

SKRIPSI
ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN
METODE STATIS, DINAMIS DAN NUMERIS
(STUDI KASUS: PROYEK DEDC IAIN MATARAM)

Diajukan sebagai syarat menyelesaikan studi
Pada program studi Teknik sipil jenjang strata 1
Fakultas teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun oleh:

M.DONI KHOUDORI

2019D1B072

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

**Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Statis,
Dinamis dan Numeris**

Studi Kasus: Proyek DEDC IAIN Mataram

Disusun Oleh:

M. Doni Khoudori

2019D1B072

Mataram, 24 Juni 2023

Pembimbing I,



Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT

NIDN. 0828087201

Pembimbing II,



Nurul Hidayati, ST., M. Eng

NIDN. 0815049401

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

Dekan,



Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M. Sc

NIDN. 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

**Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Statis,
Dinamis Dan Numeris
Studi Kasus: Proyek DEDC IAIN Mataram**

Disusun Oleh:

M. Doni Khoudori

2019D1B072

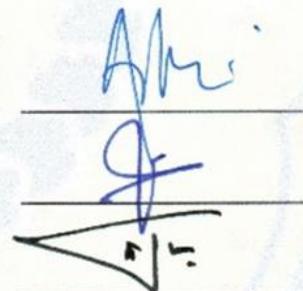
Telah dipertahankan di depan tim penguji

Pada hari senin, 26 Juni 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT
2. Penguji II : Nurul Hidayati, ST., M. Eng
3. Penguji III : Titik Wahyuningsih, ST., MT



Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

Dekan,



Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M. Sc

NIDN. 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN METODE STATIS, DINAMIS DAN NUMERIS
STUDI KASUS: PROYEK DEDC IAIN MATARAM”

Benar-benar merupakan karya sendiri dan bukan hasil plagiasi dari karya orang lain. Hasil penelitian maupun kutipan secara langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan orang lain dinyatakan tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini dalam daftar Pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan daripihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 26 Juni 2023

Yang Membuat Pernyataan



M. Doni Khoudori

NIM: 2019D1B072



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. DONI KHOUDORI
 NIM : 2019D1B072
 Tempat/Tgl Lahir : KAYANGAN / 01 APRIL 2000
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : TEKNIK
 No. Hp : 0895 - 2633 - 5058
 Email : khoudorimdoni@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN METODE STATIS, DINAMIS
 DAN NUMERIS
 (STUDI KASUS : PROYEK DEDE IAIN MATARAM)

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 50 %

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 10 JULI2023
 Penulis

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



M. DONI KHOUDORI
 NIM. 2019D1B072



Iskandar, S.Sos.,M.A.
 NIDN. 0802048904



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. DONI KHOUDORI
 NIM : 2019018072
 Tempat/Tgl Lahir : KAYANGAN / 01 APRIL 2000
 Program Studi : TEKNIK SIPIL
 Fakultas : TEKNIK
 No. Hp/Email : 0895 - 2633 - 5058 / khoukori.mdoni@gmail.com
 Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama ***tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta*** atas karya ilmiah saya berjudul:

ANALISIS DATA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN METODE STATIS, DINAMIS
 DAN NUMERIS
 (STUDI KASUS : PROYEK DEDEC IAIN MATARAM)

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 10 Juli 2023

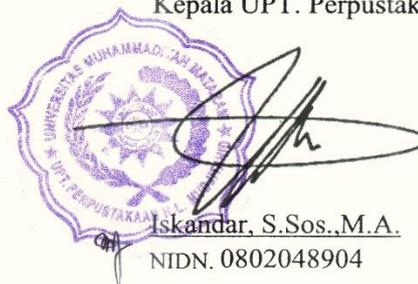
Penulis

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



M. DONI KHOUDORI
 NIM. 2019018072



Iskandar, S.Sos.,M.A.
 NIDN. 0802048904

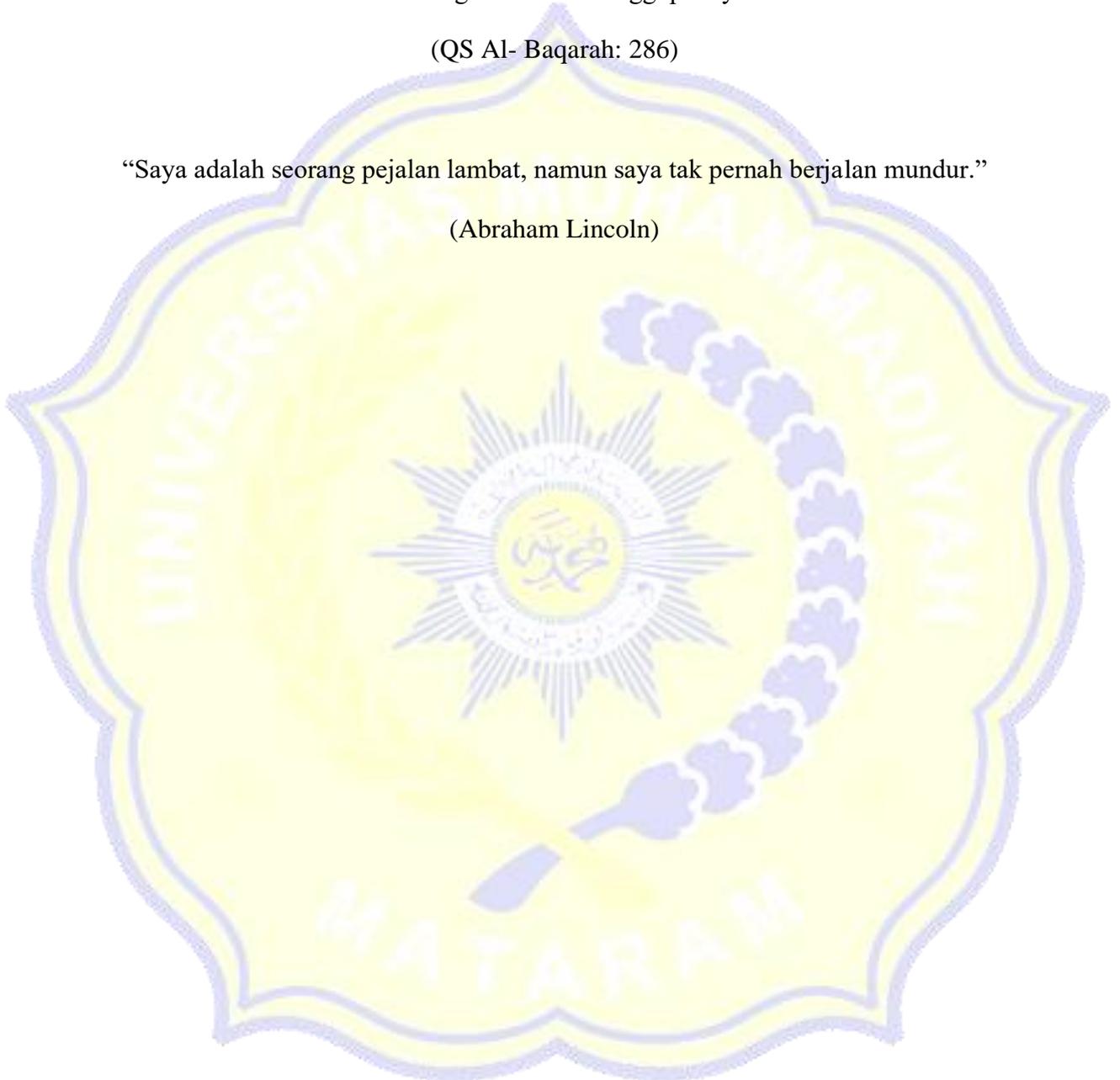
HALAMAN MOTTO

“Tidak ada ujian yang tidak bisa diselesaikan. Tidak ada kesulitan yang melebihi batas kesanggupan. Karena Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.”

(QS Al- Baqarah: 286)

“Saya adalah seorang pejalan lambat, namun saya tak pernah berjalan mundur.”

(Abraham Lincoln)



PRAKATA

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya lah penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya dengan judul “Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Statis, Dinamis dan Numeris (Studi Kasus: Proyek DEDC IAIN Mataram)” walupun sebesarnya masih jauh dari kata sempurna.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan jenjang Pendidikan Program Strata Satu (S1) program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Penyusunan ini dilakukan dengan cara pengumpulan data secara sekunder berupa data yang diperoleh dari lapangan.

Penyusunan skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa adanya dukungan dari pihak-pihak yang ikut serta membantu, oleh karena itu penyusun ingin menghanturkan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Dr. Abdul Wahab selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Aji Syailendra Ubaidillah, M. Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adryan Fitrayuda, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Nurul Hidayanti, ST. M.Eng selaku Dosen Pembimbing II.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan diberikan kepada penulis.

Mataram, 2023



Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT dan atas dukungan dan do'a dari orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya ucapkan rasa syukur dan terimakasih kepada:

1. Allah SWT, karena hanya atas izin dan karunianya maka skripsi ini dapat di buat dan selesai pada waktunya.
2. Kepada orang tua saya Bapak Salehudin dan ibu Nur Hayati (ALM) yang senantiasa mendoakan dan mencurahkan kasih sayang serta dukungan baik secara moral.
3. Kepada kedua kakak saya Iza Syiriana Azizah dan Yuni Julianan Azizah yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial.
4. Kepada diri saya sendiri, terimakasih sudah berusaha dan berjuang yang terbaik hingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan. Semoga menjadi awal yang baru, yang dapat mengantarkan kamu menjadi seorang manusia yang lebih baik.
5. Kepada Ayu, Jamal, Iis, Pouzi, Aldie dan Riyan terimakasih sudah kebersamaan dari awal semester sampai akhir masa kuliah.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

ABSTRAK

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang memiliki kapasitas daya dukung tinggi pada kedalaman tertentu. Penentuan jenis pondasi pada pekerjaan konstruksi bangunan harus mengetahui jenis dan karakteristik tanah dilokasi pembangunan agar kegagalan konstruksi dapat dihindari.

Jenis pondasi yang digunakan pada analisa ini yaitu pondasi tiang pancang ukuran 0,35 m x 0,35 dan panjang tiang diperoleh dari proses *trial and error* pada panjang 8m, 10m dan 12m dengan mutu beton tiang pancang K-500 maka diperoleh panjang tiang yang digunakan adalah 8 m. Untuk perhitungan metode statis menggunakan data SPT yang diperoleh dari PT. Brantas Abipraya (persero) proyek DEDC IAIN Mataram dengan metode statis ($c-\phi$), metode dinamis menggunakan rumus Hiley dan Janbu dan metode numeris menggunakan *software plaxis 2D V.8*.

Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang dengan panjang tiang 8 m dan ukuran 0,35 m x 0,35 m pada tanah pasir menggunakan metode stais ($c-\phi$) diperoleh nilai kapasitas dukung ultimit (Q_u) sebesar 115,9 ton dan nilai kapasitas dukung kelompok (Q_g) sebesar 366,2 ton, kapasitas daya dukung tiang pancang metode dinamis (rumus Hiley) diperoleh nilai kapasitas dukung ultimit (Q_u) sebesar 191,9 ton. Sedangkan kapasitas daya dukung lateral menggunakan metode Broms diperoleh nilai H_u sebesar 77,97 ton (analitis) dan 78,33 ton (grafis). Kapasitas daya dukung tiang pancang metode numeris diperoleh beban ultimit tiang (Q_g) sebesar 351,32 ton, hasil kapasitas daya dukung tiang dari metode-metode yang digunakan dapat memenuhi syarat yaitu lebih besar dari beban aksial (P) sebesar 52,3 ton.

Kata kunci: kapsitas daya dukung, tiang pancang, metode statis, metode dinamis, metode numeris.

ABSTRACT

A pile foundation is a form of deep foundation that transfers the load from the superstructure to a layer of soil with a high bearing capacity at a specific depth. To avoid construction failures, determining the type of foundation in building construction requires knowledge of the type and characteristics of the soil at the construction site. The type of foundation used in this analysis is a pile foundation with a dimension of 0.35 m x 0.35 m, and the length of the pile is determined by trial and error at lengths of 8m, 10m, and 12m with K-500 concrete quality; therefore, the length of the pile utilized is 8 m. For calculating the static method utilizing SPT data obtained from the PT. Brantas Abipraya (Persero) DEDC IAIN Mataram project using a static method (c-), a dynamic method utilizing the Hiley and Janbu formulas, and a numerical method utilizing the 2D praxis software V.8. The results of the calculation of the bearing capacity of the pile with a pile length of 8 m and a pile size of 0.35 m x 0.35 m in sandy soil using the static method (c-) obtained the value of the ultimate bearing capacity (Q_u) of 115.9 tons and the value of the bearing capacity group (Q_g) of 366.2 tons. In contrast, the bearing capacity of the dynamic pile method (Hiley formula) obtained the value of the ultimate bearing capacity (Q_u) of 191.9 tons. Using the Broms method, the lateral bearing capacity was calculated to be 77.97 tons (analytical) and 78.8 tons (graphical). Using the numerical procedure, the pile's ultimate load (Q_g) was calculated to be 351,32 tons. The carrying capacity of the pile determined by the employed methodologies can satisfy the requirements, as it is greater than the axial load (P) of 52,3 tons.

Keywords: bearing capacity, piles, static method, dynamic method, numerical method.

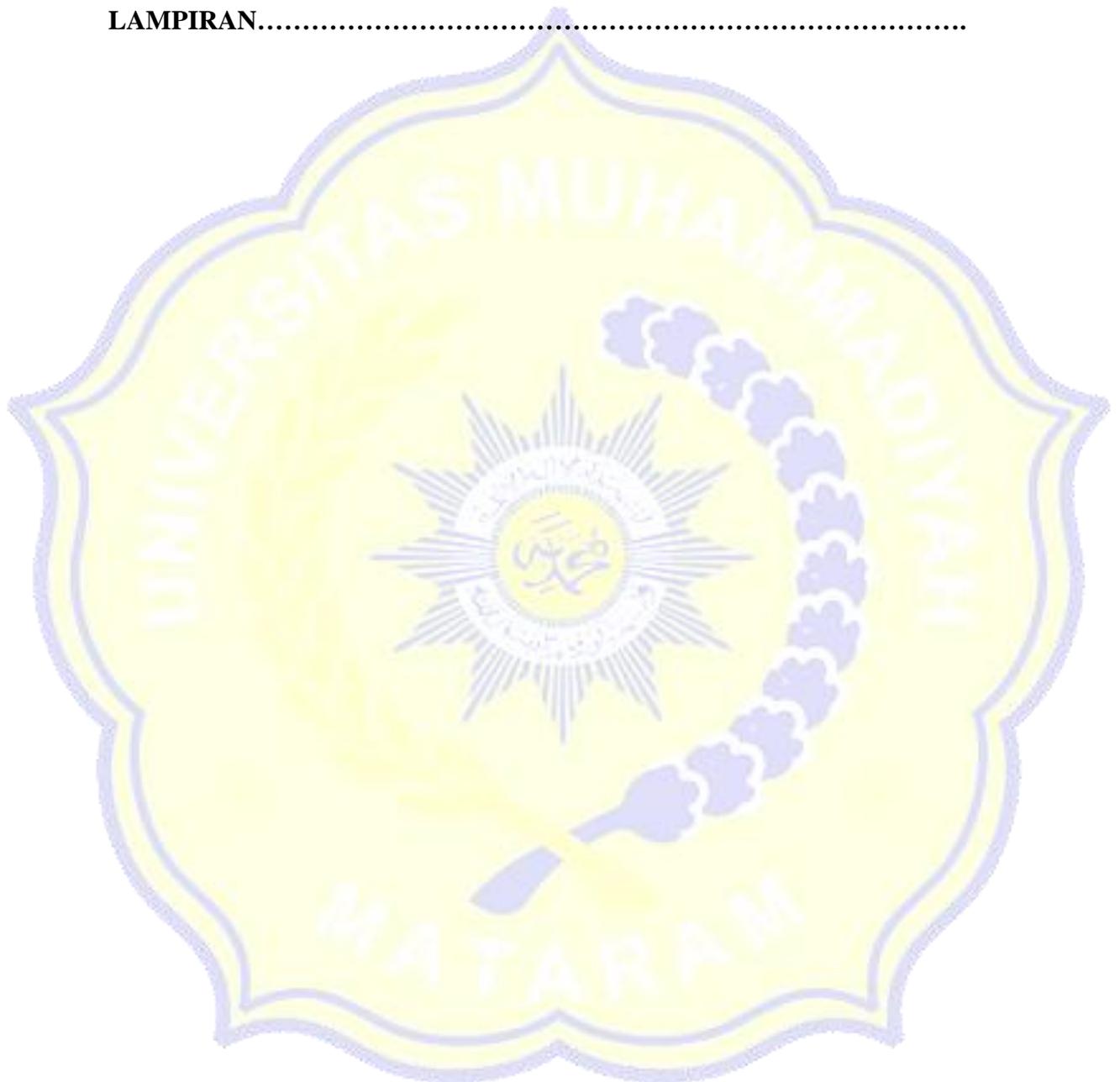


DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN.....	
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME.....	iv
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
PRAKATA.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR PERSAMAAN.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TUNJUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4

2.1.1 Penelitian terdahulu.....	4
2.1.2 Tanah.....	6
2.1.3 Pondasi.....	6
2.1.4 Alat Pemancangan Tiang.....	16
2.1.5 Metode Pelaksanaan Tiang Pancang.....	18
2.2 Landasan Teori.....	21
2.2.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang.....	21
2.2.2 Faktor Aman.....	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	45
3.1 Umum.....	45
3.2 Data Penelitian	46
3.3 Tahaan penelitian	52
3.4 Langkah-langkah perencanaan metode statis.....	54
3.5 Langkah-Langkah Perencanaan Metode Dinamis	54
3.6 Langkah-Langkah Perencanaan Metode Numeris	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	62
4.1 KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG	62
4.1.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Menggunakan Metode Statis.....	62
4.1.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Menggunakan Metode Dinamis.....	72
4.1.3 Kapasitas Daya Dukung Lateral Pondasi Tiang Pancang	77
4.1.4 Pengecekan Kapasitas Dukung Terhadap Beban Eksternal.....	82
4.1.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Metode Numeris	85
4.1.6 Perbandingan Hasil Analisa Daya Dukung Tiang Pancang.....	98
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	100

5.1 Kesimpulan.....	100
5.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102
LAMPIRAN.....



DAFTAR TABEL

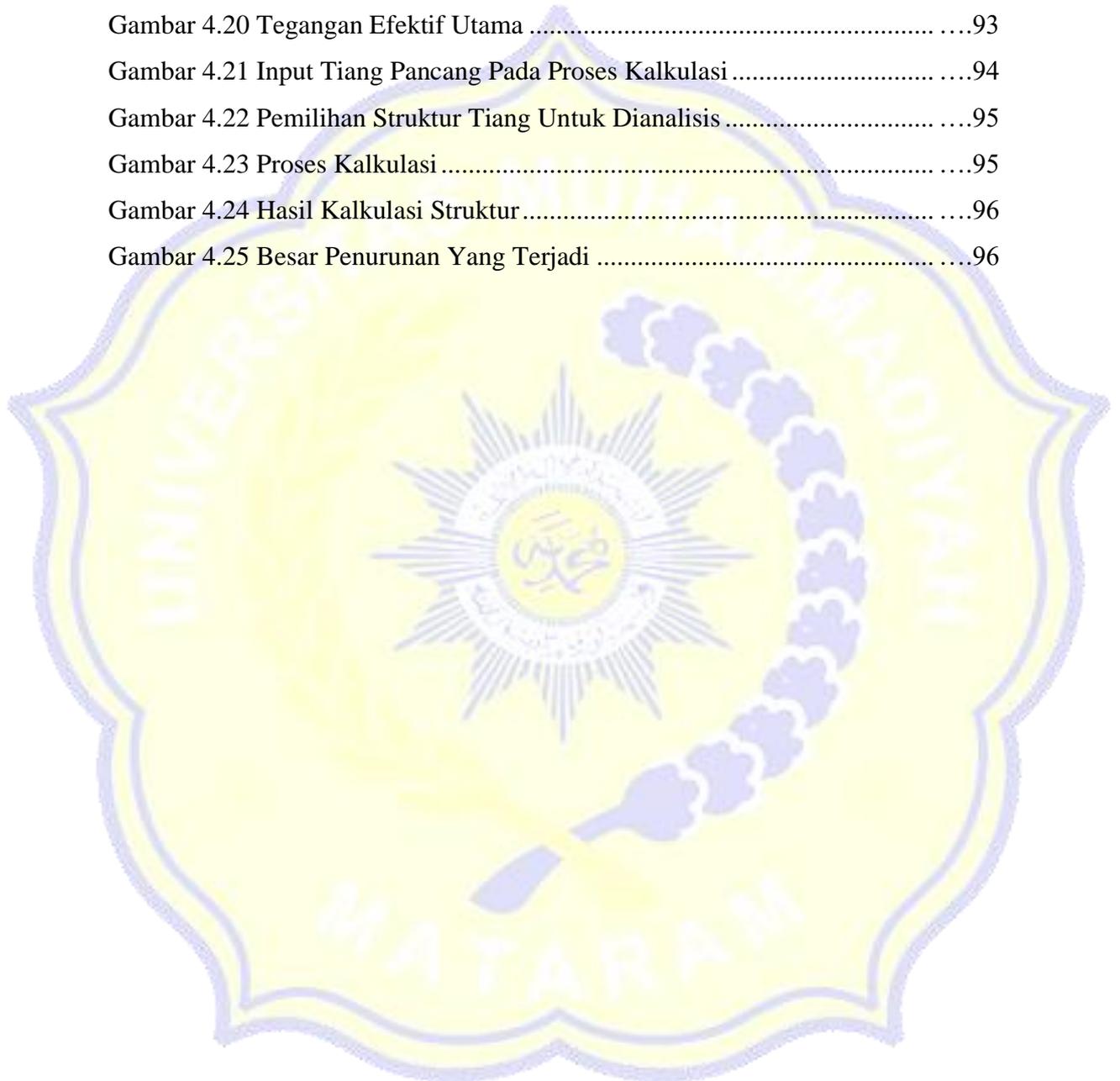
Tabel 2. 1 hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan nilai N	23
Tabel 2. 2 hubungan antara angka penetrasi standard dengan sudut geser dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir	24
Tabel 2. 3 Hubungan antara harga N -SPT, sudut geser dan kepadatan relatif.....	24
Tabel 2. 4 Hubungan antara harga N -SPT dan Berat isi tanah	25
Tabel 2. 5 Tabel nilai δ U. S Army Corps.....	26
Tabel 2. 6 K_d untuk tiang pancang pada tanah granuler (Mansur dan Hunter).....	27
Tabel 2. 7 Nilai-nilai k_I (Chelis, 1961)	32
Tabel 2. 8 Nilai efisiensi eh	33
Tabel 2. 9 Koefisien restitusi n (ASCE, 1941).....	33
Tabel 2. 10 Faktor keamanan	44
Tabel 3. 1 Parameter tanah titik BH-7	49
Tabel 3. 2 Data tiang pancang.....	50
Tabel 3. 3 Data <i>pilecap</i>	51
Tabel 4. 1 Output hasil penurunan	62
Tabel 4. 2 Nilai-nilai δ (U.S Army Corps).....	65
Tabel 4. 3 K_d untuk tiang pancang pada tanah granuler (Mansur dan Hunter).....	65
Tabel 4. 4 Perhitungan nilai $K_d \tan \delta$	66
Tabel 4. 5 Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas dukung tiang dengan metode gabungan ($c - \phi$).....	71
Tabel 4. 6 Nilai-nilai k_I (Chelis, 1961)	74
Tabel 4. 7 Koefisien restitusi n	75
Tabel 4. 8 Nilai efisiensi eh	75
Tabel 4. 9 Kapasitas dukung ultimit metode Dinamis	76
Tabel 4. 10 Nilai-nilai n_h tanah granular $c = 0$	78
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya dukung lateral metode Broms	81
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya dukung aksial tiang pancang.....	98
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan daya dukung aksial tiang pancang.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam- macam tipe pondasi dangkal (a) Pondasi memanjang	8
Gambar 2.2	Macam-macam tipe pondasi dalam (a) pondasi sumuran (b) pondasi tiang	9
Gambar 2.3	Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang yang umumnya dipakai dalam praktek	11
Gambar 2.4	Pondasi tiang pancang kayu	12
Gambar 2.5	Tiang beton <i>precast concrete pile</i>	13
Gambar 2.6	Tiang beton <i>Precast Prestressed Cocrete Pile</i>	13
Gambar 2.7	Tiang beton yang dicor di tempat	14
Gambar 2.8	Macam-macam tiang pancang baja (a) <i>profil H</i> (b) <i>Larsen</i> (c) <i>Randhex</i>	14
Gambar 2.9	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	15
Gambar 2.10	pemukul aksi tunggal (<i>single-acting hammer</i>)	16
Gambar 2.11	Pemukul Aksi <i>double (double acting hammer)</i>	17
Gambar 2.12	Pemukul diesel (<i>diesel hammer</i>)	17
Gambar 2.13	Pemukul getar (<i>vibratory hammer</i>)	18
Gambar 2.14	Pengangkatan tiang dengan dua tumpuan	20
Gambar 2.15	Pengangkatan tiang dengan satu tumpuan	20
Gambar 2.16	Faktor adhesi α untuk tiang pancang dalam tanah lempung (McClelland, 1974)	26
Gambar 2.17	Grafik Hubungan ϕ dan N_q	29
Gambar 2.18	Tiang pendek dikenai beban lateral	35
Gambar 2.19	Tiang panjang dikenai beban lateral	35
Gambar 2.20	Defleksi dan mekanisme keruntuhan pondasi tiang dengan kondisi kepala tiang bebas akibat beban lateral pada tanah granular (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek	37
Gambar 2.21	Mekanisme keruntuhan pondasi tiang ujung jepit pada tanah non-kohesif (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek	38
Gambar 2.22	Kapasitas beban lateral pada tanah granular (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek	40

Gambar 3.1 Peta lokasi proyek	45
Gambar 3.2 <i>Site Plan</i> gedung Multi Perpous Building.....	46
Gambar 3.3 grafik hubungan ϕ' dan N-SPT (Peck et al.,1974).....	47
Gambar 3.4 Bagan alir metode pelaksanaan penelitian	53
Gambar 3.5 Dialog pengaturan global (<i>general setting</i>) pada plaxis.....	55
Gambar 3.6 Penginputan data material tanah	56
Gambar 3.7 <i>Update Mesh Generation</i> sebelum melakukan perhitungan	56
Gambar 3.8 Kondisi <i>Active pore pressure</i>	57
Gambar 3.9 Kondisi <i>Effective stresses</i>	58
Gambar 3.10 Fase pemodelan	59
Gambar 3.11 Pilihan titik node	59
Gambar 3.12 Kalkulasi.....	60
Gambar 3.13 Hasil kalkulasi dan besaran nilai MSF.....	60
Gambar 3.14 Output hasil penurunan	61
Gambar 4.1 Tiang pancang.	63
Gambar 4.2 Faktor adhesi (α) untuk tiang pancang dalam lempung (McClelland, 1974)	64
Gambar 4.3 Grafik hubungan ϕ' dan N-SPT (Peck et al.,1974).....	65
Gambar 4.4 Tahanan lateral ultimit tiang dalam tanah granular (Broms, 1964) ..	80
Gambar 4.5 Pemilihan Model Analisis Plaxis	85
Gambar 4.6 Dimensi Permodelan Yang digunakan.....	86
Gambar 4.7 Gambar Lapisan Tanah	86
Gambar 4.8 <i>Type Material Set</i> Tanah	87
Gambar 4.9 Input Parameter Tanah	87
Gambar 4.10 Proses Memasukkan Hasil Input Parameter Sesuai Lapisan Tanah.	88
Gambar 4.11 Model Tiang dan Pilecap.....	88
Gambar 4.12 <i>Type Material Set</i> Tiang dan <i>Pile cap</i>	89
Gambar 4.13 (a) Input Parameter tiang, (b) Input Parameter <i>Pile cap</i>	89
Gambar 4.14 Proses Memasukan Hasil Input Data Parameter ke Tiang dan <i>Pile</i> cap.....	90
Gambar 4.15 <i>Standar Fixities</i>	90

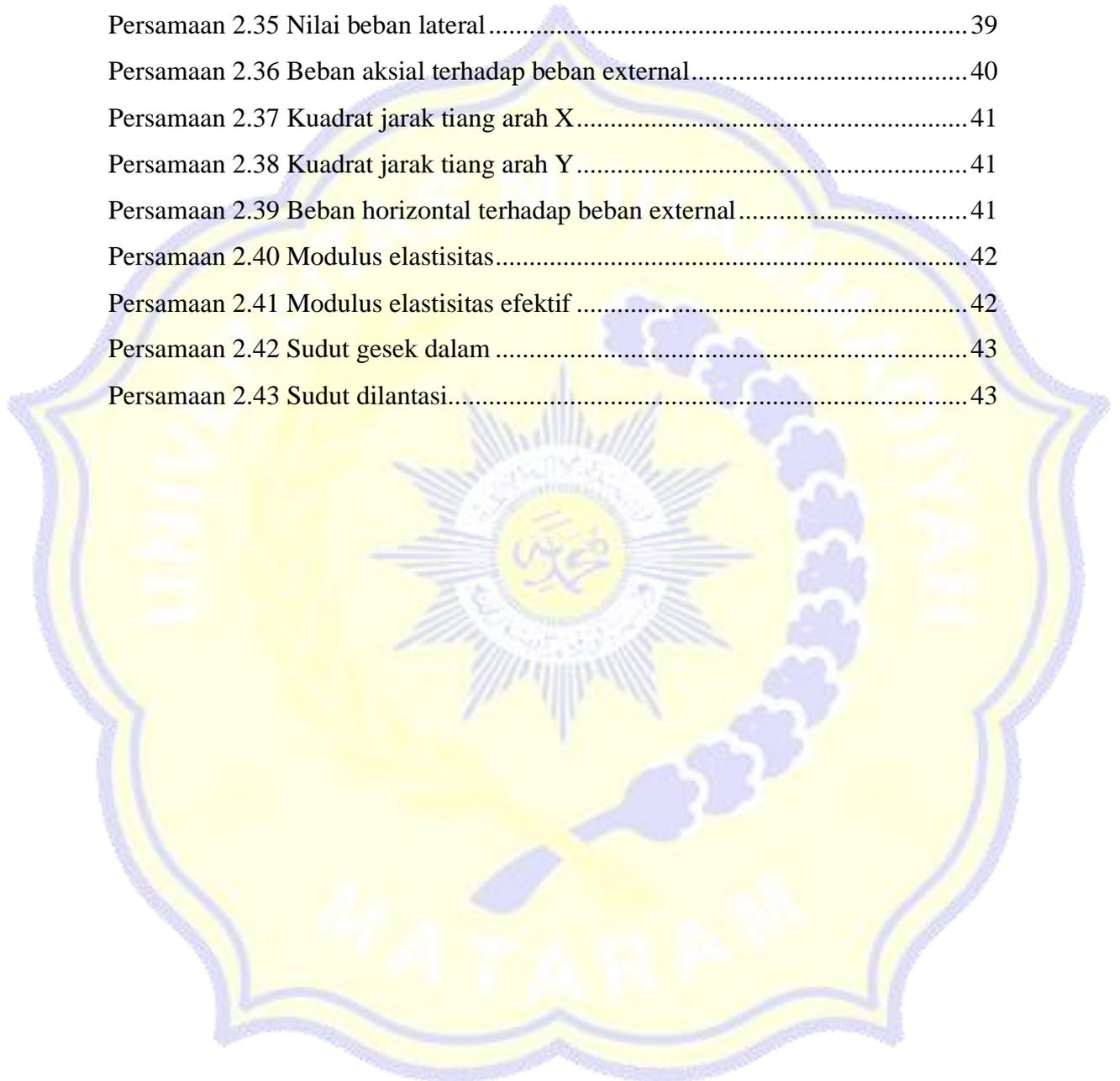
Gambar 4.16 Penginputan Nilai Beban.....	91
Gambar 4.17 Model Jaring Elemen	92
Gambar 4.18 Muka Air Tanah	92
Gambar 4.19 Tekanan Pori Aktif.....	93
Gambar 4.20 Tegangan Efektif Utama	93
Gambar 4.21 Input Tiang Pancang Pada Proses Kalkulasi	94
Gambar 4.22 Pemilihan Struktur Tiang Untuk Dianalisis	95
Gambar 4.23 Proses Kalkulasi	95
Gambar 4.24 Hasil Kalkulasi Struktur.....	96
Gambar 4.25 Besar Penurunan Yang Terjadi	96



DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Kuat geser tanah.....	22
Persamaan 2.2 Sudut gesek gradasi tidak seragam	23
Persamaan 2.3 Sudut gesek gradasi seragam	23
Persamaan 2.4 Kapasitas gesek komponen kohesi (c).....	25
Persamaan 2.5 Tahanan gesek persatuan luas.....	26
Persamaan 2.6 Tahanan gesek ultimit.....	27
Persamaan 2.7 Tahanan gesek total	27
Persamaan 2.8 Nilai Z_c	27
Persamaan 2.9 Tekanan <i>overburden</i>	28
Persamaan 2.10 Luas penampang tiang	28
Persamaan 2.11 Tahanan ujung ultimit.....	28
Persamaan 2.12 Luas penampang ujung bawah tiang.....	28
Persamaan 2.13 Tekanan <i>overburden</i> ujung ultimit	28
Persamaan 2.14 Faktor tahanan ujung maksimum.....	29
Persamaan 2.15 Berat sendiri tiang.....	29
Persamaan 2.16 Kapasitas dukung ultimit netto	29
Persamaan 2.17 Kapasitas dukung ijin.....	30
Persamaan 2.18 Jarak antar tiang	30
Persamaan 2.19 Efisiensi tiang	30
Persamaan 2.20 Nilai Θ	30
Persamaan 2.21 Kapasitas dukung kelompok tiang.....	30
Persamaan 2.22 Kapasitas dukung ultimit Hiley	31
Persamaan 2.23 Berat ekuivalen	31
Persamaan 2.24 Koefisien k_2	32
Persamaan 2.25 Kapasitas dukung ultimit Janbu (1953)	34
Persamaan 2.26 Nilai K_u	34
Persamaan 2.27 Nilai C_d	34
Persamaan 2.28 Nilai lamda λ	34
Persamaan 2.29 Distribusi tekanan tanah.....	35
Persamaan 2.30 Momen terhadap ujung bawah.....	36

Persamaan 2.31 Momen maksimum terhadap jarak	36
Persamaan 2.32 Beban ultimit tiang ujung jepit	37
Persamaan 2.33 Momen maksimum tiang ujung jepit	38
Persamaan 2.34 Jarak tiang ujung jepit	38
Persamaan 2.35 Nilai beban lateral	39
Persamaan 2.36 Beban aksial terhadap beban external	40
Persamaan 2.37 Kuadrat jarak tiang arah X	41
Persamaan 2.38 Kuadrat jarak tiang arah Y	41
Persamaan 2.39 Beban horizontal terhadap beban external	41
Persamaan 2.40 Modulus elastisitas	42
Persamaan 2.41 Modulus elastisitas efektif	42
Persamaan 2.42 Sudut gesek dalam	43
Persamaan 2.43 Sudut dilantasi	43



DAFTAR LAMPIRAN

DATA HASIL PENGUJIAN SPT

DATA HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

GAMBAR STRUKTUR

DATA ANALISIS STRUKTUR



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu item konstruksi yang mempunyai peranan penting, yaitu sebagai pondasi pendukung bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri. Kemampuan tanah dalam mendukung harus diperhatikan, mengingat kondisi tanah di setiap wilayah berbeda-beda. Salah satu elemen struktur bangunan gedung yang berkaitan langsung dengan kondisi tanah adalah struktur bawah, yaitu pondasi. Dalam pelaksanaan konstruksi bangunan pekerjaan pondasi merupakan pekerjaan pertama yang dilaksanakan kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan struktur atas.

Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas kemudian disalurkan ke tanah sekitarnya. Penentuan jenis pondasi pada pekerjaan konstruksi bangunan harus mengetahui jenis dan karakteristik tanah terlebih dahulu, agar tidak terjadi kegagalan konstruksi.

Pondasi diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan jenis pondasi tergantung dari beberapa aspek yang perlu diperhatikan, seperti beban yang bekerja dan karakteristik tanah dasarnya. Pondasi dalam yang sering digunakan untuk suatu konstruksi adalah pondasi tiang pancang dan pondasi *bored pile*. Kedua jenis pondasi ini memiliki keunggulannya masing-masing yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan di dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu konstruksi. Penelitian ini akan berfokus pada pondasi dalam, yaitu pondasi tiang pancang.

Pondasi tiang pancang adalah bagian konstruksi yang dibuat dari material kayu, beton dan baja. Pondasi tiang pancang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan ketinggian permukaan yang lebih rendah didalam massa tanah yang dipasang dengan cara dipancangkan. Daya dukung tiang pancang terdapat pada daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung,

dan gaya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) dari daya dukung geser atau *adhesi* antara tiang dengan tanah.

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu metode statis, dinamis dan numerik. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode statis menggunakan data SPT (*Standard penetration test*), metode dinamis menggunakan hasil Kalendering, dan metode numerik menggunakan bantuan *software* Plaxis 2D V.8 merupakan salah satu program computer yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang.

Pada penulisan tugas akhir ini akan difokuskan pada kapasitas daya dukung pondasi, khususnya pondasi tiang pancang yang berlokasi di proyek DEDC IAIN Mataram (gedung *Multi purpose building*).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini, yaitu:

1. Berapakah nilai kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan metode statis, dinamis dan numeris?
2. Bagaimana perbedaan hasil analisis daya dukung metode statis dengan dinamis pada tiang tunggal?
3. Bagaimana perbedaan hasil analisis daya dukung metode statis dengan numeris pada tiang pancang kelompok?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan metode statis, dinamis dan numeris.
2. Mengetahui perbedaan hasil metode statis dengan metode dinamis pada tiang pancang tunggal.
3. Mengetahui perbedaan hasil metode statis dan numeris pada tiang pancang kelompok.

1.4 Batasan Masalah

Metode-metode untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang dapat menggunakan banyak metode yang tersedia, untuk mencapai tujuan penelitian maka diperlukan batasan permasalahan, antara lain:

1. Pada proyek DEDC IAIN Mataram Gedung *Multi Purpose Building*.
2. Tiang yang ditinjau adalah tiang pancang tunggal khusus pada wilayah Gedung BH-07
3. Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang metode statis menggunakan data SPT (*Standard Penetration Test*).
4. Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang metode dinamis menggunakan data dari pemancangan.
5. Analisa kapasitas daya dukung pondasi tiang metode numerik menggunakan *software* Plaxis 2D V.8.
6. Perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan metode Broms.
7. Penginputan beban gempa dilakukan pada Analisa metode numeris.
8. Tidak menghitung kekuatan bahan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penuhi tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan jenggang strata 1.
2. Memperluas wawasan dan pengetahuan tentang analisis kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang.
3. Hasil penelitian ini akan dipublikasi sehingga dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi siapa saja dengan permasalahan yang sama.

BAB II

TUNJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka berisi tentang hasil-hasil jurnal atau penelitian yang diperoleh peneliti terdahulu dan materi secara umum yang berkaitan dengan penelitian serta mempunyai hubungan yang relevan terhadap penelitian yang sedang dilakukan sehingga dapat memberikan solusi terhadap permasalahan pada penelitian yang sedang dilakukan.

2.1.1 Penelitian terdahulu

Utama (2013) melaksanakan penelitian daya dukung tiang pancang pada pembangunan *switchyard* PLTU pangkalan susu, Sumatra Utara. Penelitian ini ditujukan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari data sondir, *Standart Penetration Test* (SPT), kalendering dan *Loading Test*. Kemudian membandingkan hasil daya dukung tiang dengan beberapa metode yang digunakan, dari penelitian tersebut pengolahan data sondir menggunakan metode Aoki De Alancer, dan metode Meyerhoff dengan hasil *Qultimate* sebesar 115,640 ton dan 280,339 ton. Untuk pengolahan data SPT menggunakan metode Meyerhoff dengan melakukan pengamatan pada dua titik pengeboran yaitu titik BH-4 dengan nilai *Qultimate* 217,181 ton dan titik BH-5 dengan nilai *Qultimate* 198,972 ton. Kemudian dari data kalendering pengolahan datanya menggunakan metode Danish Formula dan metode Modifield New ENR dengan hasil *Qultimate* sebesar 135,373 ton dan 133,131 ton. Dan untuk pengolahan data *Loading Test* menggunakan metode Davisson dan metode Mazurkiewicz dengan masing-masing hasil *Qultimate* sebesar 124 ton dan 216 ton. Dari beberapa pengolahan data perhitungan daya dukung tiang pancang disarankan menggunakan data *Loading Test* karena hasilnya lebih akurat.

Yusti (2014) melakukan Analisa dan membandingkan daya dukung pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris dengan engujian dinamik tes di lapangan atau *Pile Driving Analzyer* (PDA) dan CAPWAP. Secara analitis perhitungan

dilakukan dengan analisis manual menggunakan metode Bageman, De Ruyter dan Beringen, Mayerhoff (1976), Meyerhof (1956), Tomlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat dari pengujian CPT dan SPT. Sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D V.8. Perhitungan dilakukan pada dua titik pengujian di lapangan yaitu titik S1 dan S2 untuk pengujian CPT sedangkan pengujian SPT yaitu titik BH1 dan BH2 yang akan divalidasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP pada proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang. Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Meyerhof (1956) memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode-metode lainnya yang divalidasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP. Nilai Q_u sebesar 128,298 ton berbanding 118 ton, dan 102 ton pada titik BH1, sedangkan pada titik BH2 Q_u sebesar 118,679 ton berbanding 165 ton dan 163 ton.

Husnah (2018) melakukan perhitungan daya dukung tiang pancang dengan menggunakan beberapa metode, untuk data sondir dengan metode Aoki De Alencar dan metode langsung, untuk data SPT dengan metode Meyerhof. Berdasarkan data sondir dan SPT yang diperoleh dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan daya dukung tiang pancang, yaitu data sondir dengan menggunakan metode Aoki De Alencar titik-1 Q_u sebesar 396,81 ton dan titik-2 Q_u sebesar 428,22 ton, dengan metode langsung titik-1 Q_u sebesar 366,595 ton dan titik-2 401,841 ton. Untuk data SPT menggunakan metode Meyerhof diperoleh titik-1 Q_u sebesar 577,237 ton dan titik-2 Q_u sebesar 543,743 ton. Untuk penurunan tiang tunggal dihitung menggunakan metode Poulos dan Davis sebesar 8,15 mm. Hasil perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai, baik dilihat dari penggunaan metode perhitungan maupun titik lokasi yang ditinjau. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan daya dukung pondasi yang paling efektif digunakan adalah daya dukung tiang pancang menggunakan data sondir.

2.1.2 Tanah

Tanah terdiri dari 3 komponen pembentuknya yaitu air, udara dan bahan padat. Air mempengaruhi sifat teknis dari tanah sedangkan udara tidak karena rongga yang ada di dalam tanah dapat diisi oleh air atau udara, apabila rongga pada tanah diisi air seluruhnya maka tanah dapat dikatakan dalam kondisi jenuh, apabila rongga didalam tanah terisi air dan tanah maka tanah dikatakan jenuh sebagian, sedangkan untuk tanah yang didalam rongganya tidak terdapat air sama sekali dapat disebut tanah kering (Hardiyatmo, 2003).

Pada kondisi asli tanah terdiri dari campuran butiran mineral dengan atau tanpa kandungan organik, material ini terbentuk dari pelapukan batuan. Adapun jenis-jenis tanah diantaranya adalah tanah granular dan tanah lempung. Tanah granular merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan badan jalan karena tanah ini mempunyai kapasitas daya dukung yang tinggi dan penurunan kapasitas dukung kecil asalkan tanahnya padat. Jenis tanah yang termasuk kedalam tanah granular yaitu pasir, kerikil, batuan dan campurannya. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel yang berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan. (Nahesson H, dkk, 2020).

2.1.3 Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dan menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban bangunan dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lainnya, dan tidak boleh terjadi penurunan setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu (Gunawan, 2014).

Suatu perencanaan pondasi dikatakan aman apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan tanah yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan

terjadi (Das, 1998). Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi menurut Sardjono (1998) didasarkan atas:

1. Fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut.
2. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
3. Kedalaman tanah dimana bangunan tersebut didirikan.
4. Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Berdasarkan kedalamannya, pondasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi bangunan bisa dibedakan sebagai pondasi dangkal (*shallow foundations*) dan pondasi dalam (*deep foundations*), tergantung dari perbandingan kedalaman pondasi dan lebar pondasi, dan secara umum digunakan patokan (Gunawan, 2014).

1. Jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$) maka disebut pondasi dangkal.
2. Jika kedalaman pondasi dari muka tanah adalah lebih dari lima kali lebar pondasi ($D > 5B$) maka disebut pondasi dalam.

Kedalaman jenis pondasi menentukan jenis pondasi apa yang akan digunakan. Berdasarkan tingkat kedalaman pemancangan pondasi kedalam tanah, maka pondasi dapat dibagi menjadi dua (Hardiyatmo, 2002), yaitu:

2.1.3.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit.

Adapun macam-macam pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

A. Pondasi Telapak

Pondasi telapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom. Jenis pondasi ini sering digunakan, karena selain ekonomis juga pelaksanaannya mudah dan tidak memerlukan peralatan khusus. Pada

perancangan, biasanya beban-beban kolom dianggap sebagai beban titik dan beban dinding dianggap sebagai beban garis per satuan panjang.

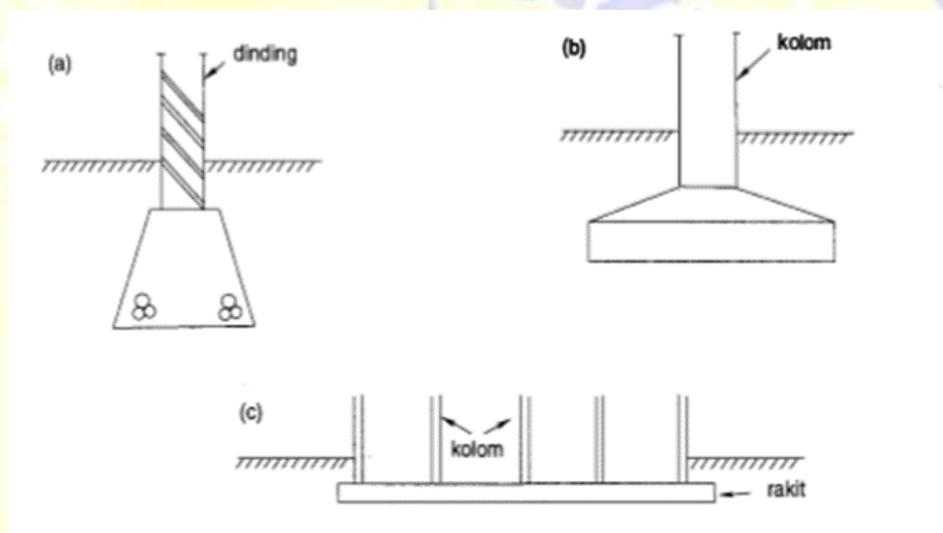
B. Pondasi Memanjang

Pondasi memanjang biasanya diaplikasikan untuk mendukung dinding memanjang atau sederet kolom dengan jarak berimpit satu sama lain.

C. Pondasi Rakit

Pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*), merupakan jenis pondasi yang diterapkan pada bangunan dengan kondisi tanah lunak atau pada susunan kolom yang berjarak dekat di semua arahnya.

Adapun gambar dari pondasi dangkal disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tipe pondasi dangkal (a) Pondasi memanjang, (b) Pondasi telapak, (c) Pondasi rakit.

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.1.3.2 Pondasi Dalam

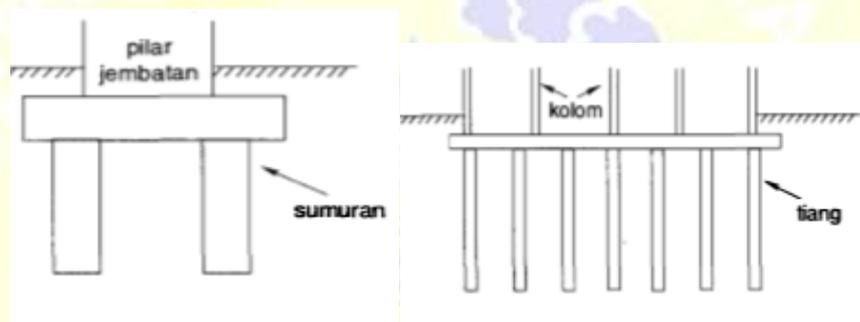
Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan. Adapun macam-macam pondasi dalam adalah sebagai berikut:

1. Pondasi Sumuran (*Pier Foundation*)

Pondasi sumuran merupakan jenis pondasi yang strukturnya berupa gabungan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, biasanya digunakan pada konstruksi dengan lapisan tanah keras terletak pada kedalaman yang relatif dalam (Peck, dkk, 1953). Membedakan pondasi sumuran dengan pondasi dangkal dari nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B). Untuk pondasi sumuran $D_f / B > 4$, sedangkan pondasi dangkal $D_f / B \leq 1$.

2. Pondasi Tiang (*Pile Foundation*)

Pondasi tiang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang penggunaannya apabila lapisan tanah keras berada pada rentang kedalaman yang cukup dalam.



Gambar 2. 2 Macam-macam tipe pondasi dalam (a) pondasi sumuran
(b) pondasi tiang

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

A. Pondasi tiang pancang

Pondasi tiang merupakan bagian konstruksi yang digunakan untuk meneruskan beban struktur atas ke lapisan tanah keras. Jenis pondasi ini dikerjakan dengan cara di pancang. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang.

Distribusi muatan vertikal di buat dengan menggunakan sebuah gesekan, atau tiang pancang “apung”, sedangkan pemakaian beban secara langsung dibuat oleh sebuah titik ujung, atau tiang pancang ini semata-mata hanya dari segi kemudahan karena semua tiang pancang berfungsi sebagai kombinasi tahanan

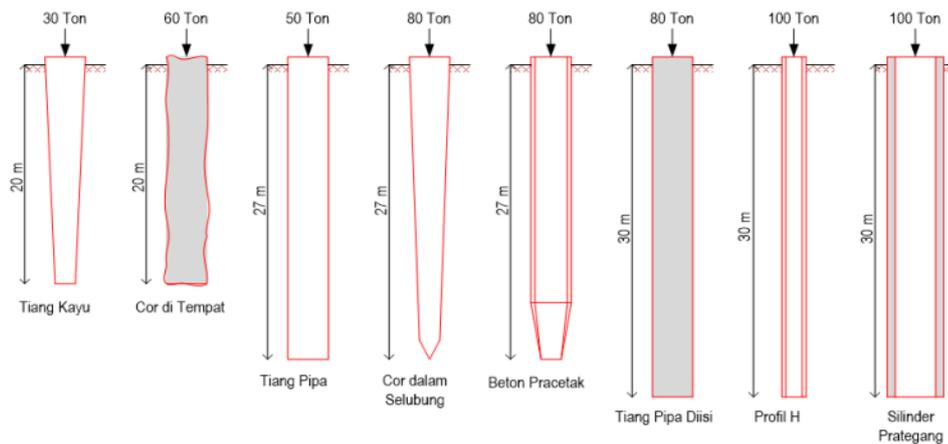
samping dan dukung ujung kecuali tiang pancang menembus tanah yang sangat lembek sampai ke dasar padat (Bowles, 1991).

Menurut Sardjono (1988) Pemilihan dengan beberapa kondisi tanah dipengaruhi oleh indicator dan jenis variabel yang menunjukkan kekesuaian antara jenis tiang dan kondisi tanah.

1) Klasifikasi Pondasi Tiang Pancang

Menurut Hardiyatmo (2010) pondasi tiang pancang berdasarkan perpindahannya dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), biasanya ditemukan pada tiang dengan ujung tertutup sehingga mengakibatkan perpindahan volume tanah relative besar. Contohnya: tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang dan tiang baja bulat.
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*) adalah sama seperti tiang katagori pertambahan volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan pemancangan relatif kecil, contohnya: tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat ujung terbuka, tiang ulir.
3. Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*) terdiri dari tiang yang dipasang didalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Termasuk dalam tiang tanpa perpindahan adalah tiang bor yaitu tiang beton yang pengecorannya langsung didalam lubang hasil pengeboran tanah.



Gambar 2. 3 Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang yang umumnya dipakai dalam praktek

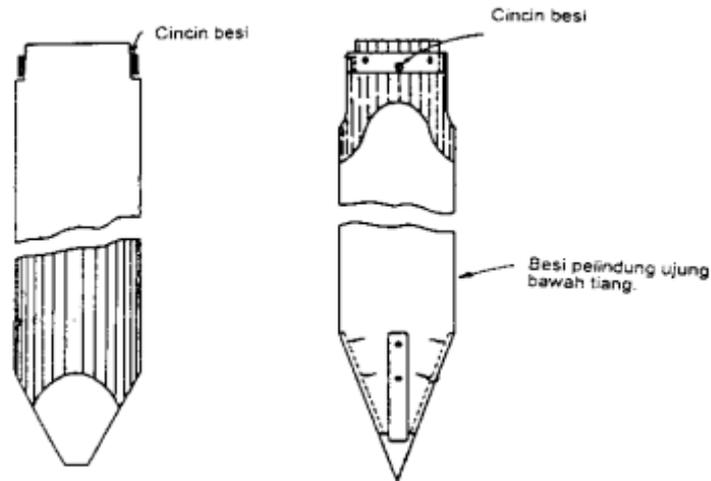
(Sumber: Carson, 1965)

Menurut Bowles (1991) pondasi tiang pancang berdasarkan materialnya dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

1. Tiang pancang kayu

Tiang pancang kayu dibuat dari batang pohon kayu yang cabangnya telah dipotong dengan hati-hati dan biasanya diberi bahan pengawet, dan didorong dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian yang runcing. Tiang pancang kayu dengan ujung runcing, biasanya terdapat sebuah sepatu yang terbuat dari logam bila tiang pancang harus menembus tanah keras atau tanah berbatu.

Menurut Hardiyatmo (2010) beban maksimum yang dapat dipakai oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270-300 kN. tiang kayu ini umumnya murah dan mudah penanganannya. Selain itu permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah, tiang kayu ini dapat mengalami pembusukan atau rusak akibat dimakan serangga, untuk menghindari kerusakan pada waktu pemancangan, ujung tiang dilindungi dengan sepatu yang terbuat dari besi.



Gambar 2. 4 pondasi tiang pancang kayu

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

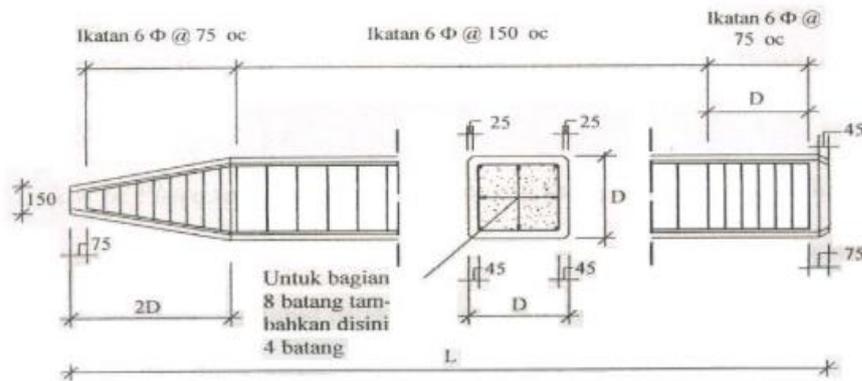
2. Tiang Pancang Beton

Menurut Bowles (1999), tiang pancang beton berdasarkan cara pembuatannya dapat diklasifikasi menjadi tiga, yaitu:

a. *Precast Reinforced Concrete Pile*

Precast Reinforced Concrete Pile merupakan tiang pancang beton bertulang yang dicetak kemudian dicor dalam acuan beton (bekisting) kemudian di tunggu hingga mengeras lalu diangkat dan dipancangkan (Sardjono, 1988)

Tiang pancang ini dapat memikul beban yang lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiangnya, hal ini tergantung pada dimensi dan jenis beton yang digunakan (Bowles, 1983). Tiang pancang jenis ini dapat berupa lingkaran, segi empat dan segi delapan. Dalam perencanaannya jenis tiang pancang ini, panjang tiang harus dihitung dengan teliti, karena kalau ternyata panjang dari tiang ini kurang maka dilakukan penyambungan hal ini akan banyak memakan waktu dan juga biaya (Sardjono, 1988).



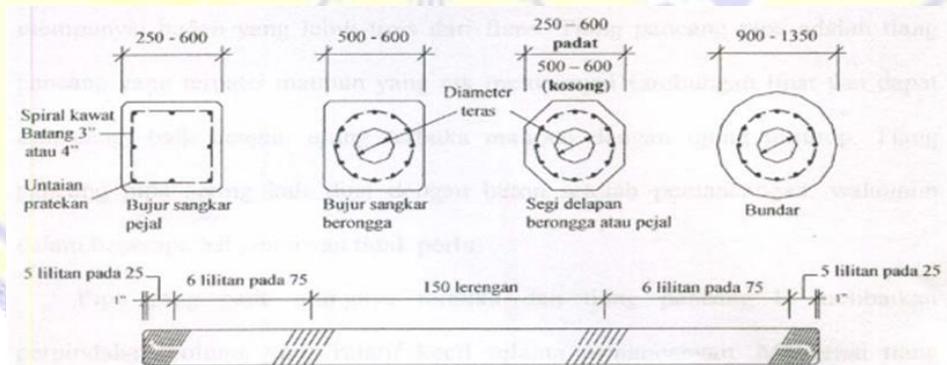
Gambar 2. 5 Tiang beton *precast concrete pile*

(Sumber: Bowles, 1991)

b. Precast Prestressed Concrete Pile

Tiang pancang *Precast Prestressed Concrete Pile* merupakan tiang pancang beton yang dalam pelaksanaan pembuatannya sama seperti pembuatan beton prategang (*prestess*), yaitu dengan menarik besi tulangnya saat dicor kemudian dilepaskan saat beton mengeras.

Tiang pancang ini biasanya diproduksi oleh pabrik khusus yang membuat tiang pancang, untuk ukuran dan diametrnya bisa disesuaikan dengan perencanaan yang diperlukan.

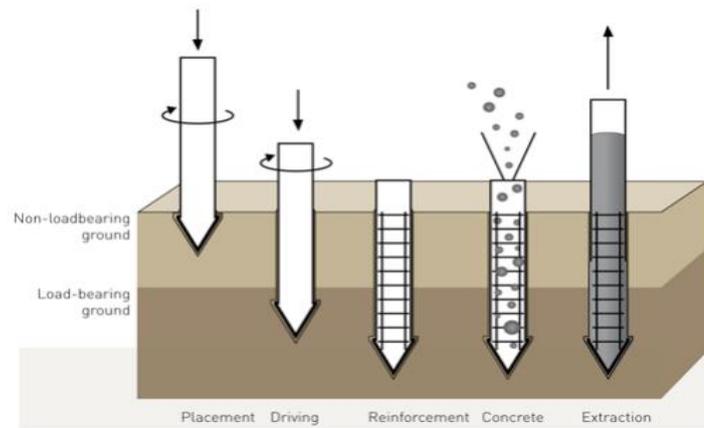


Gambar 2. 6 Tiang beton *Precast Prestressed Concrete Pile*

(Sumber: Bowles, 1991)

c. *Cast In Pile*

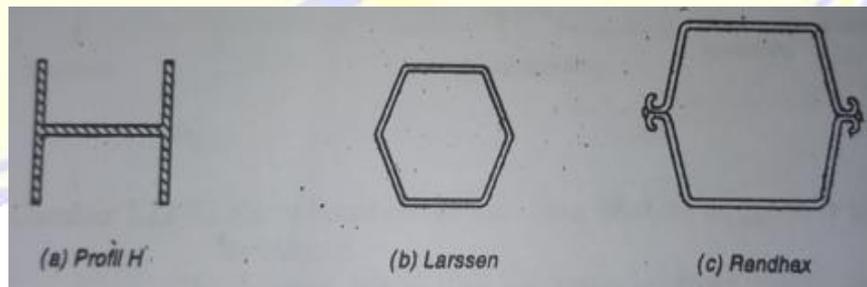
Cast in pile merupakan pondasi yang dicetak di tempat dengan mengebor tanah terlebih dahulu seperti pada pengeboran tanah waktu penyelidikan tanah (Sardjono, 1988).



Gambar 2. 7 Tiang beton yang dicor di tempat
(Sumber: Bowles, 1991)

3. Tiang Pancang Baja

Umumnya digunakan dengan bentuk tampang tiang merupakan profil H, WF, atau bentuk pipa yang berlubang maupun tertutup di bagian-bagian ujungnya. Jenis tiang ini mempunyai banyak keuntungannya antara lain mudah dipancang, disebabkan tiang mempunyai luas tampang yang kecil dibanding jenis tiang lainnya. Oleh karena itu, tiang lebih mudah masuk kedalam tanah akibat berat sendiri pada waktu dipancangkan (Suryolelono, 2004).



Gambar 2. 8 Macam-macam tiang pancang baja (a) *profil H* (b) *Larsen* (c) *Randhex*
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

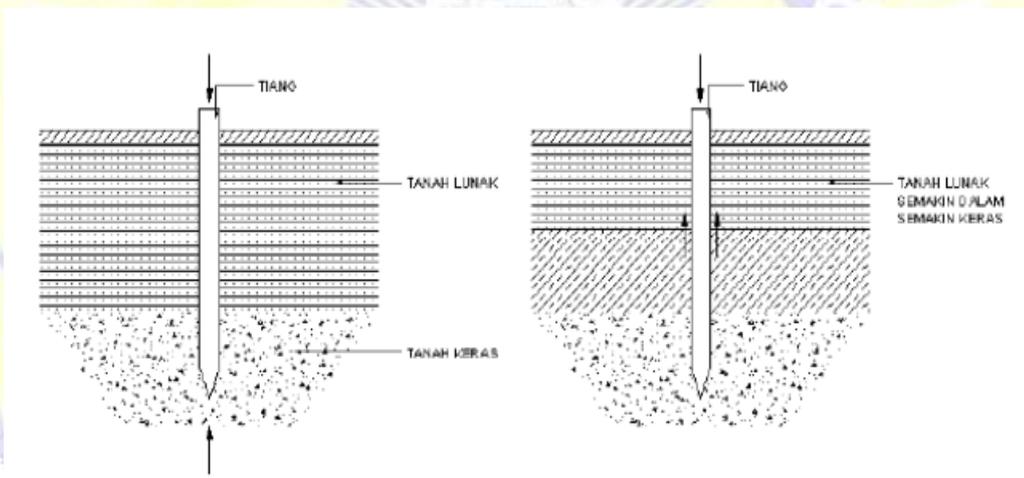
Menurut Hardiyatmo (2002) berdasarkan cara mendukung beban tiang pancang dibagi menjadi 2 macam yaitu:

4. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.9 a).

5. Tiang gesek (*friction pile*)

Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Gambar 2.9 b). tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 2. 9 Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.1.4 Alat Pemancangan Tiang

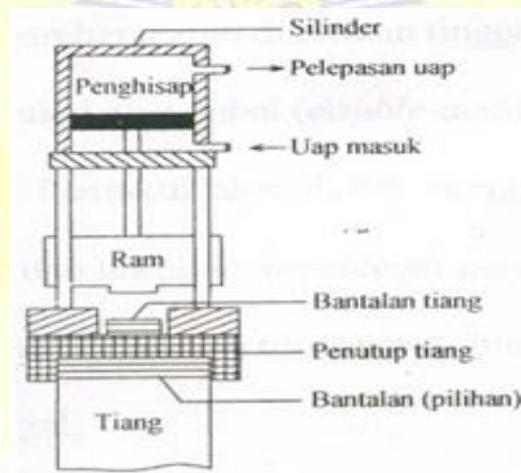
Dalam proses pemasangan tiang kedalam tanah, tiang dipancang menggunakan alat pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul yang dijatuhkan atau pemukul getar.

1. Pemukul jatuh (*Drop hammer*)

Pemukul jatuh ini terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ini akan ditarik dengan ketinggian jatuh tertentu kemudian dilepas sehingga menumbuk tiang. Dalam penggunaan alat tipe ini pemancangan retalif memerlukan waktu yang lama sehingga pemakaian alat ini digunakan untuk pemancangan dengan volume pemancangan yang kecil.

2. Pemukul Aksi Tunggal (*single-acting hammer*)

Pemukul aksi tunggal memiliki bentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik karena udara atau uap yang terkomresi, sedangkan gerakan turun ram disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal sama dengan berat ram dikalikan dengan tinggi jatuh.



Gambar 2. 10 pemukul aksi tunggal (*single-acting hammer*)
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

3. Pemukul aksi *double* (*double acting hammer*)

Pemukul aksi double menggunakan uap udara untuk mengangkat ram dan mempercepat pemukulan. Kecepatan pemukul dan energi output alat ini lebih tinggi dari pemukul aksi tunggal.

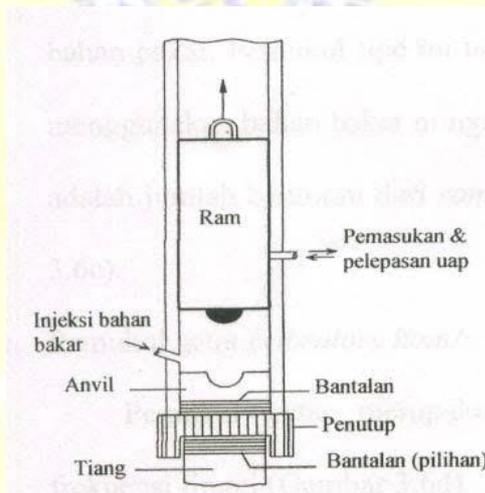


Gambar 2. 11 Pemukul Aksi *double* (*double acting hammer*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

4. Pemukul Diesel (*diesel hammer*)

Pemukul tipe ini biasanya kecil, ringan dan digerakkan menggunakan bahan bakar minyak. Energi pemancangan total biasanya dihasilkan dari jumlah benturan ram ditambah dengan energi hasil ledakan. Pemukul disel ini terdiri dari silinder, ram, balok avil dan system injeksi bahan bakar.

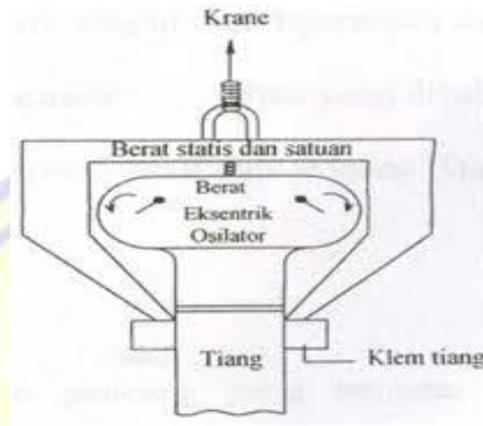


Gambar 2. 12 Pemukul diesel (*diesel hammer*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

5. Pemukul Geser (*vibratory hammer*)

Pemukul getar merupakan alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi dan dapat di liat pada gambar.



Gambar 2. 13 Pemukul getar (*vibratory hammer*)
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.1.5 Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

Tata cara pelaksanaan atau metode pelaksanaan suatu konstruksi merupakan salah satu hal penting yang harus diperhatikan karena berpengaruh kepada target waktu ataupun biaya yang efisien dan merupakan salah satu tujuan dari adanya persiapan. Metode pelaksanaan pondasi tiang pancang dijabarkan sebagai berikut:

A. Tahap Persiapan

Menurut Utama (2013) tahap persiapan ini merupakan tahap awal dimana keperluan terkait alat dan semua yang termasuk dalam hal yang digunakan selama pekerjaan pemancangan dilakukan, dari awal sampai dengan akhir pemancangan dilaksanakan:

1. Penandaan tiang, hal ini dilakukan sebelum tiang pancang dipancang dengan membubuhi tanda pada tiang pancang beserta tanggal tiang dipancang. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses perekapan dengan cara memberi tanda pada tiang pancang setiap 1 m.
2. Pengangkatan tiang, saat akan melakukan pemancangan tiang pancang diangkat menuju titik pemancangan. Proses ini memerlukan kehati-hatian agar tiang pancang tidak mengalami kerusakan.

3. Perencanaan *final set*, *final set* ini harus direncanakan dengan mengetahui data tanah dan data pukulan agar diketahui jumlah pukulan terakhir (*final set*).
4. Perencanaan urutan, urutan pemancangan ini direncanakan agar titik yang berdekatan dengan lokasi material pancang didahulukan. Hal ini dilakukan agar proses manuver alat lebih mudah.
5. Titik pancang, penentuan titik pancang ini dapat menggunakan alat theodolite kemudian ditandai dengan patok agar titik mudah terlihat.
6. Penyambungan tiang, hal ini dilakukan ketika level kepala tiang belum mencapai level tanah keras. Sehingga proses pemancangan dapat dihentikan, kemudian penyambungan tiang dapat dilakukan.
7. Pemancangan dapat dilanjutkan seperti pada batang pertama.

B. Tahap Pemancangan

Proses pemancangan melewati beberapa tahapan, yaitu:

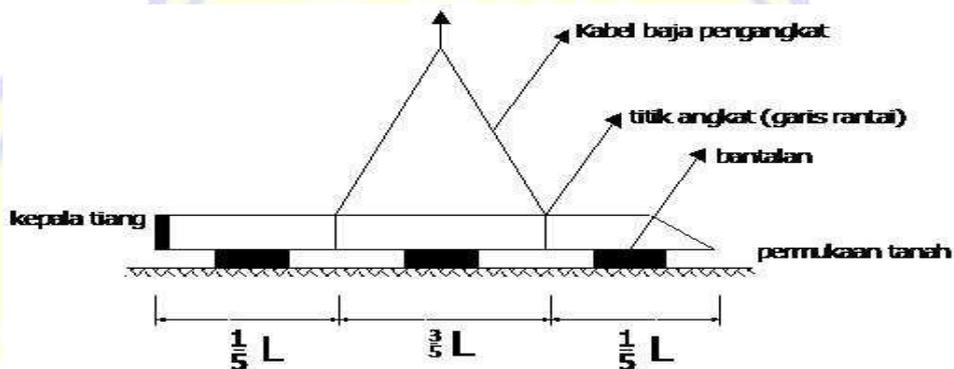
1. Alat pancang ditempatkan pada posisi yang mendukung as *hammer* jatuh pada patok tiang yang telah ditentukan.
2. Tiang diangkat kemudian ditempatkan disamping *driving lead*, kepala tiang ditempatkan pada helmet dengan dilapisi kayu yang digunakan sebagai pelindung dan pegangan kepala tiang.
3. Setelah ujung tiang ditempatkan pada posisinya penyetelan vertikal dapat dilakukan dengan mengatur panjang *backstay* yang diperiksa dengan waterpass agar posisi arah vertikal benar-benar stabil.
4. Bagian bawah tiang diklem menggunakan ceter gate pada dasar *driving lead* agar tiang tidak bergeser selanjutnya pemancangan baru bisa dimulai.
5. Pemancangan dimulai dengan mengangkat kemudian menjatuhkan *hammer* secara teratur ke atas helmet diatas kepala tiang.

C. Metode Pengangkatan Tiang

Pengangkatan tiang pancang tidak dilakukan dengan cara sembarang, tetapi menggunakan beberapa tahapan agar kerusakan pada tiang saat proses ini dapat dihindari.

1. Pengangkatan dengan dua tumpuan

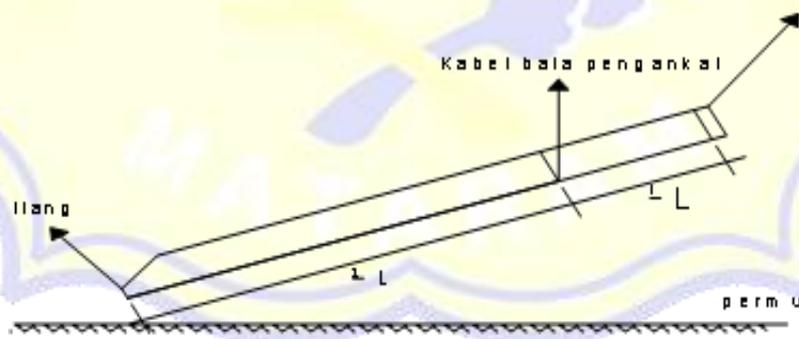
Metode pengangkatan dengan dua tumpuan ini biasanya digunakan untuk menyusun tiang pancang, dilakukan dengan jarak titik angkat dari kepala tiang $\frac{1}{5} L$. Prinsipnya metode ini dilakukan dengan cara mengangkat tiang beton yang sudah diikat dengan kawat pada dua titik angkat dengan posisi kawat diletakkan pada titik yang dapat menyeimbangkan beban.



Gambar 2. 14 Pengangkatan tiang dengan dua tumpuan
(Sumber: Sardjono, 1991)

2. Pengangkatan dengan satu tumpuan

Metode ini biasanya digunakan saat tiang akan dipancang, tiang dibawa pada titik pemancangan yang telah ditentukan. Dimana jarak antara kepala tiang dengan titik anker berjarak $L/3$.



Gambar 2. 15 Pengangkatan tiang dengan satu tumpuan
(Sumber: Sardjono, 1991)

D. Quality Control

Tahapan *Quality Control* ini digunakan sebagai upaya pengecekan kembali terkait mutu bahan atau kualitas bahan yang digunakan dilapangan.

1. Kondisi fisik tiang

Seperti pada umumnya kondisi fisik tiang harus diperhatikan, salah satunya:

- a. Permukaan tiang tidak mengalami kerusakan.
- b. Umur beton telah mencapai umur sesuai yang direncanakan.
- c. Kepala tiang tidak boleh mengalami keretakan selama pemancangan.

2. Penetrasi

Penetrasi ini sudah sempat disinggung pada pembahasan sebelumnya, yang digunakan sebagai pendeteksi jumlah pukulan dalam bentuk penetrasi yang diberi tanda setiap meter.

3. *Final set*

Final set ini artinya pemancangan baru dapat dihentikan ketika sudah mencapai kedalaman yang ditentukan dimana tanah keras berada.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang

Menurut Hardiyatmo (2015), kapasitas daya dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas daya dukung tiang satuannya adalah gaya (kN). Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tanah geser yang data dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang gesernya. 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.

2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang dapat di toleransi. Khususnya penurunan yang tidak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

2.2.1.1 Kapasitas Daya Dukung Metode Statis

Uji SPT merupakan pengujian penetrasi dinamis yang banyak digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung. Harga N yang diperoleh digunakan untuk mengitung daya dukung tanah yang tergantung pada kuat geser tanah.

Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coulomb yang dinyatakan dengan Persamaan (2.1):

$$r = c + \sigma \tan \Theta \quad (2.1)$$

dimana:

r = Kekuatan geser tanah (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

σ = Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kN/m²)

Θ = Sudut geser tanah (°)

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan nilai N dinyatakan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan nilai N

Klasifikasi	Hal-hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan	
Hal yang perlu dipertimbangkan secara menyeluruh dari hasil survey sebelumnya	Unsur tanah, variasi daya dukung vertikal (kedalam permukaan dan susunannya), adanya lapisan lunak (ketebalan konsolidasi atau penurunan), kondisi drainase dan lain-lain.	
Hal-hal yang perlu diperhatikan langsung	Tanah pasir (tidak kohesif)	Berat isi, sudut geser dalam, ketahanan terhadap penurunan dan daya dukung tanah
Tanah lempung (kohesif)	Keteguhan, kohesi, daya dukung dan ketahanan terhadap hancur	

(Sumber: Sosrodarsono, 1983)

Untuk mendapatkan sudut geser tanah dari tanah tidak kohesif (pasiran) biasanya dapat dipergunakan persamaan Dunham (1962) sebagai berikut.

1. Tanah berpasir berbentuk bulat dengan gradasi seragam, atau butiran pasir bersegi segi dengan gradasi tidak seragam, dengan sudut geser dinyatakan dengan Persamaan (2.2):

$$\theta = 12 N + 15 \quad (2.2)$$

2. Butiran pasir bersegi dengan gradasi seragam, maka sudut gesernya diperoleh dengan Persamaan (2.3):

$$\theta = 0,3 N + 27 \quad (2.3)$$

Angka penetrasi sangat berguna sebagai pedoman dalam eksplorasi tanah untuk memperkirakan kondisi lapisan tanah. Hubungan antara angka penetrasi standard dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir dinyatakan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 hubungan antara angka penetrasi standard dengan sudut geser dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir

Angka Penetrasi Standard, N	Kepadatan Relatif Dr (%)	Sudut Geser Dalam θ ($^{\circ}$)
0- 5	0-5	26-30
5-10	5-30	28-35
10-30	30-60	35-42
30-50	60-65	38-46

(Sumber: Das, 1985)

Menurut Peck dan Meyerhoff (1997), dari nilai N dari pengujian SPT diperoleh hubungan empiris tanah non kohesi seperti sudut geser dalam (θ) dan berat isi tanah basah (γ_{wet}).

Tabel 2. 3 Hubungan antara harga N-SPT, sudut geser dan kepadatan relatif

Nilai	Kepadatan Relatif	Sudut Geser Dalam (θ)	
		Menurut Pack	Menurut Meyerhoff
0-4	Sangat lepas 0,0-0,2	<28,5	<30
4-10	Lepas 0,2-0,4	28,5-30	30-35
10-30	Sedang 0,4-0,6	30-36	35-40
30-50	Padat 0,6-0,8	36-41	40-45
>50	Sangat padat 0.8	>41	>45

(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2005)

Hubungan antara harga N dengan berat isi dinyatakan pada Tabel 2.4, dimana sebenarnya hampir tidak mempunyai arti karena hanya mempunyai partikel kasar.

Tabel 2. 4 Hubungan antara harga N-SPT dan Berat isi tanah

Tanah Tidak Kohesif	Harga N	<10	10-30	30-50	>50
	Berat isi, γ (kN/m³)	12-16	14-18	16-20	18-23
Tanah Kohesif	Harga N	<4	4-15	16-25	>25
	Berat isi, γ (kN/m³)	14-18	16-18	16-18	>20

(Sumber: Braja, 1995)

Pada tanah non-kohesif daya dukung sebanding dengan berat isi tanah, hal ini terjadi karena tinggi muka air tanah banyak mempengaruhi daya dukung pasir. Tanah di bawah air mempunyai berat isi efektif yang kira-kira setengah berat isi tanah di atas muka air. Tanah dapat dikatakan mempunyai daya dukung yang baik dari hasil uji SPT dapat dinilai dari ketentuan berikut:

1. Lapisan Kohesif mempunyai nilai SPT, $N > 35$.
2. Lapisan kohesif mempunya nilai kuat tekan (qu) 3-4 kg/cm², atau harga $N > 15$.

A. Kapasitas dukung tiang dalam tanah $c - \phi$

Jenis tanah ini artinya lapisan tanah tersebut memiliki tanah lempung dengan pasir yang artinya memiliki dua komponen yaitu kohesi (c) dan gesekan (ϕ), sehingga metode yang digunakan adalah metode ($c - \phi$).

a. Tahanan gesek komponen kohesi (c)

Tahanan gesek komponen kohesi dihitung menggunakan metode alpha (α) menggunakan Persamaan 2.4.

$$Q_s = \alpha \times c_u \times A_s \quad (2.4)$$

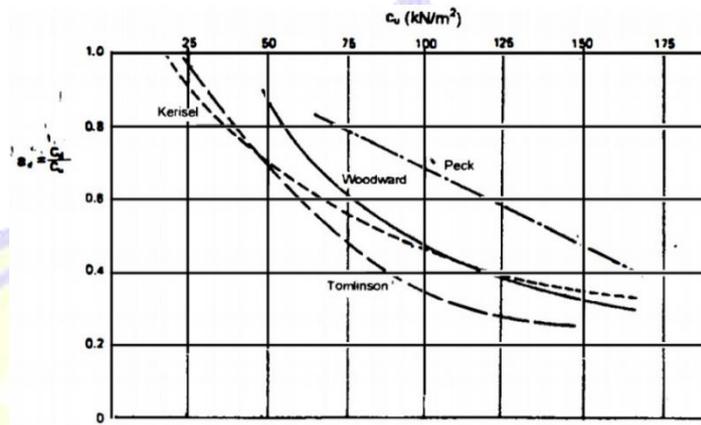
dengan,

α = faktor adhesi

c_u = kohesi tak terdrainase (kN/m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

Dalam Gambar 2.4, terlihat lempung dengan $c_u < 25 \text{ kN/m}^2$, α bisa diambil sama dengan 1. Namun untuk lempung kaku diperoleh nilai yang sangat berbeda-beda oleh pengaruh celah yang terbentuk pada waktu pemancangan tiang (Hardiyatmo,2015).



Gambar 2. 16 Faktor adhesi α untuk tiang pancang dalam tanah lempung ()

(Sumber: McClelland, 1974 dalam Hardiyatmo, 2015)

b. Tahanan gesek ultimit dari komponen gesekan

Nilai sudut geser antara tiang dengan tanah (δ) dapat diperoleh menggunakan persamaan pada teori U. S Army Corps sesuai jenis tiang yang digunakan:

Tabel 2. 5 Tabel nilai δ U. S Army Corps

Bahan Tiang	Δ
Tiang Baja	$0,67 \varphi - 1,00 \varphi$
Tiang Beton	$0,90 \varphi - 1,00 \varphi$
Tiang Kayu	$0,80 \varphi - 1,00 \varphi$

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Dengan menghitung tahanan gesek persatuan luas (f_s)

$$f_s = Q_s / A_s \quad (2.5)$$

dengan,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_s = luas selimut tiang (m²)

c. Tahanan gesek ultimit (Q_s)

Tahanan gesek ultimit pada tanah lanau kelemungan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan, yaitu:

$$Q_s = K_d \times P_o' \times \text{tg } \delta \times A_s \quad (2.6)$$

dengan,

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)

Q_{st} = Tahanan gesek ultimit total (kN)

K_d = koefisien tekanan tanah

P_o' = Tekanan *overburden* efektif (kN/m²)

δ = sudut geser antara tiang dengan tanah (°)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

$$Q_{st} = Q_{s1} + Q_{s2} \quad (2.7)$$

dengan,

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)

Q_{st} = Tahanan gesek ultimit total (kN)

Dengan nilai K_d didapatkan dari teori U. S Army Corps sesuai dengan jenis tanah.

Tabel 2. 6 K_d untuk tiang pancang pada tanah granuler (Mansur dan Hunter)

Bahan Tiang	K_d
Tiang baja H	1,4 – 1,9
Tiang pipa baja	1,0 – 1,3
Tiang beton pracetak	1,45 – 1,60
Ujung tarik tiang (8 tiang) untuk seluruh tipe tiang	0,40 – 0,90

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Dengan nilai tekanan *overburden* dan selimut tiang didapatkan dengan menentukan nilai Z_c terlebih dahulu menggunakan Persamaan 2.8.

$$Z_c = 15d \quad (2.8)$$

dengan,

d = diameter tiang (m)

$$Po' = (2 \times \gamma_b) + (3,25 \times \gamma')$$
 (2.9)

dengan,

γ_b = Berat volume tanah basah (kN/m³)

Po' = Tekanan *overburden* efektif (kN/m²)

γ' = Berat volume tanah terendam (kN/m²)

$$A_s = L \times 4 \times d$$
 (2.10)

dengan,

L = Panjang tiang (m)

d = diameter tiang (m)

d. Tahanan ujung ultimit (Q_b)

Tahanan ujung ultimit pada tanah granular umumnya dihitung dengan

$$Q_b = A_b \times pb' \times N_q$$
 (2.11)

dengan,

Q_b = Tahanan ujung ultimit (kN)

A_b = Luas Penampang ujung bawah tiang (m²)

P_b' = Tekanan *overburden* efektif (kN/m²)

$$A_b = d^2$$
 (2.12)

dengan,

A_b = Luas Penampang ujung bawah tiang (m²)

d = diameter tiang (m)

$$P_b' = L \times \gamma_b$$
 (2.13)

dengan,

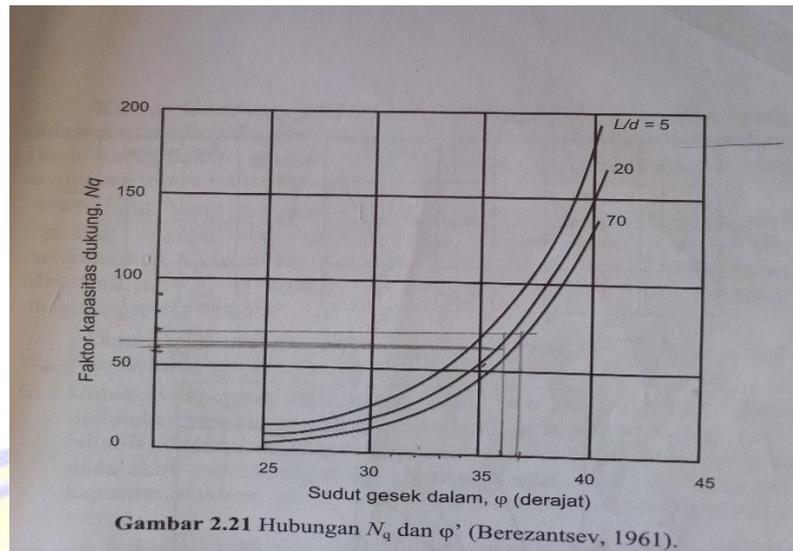
P_b' = Tekanan *overburden* efektif (kN/m²)

L = Panjang tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

N_q = Faktor kapasitas dukung

Untuk nilai N_q dapat diambil dari grafik hubungan nilai sudut geser dalam (ϕ)



Gambar 2. 17 Grafik Hubungan ϕ dan N_q

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

e. Faktor tahanan ujung maksimum (f_b)

Tahanan ujung satuan maksimum ini digunakan sebagai pengecekan kapasitas tahanan ujung ultimit, yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f_b = Q_b/A_b \quad (2.14)$$

dengan,

f_b = faktor tahanan ujung maksimum ($<15000 \text{ kN/m}^2$)

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

A_b = luas selimut tiang (m^2)

f. Berat sendiri tiang (W_p)

Berat sendiri tiang pada tanah lanau dinyatakan dalam persamaan, yaitu:

$$W_p = L \times d^2 \times \gamma_c \quad (2.15)$$

dengan,

W_p = Berat sendiri tiang (kN)

L = Panjang tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

γ_c = Berat volume beton (kN/m^3)

g. Kapasitas dukung ultimit netto (Q_u)

$$Q_{ult} = Q_s + Q_b - W_p \quad (2.16)$$

dengan,

Q_{ult} = Kapasitas dukung ultimit netto (kN)

Q_s = kapasitas gesek ultimit (kN)

Q_b = Kapasitas ujung ultimit (kN)

h. Kapasitas dukung ijin (Q_{ijin})

Kapasitas dukung ijin dinyatakan dalam bentuk persamaan, yaitu:

$$Q_{ijin} = Q_u / F \quad (2.17)$$

dengan,

Q_u = Kapasitas dukung ultimit netto (kN)

F = Faktor kapasitas ijin tiang (3)

i. Jarak antar tiang (s)

Jarak antar tiang diperlukan agar tiang dapat lebih maksimal menahan beban, jarak antar tiang dapat diperoleh melalui persamaan:

$$s = 3 \times d \quad (2.18)$$

dengan,

s = jarak antar tiang (m)

d = diameter tiang (m)

j. Efisiensi tiang (E_g)

Efisiensi tiang diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \quad (2.19)$$

dengan,

m = jumlah baris tiang

n' = jumlah tiang dalam 1 baris

Dengan nilai θ didapatkan dengan persamaan:

$$\theta = \text{arc tg } d/s \quad (2.20)$$

k. Kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g)

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan, yaitu:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (2.21)$$

dengan,

Q_g = Kapasitas dukung kelompok tiang (ton)

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_u = Kapasitas dukung ultimit netto tiang tunggal (ton)

2.2.1.2 Kapasitas Daya Dukung Metode Dinamis

Perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil pemancangan terdapat dua rumus yang digunakan yaitu rumus Hiley dan Janbu. Metode ini digunakan sesuai formulanya untuk membantu memaksimalkan hasil pemancangan untuk digunakan dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang.

a. Hiley (1930)

Hiley menghitung kapasitas daya dukung ultimit tiang menggunakan persamaan (2.22):

$$Q_u = \frac{ehx E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \times \frac{Wr + n^2 x Wp}{Wr x Wp} \quad (2.22)$$

Menurut Chelis, E_h didasarkan pada berat ekivalen W dan tinggi jatuh ram, yaitu:

$$E_h = W \times h = (Wr + \text{berat casing}) \times h \quad (2.23)$$

Nilai-nilai k_1 yang digunakan dalam persamaan diperoleh dari Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Nilai-nilai k_1 (Chelis, 1961)

Bahan tiang	Nilai-nilai k_1 (mm), untuk tegangan akibat pukulan pemancang di kepala tiang			
	3,5 Mpa	7,0 Mpa	10,5 Mpa	14 Mpa
Tiang baja atau pipa langsung pada Kepala tiang	0	0	0	0
Tiang kayu langsung pada kepala tiang	1,3	2,5	3,8	5
Tiang beton pracetak dengan 75-100 mm bantalan didalam cap	3	6	9	12,5
Baja tertutup cap yang berisi bantalan kayu untuk tiang baja H atau tiang pipa	1	2	3	4
Piringan fiber 5 mm diantara dua plat baja 10 mm	0,5	1	1,5	2

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Nilai efisiensi pemukul (e_h) bergantung pada kondisi pemukul dan blok penutup (capblok) dan kondisi tanah (khususnya untuk pemukul tenaga uap). Jika belum ada data yang tepat, nilai e_h dalam Tabel 2.8 dapat digunakan sebagai acuan (Hardiyatmo, 2015).

Nilai-nilai koefisien restitusi n diperoleh dalam Tabel 2.9, dimana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblok* dan bantalan kepala tiang.

Koefisien k_2 diperoleh dengan persamaan (2.24)

$$k_2 = \frac{Q_u \times L}{(A \times E)} \quad (2.24)$$

Nilai k_3 dapat diperoleh dari:

$k_3 = 0$ untuk tanah kasar (batu, pasir sangat padat dan kerikil).

$k_3 = 0,1$ sampai $0,2$ (2,5 mm sampai 5 mm) untuk tanah-tanah yang lain.

Tabel 2. 8 Nilai efisiensi eh

Jenis Alat Pancang	Efisiensi eh
Pemukul Jatuh (<i>Drop Hammer</i>)	0,75-1,00
Pemukul Aksi Tunggal (<i>Single Acting Hammer</i>)	0,75-0,85
Pemukul Aksi <i>Double</i> (<i>Double Acting Hammer</i>)	0,85
Pemukul <i>Diesel</i> (<i>Diesel Hammer</i>)	0,85-1,00

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Tabel 2. 9 Koefisien restitusi n (ASCE, 1941)

Material	n
Broomed wood	0
Tiang kayu (ujung tidak rusak)	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang baja	0,32
Bantalan kayu padat di atas tiang baja	0,40
Landasan baja pada baja, pada tiang baja atau beton	0,50
Pemukul besi cor pada tiang beton tanpa penutup (<i>cup</i>)	0,40

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang (ton)

η = Efisiensi alat pancang

E = Energi alat pancang yang digunakan (kg/cm^2)

s = Banyaknya penetrasi pukulan

A = Luas penampang tiang pancang (m^2)

w = Berat hammer (ton)

h = Tinggi jatuh hammer (cm)

b. Janbu (1953)

Kapasitas dukung ultimit yang disarankan oleh Janbu menggunakan persamaan (2.25)

$$Q_u = \left(\frac{eh \cdot W_r \cdot h}{K_u s} \right) \text{ (faktor aman = 3 sampai 6)} \quad (2.25)$$

dengan,

$$K_u = eh + C_d [1 + (1 + \lambda/C_d)^{1/2}] \quad (2.26)$$

$$C_d = eh + h x \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \quad (2.27)$$

$$\lambda = \frac{eh x Eh x L}{A x E x s^2} \quad (2.28)$$

dengan,

E = modulus elastisitas tiang (kN/m²)

L = panjang tiang (m)

A = luas penampang tiang (m²)

e_h = Efisiensi hammer

W_p = Berat tiang (ton)

W_r = Berat hammer (ton)

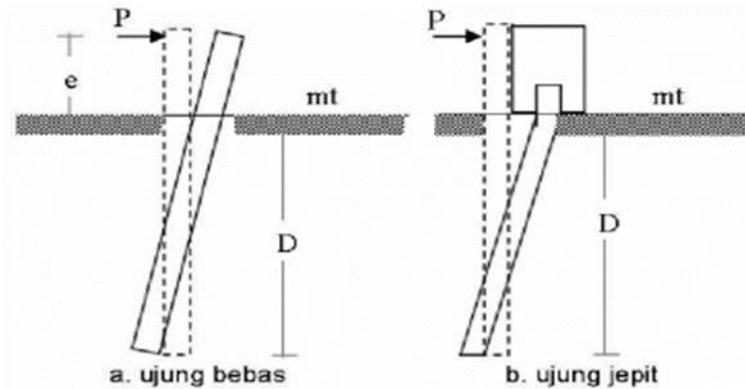
h = Tinggi jatuh (cm)

Dengan s adalah penetrasi terakhir (m) yaitu digunakan nilai rata-rata 5 pukulan terakhir untuk pemukul yang cara pemukulnya dijatuhkan 20 pukulan untuk jenis tanah lain (Chellis, 1961).

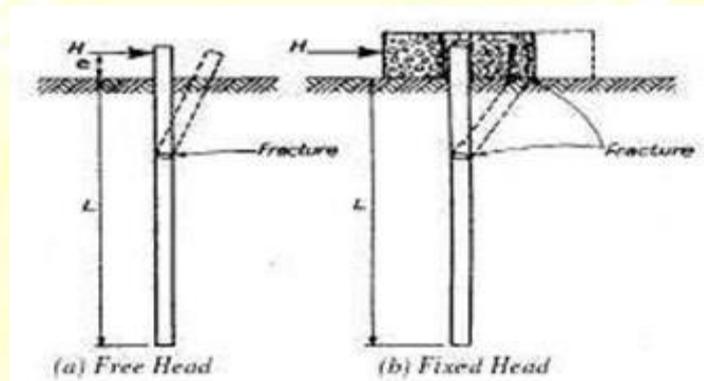
2.2.1.3 Kapasitas Daya Dukung Horizontal Tiang Menggunakan Metode Broms

Metode perhitungan ini menggunakan teori tekan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang tanah mencapai nilai ultimit.

Menurut Broms (1964), beberapa anggapan dalam metode ini bahwa tanah adalah salah satu dari non-kohefif saja ($c = 0$) atau kohefif saja ($f = 0$) oleh karena itu, tiang pada setiap tipe tanah dianalisis secara terpisah. Broms juga menyatakan bahwa tiang pendek kaku (*short rigid pile*) dan tiang panjang lentur (*long flexible pile*) dianggap terpisah. Tiang dianggap tiang pendek kaku jika $L/T \leq 2$ atau $L/R \leq 2$ dan dianggap tiang panjang lentur jika $L/T \geq 4$ atau $L/R \geq 3,5$.



Gambar 2. 18 Tiang pendek dikenai beban lateral
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)



Gambar 2. 19 Tiang panjang dikenai beban lateral
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

1. Pada Tanah Granular

Untuk tiang dalam tanah granular ($c = 0$), seperti pasir, kerikil dan batuan Broms menganggap sebagai berikut:

1. Tekanan tanah aktif yang bekerja di belakang tiang, diabaikan.
2. Bentuk penampang tiang tidak berpengaruh terhadap tekanan tanah ultimit atau tahanan lateral ultimit.
3. Tahanan tanah lateral sepenuhnya termobilisasi pada gerakan tiang yang diperhitungkan.

Distribusi tekanan tanah dinyatakan oleh Persamaan (2.29):

$$P_U = 3 P_O \times K_P \quad (2.29)$$

dengan,

$$P_U = \text{Tahanan tanah ultimit (kN/m}^2\text{)}$$

$$P_O = \text{Tekanan overburden efektif (kN/m}^2\text{)}$$

$$K_P = \tan^2 (45^\circ + \Theta/2)$$

Θ = Sudut geser dalam efektif.

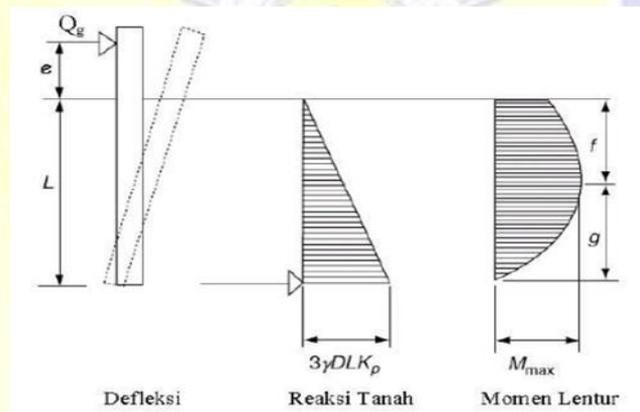
a. Tiang Ujung Bebas (*Free end piles*)

Tiang pendek pada gambar (2.22a) dianggap berotasi di dekat ujung bawah tiang. Tekanan yang terjadi dianggap dapat digantikan oleh gaya terpusat yang bekerja pada ujung bawah tiang. Dengan mengambil momen terhadap ujung bawah, (Hardiyatmo, 2010).

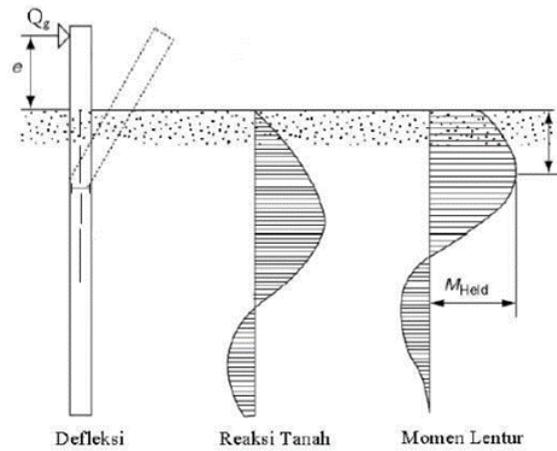
$$H_u = \frac{0,5\gamma D L 3K_p}{e+L} \quad (2.30)$$

Momen maksimum terjadi pada jarak f di bawah permukaan tanah sehingga dapat digunakan Persamaan (2.31).

$$H_u = 1,5 \gamma D K_p f^2 \quad (2.31)$$



(a)



(b)

Gambar 2. 20 Defleksi dan mekanisme keruntuhan pondasi tiang dengan kondisi kepala tiang bebas akibat beban lateral pada tanah granular (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek.

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

b. Tiang Ujung Jepit (*fixed end pile*)

Jika tiang ujung jepit yang kaku (tiang pendek), keruntuhan tiang berupa translasi, beban ultimit dinyatakan dengan Persamaan (2.32).

$$H_u = 1,5 \gamma D L^2 K_P \quad (2.32)$$

dengan,

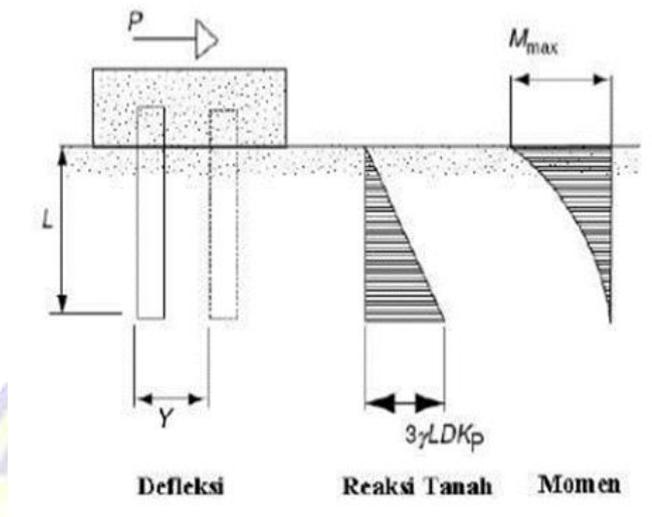
H_u = Beban lateral (kN)

K_P = Koefisien tekanan tanah pasif

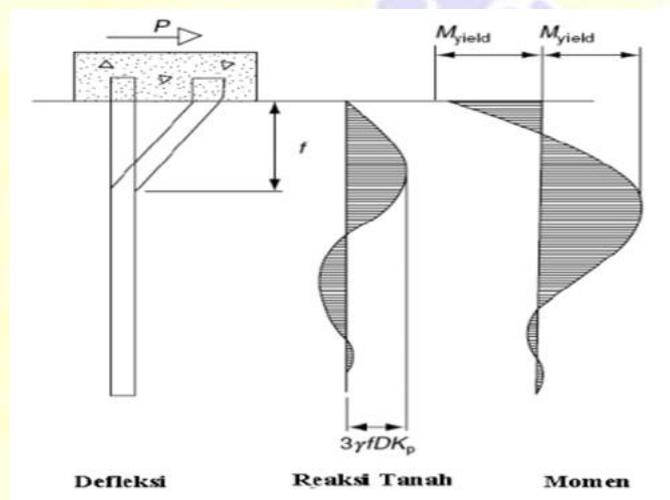
L = Panjang tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

γ = Berat isi tanah (kN/m³)



(a)



(b)

Gambar 2. 21 Mekanisme keruntuhan pondasi tiang ujung jepit pada tanah non-kohefif (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek (Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Untuk tiang ujung jepit yang tidak kaku (tiang Panjang), dimana momen maksimum mencapai M_y di dua lokasi ($M_{u+} = M_{u-}$) maka H_u dapat diperoleh dengan Persamaan (2.33).

$$H_u = \frac{2My}{e + \frac{2f}{3}} \quad (2.33)$$

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{Hu}{D K_p Y}} \quad (2.34)$$

Persamaan (2.33) disubstitusi ke persamaan (2.34), sehingga nilai H_u menjadi (Hardiyatmo, 2010):

$$H_u = \frac{2My}{e+0,54\sqrt{\frac{Hu}{DKp\gamma}}} \quad (2.35)$$

dimana:

H_u = Beban lateral (kN)

K_P = Koefisien tekanan tanah pasif = $\tan^2(45^\circ + \phi/2)$

M_y = Momen ultimit (kN-m)

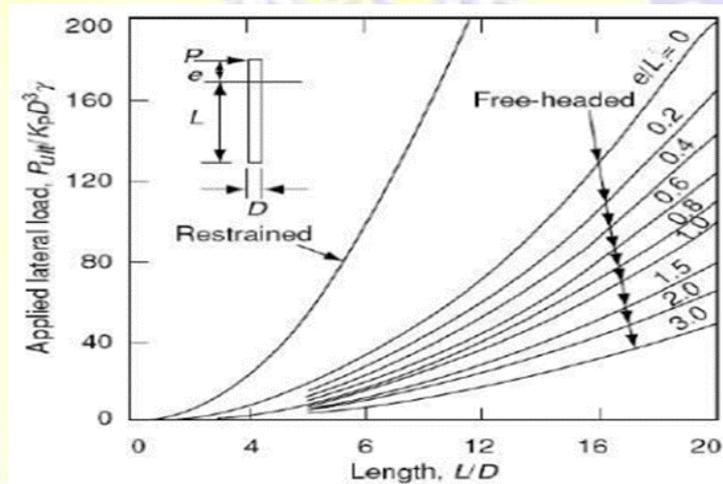
D = Diameter tiang (m)

f = Jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)

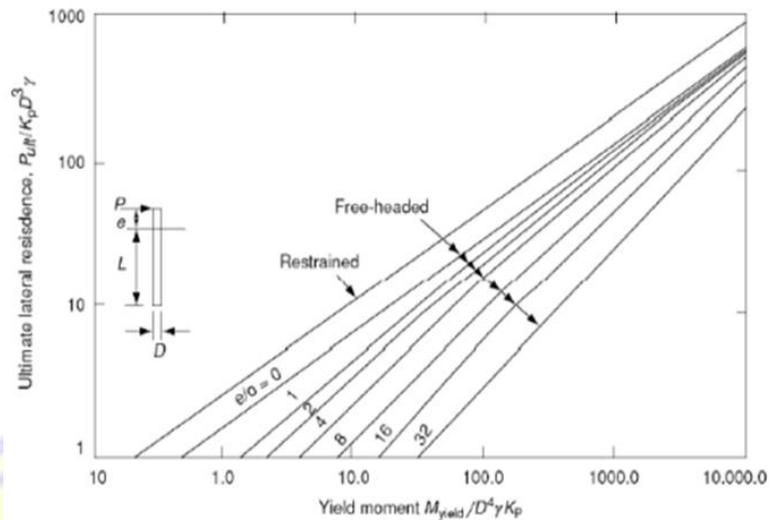
γ = Berat isi tanah (kN/m³)

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

Nilai beban lateral (H_u) untuk pondasi tiang pendek dan Panjang dapat diperoleh berdasarkan grafik gambar berikut:



(a)



(b)

Gambar 2. 22 Kapasitas beban lateral pada tanah granular (a) Tiang panjang (b) Tiang pendek

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.2.1.4 Pengecekan Kapasitas Dukung Terhadap Beban Eksternal

Beban yang bekerja pada pondasi umumnya adalah beban yang didapatkan dari struktur atas atas dan tekanan tanah dari arah samping pondasi tiang, beban ini biasanya dikenal dengan beban vertikal dan beban horizontal. Beban ini dipikul oleh beberapa tiang yang disatukan oleh pelat penutu tiang atau *pilecap* yang berfungsi untuk menyebarkan beban dari struktur atas ke tiang yang kemudian disalurkan ke lapisan tanah.

Reaksi total atau beban aksial pada masing-masing tiang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_v = \left(\frac{V}{n} + \frac{X \text{ ex } V}{\sum X^2} + \frac{Y \text{ ey } V}{\sum Y^2} \right) \quad (2.36)$$

dengan,

Q_v = beban aksial tiang (kN)

V = gaya vertikal (kN)

X = jarak tiang arah x (m)

Y = jarak tiang arah y (m)

e_x = eksentrisitas arah x (m)

e_y = eksentrisitas arah y (m)

$\sum x^2$ = kuadrat jarak tiang ke pusat tiang arah x (m^2)

$\sum y^2$ = kuadrat jarak tiang ke pusat tiang arah y (m^2)

n = jumlah tiang dalam satu kelompok

sedangkan untuk nilai $\sum x^2$ dan $\sum y^2$ dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$(\sum x^2) = 3 x X^2 + 3 x (-X)^2 \quad (2.37)$$

dengan,

$\sum x^2$ = kuadrat jarak tiang ke pusat tiang arah x (m^2)

X = jarak tiang arah x (m)

$$(\sum Y^2) = 3 x Y^2 + 3 x (-Y)^2 \quad (2.38)$$

dengan,

$\sum y^2$ = kuadrat jarak tiang ke pusat tiang arah y (m^2)

Y = jarak tiang arah y (m)

Beban horizontal masing-masing tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_h = H/n \quad (2.39)$$

dengan,

Q_h = beban horizontal masing-masing tiang (kN)

H = beban horizontal (kN)

n = jumlah tiang

2.2.1.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan *Software Plaxis*

1. Pemodelan Pada Program Plaxis 2D V8.6

Pada pemodelan program plaxis dilakukan perancangan pondasi tiang pancang dengan beberapa material dengan sifat teknis dari masing-masing parameter dan pemodelan yang spesifik. Input parameter berupa *Modulus Young (E)* dan *rasio poisson (v)* dari material yang bersangkutan.

Tahapan analisa program plaxis terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

- 1) *General Setting*, pemodelan material yang dianalisa.
- 2) *Geometry*, garis penghubung antar material.
- 3) *Material properties*, parameter masing-masing material.
- 4) *Initial condition*, pembagian material menjadi beberapa elemen.
- 5) *Calculation*, proses perhitungan material yang dianalisa.

Dalam program Plaxis ada beberapa jenis pemodelan tanah diantaranya adalah *Mohr-Coulomb*.

2. Model Tanah *Mohr-Coulomb*

Pemodelan *Mohr-Coulomb* digunakan pada jenis tanah yang bersifat plastis dengan nilai tegangan tidak dipengaruhi oleh regangan, berikut beberapa parameter yang digunakan dalam analisa:

a) Modulus elastisitas, (E)

Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT. Nilai modulus elastisitas yang dihubungkan dengan nilai SPT, sebagai berikut:

$$E_s = 10(N + 15) \text{ k/ft}^2 \quad (2.40)$$

Hasil hubungan yang diperoleh adalah modulus elastisitas undrained (E_s) sedangkan input yang dibutuhkan adalah modulus elastisitas (E_s'). Dengan menggunakan rumusan yang menggabungkan kedua modulus elastis tersebut, maka diperoleh yaitu:

$$E_s' = 0,8 E_s \quad (2.41)$$

dengan,

E = modulus elastisitas undrained (kN/m^2)

E_s' = modulus elastisitas efektif (kN/m^2)

N = nilai N-SPT

b) *Poisson ratio* (μ)

Nilai poisson rasio yang digunakan tergantung dari jenis tanah nilai poisson rasio dapat diperoleh dari Tabel 2.7.

c) Sudut geser dalam (ϕ) didapat dari hasil pengujian laboratorium

Menurut Pack, Hanson dan Thornburn, 1974. Hubungan sudut geser dalam (ϕ) dengan nilai SPT adalah:

$$\phi(\text{derajat}) = 27,1 + 0,3 N_{cor} - 0,00054 N_{cor}^2 \quad (2.42)$$

dengan,

N_{cor} = nilai N-SPT setelah dikoreksi

d) Kohesi (c) diperoleh dari hasil pengujian laboratorium

e) Sudut dilatasi sama dengan nol.

Sudut dilatasi terdapat pada jenis tanah dengan kepadatan relative (D_r) dan sudut geser dalam, yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\Psi = \phi - 30 \quad (2.43)$$

dengan,

Ψ = sudut dilatasi ($^\circ$)

ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$)

f) berat ini tanah (γ) diperoleh dari hasil pengujian laboratorium

3. Pemilihan parameter

Adapun proses pemasukan data pada software plaxis yaitu sebagai berikut:

1. Gambar material, pada tahapan ini dilakukan penggambaran untuk setiap material yang dianalisa sesuai dengan data analisa.
2. Penginputan material, pada tahapan ini data parameter yang diinput meliputi parameter tanah, tiang dan *pilecap*.
3. Masukkan data input tanah dan tiang pada material set, kemudian *mesh generated, generate water pressure*, tegangan efektif lalu kalkulasikan.
4. Proses kalkulasi yang dilakukan terdiri dari beberapa fase, yaitu:
 - a) *Initial phase*, sebagai kondisi awal tanah dengan waktu 0 hari.
 - b) Fase 1: *pemberian beban*, dengan kondisi plastik.
 - c) Fase 2: *phi/c reduction*, koreksi faktor aman.

d) Fase 3 : *consolidation, minimum pore pressure.*

e) Fase 4 : *phi/c reduction*, koreksi faktor aman.

2.2.2 Faktor Aman

Faktor aman digunakan untuk memperoleh kapasitas ijin tiang yang diperlukan untuk mengetahui besar kapasitas dukung masing-masing tiang. Faktor aman ini bertujuan:

1. Sebagai faktor kontrol untuk setiap metode hitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
3. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban bekerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977). Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor keamanan (SF) yang sesuai pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 10 Faktor keamanan

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (SF)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,4	2,8

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Daya dukung tiang pancang yang dianalisis adalah daya dukung tiang pancang pada proyek DEDC IAIN Mataram, khususnya pada gedung Multi Purpose Building. Analisa dilakukan menggunakan data lapangan berupa hasil pengujian SPT dan laboratorium test. Selain itu, penggunaan *software* plaxis dengan model 2D sebagai pembanding analisa statis. Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang beton pracetak ukuran 0,35 m x 0,35 m dengan mutu beton tiang pancang K-500. Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh data bahwa lapisan tanah bagian atas berupa tanah lanau kelempungan berpasir, warna kuning kecoklatan.

Adapun petunjuk peta dimana lokasi proyek pembangunan DEDC IAIN Mataram berada dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



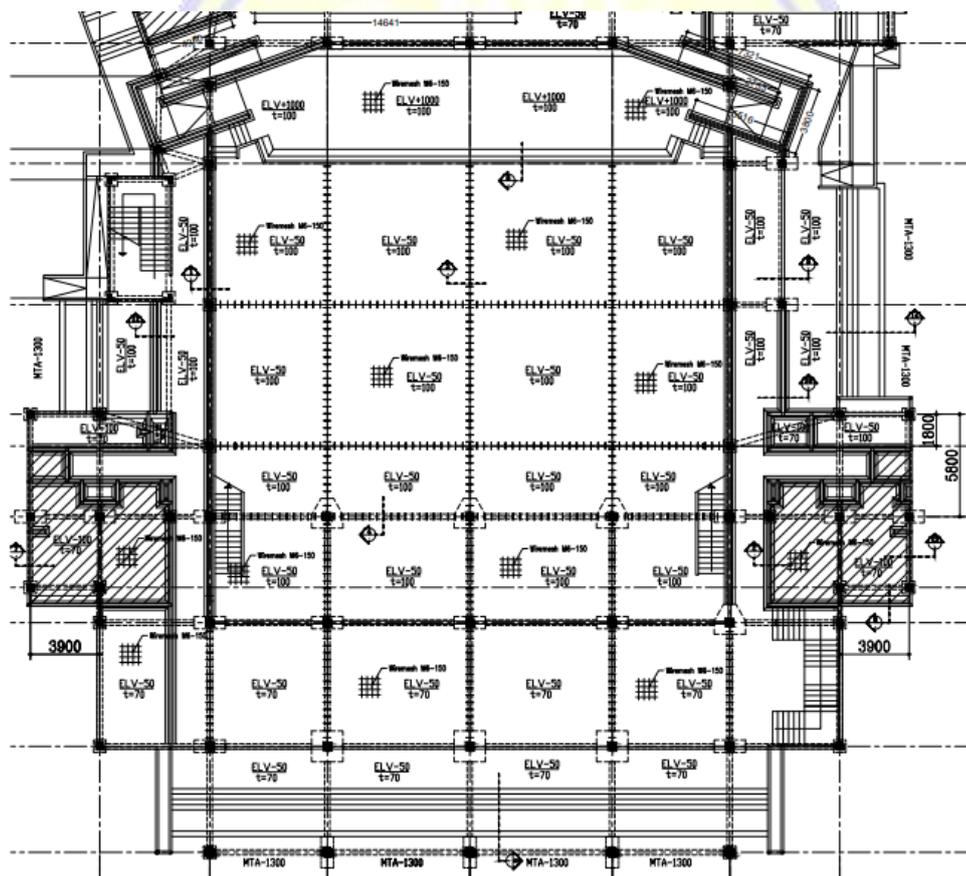
Gambar 3. 1 Peta lokasi proyek
(Sumber: Dokumentasi, 2023)

3.2 Data Penelitian

Data penelitian ini adalah data sekunder proyek DEDC IAIN Mataram khususnya gedung Multi Perpous Building yang meliputi:

1) Site Plan

Proyek DEDC IAIN Mataram khususnya gedung Multi Perpous Building, menggunakan tiang pancang beton pracetak ukuran 0,35 m x 0,35 m mutu beton tiang K-500, panjang tiang yang digunakan 16 m dengan total 75 titik.



Gambar 3. 2 Site Plan gedung Multi Perpous Building
(Sumber: Artefak, 2023)

2) Data parameter tanah

Parameter tanah dari hasil pengujian SPT dan laboratorium ini diambil dari penyelidikan tanah, dengan nilai E_s , ϕ dan Ψ sebagai berikut.

Pada kedalaman 2-4 m (pasir), dengan nilai N -SPT = 10 (koreksi)

1. Modulus elastisitas (E)

$$E_s = 10 (N + 15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)}$$

$$E_s = 10 (10 + 15)$$

$$E_s = 250 \text{ k/ft}^2 = 16758,09 \text{ kN/m}^2$$

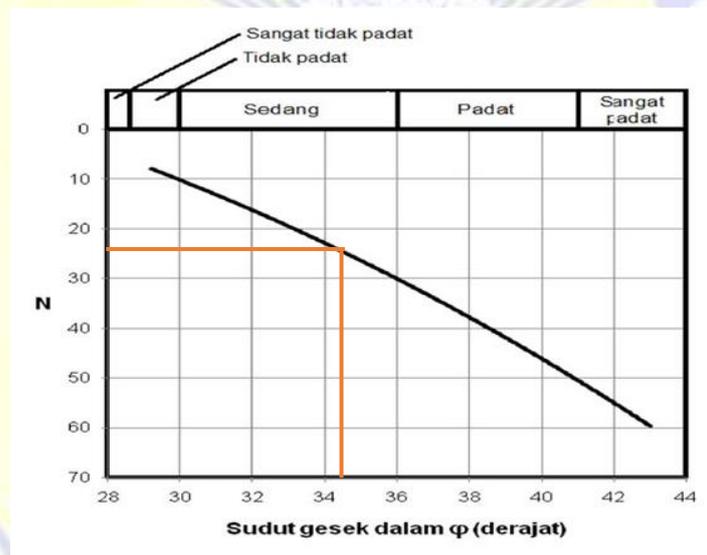
$$\text{Maka } E_s' = 0,8 E_s$$

$$E_s' = 0,8 \times 16758,09$$

$$E_s' = 13406,5 \text{ kN/m}^2$$

2. Sudut geser dalam (ϕ)

Hubungan antara ϕ dan N yang disarankan oleh peck, dkk (1974) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. 3 grafik hubungan ϕ' dan N -SPT

(Sumber: Peck et al., 1974 dalam Hardiyatmo, 2015)

Dengan nilai $N = 23$ maka diperoleh nilai ϕ sebesar $33,7^\circ$

Atau dengan

$$\phi \text{ (derajat)} = 27,1 + 0,3 N_{cor} - 0,00054 N_{cor}^2$$

$$\phi \text{ (derajat)} = 27,1 + 0,3 (10) - 0,00054 (10)^2$$

$$\phi \text{ (derajat)} = 30,05$$

3. Sudut dilantasi (Ψ)

$$\Psi = \varphi - 30$$

$$\Psi = 30,05 - 30$$

$$\Psi = 0,05$$



Tabel 3. 1 Parameter tanah titik BH-7

Lapisan ke -	Depth (m)	Jenis tanah dan konsistensi tanah	N	Tebal lapisan tanah (m)	Kedalam muka air tanah (m)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	Es' (kN/m ²)	Passion rasio (μ)	c (kN/m ²)	Φ	Ψ
1	0-4	CH	10	4	2	6,865	14,98	13406,5	0,3	26	30,05	0,05
2	4-13	SAND	35	9	-	8,630	18,43	14556	0,25	26	37	7
3	13-16	CH	8	3	-	7,845	14,98	12195	0,3	26	28,6	0
4	16-25	SAND	4	9	-	8,670	17,645	7278	0,25	26	28,2	0

3) Data tiang pancang

Data-data yang harus diketahui sebelum melakukan pemodelan pondasi tiang pancang yaitu terlebih dahulu harus mengetahui data-data teknis tiang pondasi tersebut.

Tabel 3. 2 Data tiang pancang

No	Keterangan	Nilai
1	Lokasi	DB-7
2	Jenis Pondasi Tiang	Pondasi tiang pancang
3	Ukuran Tiang (m)	= 0,35 x 0,35
4	Panjang Tiang (m)	= 12
5	Luas Penampang (m ²)	= 0,01225
6	Modulus Elastisitas (E)	= $4700\sqrt{41,5}$ = 30277,632 Mpa = 30.277.632 kN/m ²
7	Momen Inersia	= $1/12 \times b \times h^3$ = $1/12 \times 0,35 \times 0,35^3$ = 0,00125 m ⁴
8	EA (kN/m)	= E x A = 30.277.632 x 0,01225 = 3.709.010 kN
9	EI (kNm ² /m)	= E x I = 30.277.632 x 0,00125 = 37847,04 kNm ² /m
10	Angka poisson	0,2

4) Data *pilecap*

Data-data yang harus diketahui sebelum melakukan pemodelan *pilecap* yaitu terlebih dahulu harus mengetahui data-data teknis *pilecap* tersebut.

Tabel 3. 3 Data *pilecap*

No	Keterangan	Nilai
1	Bentu <i>pilecap</i>	Persegi
2	Ukuran <i>pilecap</i> (m)	= 1,75 x 1,75
3	Luas penampang (m ²)	= 3,0625
4	Modulus Elastisitas (E)	= 4700√41 = 30094,683 Mpa = 30.094.683 kN/m ²
5	Momen Inersia (I)	= 1/12 x b x h ³ = 1/12 x 1,75 x 1,75 ³ = 0,7815 m ⁴
6	EA (kN/m)	= E x A = 30.094.683 x 3,0625 = 92.164.966 kN
7	EI (kNm ² /m)	= E x I = 30.094.683 x 0,7815 = 23.518.994 kNm ² /m

3.3 Tahaan penelitian

Data penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

1. Tahapan pengumpulan data

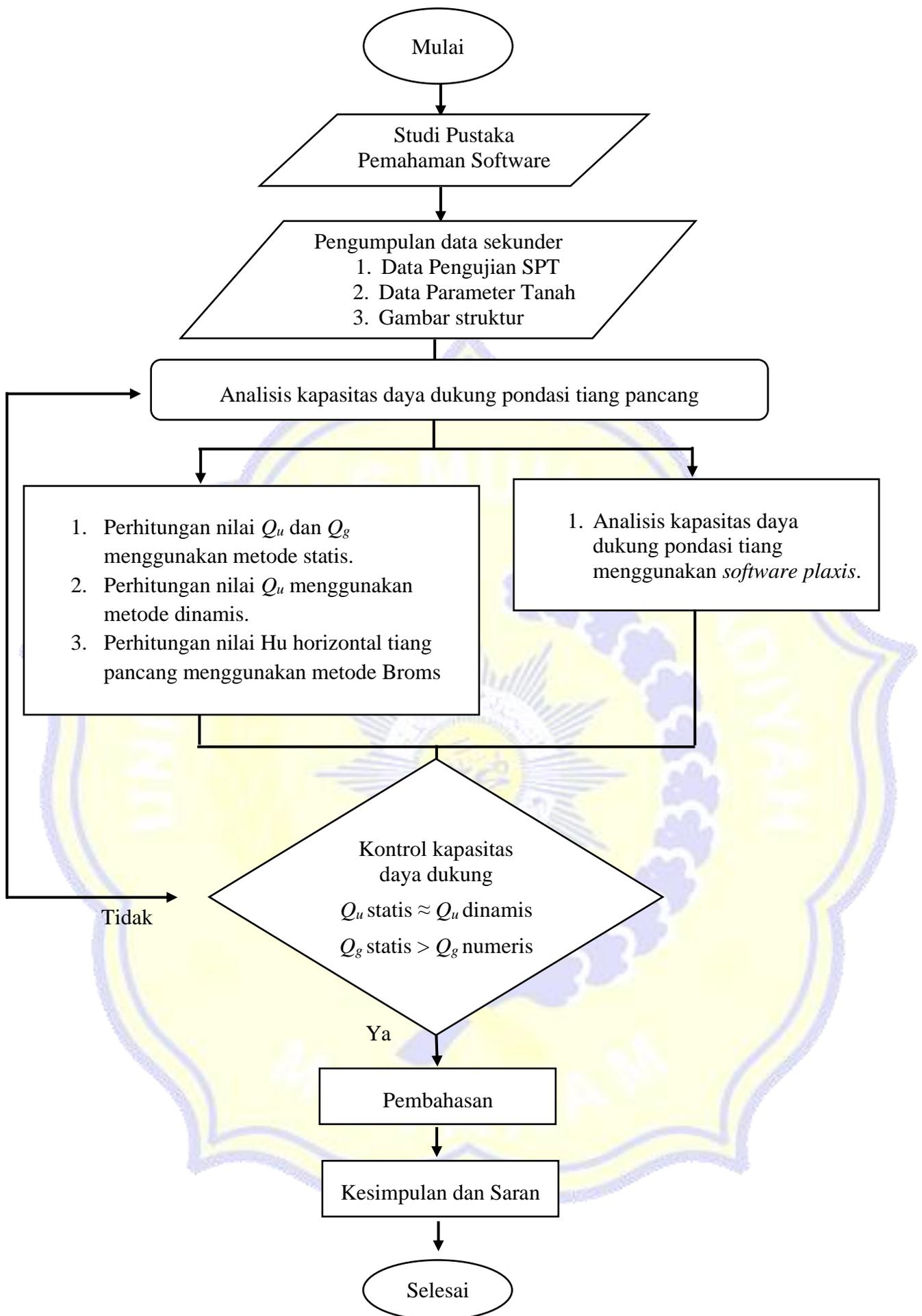
Pada tahapan ini meliputi tahapan pengambilan data seperti data hasil pengujian SPT, gambar struktur dan parameter tanah untuk kebutuhan analisis.

2. Tahapan pengolahan data statis, dinamis dan *software*

Perhitungan daya dukung tiang pancang statis berdasarkan data SPT yaitu perhitungan pada tanah kohesif dan granular untuk menentukan nilai Q_u dan Q_s sehingga didapat nilai Q_{ult} . Perhitungan daya dukung dinamis menggunakan rumus Hiley dan Janbu. Selain itu melakukan perhitungan daya dukung horizontal tiang pancang menggunakan metode Broms.

Menghitung besaran daya dukung dengan metode numeris menggunakan elemen hingga, dengan memodelkan parameter tanah dan tiang pancang pada program *Plaxis V8* kemudian membandingkan daya dukung metode statis dengan hasil *software plaxis*.

Adapun kerangka bagan alur penulisan dari awal hingga akhir penulisan dapat di lihat pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3. 4 Bagan alir metode pelaksanaan penelitian

3.4 Langkah-langkah perencanaan metode statis

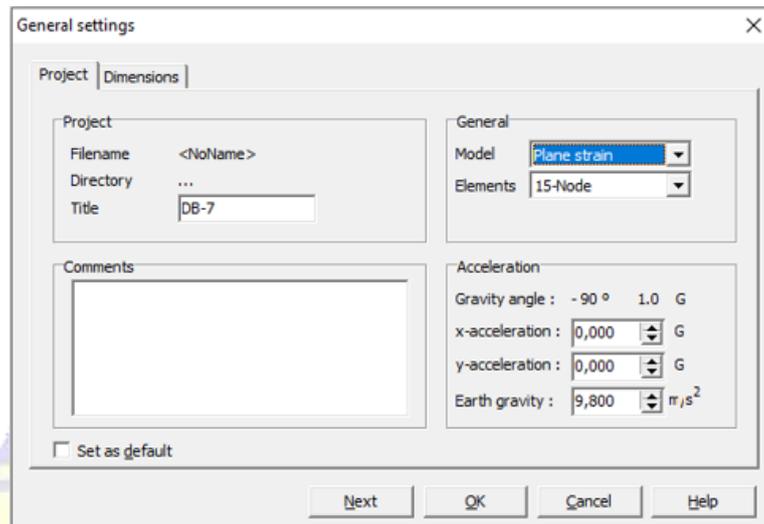
1. Lakukan penyelidikan tanah dilokasi perencanaan bangunan untuk mengetahui jenis dan kondisi tanah pada lokasi tersebut.
2. Menghitung kapasitas dukung ultimit tiang serta dilakukan pengecekan terhadap paktor aman.
3. Menghitung besar beban yang bekerja secara horizontal pada tiang.
4. Pemeriksaan apakah beban yang bekerja pada tiang yang disalurkan oleh struktur atas lebih kecil dari kekuatan tiang yang telah dihitung dengan faktor aman.

3.5 Langkah-Langkah Perencanaan Metode Dinamis

1. Lakukan penyelidikan terhadap proses pemancangan tiang di lapangan untuk mengetahui penetrasi alat pemancang yang digunakan.
2. Menghitung kapasitas beban ultimit tiang yang diperoleh dari proses pemancangan.
3. Melakukan perbandingan kapasitas beban ultimit metode dinamis dengan statis, dimana hasil metode dinamis harus mendekati hasil perhitungan yang statis.
4. Pemeriksaan apakah beban yang bekerja pada tiang yang disalurkan oleh struktur atas lebih kecil dari kekuatan tiang yang telah dihitung dengan faktor aman.

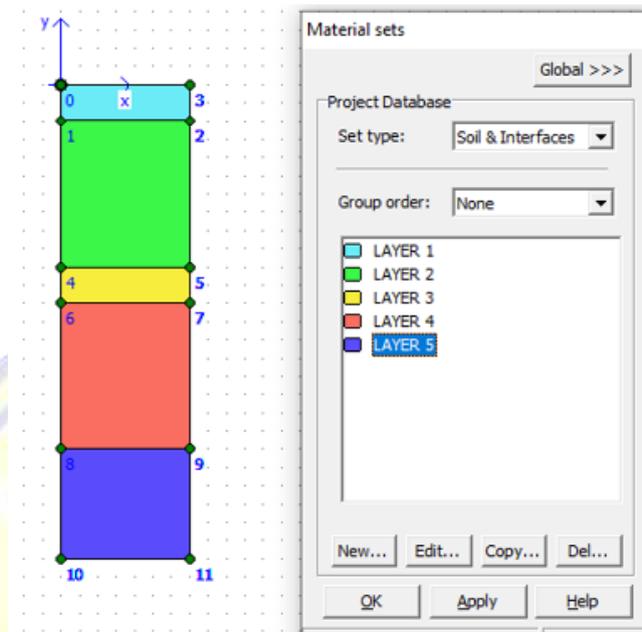
3.6 Langkah-Langkah Perencanaan Metode Numeris

1. Langkah pertama dalam setiap analisis yaitu mengatur parameter dasar dari model elemen hingga di jendela pengaturan global. Pemodelan tanah yang digunakan adalah *Mohr-Coulomb* dengan analisis *axisymmetric*.



Gambar 3. 5 Dialog pengaturan global (*general setting*) pada plaxis
(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

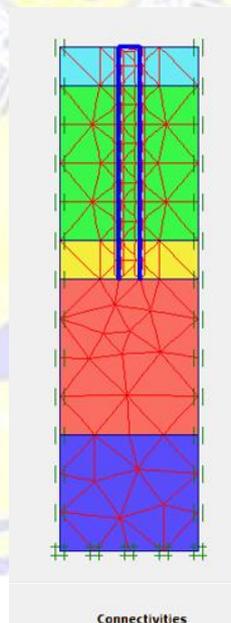
2. Pemodelan tanah digambar menggunakan perintah garis *geometry line*, setelah itu gambarkan dinding diafragma sebagai tiang dengan menggunakan perintah *beam*. Kemudian gunakan perintah *interfaces* untuk memisahkan kekakuan lebih dari satu elemen, kemudian input nilai bebannya. Untuk membentuk kondisi batas, klik perintah *standard fixities* maka akan terbentuk jepit penuh pada bagian dasar dan vertikal.
3. Kemudian masukan data material dengan menggunakan perintah *material set*. Untuk data tanah menggunakan perintah *soil & interface* pada *set type*, sedangkan data tiang pilih *plates* pada *set type*. Setelah itu seret data-data yang telah diinput ke dalam pemodelan geometri awal, seperti gambar berikut.



Gambar 3. 6 Penginputan data material tanah

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

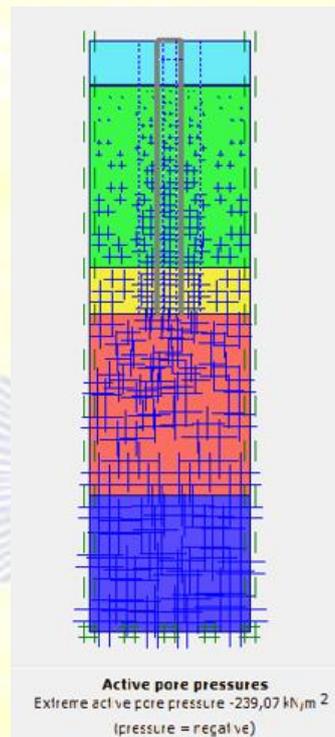
4. Kemudian klik perintah *Mesh generation*, untuk membagi elemen menjadi beberapa bagian yang beraturan sehingga memudahkan dalam perhitungan, diupdate.



Gambar 3. 7 *Update Mesh Generation* sebelum melakukan perhitungan

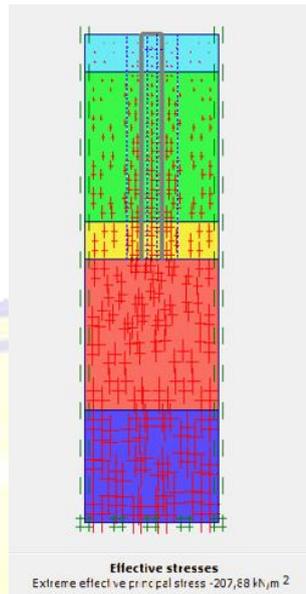
(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

Kemudian klik perintah *initial conditions* untuk memodelkan muka air tanah. Klik pada tombol *phreatic level* untuk menggambarkan keadaan muka air tanah. Kemudian klik perintah *generate water pressure* untuk mendefinisikan tekanan air tanah, kemudian setelah itu muncul diagram *active pore pressure*, lalu klik *initial pore pressure*, dan *generate pore pressure* maka akan muncul diagram untuk *effective stresses*.



Gambar 3. 8 Kondisi *Active pore pressure*

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

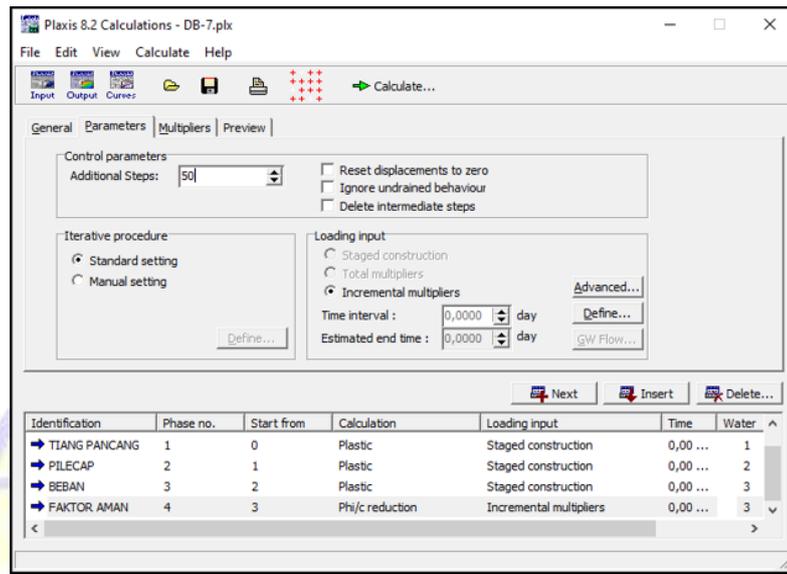


Gambar 3. 9 Kondisi *Effective stresses*

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

Initial stresses dan ok kemudian diupdate, akhirnya *calculate* dan akan muncul kotak dialog perhitungan.

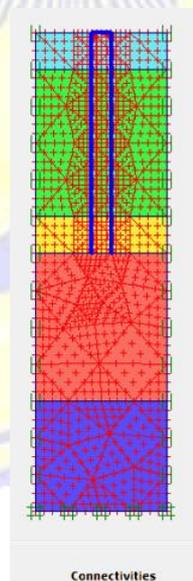
5. Dalam *window calculation* terdapat beberapa fase yang akan dikerjakan dari awal hingga akhir pemodelan sehingga diperoleh nilai ΣMsf .
 - a) Fase 1: penentuan *initial* fase sebagai kondaisi tanah awal. Pendefinisian tiang pancang dilakukan pada fase 1, dimana parameter dari fase 1 ini adalah *staged construction*, yang memodelkan sebuah konstruksi.
 - b) Fase 2: merupakan kondisi tanah awal, namun pendefinisian difase 2 ini adalah *pilecap*, karena penginputan nilai struktur *pilecap*.
 - c) Fase 3: merupakan fase yang digunakan untuk penginputan nilai beban serta lanjutan dari pemodelan konstruksi.
 - d) Fase 4: merupakan *phi/c reduction* yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi dimana berkurangnya nilai *phi* sebelum penurunan sehingga didapatkan angka aman, oleh sebab itu fase ini diberi nama faktor aman.



Gambar 3. 10 Fase pemodelan

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

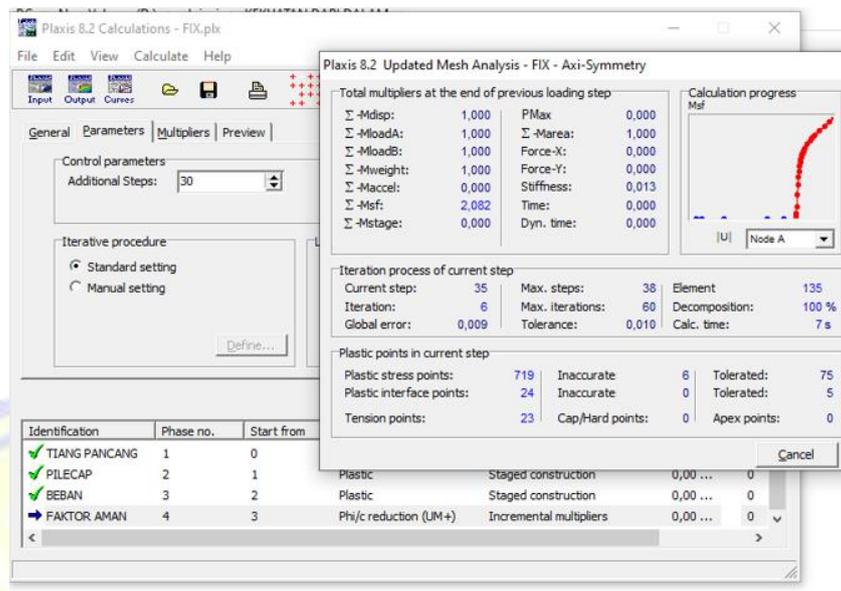
Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu lakukan pemilihan titik node sebagai titik yang ditinjau, titik node A yang terletak di ujung atas tiang dan diupdate. Dengan cara klik parameters, define, dan aktifkan beban dengan cara klik ujung beban dan update. Beban yang dimaksud beban ijin rencana yaitu sebesar 567,2 kN.



Gambar 3. 11 Pilihan titik node

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

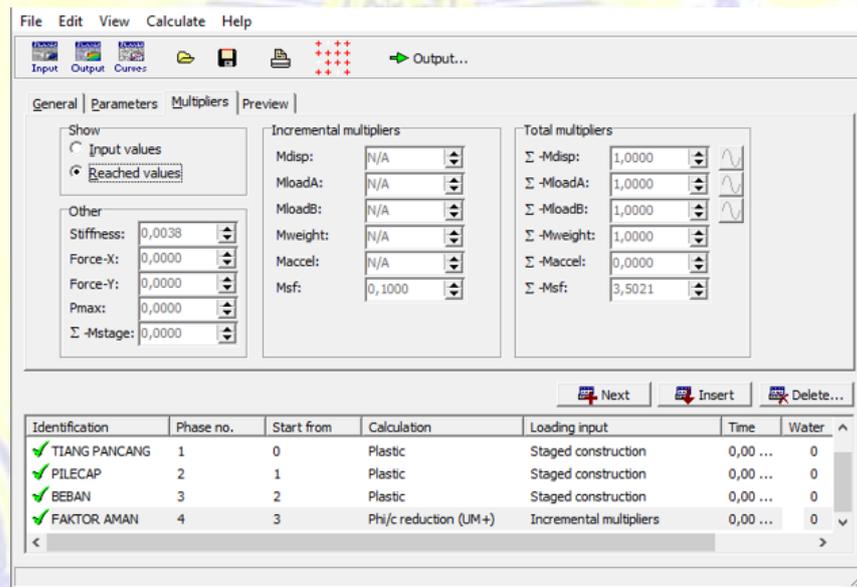
6. Kemudian proses *calculation* dapat dilakukan:



Gambar 3. 12 Kalkulasi

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

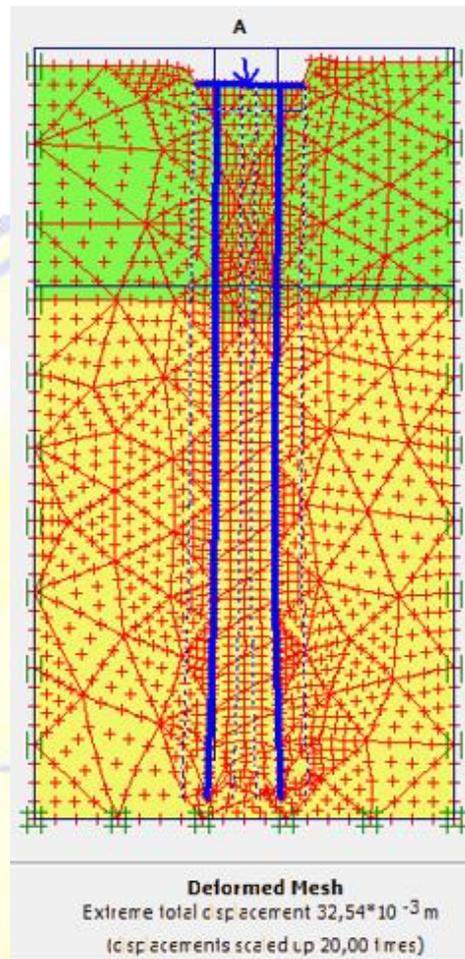
Setelah perhitungan berjalan sampai selesai, maka akan diperoleh nilai MSF seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3. 13 Hasil kalkulasi dan besaran nilai MSF

(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)

7. Kemudian klik output pada kanan atas untuk mengetahui nilai penurunan yang terjadi.



Gambar 3. 14 Output hasil penurunan
(Sumber: Plaxis 2D V.8, 2023)