pile dengan bantuan alat Theodolit.

4. Pemasangan Stand Pipe/ Casing

Setelah mencapai suatu kedalaman yang mencukupi untuk menghindari tanah di tepi lubang berguguran maka perlu dipasang casing, yaitu pipa yang mempunyai ukuran diameter dalam kurang lebih sama dengan diameter lubang bor.

Stand pipe/ casing dipasang dengan ketentuan bahwa pusat dari stand pipe harus berada pada titik as pondasi yang telah disurvei. Pemasangan stand pipe dilakukan dengan bantuan Excavator (Back Hoe).

Meskipun mesin bornya berbeda, tetapi pada prinsipnya cara pemasangan casing sama, diangkat dan dimasukkan pada lubang bor. Tentu saja kedalaman lubang belum sampai bawah, secukupnya. Kalau menunggu sampai ke bawah, maka bias-bisa tanah berguguran semua. Lubang tertutup lagi, jadi pemasangan casing penting.

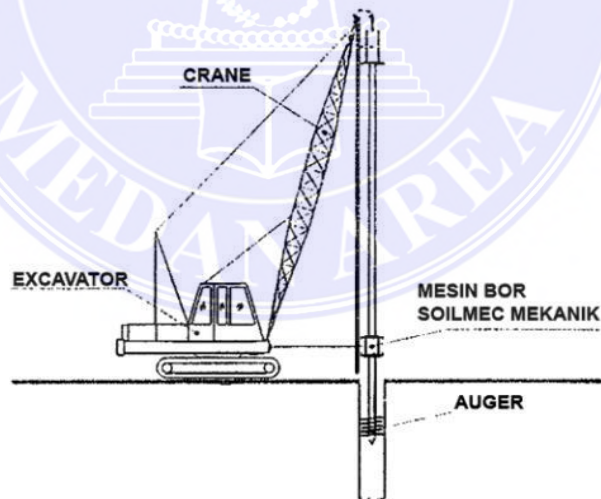
5. Pembuatan Drainase dan Kolam Air

Kolam air berfungsi untuk tempat penampungan air bersih yang akan digunakan untuk pekerjaan pengeboran sekaligus untuk tempat penampungan air bercampur lumpur hasil dari pengeboran. Ukuran kolam air 3 m x 3 m x 2,5 m dan drainase/parit penghubung dari kolam ke stand pipe berukuran 1,2 m, kedalaman 0,7 m (tergantung kondisi). Jarak kolam air tidak boleh terlalu dekat dengan lubang pengeboran, sehingga lumpur dalam air hasil pengeboran mengendap dulu sebelum airnya mengalir kembali ke dalam lubang pengeboran. Lumpur hasil pengeboran yang mengendap di dalam kolam diambil (dibersihkan) dengan bantuan Excavator.

6. Setting Mesin RCD (RCD Machine Instalation)

Setelah stand pipe terpasang, mata bor sesuai dengan diameter yang ditentukan, dimasukkan terlebih dahulu ke dalam stand pipe, kemudian beberapa buah pelat dipasang untuk memperkuat tanah dasar dudukan mesin RCD (*Rotary Circle Dumper*), kemudian mesin RCD diposisikan dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Mata bor disambung dengan stang pemutar, kemudian mata bor diperiksa apakah sudah benar-benar berada pada pusat/as stand pipe (titik pondasi).
- b. Posisi mesin RCD harus tegak lurus terhadap lubang yang akan dibor (yang sudah terpasang stand pipe), hal ini dapat dicek dengan alat waterpass.
- c. Proses pengeboran (*Drilling Work*)



Gambar 2.9 Gambaran Skematik Alat yang Digunakan Untuk Mengebor

Proses pengeboran dilakukan dengan memutar mata bor ke arah kanan, dan sesekali diputar ke arah kiri untuk memastikan bahwa lubang pengeboran benar-benar mulus, sekaligus untuk

menghancurkan tanah hasil pengeboran supaya larut dalam air agar lebih mudah dihisap. Proses pengeboran dilakukan secara bersamaan dengan proses penghisapan lumpur hasil pengeboran, oleh karena itu air yang ditampung pada kolam air harus dapat memenuhi sirkulasi air yang diperlukan untuk pengeboran. Setiap kedalaman pengeboran ± 3 m, dilakukan penyambungan stang bor sampai kedalaman yang diinginkan tercapai.

Jika kedalaman yang diinginkan hampir tercapai (± 1 m lagi), maka proses penghisapan dihentikan (mesin pompa hisap tidak diaktifkan), sementara proses pengeboran terus dilakukan sampai kedalaman yang diinginkan (dapat diperkirakan dari stang bor yang sudah masuk), selanjutnya stang bor dinaikan sekitar 0,5 – 1 m, lalu proses penghisapan dilakukan terus sampai air yang keluar dari selang buang kelihatan lebih bersih (± 15 menit). Kedalaman pengeboran diukur dengan meteran pengukur kedalaman, jika kedalaman yang diinginkan belum tercapai maka proses yang tadi dilakukan kembali. Jika kedalaman yang diinginkan sudah tercapai maka stang bor boleh diangkat dan dibuka.

d. Instalasi tulangan dan pipa tremie

Tulangan yang digunakan sudah harus tersedia lebih dahulu sebelum pengeboran dilakukan, sehingga begitu proses pengeboran selesai, langsung dilakukan instalasi tulangan, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya kelongsoran dinding

lubang yang sudah selesai dibor. Tulangan harus dirakit rapid an ikatan tulangan spiral dengan tulangan utama harus benar-benar kuat sehingga pada waktu pengangkatan tulangan oleh crane tidak terjadi kerusakan pada tulangan (ikatan lepas dan sebagainya).

Proses instalasi tulangan dilakukan sebagai berikut:

- 1) Posisi crane harus benar-benar diperhatikan, sehingga tulangan yang akan dimasukan benar-benar tegak lurus terhadap lubang bor, dan juga pada waktu pengecoran tidak menghalangi jalan masuk truck mixer.
- 2) Pada tulangan diikatkan dua buah sling, satu buah pada ujung atas tulangan dan satu buah lagi pada bagian sisi memanjang tulangan. Pada bagian dimana sling diikat, ikatan tulangan spiral dengan tulangan utama diperkuat (bila perlu dilas), sehingga pada waktu tulangan diangkat, tulangan tidak rusak (ikatan spiral dengan tulangan utama tidak lepas). Pada setiap sambungan (bagian overlap) sebaiknya dilas, karena pada proses pengecoran, sewaktu pipa tremie dinaikkan dan diturunkan kemungkinan dapat mengenai sisi tulangan yang dapat menyebabkan sambungan tulangan lepas dan tulangan terangkat ke atas.
- 3) Tulangan diangkat dengan menggunakan dua hook crane, satu pada sling bagian ujung atas dan satu lagi pada bagian sisi memanjang, pengangkatan dilakukan dengan menarik hook secara bergantian sehingga tulangan benar-benar lurus,

dan setelah tulangan terangkat dan sudah tegak lurus dengan lubang bor, kemudian dimasukkan pelan-pelan ke dalam lubang, posisi tulangan terus dijaga supaya tidak menyentuh dinding lubang bor dan posisinya harus benar-benar di tengah/ di pusat lubang bor.

4) Jika level yang diinginkan berada di bawah permukaan tanah, maka digunakan besi penggantung.

5) Setelah tulangan dimasukkan, kemudian pipa tremie dimasukkan. Pipa tremie disambung-sambungkan untuk memudahkan proses instalasi dan juga untuk memudahkan pemotongan tremie pada waktu pengecoran. Ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi. Jika jaraknya kurang dari 25 cm maka pada saat pengecoran beton lambat keluar dari tremie, sedangkan jika jaraknya lebih dari 50 cm maka pada saat pertama kali beton keluar dari tremie akan terjadi pengenceran karena bercampur dengan air pondasi (penting untuk perhatikan). Pada bagian ujung atas pipa tremie disambung dengan corong pengecoran.

e. Pengecoran dengan Ready Mix Concrete

Proses pengecoran harus segera dilakukan setelah tulangan dan pipa tremie selesai, guna menghindari kemungkinan terjadinya kelongsoran pada dinding lubang bor. Oleh karena itu pemesanan ready mix concrete harus dapat diperkirakan

waktunya dengan waktu pengecoran. Proses pengecoran dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Pipa tremie dinaikan setinggi 25-50 cm di atas dasar lubang bor, air dalam pipa tremie dibiarkan dulu stabil, kemudian dimasukkan bola karet yang diameternya sama dengan diameter dalam pipa tremie, yang berfungsi untuk menekan air campur lumpur ke dasar lubang sewaktu beton dituang pertama sekali, sehingga beton tidak bercampur dengan lumpur.
- 2) Pada awal pengecoran, penuangan dilakukan lebih cepat, hal ini dilakukan supaya bola karet dapat benar-benar menekan air bercampur lumpur di dalam pipa tremie, setelah itu penuangan distabilkan sehingga beton tidak tumpah dari corong.
- 3) Jika beton dalam corong penuh, pipa tremie dapat digerakan naik turun dengan syarat pipa tremie yang tertanam dalam beton minimal 1 m pada saat pipa tremie dinaikan. Jika pipa tremie yang tertanam dalam beton terlalu panjang, hal ini dapat memperlambat proses syarat bahwa pipa tremie yang masih tertanam dalam beton minimal 1 m.
- 4) Proses pengecoran dilakukan dengan mengandalkan gaya gravitasi bumi (gerak jatuh bebas), posisi pipa tremie harus berada pada pusat lubang bor, sehingga tidak merusak tulangan atau tidak menyebabkan tulangan terangkat pada

saat pipa tremie digerakan naik turun. Pengecoran dihentikan 0,5 – 1 m di atas batas beton bersih, sehingga kualitas beton pada batas beton bersih benar-benar terjamin (bebas dari lumpur). Setelah pengecoran selesai dilakukan, pipa tremie diangkat dan dibuka serta dibersihkan. Batas pengecoran diukur dengan meteran kedalaman.

2.2.5. Pengaruh Pemasangan Tiang Bor

1. Tiang Bor dalam Tanah Granuler

Pada waktu pengeboran, biasanya dibutuhkan tabung luar (*casing*) sebagai pelindung terhadap longsor dinding galian dan larutan tertentu kadang-kadang juga digunakan dengan maksud yang sama untuk melindungi dinding lubang tersebut. Gangguan kepadatan tanah, terjadi saat tabung pelindung ditarik ke atas saat pengecoran. Karena itu, dalam hitungan kapasitas dukung tiang bor di dalam tanah pasir, Tomlinson (1977) menyarankan untuk menggunakan sudut gesek dalam ultimit dari contoh terganggu, kecuali jika tiang diletakkan pada kerikil padat dimana dinding lubang yang bergelombang tidak terjadi. Jika pemadatan yang baik dapat dilakukan pada saat pengecoran beton yang berada di dasar tiang, maka gangguan kepadatan tanah dapat dieleminasi sehingga sudut gesek dalam (ϕ) pada kondisi padat dapat digunakan. Akan tetapi,

pemadatan tersebut mungkin sulit dikerjakan karena terhalang oleh tulangan beton.

2. Tiang Bor dalam Tanah Kohesif

Penelitian pada pengaruh pekerjaan pemasangan tiang bor pada adhesi antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya, menunjukkan bahwa nilai adhesi lebih kecil dari pada nilai kohesi tak terdrainase (*undrained cohesion*) tanah sebelum pemasangan tiang. Hal ini adalah akibat dari pelunakan lempung di sekitar dinding lubang bor. Pelunakan tersebut adalah pengaruh dari bertambahnya kadar air lempung oleh pengaruh-pengaruh: air pada pengecoran beton, pengaliran air tanah ke zona yang bertekanan lebih rendah di sekitar lubang bor, dan air yang dipakai untuk pelaksanaan pembuatan lubang bor. Pelunakan pada lempung dapat dikurangi, jika pengeboran dan pengecoran dilaksanakan dalam waktu 1 atau 2 jam.

Pelaksanaan pengeboran juga mempengaruhi kondisi dasar lubang yang dibuat. Pengeboran mengakibatkan pelunakan dan gangguan tanah lempung di dasar lubang, yang berakibat menambah besarnya penurunan. Pengaruh gangguan ini sangat besar, terutama bila diameter ujung tiang diperbesar. Pada ujung tiang yang diperbesar ini kapasitas dukungnya sebagian besar bergantung pada tahanan ujung tiang. Karena itu, penting untuk membersihkan dasar lubang. Gangguan yang lain dapat

pula terjadi akibat pemasangan tiang yang tidak baik, seperti: pengeboran yang melengkung, pemisahan campuran beton saat pengecoran dan pelengkungan tulangan beton saat pemasangan (Hardiyatmo, 2015).

2.3. Teori Daya Dukung

Menurut Hardiyatmo (1996), analisis daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi adalah:

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung harus dipenuhi. Dalam hitungan daya dukung, umumnya digunakan faktor aman 3.
2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perhatian harus diberikan pada peletakan dasar pondasi. Pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi risiko erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah, dan gangguan tanah di sekitar pondasi lainnya.

Analisis-analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan

sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan bersifat plastis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhoff (1955), De Beer dan Vesic (1958). Persamaan-persamaan daya dukung tanah yang diusulkan, umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$\tau = s$ = Tahanan geser tanah

c = Kohesi tanah

φ = Sudut gesek dalam tanah

σ = Tegangan normal

2.3.1. Analisis Terzaghi

Terzaghi (1943) menganalisis daya dukung tanah dengan beberapa anggapan, yaitu:

- (1) Pondasi memanjang tak terhingga.
- (2) Tanah didasar pondasi memanjang.
- (3) Berat tanah diatas dasar pondasi dapat digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $P_0 = D_f \cdot \gamma$, dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi.
- (4) Tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diabaikan.
- (5) Dasar pondasi kasar.

- (6) Bidang keruntuhan terdiri dari lengkung spiral logaritmis dan linier.
- (7) Baji tanah yang terbentuk di dasar pondasi dalam kedudukan elastic dan bergerak bersama-sama dengan dasar pondasinya.
- (8) Pertemuan antara sisi baji dan dasar pondasi membentuk sudut sebesar sudut gesek dalam tanah ϕ .
- (9) Berlaku prinsip super posisi.

Daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) (q_u) didefenisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$q_u = P_u/A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

q_u = Daya dukung ultimit.

P_u = Beban ultimit.

A = Luas pondasi.

Umumnya, jika hitungan daya dukung didasarkan pada analisis-analisis keruntuhan geser lokal dan keruntuhan penetresi, nilai daya dukung yang diizinkan (q_u) akan lebih ditentukan oleh pertimbangan besarnya penurunan (Hardiyatmo, 1996:73).

Tabel 2.1 Nilai-nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	Nc	Nq	N γ	Nc	Nq	N γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber: Hardiyatmo, 1996

2.3.2. Persamaan Daya Dukung Vesic

Berdasarkan prinsip super posisi, Vesic (1973) menyarankan faktor-faktor daya dukung yang diperoleh dari beberapa peneliti Reissner (1924) telah menunjukkan bahwa:

$$q_q = P_o \cdot N_q \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan

$$N_q = e^{(\mu \operatorname{tg} \phi)} \operatorname{tg}^2 (45 + \phi/2) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dari analisis Prandtl (1924):

$$q_c = c N_c \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Caquot dan Kerisel (1953) menyatakan q_γ sebagai:

$$q_\gamma = 0,5 B_\gamma N_\gamma \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai numerik yang diberikan oleh Caquot-Kerisel dapat didekati dengan (Vesic, 1973):

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots (2.8)$$

Superposisi dari ketiga persamaan:

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma \dots\dots\dots (2.9)$$

Substitusikan persamaan (2.3), (2.5) dan (2.7) ke persamaan (2.9), diperoleh persamaan daya dukung ultimit pondasi memanjang:

$$q_u = c N_c + P_o N_q + 0,5 B_\gamma N_\gamma \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan daya dukung yang disarankan Vesic (1973) tersebut sama dengan persamaan Terzaghi, hanya persamaan faktor-faktor daya dukungnya yang berbeda, yaitu seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.4), (2.6), dan (2.8) (Hardiyatmo, 1996).

Tabel 2.2 Faktor-faktor Daya Dukung (Vesic, 1973)

ϕ_0	Nc	Nq	$N\gamma$	ϕ_0	Nc	Nq	$N\gamma$
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	16.72
3	5.9	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.3	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.8	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.2	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.9	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.2	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Sumber: Hardiyatmo, 1996

2.3.3. Analisis Meyerhof

Analisis kapasitas dukung Meyerhof (1955) menganggap sudut baji β (sudut antara bidang AD atau BD terhadap arah horizontal) tidak sama dengan ϕ , tapi $\beta > \phi$. Akibatnya, bentuk baji lebih memanjang ke bawah bila dibandingkan dengan analisis Terzaghi. Zona keruntuhan berkembang

dari dasar pondasi, ke atas sampai mencapai permukaan tanah. Jadi, tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diperhitungkan. Karena $\beta > \phi$, nilai factor-faktor kapasitas dukung Meyerhof lebih rendah daripada yang disarankan oleh Terzaghi. Namun, karena Meyerhof mempertimbangkan factor pengaruh kedalaman pondasi, kapasitas dukungnya menjadi lebih besar.

Meyerhof (1963) menyarankan persamaan kapasitas dukung dengan mempertimbangkan bentuk pondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas pondasinya, sebagai berikut:

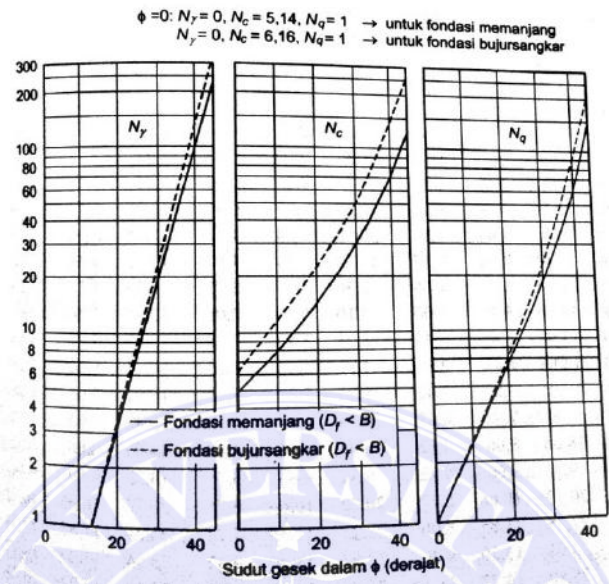
$$q_u = s_c d_c i_c c N_c + s_q d_q i_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

- q_u = kapasitas dukung ultimit
- N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung untuk pondasi memanjang
- s_c, s_q, s_γ = faktor bentuk pondasi
- d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman pondasi
- i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban
- $B' = B - 2e$ = Lebar pondasi efektif (m)
- $p_o = D_f \gamma$ = tekanan *overbuden* pada dasar pondasi (kN/m²)
- D_f = kedalaman pondasi (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m³)

Nilai- nilai faktor kapasitas dukung Meyerhof untuk dasar pondasi kasar yang berbentuk memanjang dan bujursangkar ditunjukkan dalam gambar (2.10), sedang tabel (2.3) menunjukkan nilai-nilai faktor-faktor kapasitas dukung tanah untuk pondasi memanjang dari usulan-usulan

Meyerhof (1963), dan sekaligus peneliti-peneliti yang lain, seperti: Brinch Hansen (1961), dan Vesic (1973) (Hardiyatmo, 2014).



Gambar 2.10 Faktor-faktor kapasitas dukung Meyerhof

Sumber : Hardiyatmo, 2014

Tabel 2.3 Faktor-faktor Kapasitas Dukung Meyerhof (1963)

ϕ_0	N_c	N_q	N_γ	ϕ_0	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0	26	22.25	11.85	8.00
1	5.38	1.09	0.00	27	23.94	13.2	9.46
2	5.63	1.20	0.01	28	25.8	14.72	11.19
3	5.90	1.31	0.02	29	27.86	16.44	13.24
4	6.19	1.43	0.04	30	30.14	18.4	15.67
5	6.49	1.57	0.07	31	32.67	20.63	18.56
6	6.81	1.72	0.11	32	35.49	23.18	22.02
7	7.16	1.88	0.15	33	38.64	26.09	26.17
8	7.53	2.06	0.21	34	42.16	29.44	31.15
9	7.92	2.25	0.28	35	46.12	33.3	37.15
10	8.34	2.47	0.37	36	50.59	37.75	44.43
11	8.80	2.71	0.47	37	55.63	42.92	53.27
12	9.28	2.97	0.60	38	61.35	48.93	64.07
13	9.81	3.26	0.74	39	67.87	55.96	77.33
14	10.37	3.59	0.92	40	75.31	64.20	93.69
15	10.98	3.94	1.13	41	83.86	73.90	113.99
16	11.63	4.34	1.37	42	93.71	85.37	139.32
17	12.34	4.77	1.66	43	105.11	99.01	171.14

18	13.1	5.26	2.00	44	118.37	115.31	211.41
19	13.93	5.80	2.40	45	133.87	134.87	262.74
20	14.83	6.40	2.87	46	152.10	158.5	328.73
21	15.81	7.07	3.42	47	173.64	187.21	414.33
22	16.88	7.82	4.07	48	199.26	222.3	526.45
23	18.05	8.66	4.82	49	229.92	265.5	674.92
24	19.32	9.60	5.72	50	266.88	319.06	873.86
25	20.72	10.66	6.77				

Sumber: Hardiyatmo, 2014

2.4. Kapasitas Dukung Dari Hasil Pengujian di Lapangan

2.4.1. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Dari Hasil Sondir

Sondir adalah suatu alat berbentuk silindris dengan ujungnya berupa suatu konus. Dalam uji sondir, alat ini ditekan ke dalam tanah dan kemudian perlawanan tanah terhadap ujung sondir (tanah ujung) dan gesekan pada selimut silinder diukur.

Uji sondir saat ini merupakan salah satu uji lapangan yang telah diterima oleh para praktisi dan pakar geoteknik. Uji sondir ini telah menunjukkan manfaat untuk pendugaan profil atau pelapisan (stratifikasi) tanah karena jenis perilaku tanah telah dapat diidentifikasi dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung dan gesekan selimutnya (Rahardjo, 2000).

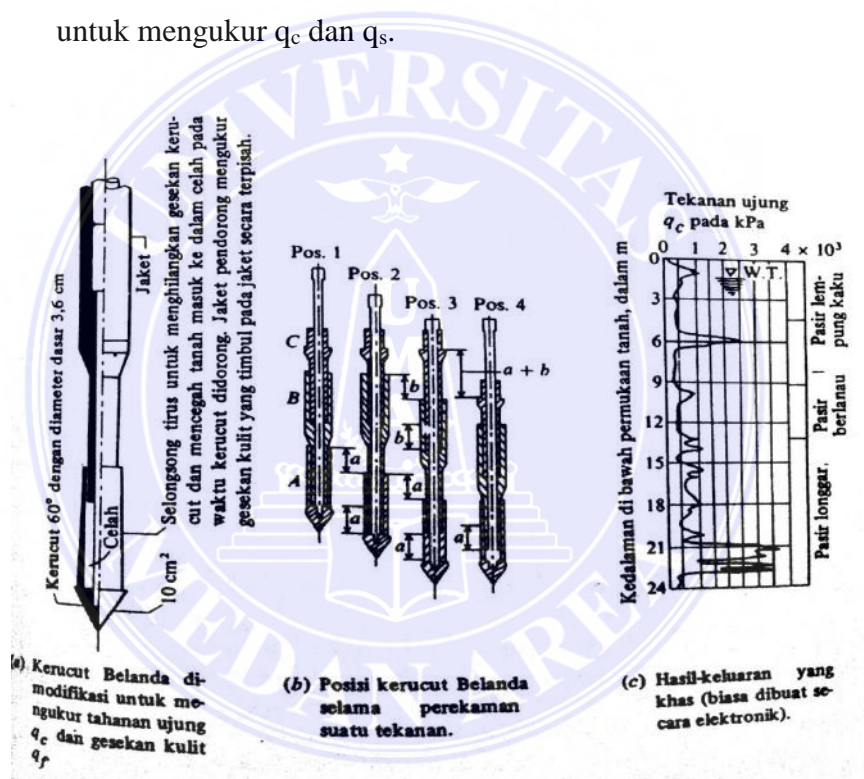
Alat ini telah lama populer di Indonesia dan telah digunakan hampir pada setiap penyelidikan tanah pada pekerjaan-pekerjaan sipil karena relatif mudah pemakaiannya, cepat dan sangat ekonomis.

Menurut Bowles (1997), pengujian ini tidak diterapkan pada tanah berkerikil dan lempung kaku/keras. Pengujian ini dilakukan dengan mendorong kerucut baku (menurut ASTM D 3441 mempunyai ujung 60°

dan diameter dasar = 35,7 mm dengan luas irisan lintang 10 cm^2) ke dalam tanah dengan kecepatan 10 sampai 20 mm/detik.

Dewasa ini terdapat paling sedikit lima bentuk kerucut yang dipakai:

1. Mekanis, jenis paling dini dinamakan “kerucut belanda” karena berasal dari negeri Belanda.
2. Gesekan listrik, modifikasi pertama memakai pengukur regangan untuk mengukur q_c dan q_s .

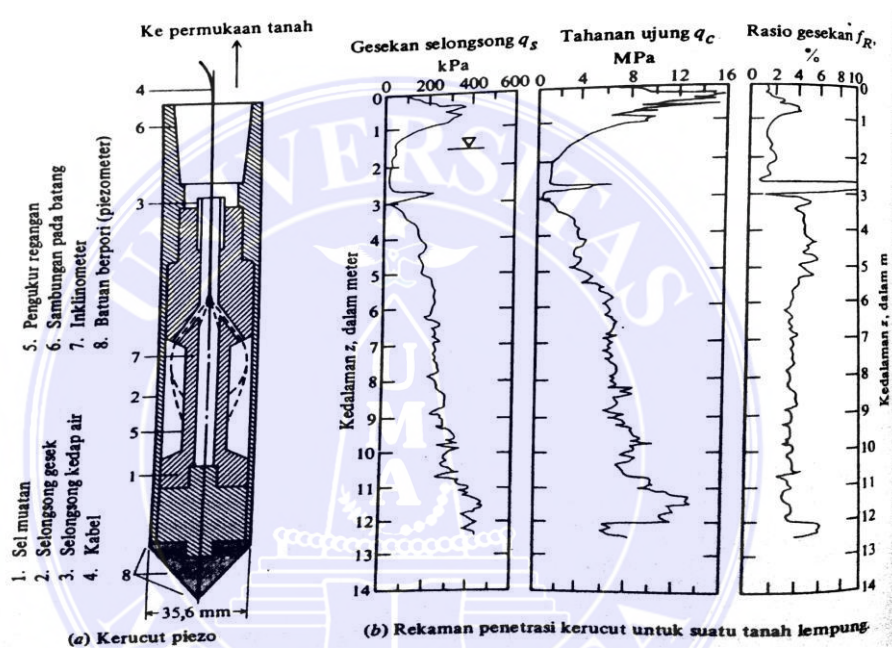


Gambar 2.11 Kerucut mekanis (Kerucut Belanda), urutan pengoperasian, dan data tahanan ujung

Sumber: Bowles, 1997

3. Piezo listrik, suatu modifikasi atas kerucut gesek untuk memungkinkan pengukuran tekanan air pori pada ujung kerucut.

4. Piezo/gesek listrik, modifikasi lanjutan untuk mengukur gesekan selongsong tahanan ujung dan tekanan pori.
5. Kerucut seismic, sebuah modifikasi tambahan baru-baru ini untuk mencakup pengambilan getaran agar memperoleh data guna menghitung kecepatan gelombang geser dari suatu kejut permukaan sehingga modulus geser dinamiknya dapat diukur.



Gambar 2.12 Kerucut listrik dan Data CPT

Sumber: Bowles, 1997

Penggunaan uji sondir yang makin luas terutama disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Cukup ekonomis dan dapat dilakukan ulang dengan hasil yang konsisten.
2. Korelasi empirik semakin andal.

3. Perkembangan yang semakin meningkat khususnya dengan ada penambahan sensor pada sondir listrik seperti batu pori dan stress cell untuk mengukur respon tekanan lateral tanah.
4. Kebutuhan untuk pengujian di lapangan (insitu test) dimana sampel tanah tidak dapat diambil (tanah lembek dan pasir).
5. Dapat digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dengan baik (Rahardjo, 2000).

Diantara perbedaan tes dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) seringkali sangat dipertimbangkan berperan, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga mengklasifikasikan lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan pondasi bore pile data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari tiang bor. Untuk menghitung daya dukung bore pile berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Meyerhof.

Daya dukung batas pondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_b) + (q_f \times O) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

Q_{ult} = kapasitas daya dukung ultimit (Ton)

q_c = Perlawanan ujung konus tiang (Kg/cm²)

- A_b = luas penampang tiang (cm^2)
- q_f = jumlah hambatan lekat (Kg/cm)
- O = keliling tiang (cm)

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus (Anugrah dan Erny, 2010:43).

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{q_c \times A_b}{3} + \frac{q_f \times O}{5} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

- Q_{ijin} = kapasitas daya dukung ijin pondasi (Ton)
- q_c = kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal (Kg/cm^2)
- A_b = luas penampang tiang (cm^2)
- q_f = jumlah hambatan lekat (Kg/cm^2)
- O = keliling tiang (cm)

2.4.2. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Dari Hasil SPT

Standart Penetration Test (SPT) telah memperoleh popularitas dimana-mana sejak tahun 1927 dan telah diterima sebagai uji tanah rutin di lapangan . SPT dapat dilakukan dengan cara yang relatif mudah sehingga tidak membutuhkan keterampilan khusus dari pemakainnya.

Metode pengujian tanah dengan SPT termasuk cara yang cukup ekonomis untuk memperoleh informasi mengenai kondisi di bawah permukaan tanah dan diperkirakan 80% dari desain pondasi untuk gedung bertingkat menggunakan cara ini. Karena banyaknya data SPT, korelasi empiris telah banyak memperoleh kemajuan.

Alat uji ini terdiri dari beberapa komponen yang sederhana, mudah ditransportasikan, dipasang dan mudah memeliharanya. Pandangan para ahli masih sama yaitu bahwa alat ini akan terus dipakai untuk penyelidikan tanah rutin karena relative masih ekonomis dan dapat diandalkan (Rahardjo, 2000).

Standart Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukan suatu alat yang dinamakan *split spoon* ke dalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relative (*relative density*), sudut geser tanah (θ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi bore pile pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan Meyerhoff.

Data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang sebelum pembangunan dimulai.

Tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dihitung dengan persamaan:

$$Q_b = A_b \cdot f_b \dots\dots\dots (2.14)$$

Tahanan gesek dinding tiang (Q_s) dihitung dengan persamaan:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.15)$$

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dan tahanan gesek dinding tiang (Q_s)

antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dinyatakan dalam persamaan berikut ini (Hardiyatmo, 2010):

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang

Q_s = Tahanan gesek dinding tiang

A_b = Luas ujung tiang bawah

A_s = Luas selimut tiang

f_b = Tahanan ujung satuang tiang

f_s = Tahanan gesek satuan tiang

1. Berdasarkan Metode Meyerhoof:

Kapasitas dukung ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT.

a. Tahanan ujung tiang berdasarkan data pengujian SPT dihitung dengan persamaan Meyerhoff (Bowles, 1993), yaitu:

$$Q_b = 40 \cdot N_b \cdot A_b \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

N_b = Nilai rata-rata statistik dari bilangan-bilangan SPT dalam daerah

kira-kira 8B di atas sampai dengan 4B di bawah titik tiang.

A_b = Luas penampang pile.

b. Tahanan gesek selimut tiang berdasarkan data pengujian SPT dihitung dengan persamaan Meyerhoff (Bowles, 1993), yaitu:

$$Q_s = X_m \cdot N\text{-SPT} \cdot P \cdot L_i \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

$X_m = 0,2$ untuk bore pile

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

P = Keliling tiang (m)

N = Banyaknya perhitungan pukulan rata-rata statistik

2. Berdasarkan Metode Reese & Wright:

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan *silt* didasarkan pada data SPT, ditentukan dengan perumusan berikut :

a. Daya dukung ujung tiang (*end bearing*), (Reese & Wright, 1977)

$$QP = AP \cdot qP \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

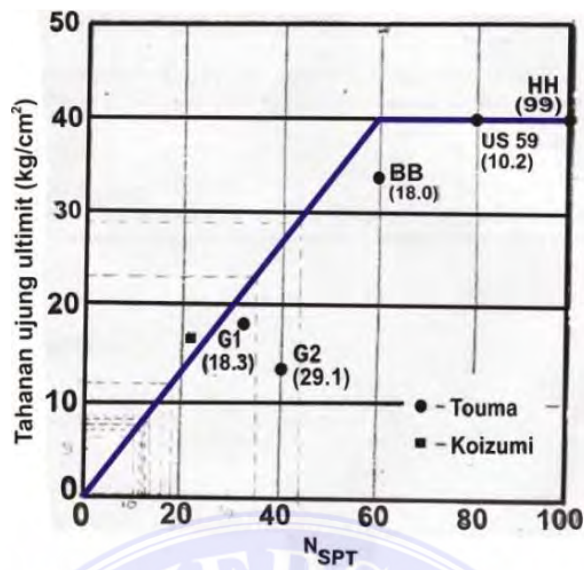
AP = Luas penampang tiang bor (m^2)

qP = Tahanan ujung per satuan luas, (ton/ m^2)

QP = Daya dukung ujung tiang (ton)

Untuk tanah kohesif: $qP = 9 Cu \dots\dots\dots (2.20)$

Untuk tanah tidak kohesif: korelasi antara qP dan $NSPT$ menurut (Reese & Wright, 1977) seperti pada Gambar berikut:



Gambar 2.13. Daya Dukung Ujung Batas Tiang Bor Pada Tanah Pasiran (Reese & Wright, 1977)

Untuk $N \leq 60$ maka $qP = 7 N (t/ m^2) < 400 (t/ m^2)$

untuk $N > 60$ maka $qP = 400 (t/m^2)$

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

b. Daya dukung selimut (*skin friction*), (Reese & Wright, 1977)

$$Q_s = f \cdot L_i \cdot p \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

f = Tahanan satuan skin friction, (ton/m²)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

p = Keliling tiang (m)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Pada tanah kohesif:

$$f = \alpha \cdot C_u \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana:

α = faktor adhesi (berdasarkan penelitian Reese & Wright (1977) $\alpha = 0,55$

C_u = kohesi tanah (ton/m²)

Pada tanah non kohesif; $N < 53$ maka $f = 0,32 N$ (ton/m²)

$3 < N \leq 100$ maka f : dari koreksi langsung dengan *NSPT* (Reese & Wright, 1977)

2.5. Faktor Aman

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah:

- a. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
- b. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- c. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- d. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- e. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977). Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan

keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai (Hardiyatmo, 2015).

Tomlinson (1977) menyarankan faktor aman untuk tiang bor:

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter < 2 m:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran dibagian bawahnya:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots (2.24)$$

Bila diameter tiang (d) lebih dari 2 m, kapasitas tiang ijin perlu dievaluasi dari pertimbangan penurunan tiang. Selanjutnya, penurunan struktur harus pula dicek terhadap persyaratan besar penurunan toleransi yang masih diijinkan.

Faktor aman (F) untuk tiang bor juga bergantung terutama pada informasi dari hasil uji beban statis, keseragaman kondisi tanah, dan ketelitian program penyelidikan tanah (Hardiyatmo, 2015).

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang yang dipertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

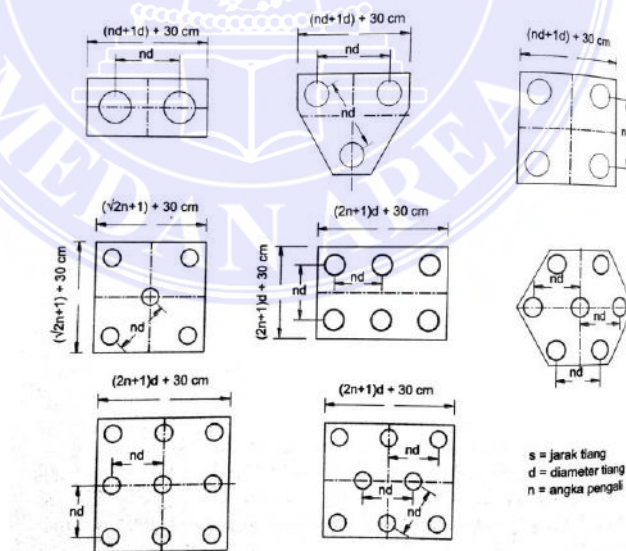
- a. Tipe dan kepentingan dari struktur.
- b. Variabilitas tanah (tanah tidak uniform).
- c. Ketelitian penyelidikan tanah.
- d. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
- e. Ketersediaan data di tempat (uji beban tiang).
- f. Pengawasan/control kualitas di lapangan.

- g. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur (Hardiyatmo, 2015).

2.6. Pondasi Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Pada umumnya jarak pondasi bore pile digunakan sebagai tiang tunggal, melainkan berupa gabungan dari beberapa tiang yang disebut dengan tiang kelompok (*pile group*). Di atas pile group biasanya diletakan suatu konstruksi *poer* (*footing*) yang mempersatukan kelompok tiang tersebut. Dalam perhitungan-perhitungan *poer* dianggap/dibuat kaku sempurna, sehingga:

1. Bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang *poer* tetap akan merupakan bidang datar.
2. Gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.



Gambar 2.14 Pola-Pola Kelompok Tiang

Sumber: Hardiyatmo, 2015

2.7. Kapasitas Kelompok Tiang dan Efisiensi Bore Pile

2.7.1. Kapasitas Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Stabilitas kelompok tiang tergantung dari 2 hal, yaitu:

- a. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
- b. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang (Hardiyatmo, 2015).

Pada tiang tunggal, interaksi yang terjadi hanyalah tiang dengan tanah, sedangkan pada kelompok tiang akan ada interaksi antara tiang dengan tanah dan tiang dengan tiang yang lainnya. Interaksi ini akan lebih besar jika jarak tiang semakin dekat. Jika pada salah satu tiang pada kelompok tiang didesak sehingga terjadi penurunan, maka tiang disekitarnya akan ikut turun akibat tertarik oleh tanah disekitar tiang yang dibebani. Berdasarkan kondisi tersebut, maka akan terjadi penurunan tiang akibat beban yang didukung tiang didekatnya, walaupun tiang tersebut tidak terbebani. Hal ini akan mengakibatkan kapasitas dukung tiang menjadi berkurang jika dibandingkan dengan kondisi tiang tunggal. Analisis ini dikembangkan dengan menganggap tidak ada *pile cap*.

2.7.2. Efisiensi Tiang Bore Pile

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai:

$$E_g = \frac{\text{Daya dukung kelompok tiang}}{\text{Jumlah tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}}$$

Meskipun beberapa formula sering dipergunakan untuk menentukan nilai efisiensi ini, tetapi belum ada suatu peraturan bangunan yang secara khusus menetapkan cara tertentu untuk menghitungnya. Laporan terakhir ASCE Committee on Deep Foundation (1984), menganjurkan untuk tidak menggunakan efisiensi kelompok untuk mendeskripsikan aksi kelompok tiang (*group action*). Laporan yang dihimpun berdasarkan studi dan publikasi sejak 1963 itu menganjurkan bahwa tiang tahanan gesek pada tanah pasiran dengan jarak tiang sekitar 2,0 – 3,0 D, akan memiliki daya dukung lebih besar daripada jumlah total daya dukung individual tiang, sedangkan untuk tiang tahanan gesek pada tanah kohesif, geser blok disekeliling kelompok tiang ditambah dengan daya dukung ujung besarnya tidak boleh melebihi jumlah total daya dukung masing-masing tiang.

Efisiensi kelompok tiang bergantung pada beberapa faktor, diantaranya:

- a. Jumlah tiang, panjang, diameter, pengaturan dan terutama jarak antara as tiang.
- b. Modus pengalihan beban (gesekan selimut atau tahanan ujung).
- c. Prosedur pelaksanaan konstruksi (tiang pancang atau tiang bor).
- d. Urutan instalasi tiang.
- e. Waktu setelah pemasangan tiang.
- f. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.

g. Arah dari beban yang bekerja (Rahardjo, 2000).

Beberapa persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut:

a. Metode Converse-Labarre Formula

$$E_g = 1 - \theta \frac{(m-1)n + (n-1)m}{90.m.n} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

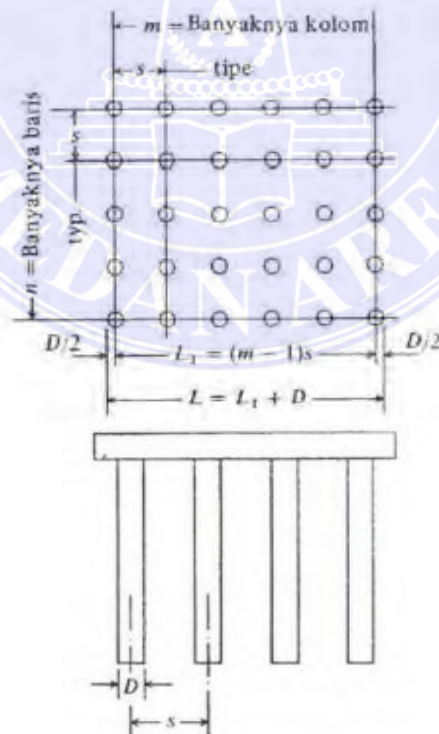
θ = Arc tan d/s

m = Jumlah baris

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang



Gambar 2.15 Efisiensi Kelompok Tiang

Sumber: Rahardjo, 2000

b. Metode Los Angeles Group

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot n \cdot m} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1) \sqrt{2}] \dots\dots\dots (2.26)$$

2.7.3. Kapasitas Ijin Kelompok Tiang

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan oleh persamaan:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \dots\dots\dots (2.27)$$

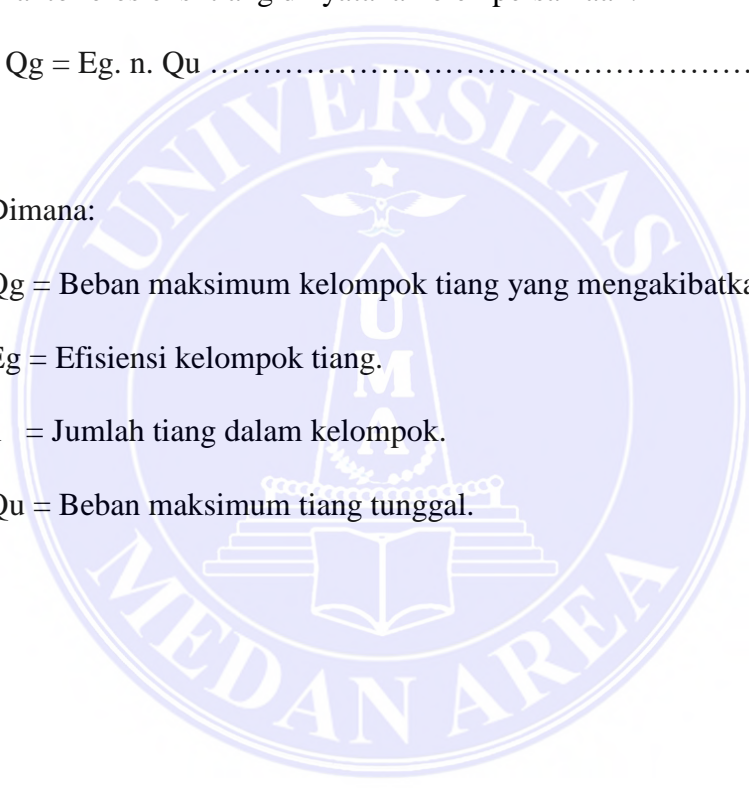
Dimana:

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

E_g = Efisiensi kelompok tiang.

n = Jumlah tiang dalam kelompok.

Q_u = Beban maksimum tiang tunggal.



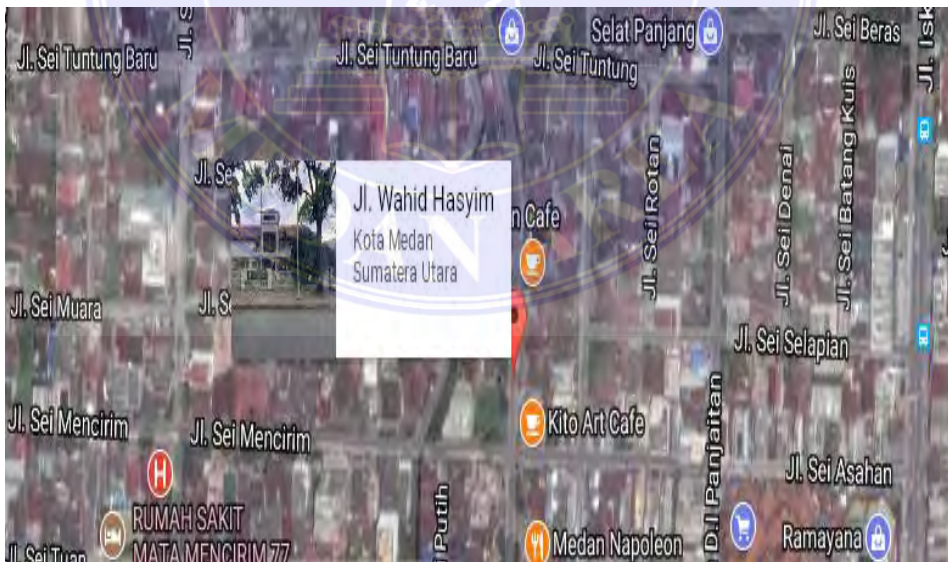
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Umum Proyek

Data umum dari proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartment Medan sebagai berikut:

Nama Proyek	: Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartment
Lokasi Proyek	: Jl. Wahid Hasyim – Medan
Owner	: Mr-Brent
Konsultan Perencana	: HB Architeam
Kontraktor Utama	: PT. Mitra Mandiri Asetindo
Peta Lokasi	: Dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartment Medan

3.2. Data Teknis Proyek

Data teknis yang diperoleh dari pihak kontraktor adalah sebagai berikut:

Bentuk bore pile	: Bulat (\emptyset 0,8 m)
Mutu Beton	: K-350
Panjang bore pile	: 10 m
Jumlah titik pengeboran	: 1 titik untuk pengujian SPT yaitu pada BH-1

3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan adalah:

1. Metode Observasi

Data yang berhubungan dengan data teknis gedung dan pondasi diperoleh langsung dari lokasi Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartment Medan.

2. Pengambilan Data

Pengambilan data diperoleh pada bulan Agustus 2018. Adapun data yang diambil meliputi:

- a. Gambar lengkap (denah, potongan, detail-detail).
- b. Denah pondasi dan detail pondasi.
- c. Data penyelidikan tanah yaitu data SPT.

3. Membaca Studi Kepustakaan

Membaca dan mengutip isi buku yang berhubungan dengan permasalahan yang ditinjau untuk melengkapi dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

3.3.2. Sumber Data

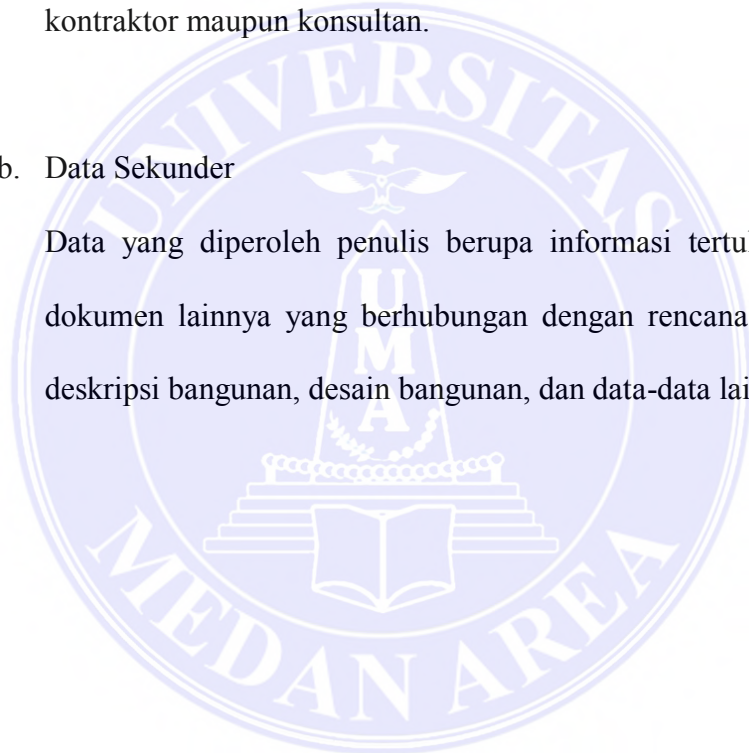
Adapun sumber data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data Primer

Data yang diperoleh langsung dari Lapangan untuk dijadikan data dasar maupun dapat pula dijadikan pengontrol data yang sudah tersedia pada data sekunder. Data-data yang berhubungan dengan data primer meliputi data hasil survey wawancara kepada pihak owner, kontraktor maupun konsultan.

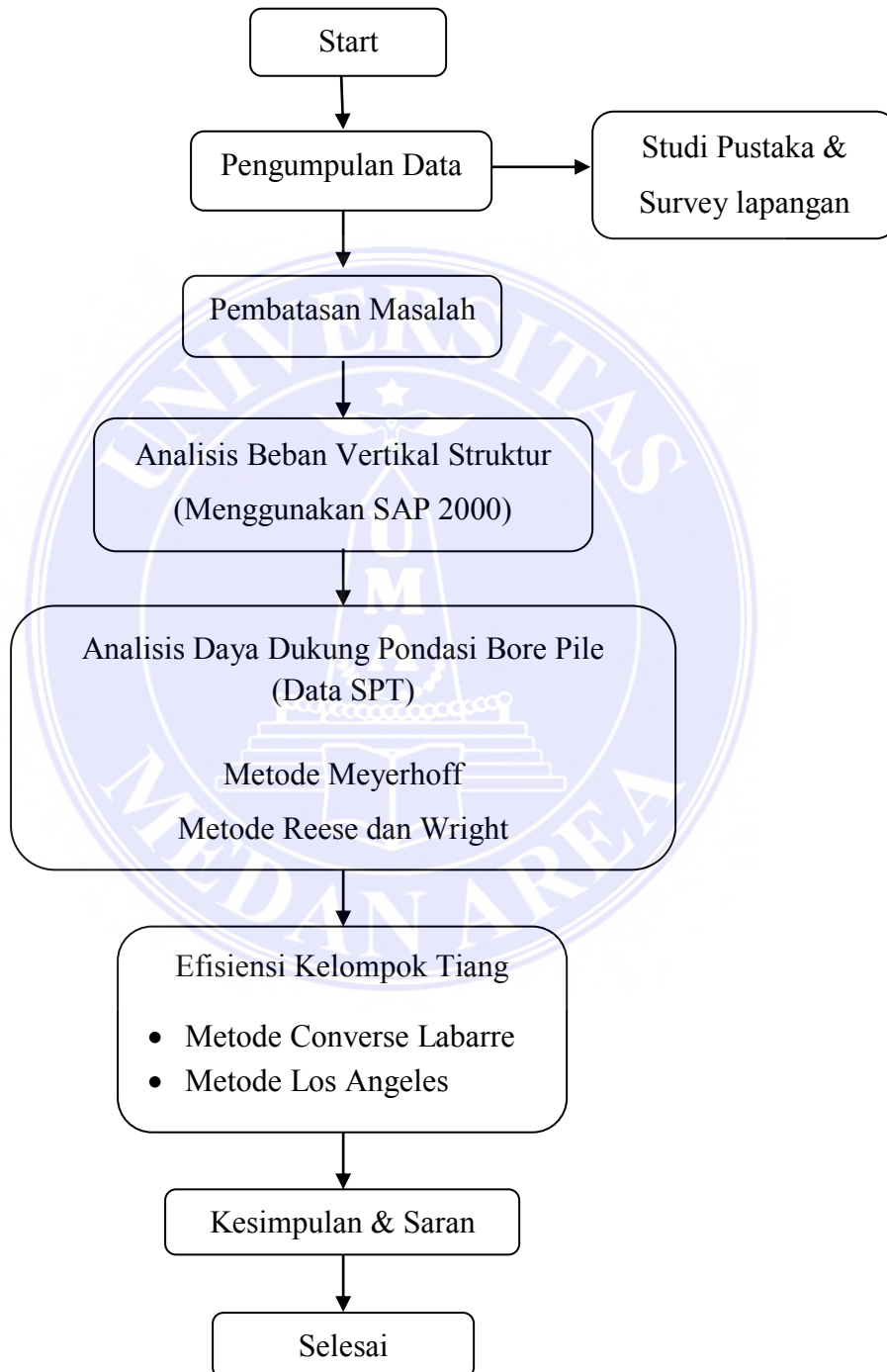
b. Data Sekunder

Data yang diperoleh penulis berupa informasi tertulis atau bentuk dokumen lainnya yang berhubungan dengan rencana proyek seperti deskripsi bangunan, desain bangunan, dan data-data lainnya.



3.4. Flow Chart Pengerjaan Analisis Pondasi

Untuk memudahkan pengerjaan analisis maka dibuat *flow chart* tentang urutan hal-hal yang harus dikerjakan seperti berikut:



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

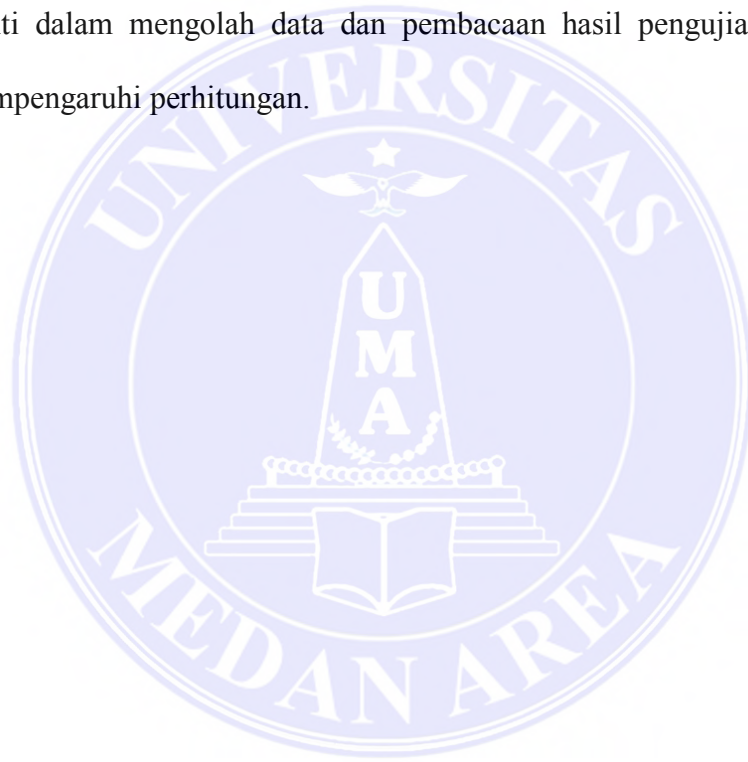
Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung pondasi bore pile dengan menggunakan data SPT pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal (Q_{ijin}) tiang dengan menggunakan metode Meyerhoof (1956) diperoleh (Q_{ijin}) tiang sebesar 194,747 Ton, sedangkan dengan menggunakan metode Reese & Wright diperoleh (Q_{ijin}) tiang sebesar 163,95 Ton.
2. Hasil perhitungan beban aksial yang dipikul oleh bore pile pada kolom (4-E) dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 adalah sebesar $P = 776,117$ ton.
3. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan Metode Converse – Labarre maupun dengan Formula Los Angeles, daya dukung gabungan kelompok tiang aman jika menggunakan 6 tiang pada Metode Meyerhoof dan 7 tiang pada Metode Reese & Wright.
4. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan Metode Converse – Labarre
 Q gabungan (Meyerhoof) = 899,934 ton
 Q gabungan (Reese & Wright) = 815,979 ton
5. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan Formula Los Angeles
 Q gabungan (Meyerhoof) = 973,346 ton
 Q gabungan (Reese & Wright) = 888,281 ton

5.2. Saran

Dari hasil perhitungan dan kesimpulan di atas, Penulis memberi saran sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan analisis yang akurat, data yang dimiliki harus benar-benar valid dan lengkap sehingga dalam perhitungan tidak terjadi kesalahan.
2. Sebaiknya mencoba perhitungan dengan metode-metode yang lainnya supaya mendapat hasil perhitungan yang lebih akurat.
3. Teliti dalam mengolah data dan pembacaan hasil pengujian karena dapat mempengaruhi perhitungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1997. *Analisis Dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Frick, Heinz. 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan 1*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiyatmo, H.C. 1996. *Teknik Fondasi 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H.C. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H.C. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hulu, Henri Beteholi. 2015. *Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Dengan Metode Analisis Proyek Manhattan Mall dan Condominium*. Tugas Akhir Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- Jusi, Ulfa. 2015. *Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone Dan N-Standard Penetration Test)*. Tugas Akhir Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru.
- Rahardjo, Paulus P. 2000. *Manual Pondasi Tiang*. Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Universitas Khatolik Parahyangan.
- Sunggono, V. 1995. *Buku Teknik Sipil*. Bandung: Nova.
- Zebua, Erwin Junianto, dkk. 2016. *Analisa Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Studi Kasus Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas*. Tugas Akhir Teknik Sipil.

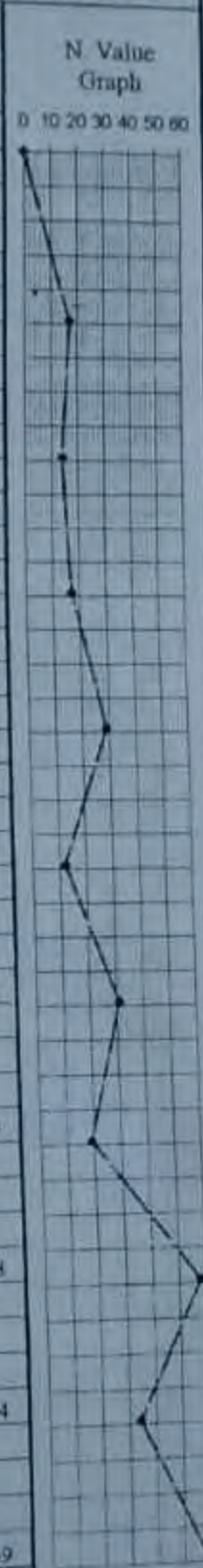
DRILLING LOG

Coordinate x	-	m
y	-	m
Depth of Drill	20,50	m
Base Master	Irwansyah	
Description By	Darmanto T.	
Drilling Rig	YBM YSO - 1	
Engine	Demping	
Checked by	Ir. Janner Napitupulu	

Site No.	BH-1
Beginning	18 Februari 2017
Ending	19 Februari 2017
GWT	-1,30 m
Elevation	-

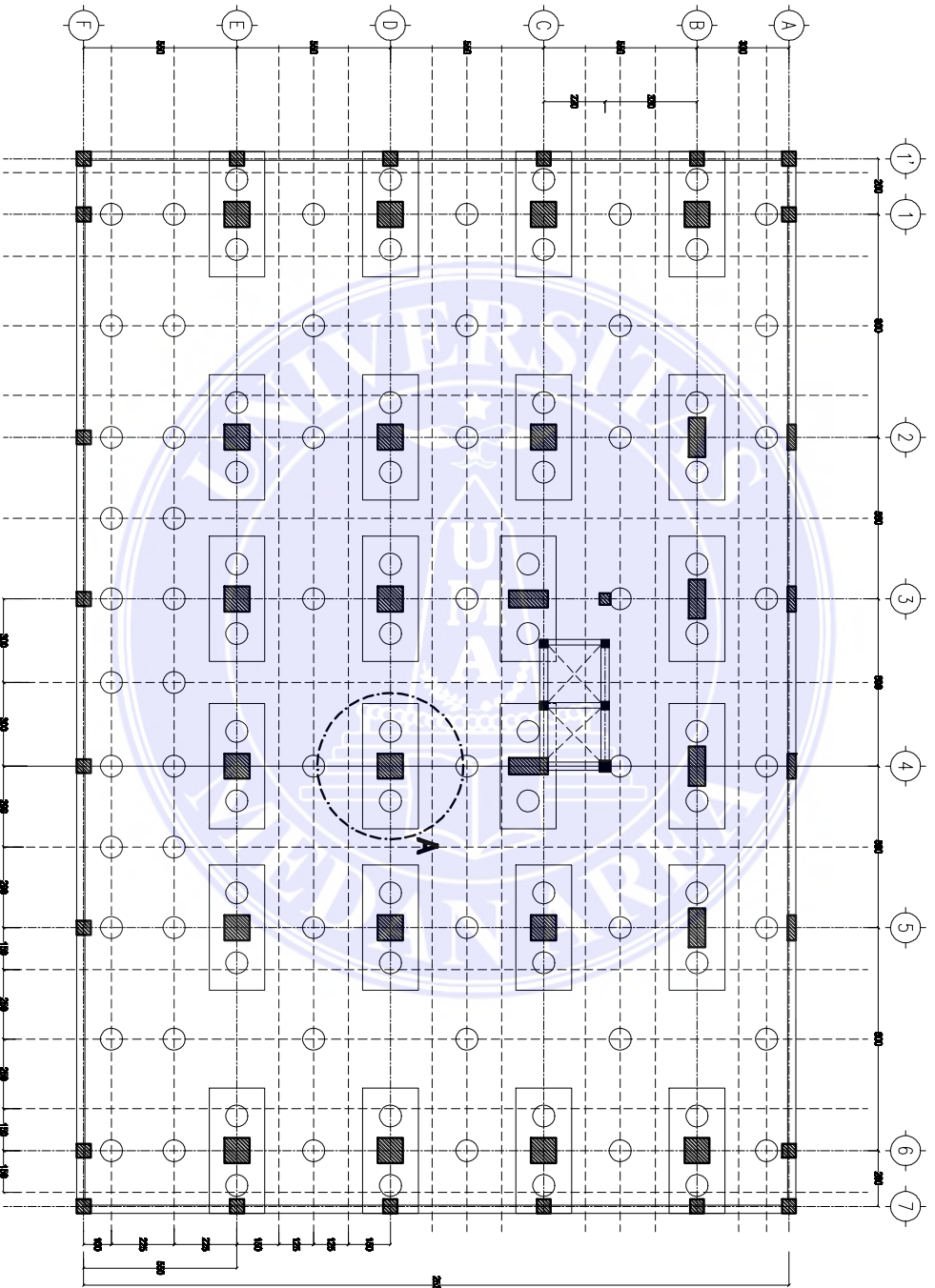
Project The Wahid Private Residences
 Location Jl. Sei Wampu Medan - Sumatera Utara

No	Depth (m)	Thickness (m)	Ground Water Level (m)	Symbol	Description	Core Recovery in (%)	Method of sample UDS SPT	Thickness (m)	Depth	Elevation	Standard Penetration Test (SPT)				N Value Graph	
											Blows Penetration Each 15 cm			N		
									N1	N2	N3	N (N1+N2+N3) 30 cm				
0	0,00	0,00			Description : Clay					0,00						
1	0,80	0,80			Colour : Brown											
					Consistency : Soft to Medium Stiff											
					Plasticity : High Plastic				2,00	-2,00						
					Moisture Content : Medium		SPT	0,45	2,45	-2,45	6	8	9	17		
2					Description : Sandy Silty Clay		UDS	0,50	3,00	-3,00						
3	1,60	2,80			Colour : Brownish Gray											
					Consistency : Medium to Very Stiff				4,00	-4,00						
					Plasticity : Medium Plastic		SPT	0,45	4,45	-4,45	6	7	7	14		
					Moisture Content : Medium to High											
4	4,60	1,00			Description : Clays Silt some Sand				5,50	-5,50						
					Colour : Gray		UDS	0,50	6,00	-6,00						
					Consistency : Medium to Stiff		SPT	0,45	6,45	-6,45	3	7	10	17		
					Plasticity : Low to Medium Plastic											
					Moisture Content : High											
5	7,90	3,30			Description : Clays Silty Sand mixed				8,00	-8,00						
					Colour : Fine Gravel		SPT	0,45	8,45	-8,45	10	13	16	29		
					Consistency : Medium to Dense		UDS	0,50	9,00	-9,00						
					Plasticity : Low Plastic				9,50	-9,50						
					Moisture Content : High		SPT	0,45	10,00	-10,00						
					Description : Clays Fine Sandy Silt				10,45	-10,45	3	5	7	12		
6	11,60	2,25			Colour : Dark Gray											
					Consistency : Medium Dense				12,00	-12,00						
					Plasticity : Low Plastic		SPT	0,45	12,45	-12,45	13	14	17	31		
					Moisture Content : High				13,00	-13,00						
					Description : Sandy Silty Clay		UDS	0,50	13,50	-13,50						
7					Colour : Light Gray				14,00	-14,00						
					Consistency : Medium to Stiff		SPT	0,45	14,45	-14,45	5	9	10	19		
					Plasticity : Low to Medium Plastic											
					Moisture Content : High											
8	16,70	5,10			Description : Silty Sand mixed Tuff				16,00	-16,00						
					Colour : Dark Gray		SPT	0,45	16,45	-16,45	18	27	31	58		
					Consistency : Medium to Very Dense											
					Plasticity : Very Low Plastic				18,00	-18,00						
					Moisture Content : High											
9					Description : Silty Sand		SPT	0,45	18,45	-18,45	11	16	18	34		
					Colour : Dark Gray											
					Consistency : Dense to Very Dense				20,00	-20,00						
					Plasticity : Low Plastic											
					Moisture Content : High		SPT	0,45	20,45	-20,45	16	25	34	59		



Legend

- Clay
- Undisturbed Sample (UDS)
- Ground Water Level
- Peat Soil
- Silt
- Disturbed Sample (DS)
- Gravel
- Fossil/Organic
- Sand
- S.P.T
- Tuff Rock
- Boulder Sedimentary Rock



LAYOUT PONDASI BORE PILE (- 9.50)
 SKALA 1 : 150

OUTLINE

DRAWN : BERTHAKSAS
 CHECKED : SRI UNO

NOTES

REVISIONS

DATE

PILE CAP

FOUNDATION

SCALE

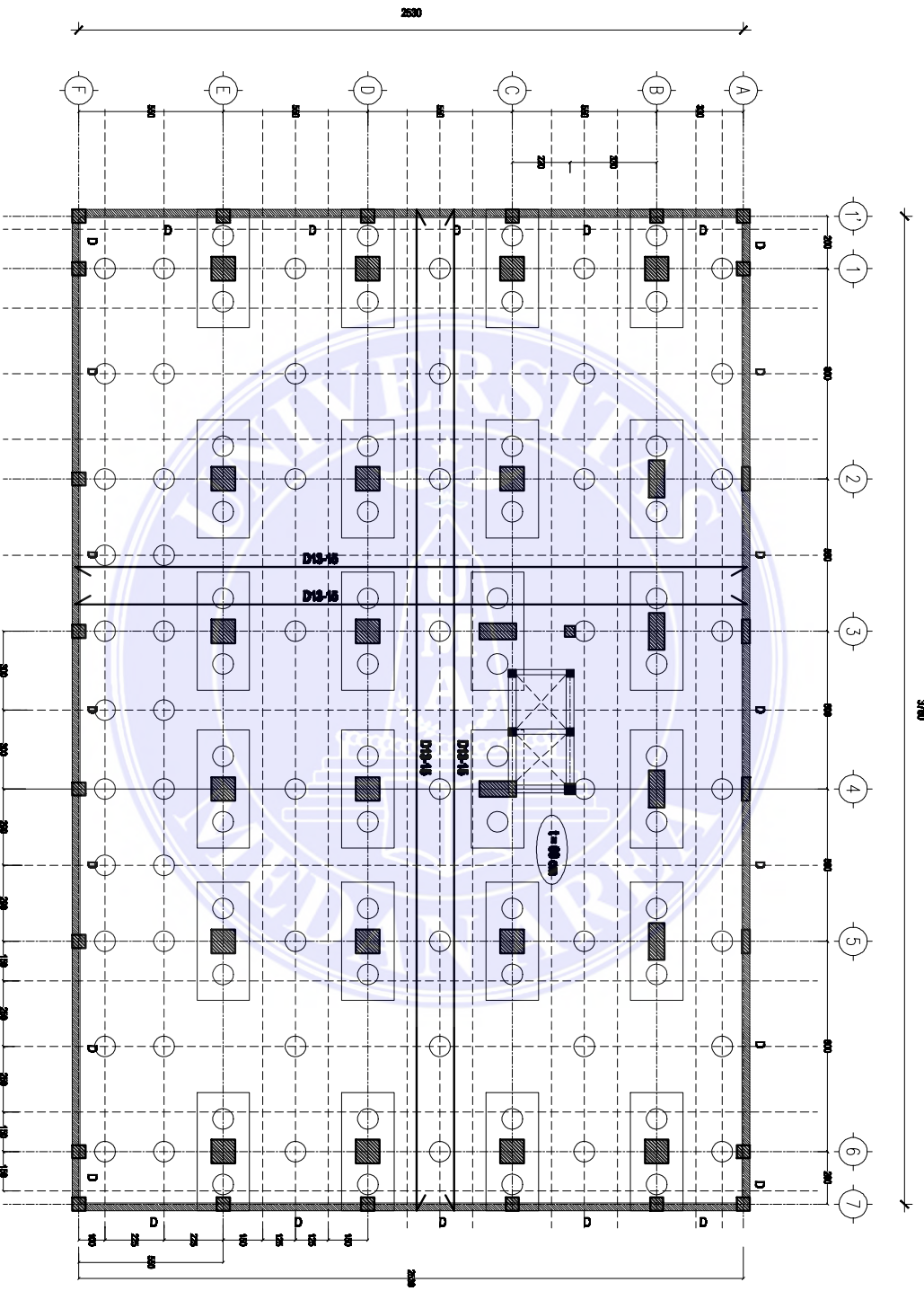
DESIGNER

DATE

PROJECT

UNIVERSITAS MEDAN AREA

SKALA 1 : 150 0/4



LAYOUT DINDING BASEMANT & PLAT LANTAI DASAR
 SKALA 1 : 100

OUTLINE

DRAWN : BERTHAKAS
 REVISION : 01/10/20

NOTES

REVISIONS

DATE

NAME COURSE

LAYOUT DINDING BASEMANT & PLAT LANTAI DASAR

DATE

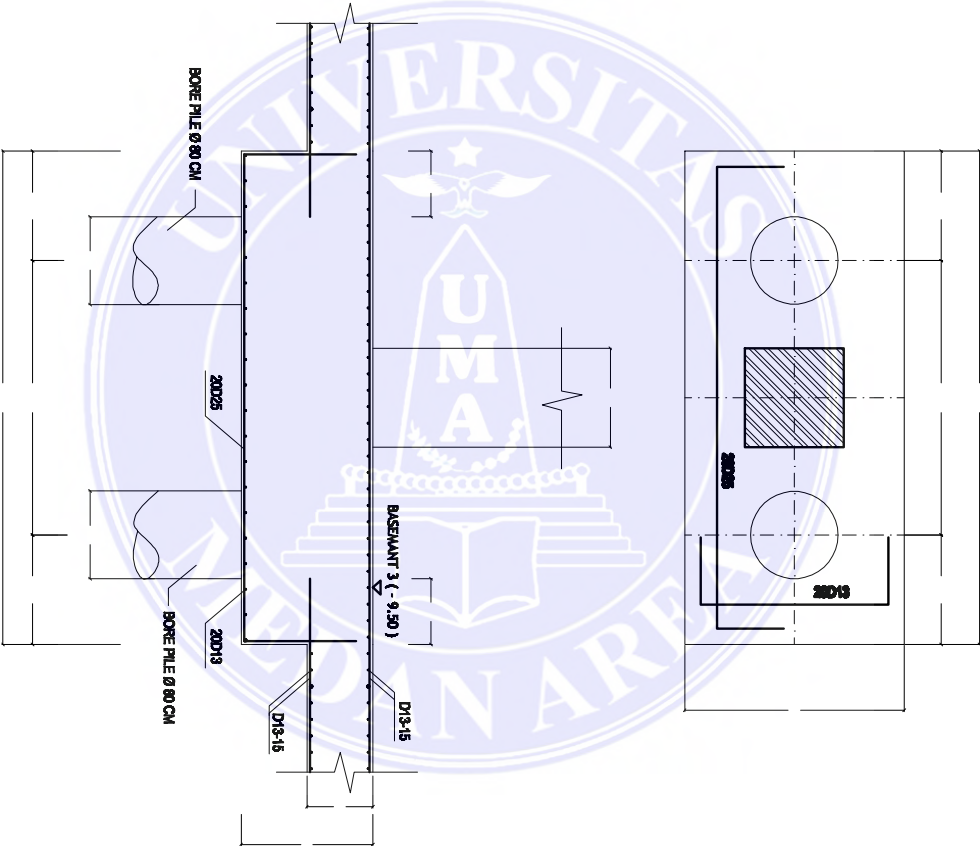
DESIGNER

REVISIONS

DATE

UNIVERSITAS MEDAN AREA

SKALA 1 : 100



DETAIL A
SKALA 1:40

02/2021

DIVISI : PERENCANAAN
REVISI : 01/2021

PROJEK

NO. URUTAN / PERENCANAAN

DAFTAR

NOVA GUNAWAN

DETAIL A

ASISTEN

STRUKTUR
P. SARIPIN
P. SARIPIN

REVISI

M. NUR

NO. PROJEK :
NO. URUTAN :
TANGGAL SKALA :
REVISI :
01/2021 1:40 0/00

