

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI
TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN NILAI
STANDARD PENETRATION TEST (SPT) PADA PROYEK
JEMBATAN SICANANG, KEC. MEDAN BELAWAN**

SKRIPSI

DISUSUN:

MHD. ZAILANI SIDIK HRP

178110076



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2022

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 16/5/24

Access From (repository.uma.ac.id)16/5/24

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI
TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN NILAI
STANDARD PENETRATION TEST (SPT) PADA PROYEK
JEMBATAN SICANANG, KEC. MEDAN BELAWAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

MHD. ZAILANI SIDIK HRP

178110076



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2022

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Nilai *Standard Penetration Test* (SPT) Pada Proyek Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan
N a m a : Mhd. Zailani Sidik Hrp
N P M : 178110076
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh :
Komisi Pembimbing,



Ir. H. Irwan, MT
Pembimbing I



Denny M. Hutauruk, S.T., M.T
Pembimbing II



Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T
Dekan



Tika Ernita Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal lulus : 02 Agustus 2022

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MHD. ZAILANI SIDIK HRP
NPM : 178110076
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Nilai *Standard Penetration Test (SPT)* Pada Proyek Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 02 Agustus 2022
Yang menyatakan



(Mhd.Zailani Sidik Hrp)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pekanbaru Pada tanggal 21 September 1998 dari Ayah Selamat Riadi Harahap dan Ibu Sani Royani Penulis merupakan putra ke 2 dari 5 bersudara. Tahun 2016 Penulis lulus dari SMKS PENGALIHAN dan pada tahun 2017 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. pada tahun 2020 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di proyek Pembangunan Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini berjudul **“Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Nilai Standard Penetration Test (SPT) Pada Proyek Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan”** Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir, H.Irwan, M.T. selaku dosen pembimbing I, Bapak Denny M. Hutauruk, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Mhd.Zailani Sidik Hrp)

ABSTRAK

Jembatan sicanang merupakan salahsatu akses keluar masuk warga untuk menyeberangi aliran sungai yang memisahkan Kelurahan Belawan Sicanang dan Kelurahan Belawan Bahari, dengan bentang 60m dan lebar 6m dengan 1 jalur 2 lajur. Jembatan tersebut dibangun diatas muara sungai yang mengalir langsung ke laut. Berdasarkan hasil pnyelidikan tanah dapat diketahui bahwa lapisan tanah keras yang mampu memikul beban dari struktur atas berada pada kedalaman 63m, sehingga diperlukanya menggunakan pondasi dalam yakni pondasi tiang pancang. Dalam penulisan tugas akhir ini daya dukung dan penurunan tiang pancang akan dianalisis dengan menggunakan beberapa metode. Daya dukung aksial berdasarkan data *Standard Penetration Test* (Meyerhof), daya dukung aksial dengan data kalendering (Danish formula, Hiley, dan ENR), daya dukung kelompok dengan memperhitungkan efisiensi tiang (Converse-labare), daya dukung lateral dengan data hasil uji laboraturium (Broms), dan penurunan tiang kelompok (Meyerhof). Analisis daya dukung aksial pondasi tiang tunggal pada kedalaman 63m dengan data SPT diperoleh 262,48Ton, analisis daya dukung aksial pondasi tiang tunggal dengan data kalendering diperoleh 256,40Ton (Danish Formula), 362,97Ton (Hiley), dan 419,24 (ENR). Efisiensi tiang kelompok diperoleh 0,752 sehingga daya dukung aksial tiang kelompok diperoleh 2368,61, analisis daya dukung lateral (Hu) secara analitis dan grafis diperoleh 13,636Ton dan 15,41Ton, analisis penurunan tiang pancang kelompok diperoleh 3,37mm, dimana hasil ini masih memenuhi batas penurunan yang diijinkan sebesar 6cm.

Kata Kunci: Daya dukung pondasi tiang Pancang, penurunan pondasi tiang pancang, SPT.

ABSTRACT

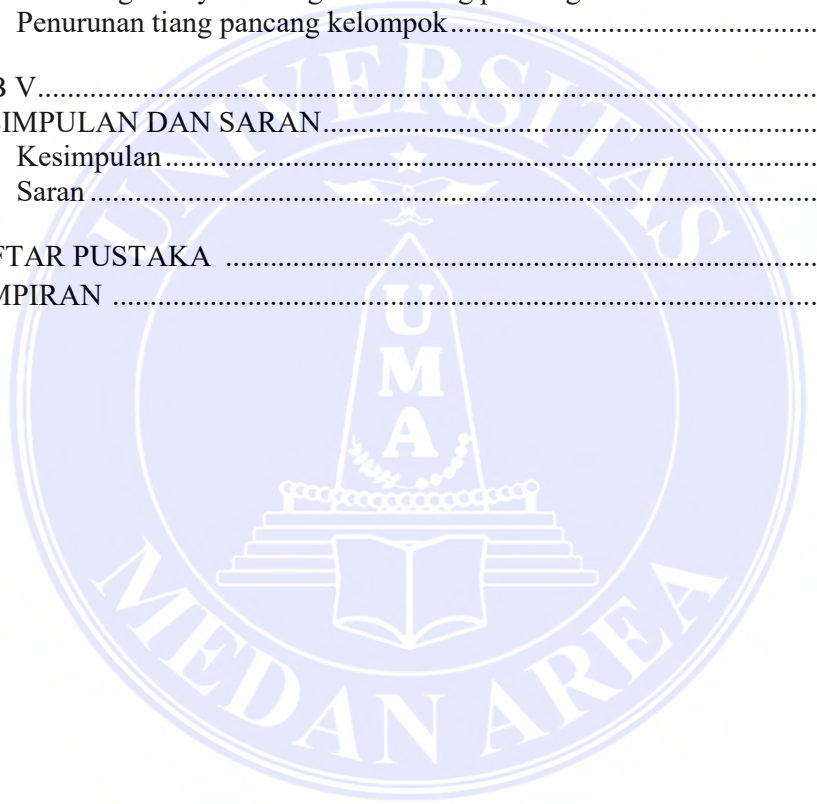
The Sicanang bridge is one of the entry and exit access for residents to cross the river that separates Belawan Sicanang Village and Belawan Bahari Village, with a span of 60m and a width of 6m with 1 lane and 2 lanes. The bridge was built over the mouth of a river that flows directly into the sea. Based on the results of the soil investigation, it can be seen that the hard soil layer capable of carrying the load from the superstructure is at a depth of 63m, so it is necessary to use a deep foundation, namely a pile foundation. In writing this final project, the bearing capacity and settlement of piles will be analyzed using several methods. Axial bearing capacity based on Standard Penetration Test (Meyerhof) data, axial bearing capacity using calendaring data (Danish formula, Hiley, and ENR), group bearing capacity taking into account pile efficiency (Converse-labare), lateral bearing capacity using laboratory test data (Broms), and pile group drop (Meyerhof). Analysis of the axial bearing capacity of single pile foundation at a depth of 63m with SPT data obtained 262.48Ton, analysis of axial bearing capacity of single pile foundation with calendaring data obtained 256.40Ton (Danish Formula), 362.97Ton (Hiley), and 419.24 (ENR). The efficiency of group piles is 0.752 so that the axial bearing capacity of group piles is 2368.61, analysis of lateral bearing capacity (Hu) is analytically and graphically obtained 13,636Ton and 15,41Ton, analysis of group pile settlement is obtained 3,37mm, where these results still meet the allowable drop limit is 6cm.

Keywords: *Bearing capacity of pile foundation, settlement of pile foundation, SPT.*

DAFTAR ISI

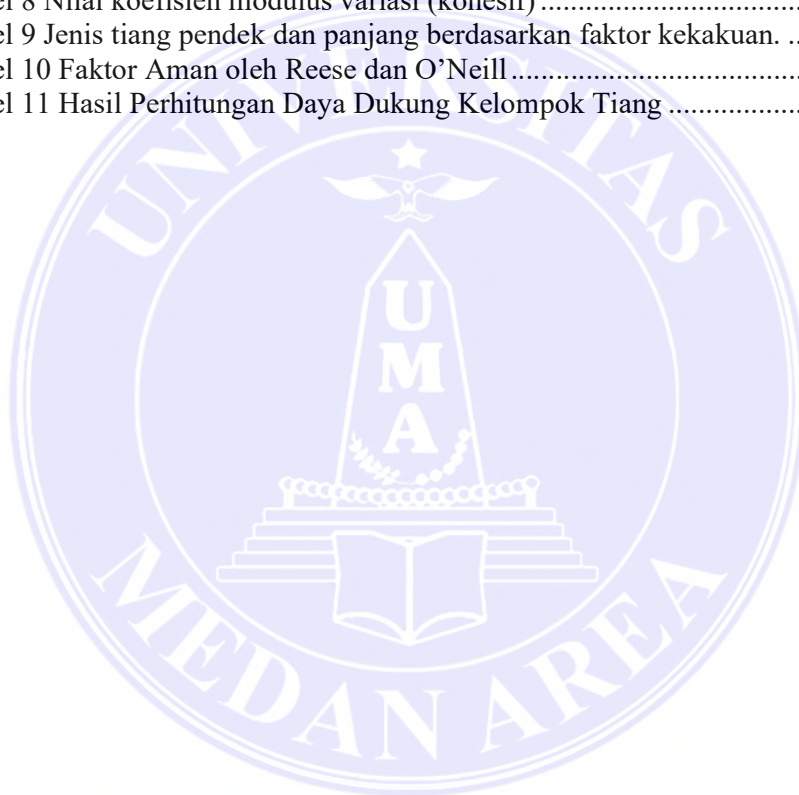
	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Tanah	6
2.3 Penyelidikan Tanah	8
2.3.1 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i>	8
2.3.2 <i>Cone Penetration Test (CPT)</i>	10
2.4 Pondasi	11
2.4.1 Pondasi Tiang Pancang.....	11
2.4.2 Alat Pondasi Tiang Pancang	15
2.5 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang	17
2.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Dengan SPT.....	18
2.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Data Kalendering.....	22
2.5.3 Daya Dukung Kelompok Tiang.....	25
2.5.4 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang.....	26
2.6 Penurunan Pondasi Tiang Pancang.....	36
2.7 Faktor Aman.....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1. Lokasi Penelitian	40
3.2. Waktu Penelitian.....	41

3.3. Pengumpulan Data.....	41
3.4. Tahapan Penelitian.....	41
3.5. Analisis Data.....	42
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	44
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Perhitungan daya dukung aksial pondasi tiang pancang dengan data SPT .	45
4.1.1 Perhitungan daya dukung tiang pancang pada tanah kohesif.....	46
4.1.2 Perhitungan daya dukung tiang pancang pada tanah non-kohesif	49
4.2 Perhitungan daya dukung aksial pondasi tiang pancang dengan data kalendering	60
4.3 Perhitungan daya dukung kelompok dengan efisiensi tiang.....	62
4.4 Perhitungan daya dukung lateral tiang pancang	64
4.5 Penurunan tiang pancang kelompok.....	69
BAB V.....	72
KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN	xv



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Spesifikasi tipikal untuk berat massa palu minimum.....	16
Tabel 2 Spesifikasi alat diesel hammer.....	16
Tabel 3 Karakteristik alat pancang diesel hammer	24
Tabel 4 Nilai efisiensi palu	24
Tabel 5 Nilai koefisien restitusi	24
Tabel 6 Nilai-nilai k_1 yang disarankan oleh Tezaghi (1955).....	27
Tabel 7 Nilai koefisien modulus variasi (granuler $c = 0$)	28
Tabel 8 Nilai koefisien modulus variasi (kohesif)	28
Tabel 9 Jenis tiang pendek dan panjang berdasarkan faktor kekakuan.	29
Tabel 10 Faktor Aman oleh Reese dan O'Neill	39
Tabel 11 Hasil Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang	64



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 2 Penetrasi dengan SPT.....	9
Gambar 3 Skema Alat Sondir Dan Cara Kerja Alat	11
Gambar 4 Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang	13
Gambar 5 Tampang melintang tiang baja profil	15
Gambar 6 single acting diesel hammer	17
Gambar 7 Hubungan antara faktor adhesi dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (Tomlinson, 1977).....	21
Gambar 8 Tiang Kelompok.....	25
Gambar 9 Tiang ujung bebas dalam tanah granular untuk tiang pendek.....	30
Gambar 10 Tahanan lateral ultimit tiang tanah granuler untuk tiang pendek.....	31
Gambar 11 Tiang ujung bebas dalam tanah granular untuk tiang panjang.....	32
Gambar 12 Tahanan lateral ultimit pada tanah granuler untuk tiang panjang	33
Gambar 13 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang pendek.....	33
Gambar 14 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang sedang	35
Gambar 15 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang panjang.....	35
Gambar 16 Peta lokasi penelitian.....	40
Gambar 17 Gambar Detail Titik Pancang Abutmen 1	41
Gambar 18 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 19 Grafik N-SPT	45
Gambar 20 Denah Kelompok Tiang	62
Gambar 21 Mekanisme Keruntuhan Tiang Ujung Jepit Dalam Tanah Granular Untuk Tiang Panjang	65
Gambar 22 Gambar perkiraan penyebaran beban ke lapisan tanah pendukung dibawahnya	69

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat proses membangun sebuah jembatan khususnya pada struktur bangunan bawah item pekerjaan antara satu dengan yang lainnya akan saling berhubungan dimulai dengan pekerjaan pondasi kemudian dilanjutkan dengan abutmen. Pondasi akan sangat berperan penting untuk keberhasilan pembangunan sebuah jembatan, untuk memperlancar proses pembangunan erat kaitannya dengan pemilihan jenis pondasi yang sesuai, maka sangat diperlukan perencanaan yang baik terlebih dahulu. Pondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban-beban dari struktur bangunan atas kelapisan tanah pendukung (*bearing layers*) dibawahnya pada kedalaman tertentu. Pondasi bekerja sama dengan bagian struktur bangunan yang lain dalam menahan beban. Dengan adanya pondasi, penurunan struktur bangunan dapat banyak dikurangi dan walaupun terjadi penurunan bangunan maka akan seragam, hal tersebut terjadi secara bersama-sama di semua lokasi sehingga tidak membahayakan struktur bangunan.

Pondasi secara umum dapat dibagi dalam dua jenis yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. “Pondasi dangkal adalah apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi dan anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke lapisan tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi ke lapisan tanah dibawahnya. Sedangkan pondasi dalam adalah struktur bawah suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan beban-beban yang bekerja pada struktur bagian atas untuk disalurkan ke lapisan tanah keras yang berada jauh dibawah permukaan tanah, suatu pondasi dapat dikatakan Pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi lebih dari sepuluh ($Df/B > 10$)” (Terzaghi ;1943 dalam Martini (2009)). Material pondasi dalam bisa dari kayu, baja, beton bertulang, dan beton pratekan.

Dalam merencanakan sebuah pondasi haruslah mempertimbangkan karakteristik tanah sebagai dasar kajian agar didapatkan desain pondasi yang sesuai. Pondasi yang digunakan pada proyek pembangunan jembatan Sicanang

Kec.Medan Belawan menggunakan pondasi dalam yaitu tiang pancang yang nantinya akan berfungsi sebagai dudukan abutmen. Pertimbangan dalam penggunaan pondasi tiang pancang karena mengingat bahwa jenis pondasi dalam yang dapat memikul beban yang cukup besar, dan berdasarkan fungsi dari pada jembatan itu sendiri untuk kepentingan umum dalam masa layanan jangka waktu panjang. Penelitian ini nantinya akan berfokus pada daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan metode analitis pada pembangunan jembatan Sicanang Kec.Medan Belawan, sebelum proses pembangunan dimulai terlebih dahulu dilakukan penyelidikan tanah yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah, struktur lapisan tanah, jenis tanah, dan sifat-sifat mekanis tanah. Data tersebut nantinya akan digunakan untuk analisis penentuan daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang.

Berdasarkan uraian diatas penulis mengambil judul penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Nilai *Standard Penetration Test* (SPT) Pada Proyek Jembatan Sicanang, Kec. Medan Belawan.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Berapakah daya dukung aksial pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan jembatan Sicanang Kec.Medan Belawan?
2. Berapakah besarnya daya dukung kelompok tiang pancang?
3. Berapakah daya dukung lateral tiang pancang?
4. Berapakah penurunan yang terjadi pada kelompok tiang?

1.3 Lingkup Penelitian

Untuk memberikan arah yang lebih baik, dan guna untuk menghindari melebarnya permasalahan, maka untuk itu penulis memberi batasan ruang lingkup pada penelitian ini, yaitu :

1. Lokasi penelitian tugas akhir ini jembatan titi dua Sicanang – Medan Belawan pada abutmen 1.
2. Perhitungan daya dukung aksial tiang pancang berdasarkan data hasil pengujian tanah dengan menggunakan metode Meyerhof, yang diperoleh dari proyek pembangunan jembatan Sicanang Kec.Medan Belawan.
3. Perhitungan daya dukung aksial dengan data kalendering menggunakan metode Danish Formula, Hiley, dan Modified New Engineering News Record (ENR).
4. Perhitungan efisiensi tiang untuk menentukan daya dukung kelompok tiang menggunakan metode Converse-Labarre.
5. Perhitungan penurunan tiang pancang kelompok menggunakan metode Meyerhof.
6. Perhitungan daya dukung lateral menggunakan metode Broms.
7. Nilai ataupun koefisien yang tidak terdapat pada data sekunder diperoleh dari referensi-referensi dan sumber yang tersedia.

1.4 Maksud dan Tujuan

1. Maksud

Secara umum maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung ultimit tiang dan penurunan yang terjadi pada proyek pembangunan jembatan Sicanang Kec.Medan Belawan.

2. Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini untuk mendapatkan besarnya nilai daya dukung aksial tunggal dan kelompok, daya dukung lateral, serta penurunan tiang kelompok yang terjadi pada pondasi tiang pancang di proyek pembangunan jembatan Sicanang Kec.Medan Belawan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan bagi para pembaca serta sebagai bahan referensi tambahan mengenai daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang.
2. Menambah pengetahuan praktis tentang ketekniksipilan khususnya pada bidang ilmu geoteknik.
3. Dapat dijadikan bahan perbandingan dalam mendesain ulang suatu konstruksi pondasi tiang pancang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Ahmad Fadli Lubis (2019) Penelitain Ahmad Fadli Lubis yakni “Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Secara Analitis dan Numeris Pada Proyek Jalan Tol Medan-Binjai Seksi IA Jembatan Sei Deli STA 1+600”. Tujuan dari penelitian tersebut adalah menghitung dan membandingkan daya dukung ultimit pondasi tiang pancang secara analitis dan numeris, Secara analitis menggunakan data SPT (*Standard Penetration Test*), data Kalendering, data PDA (*Pile Dynamic Analyzer*), dan secara numeris menggunakan program Plaxis.

Santa Vera Novita Br Ginting (2018) yang berjudul “Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Overpass Sei Semayang STA. 0+350 Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai” yaitu menghitung daya dukung pondasi tiang pancang dari hasil sondir, menghitung kapasitas daya dukung izin pondasi, dan perhitungan struktur bangunan atas jembatan.

Muhammad Fahri Dirgananta (2018) Penelitian Muhammad Fahri Dirgantara berjudul “Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Meyerhoff, Aoki & De alencer, Dan Luciano”. Adapun tujuan penelitian tersebut adalah mengetahui perbandingan daya dukung pondasi eksisting (bored pile pada proyek) dengan desain pondasi tiang pancang menggunakan variasi diameter 0,3, 0,4, 0,5 m, dan panjang tiang 22 m.

Astrya Simalango (2016) Penelitian Astrya Simalango berjudul “ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG DENGAN METODE ANALITIS DAN METODE ELEMEN HINGGA PADA BORE HOLE II”. Penelitian tersebut bertujuan untuk menghitung nilai daya dukung ultimit aksial tiang pancang diameter 40 cm dengan metode Meyerhoff dari data Sondir dan SPT pada Bore Hole II, serta dengan data PDA dan kelendering (*Dynamic Formula*), dan menghitung daya dukung ultimate dan penurunan tiang

pancang pada Bore Hole II dengan diameter 40 cm menggunakan program metode elemen hingga dengan pemodelan tanah pasir dan Mohr Coulomb.

2.2 Tanah

Definisi tanah dapat diartikan sebagai sebuah material yang tersusun dari campuran butir-butir mineral padat yang tidak terikat secara kimia dengan bahan organik lain yang telah melapuk. Material tanah berasal dari pelapukan batuan, merupakan sebuah proses penguraian yang dialami oleh bebatuan sehingga menjadi partikel-partikel kecil akibat proses mekanis baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis yang dimiliki oleh tanah tidak hanya dipengaruhi oleh material pembentuknya (bebatuan), tetapi juga dipengaruhi oleh unsur lain yang membuat bebatuan tersebut lapuk. Adapun fungsi tanah dalam dunia teknik sipil berguna untuk mendukung pondasi dalam menahan beban yang bekerja di atasnya dan juga berat struktur itu sendiri, maka seorang ahli teknik sipil harus mampu memahami sifat-sifat dasar pada tanah, seperti penyebaran ukuran butiran, permeabilitas, kekuatan geser, dan daya dukung. Suatu jenis tanah biasanya terdiri dari dua campuran jenis tanah atau lebih, kemudian campuran pada tanah dipakai sebagai nama belakang dari unsur utama tanah. Contoh, pasir berlanau merupakan tanah berpasir yang mengandung lanau dengan pasir sebagai material utamanya dan lanau sebagiannya.

2.2.1 Identifikasi Tanah

Ukuran partikel yang dominan pada suatu tanah digunakan untuk mengklasifikasikan tanah kedalam beberapa kelompok seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), bergantung dengan ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah itu dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu analisis mekanis. Selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990). Klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah yang memiliki kesamaan properti, dari berbagai macam jenis tanah cenderung ada yang memiliki properti serupa sehingga perilaku tanah tersebut sama. Tanah dapat di

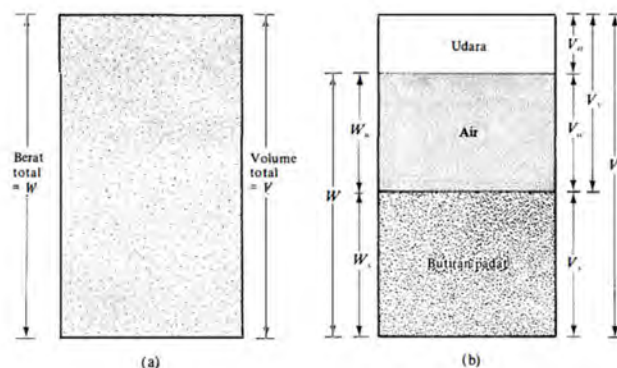
klasifikasikan berdasarkan ukuran butirannya. Berikut klasifikasi tanah berdasarkan ASTM D2487 :

1. Kerikil adalah butiran lolos ayakan 3 inci (75 mm) dan tertahan ayakan no.4 (4,75mm).
2. Pasir adalah butiran lolos ayakan no.4 (4,75mm) dan tertahan ayakan no.200 (0,075mm).
3. Lanau adalah butiran lolos ayakan no.200 (0,075mm). Lanau termasuk tanah yang berbutir halus, atau bagian tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas kurang dari 4.
4. Lempung adalah butiran lolos ayakan no.200 (0,075mm). Lempung termasuk tanah yang berbutir halus, atau bagian tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas sama atau lebih besar dari 4.

Cara membedakan antara tanah lanau dan lempung telah diberikan oleh Peck, dkk. (1953), yaitu dengan mengambil tanah basah yang dicetak dan dikeringkan, kemudian dipecah ke dalam fragmen-fragmen kira-kira berukuran 1/8 inci (3,1mm) dan ditekan di antara jari telunjuk dan ibu jari. Fragmen lempung hanya dapat pecah jika ditekan dengan usaha yang relatif besar, sedangkan fragmen lanau dapat pecah dengan mudah bila ditekan.

2.2.2 Kadar Air, Angka Pori, Porositas, dan Berat Volume Tanah

Komponen penyusun tanah terdiri dari 3 bagian udara, air, dan butiran padat. Secara teknis udara tidak memiliki pengaruh terhadap tanah, beda halnya dengan air yang akan sangat berpengaruh terhadap sifat teknis suatu tanah. Setiap rongga pada butiran tanah baik keseluruhan maupun sebagiannya dapat terisi oleh air atau udara. Tanah dikatakan jenuh air apabila rongga pada tanah dipenuhi oleh air keseluruhannya. Adapun kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*) terjadi apabila rongga terisi air dan udara. Untuk kondisi tanah kering terjadi apabila tanah tersebut tidak memiliki kandungan air sama sekali atau kadar airnya nol. Hubungan antara kadar air, angka pori, porositas, berat volume, dan lain-lainnya tersebut dapat digambarkan kedalam diagram fase. Gambar 1 memperlihatkan kondisi tanah beserta komponen-komponennya.



Gambar 1. Diagram Fase Tanah (M.Das, 1995)

2.3 Penyelidikan Tanah

Dalam mendesain sebuah pondasi dibutuhkan data hasil penyelidikan tanah. Penyelidikan dilakukan untuk memperoleh karakteristik tanah serta keadaan geologi, sifat atau perilaku tanah, dan daya dukung. Agar suatu tanah dapat memberikan daya dukung terhadap beban yang dipikul oleh pondasi maka penyelidikan yang dilakukan harus mencapai kedalaman dimana tanah mampu memberikan daya dukung terhadap beban. Beberapa cakupan dalam penyelidikan tanah antara lain, pengeboran, pengambilan sampel, pengujian lapangan dan laboratorium. Penyelidikan lapangan seperti *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (Sondir). Sedangkan penyelidikan laboratorium seperti uji *index propertis* tanah (*Atterberg Limit*, *Specific Gravity*, *Water Content*, *Sieve analysis*) dan *engineering properties* tanah (*Direct Shear test*, *Triaxial Test*, *Consolidation Test*, *Permeability Test*, *Compaction Test*, dan *CBR*).

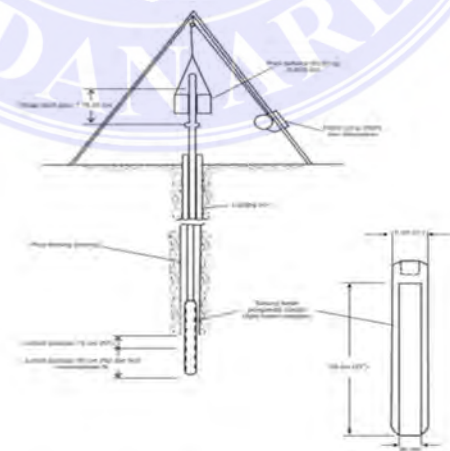
2.3.1 *Standard Penetration Test* (SPT)

Salah satu pengujian lapangan yang sangat populer dan sering digunakan adalah uji *Standart Penetration Test* (SPT), Joseph E. Bowles mengungkapkan bahwa Standart Penetration Test (SPT) merupakan pengujian penembusan tanah yang paling ekonomis dan populer untuk mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. Uji SPT merupakan sebuah percobaan dinamis dengan menggunakan alat tabung yang dapat dibelah (*split tube*, *split spoon*) yang dilengkapi dengan driving shoe agar tidak mudah rusak pada saat penetrasi. Dengan percobaan ini akan

diperoleh kerapatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N).

Prosedur pengujian SPT adalah :

1. Lubang bor disiapkan sampai kedalaman uji yang diinginkan.
2. Memasukkan alat split sampler secara tegak lurus.
3. Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m sampai dengan 2,00 m atau sesuai keperluan.
4. Tarik hammer dengan tinggi jatuh bebas hammer adalah 30 inci (75 cm). Hammer yang dipakai mempunyai berat 140 lbs (63,5 kg).
5. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan.
6. Ulangi langkah 4 dan 5 berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
7. Pada penetrasi 15 cm yang pertama, hitung jumlah pukulan atau tumbukan N.
8. Ulangi langkah 4, 5, 6, dan 7 sampai pada penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga.
9. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.
10. Bila nilai N lebih besar dari pada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.

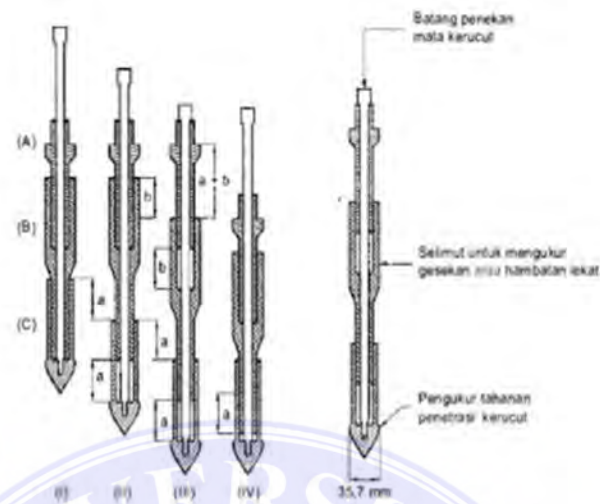


Gambar 2 Penetrasi dengan SPT
Sumber : SNI 4153-2008

2.3.2 Cone Penetration Test (CPT)

Penyondiran dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai perlawanan penetrasi pada tanah ketika alat sondir dimasukan secara tegak lurus ke dalam tanah. Bagian utama alat ini adalah sebuah kerucut terbalik atau konus yang terbuat dari logam dengan ujung bersudut 60° luas dasar 10cm^2 . Berikut langkah-langkah dalam pelaksanaan uji sondir :

1. Tentukan terlebih dahulu titik yang akan dilakukan penyondiran.
2. Angker dipasang dan diatur sedemikian rupa sehingga mesin sondir tegak lurus dilokasi yang akan dilakukan pemeriksaan, kemudian dipasang manometer.
3. Ruang hidrolis diisi dengan minyak oli sampai penuh, sampai bekerjanya tekanan yang sempurna.
4. Bikonus dipasang pada ujung pipa pertama mesin sondir tepat pada lubang yang telah dipersiapkan.
5. Rangkaian pipa pertama dipasang pada mesin sondir tepat pada lubang yang telah dipersiapkan secara tegak lurus.
6. Pipa ditekan sambil berjalan memutar stang, ini bertujuan untuk memasukan alat bikonus menembus lapisan permukaan tanah. Setelah pipa masuk pada kedalaman 20cm pemutaran stang dihentikan. Lanjutkan kembali pemutaran stang guna menekan besi isi pipa. Pada saat penekanan akan bergerak ke bawah sedalam 4 cm, dan jarum manometer akan bergerak. Tekanan pada manometer dicatat, tekanan ini yang dimaksud dengan perlawanan penetrasi konus.



Gambar 3 Skema Alat Sondir Dan Cara Kerja Alat
Sumber : Bowles, 1997

2.4 Pondasi

Pondasi adalah bagian yang terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau bebatuan yang berada di bawahnya (Hary, 1996). Penggunaan istilah struktur atas untuk menjelaskan suatu sistem rekayasa struktur yang bekerja menyalurkan beban kepada pondasi dan akan diteruskan kelapisan tanah pendukung (*bearing layers*) dibawahnya pada kedalaman tertentu. Dalam mendukung beban yang bekerja diatasnya pondasi akan dibantu dengan bagian struktur lainnya. Peran pondasi menjadi sangat penting untuk mengurangi penurunan yang terjadi, apabila terjadi penurunan maka akan sangat kecil dan seragam. Penurunan yang terjadi akan sama disetiap lokasinya sehingga tidak akan berbahaya untuk struktur bangunan.

2.4.1 Pondasi Tiang Pancang

Dalam mendesain sebuah struktur bangunan apabila lapisan tanah keras yang mampu mendukung beban bangunan yang bekerja diatasnya terletak jauh dibawah tanah maka diperlukan penggunaan pondasi dalam, yang termasuk kedalam kategori pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar

pondasi lebih dari sepuluh ($Df/B > 10$). Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam, kegunaan pondasi tiang pancang adalah menyalurkan beban yang bekerja pada struktur atas kelapisan tanah pendukung pada kedalaman tertentu. Selain itu juga dapat digunakan pada struktur bangunan yang menahan gaya lateral seperti gedung pencakar langit yang menahan gaya angin untuk menghindari gaya angkat ke atas, dan juga dapat menahan gaya benturan kapal serta pengaruh gelombang air pada bangunan dermaga.

Kegunaan pondasi tiang adalah sebagai berikut :

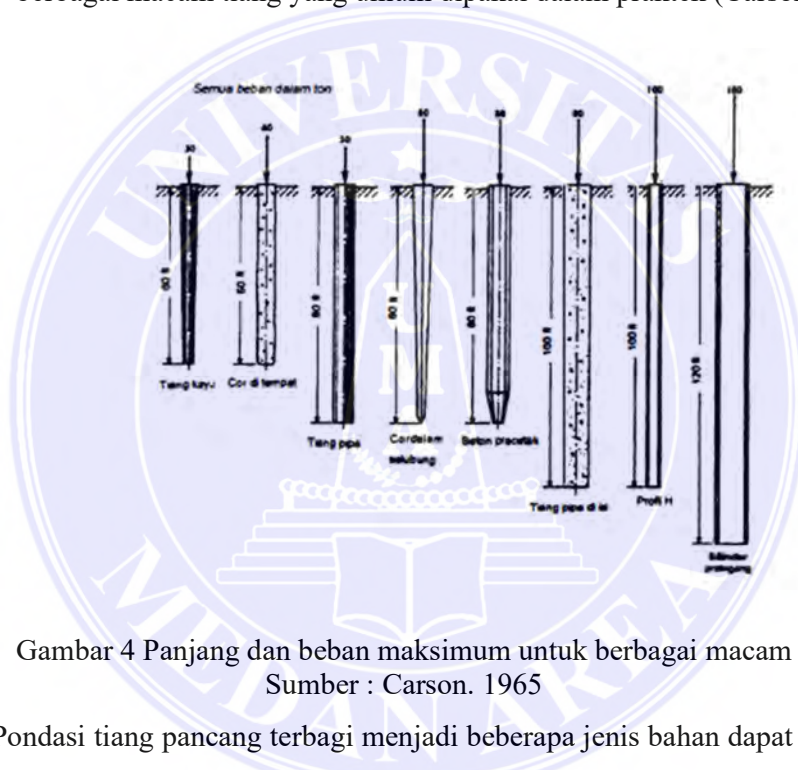
1. Menyalurkan beban bangunan dari struktur atas ke lapisan tanah keras, sehingga pondasi bangunan mampu memikul beban yang bekerja di atasnya.
2. Menahan struktur bangunan agar tidak terjadi gaya angkat keatas akibat momen penggulingan ataupun tekanan hidrostatis.
3. Menahan gaya lateral serta gaya-gaya yang arah kerjanya miring.
4. Pada tanah pasir dapat menambah daya dukung akibat pengaruh konsolidasi.
5. Tanah dengan permukaan yang mudah tergerus air dapat menggunakan tiang pancang untuk mendukung bangunan.

Pondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 kategori sebagai berikut:

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yang dimaksud dengan tiang perpindahan besar apabila dilakukan pemancangan terjadi perubahan volume yang cukup besar pada tanah, ini disebabkan karena tiang dibuat pejal atau berlubang dengan ujung tiang tertutup. Yang masuk dalam kategori tiang perpindahan besar adalah tiang beton prategang baik pejal maupun berlubang, tiang baja lingkaran dengan ujung yang tertutup, tiang kayu, dan tiang beton pejal.
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*), pada saat dilakukan pemancangan perubahan yang terjadi pada volume tanah lebih kecil dibandingkan dengan tiang perpindahan besar, contoh tiang dengan perpindahan kecil ialah tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja profil H, tiang baja bulat ujung terbuka.

3. Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*) merupakan tiang yang dipasang tidak dengan menggunakan proses pemancangan melainkan dengan cara menggali ataupun mengebor tanah terlebih dahulu sehingga volume tanah yang digali akan digantikan dengan coran beton. Yang termasuk kedalam jenis tiang ini adalah tiang bor, merupakan tiang beton yang dicor di dalam lubang hasil pengeboran tanah (pipa baja diletakkan dalam lubang dan dicor beton).

Gambar 4 menunjukkan panjang maksimum dan beban maksimum untuk berbagai macam tiang yang umum dipakai dalam praktek (Carson, 1965).



Gambar 4 Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang
Sumber : Carson. 1965

Pondasi tiang pancang terbagi menjadi beberapa jenis bahan dapat terbuat dari kayu keras, beton dan baja (pipa atau profil), berikut penjelasannya :

1. Tiang Kayu

Pada umumnya pondasi tiang yang terbuat dari kayu menggunakan bahan kayu keras seperti kayu besi maupun ulin, pada permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah. Tiang kayu lebih cepat mengalami kerusakan dibandingkan dengan tiang baja maupun beton tiang kayu dapat mengalami kerusakan seperti dimakan oleh serangga bahkan dapat mengalami pembusukan, sehingga kemampuan daya dukung tiang mengalami pengurangan secara signifikan. Agar tiang pancang kayu

menjadi lebih awet, maka diulas 'ter' terlebih dahulu sebelum dilakukan pemancangan dan tiang juga harus berada dibawah permukaan air tanah. Sebelum dilakukan pemancangan kepala tiang dipasang dengan sepatu besi untuk menghindari kerusakan akibat pukulan palu. Tiang kayu dapat memikul beban maksimum hingga 270 - 300 kN.

2. Tiang Beton

Apabila dibandingkan dengan tiang kayu dan baja maka tiang beton lebih unggul dalam soal keawetan, hal ini karena bahan beton lebih tahan terhadap korosi dan kelembaban, penggunaan tiang beton juga akan lebih efisien karena beton mudah disesuaikan kekuatannya berdasarkan kebutuhan, dan pengadaanya juga lebih praktis dengan pabrikasi. Bentuk tiang beton pada umumnya bulat (rongga/pejal) atau prisma. Untuk tiang yang tidak berongga ukuran diameternya bisa mencapai 20-60 cm sedangkan tiang yang berongga bisa mencapai 140 cm. Tiang beton dapat memikul beban maksimum hingga 300 - 800 kN.

Keuntungan pemakaian tiang beton, antara lain :

1. Proses pemeriksaan lebih mudah sebelum dilakukan pemancangan.
2. Prosedur pelaksanaanya tidak dipengaruhi oleh air tanah.
3. Dalam keadaan tertentu tiang dapat dipancang sedalam mungkin.
4. Pada tanah granular penggunaan tiang beton dapat menambah kepadatan tanah granular, karena perubahan volume tanah yang cukup besar menyebabkan konsolidasi pada tanah sekitar pemancangan.

Kerugian pemakaian tiang beton:

1. Akibat dari pemancangan tiang beton dapat menimbulkan permasalahan seperti pengembangan, karena terjadi perubahan volume yang cukup besar pada tanah.
2. Kerusakan tiang sering terjadi akibat kekeliruan dalam menentukan energi alat pancang, energi yang terlalu besar dapat menyebabkan tiang patah karna tegangan yang dihasilkan melebihi batas ijin kemampuan bahan.
3. Apabila diameter tiang terlalu besar maka akan sulit untuk memasukan tiang ke dalam tanah.

4. Memungkinkan terjadinya kerusakan pada bangunan disekitarnya disebabkan oleh getaran dan deforamasi yang dihasilkan pada saat proses pemancangan.

3. Tiang Baja Profil

Tiang baja memiliki keunggulan dibanding dengan tiang beton pada saat pemancangan yaitu lebih cepat ketika proses pemasangan dan waktu pelaksanaannya dilapangan. Tetapi akan terjadi kendala apabila podasi tiang baja dipancang dekat dengan pantai ataupun pada tanah yang lembab, karena akan lebih mudah berkarat. Salah satu jenis tiang pancang baja ialah baja profil dengan bentuk profil H, segienam, empat persegi panjang, dan bentuk lainnya.



Gambar 5 Tampang melintang tiang baja profil
Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

2.4.2 Alat Pondasi Tiang Pancang

Berikut jenis-jenis alat dan komponen kelengkapan alat pancang yang biasa digunakan :

1. *Leader*

Agar palu tetap jatuh pada alur yang telah tersedia maka perlu digunakan *leader* supaya palu tetap terjaga dan konsentris ketika memukul tiang, *leader* dirancang untuk digunakan dalam kondisi apapun dapat bebas berotasi sehingga mudah ketika dibutuhkan memukul dalam kondisi miring.

2. Bantalan Palu (*Hammer cushion*)

Bantalan palu digunakan untuk mereduksi beban yang dihasilkan oleh tumbukan palu, bantalan palu dipasang diantara palu dan helmet. Apabila terjadi kesalahan dalam menggunakan bantalan palu maka dapat menyebabkan kerusakan pada helmet, anvil, palu, dan tiang yang dipancang.

3. Bantalan Tiang (*Pile cushion*)

Untuk menjaga tiang dan palu dari kerusakan maka palu tidak langsung jatuh bebas menyentuh kepala tiang, energi yang diciptakan palu direduksi oleh bantalan palu dan akan disalurkan pada kepala tiang. Energi yang disalurkan akan dipengaruhi oleh jenis dan tebalnya bantalan. Fungsi bantalan tiang untuk meredam gaya tumbukan yang dihasilkan palu agar tidak melebihi kekuatan ijin tekan dan tarik yang mampu ditahan tiang.

4. *Drop Hammer*

Fungsi *drop hammer* sebagai palu yang menumbuk tiang pancang. Energi yang dihasilkan palu bergantung dengan berat palu itu sendiri dan tinggi jatuhnya, selain itu palu juga akan memberikan tekanan sehingga memudahkan tiang menembus lapisan tanah.

Pada tabel dibawah ini akan diberikan spesifikasi dari berat massa palu minimum untuk drop hammer :

Tabel 1 Spesifikasi tipikal untuk berat massa palu minimum

Panjang Tiang (m)	Perbandingan Berat Palu Minimum Terhadap Berat Tiang
0-15	1
15-18	$\frac{3}{4}$
>18	$\frac{2}{3}$

Sumber: Pedoman pengujian pondasi, nspkjembatan.pu.go.id (2012)

5. *Hammer Diesel*

Hammer diesel merupakan sebuah alat dengan kinerja yang sangat sederhana, memiliki mobilitas tinggi, beratnya ringan, tidak memakan biaya operasi yang tinggi, dan mudah untuk dipindahkan. Bentuk *hammer diesel* berupa silinder dengan piston atau ram yang berfungsi untuk menekan tiang pancang. Saat bekerja, mesin diesel akan memberikan tekanan pada udara dalam silinder. Tekanan udara yang bertambah ini akan menggerakkan piston yang akan memukul tiang pancang.

Spesifikasi alat dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2 Spesifikasi alat diesel hammer

Buatan	Tipe	Massa dari Ram (kg)	Energi pukulan (NM)	Tingkat Pukulan Maksimum (Pukulan/menit)
	D12	1250	31000	40-60
Delmag (Jerman)	D22	2700	55000	40-60
	D30	3000	33000-75000	39-60
	D36	3600	42000-102000	37-53
Kobe (Jepang)	K13	1300	37000	40-60
	K25	2500	75000	39-60
	K35	3500	105000	39-60
Mitsubishi (Jepang)	K45	4500	135000	39-60
	M14	1350	36000	42-60
	M23	2295	160000	42-60
	M33	3290	88500	40-60
	M43	4290	116000	40-60

Sumber: Pedoman pengujian pondasi, nspkjembatan.pu.go.id (2012)



Gambar 6 single acting diesel hammer
Sumber: sahdien.blogspot.com (2022)

2.5 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Daya dukung tiang merupakan penjumlahan antara daya dukung ujung (*end bearing*) dan gesekan dinding kulit dengan tanah (*friction*), maka jenis pondasi ini sangat cocok digunakan pada tanah lunak dimana tanah keras jauh berada dibawah permukaan tanah. Untuk memperoleh daya dukung tiang biasanya dilakukan uji

statis aksial (*loading test*), dengan dilakukannya pengujian ini maka dapat diketahui kemampuan tiang tunggal dalam memikul beban ($P_{ultimate}$). Dengan diketahuinya nilai ultimit tiang ($P_{ultimate}$) maka daya dukung pondasi tersebut dapat direncanakan hingga mendekati kenyataan yang sebenarnya. Pada pondasi dangkal daya dukungnya menggunakan satuan tekanan (kPa) sedangkan pada daya dukung tiang menggunakan satuan gaya (kN).

Untuk menghitung daya dukung tanah perlu dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*) untuk mendapatkan data teknis, seperti uji SPT (*Standart Penetration Test*), sondir (*Cone Penetration Test*), dan pengujian di laboratorium. Hasil uji ini akan digunakan untuk menghitung daya dukung tanah yang bergantung dengan kuat geser tanah. Akibat dari kegagalan geser pada suatu tanah dapat menyebabkan keruntuhan struktur.

Mohr coulomb menyatakan bahwa kriteria keruntuhan dapat dinyatakan dengan “keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja, merupakan hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis keruntuhan tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser.” (Coulomb; 1776).

Persamaan itu dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

Dimana :

- τ_f = Kekuatan geser tanah (kg/cm²)
- c = Kohesi pada tanah (kg/cm²)
- σ = Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/cm²)
- ϕ = Sudut geser tanah (°)

2.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Dengan *Standard Penetration Test*

Daya dukung ultimit tiang pancang dapat dihitung dengan sebuah rumus sederhana sebagai penjumlahan antara daya dukung ujung dan gesekan dinding

tiang dengan tanah. Meyerhoff memberikan rumus untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan data SPT, rumus tersebut dibagi menjadi dua dimana persamaan untuk tanah kohesif dan non-kohesif dibedakan.

1. Persamaan daya dukung pondasi tiang (tanah non-kohesif)

Daya Dukung Ujung :

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \quad (2.2)$$

Dimana :

$$N_b = \frac{1}{2} (N_1 + N_2) \quad (2.3)$$

N_1 = Merupakan nilai SPT rata-rata pada kedalaman 10D pada ujung tiang keatas.

N_2 = Merupakan nilai SPT rata-rata pada kedalaman 4D pada ujung tiang kebawah.

A_p = Luas Tiang (m^2)

Tahanan Geser Selimut Tiang :

$$Q_s = 2 \times N\text{-SPT} \times P \times L_i \quad (2.4)$$

Dimana :

$N\text{-SPT}$ = Nilai SPT

L_i = Tebal lapisan tanah (m)

P = Keliling tiang (m)

2. Persamaan daya dukung pondasi tiang (tanah kohesif)

Daya Dukung Ujung :

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \quad (2.5)$$

Dimana :

c_u = kohesi undrained (kN/m^2)

$$= N\text{-spt} \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (2.6)$$

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

Tahanan Geser Selimut Tiang :

$$Q_s = \alpha \times c_u \times P \times L_i \quad (2.7)$$

Dimana :

α = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang

c_u = kohesi undrained (kN/m^2)

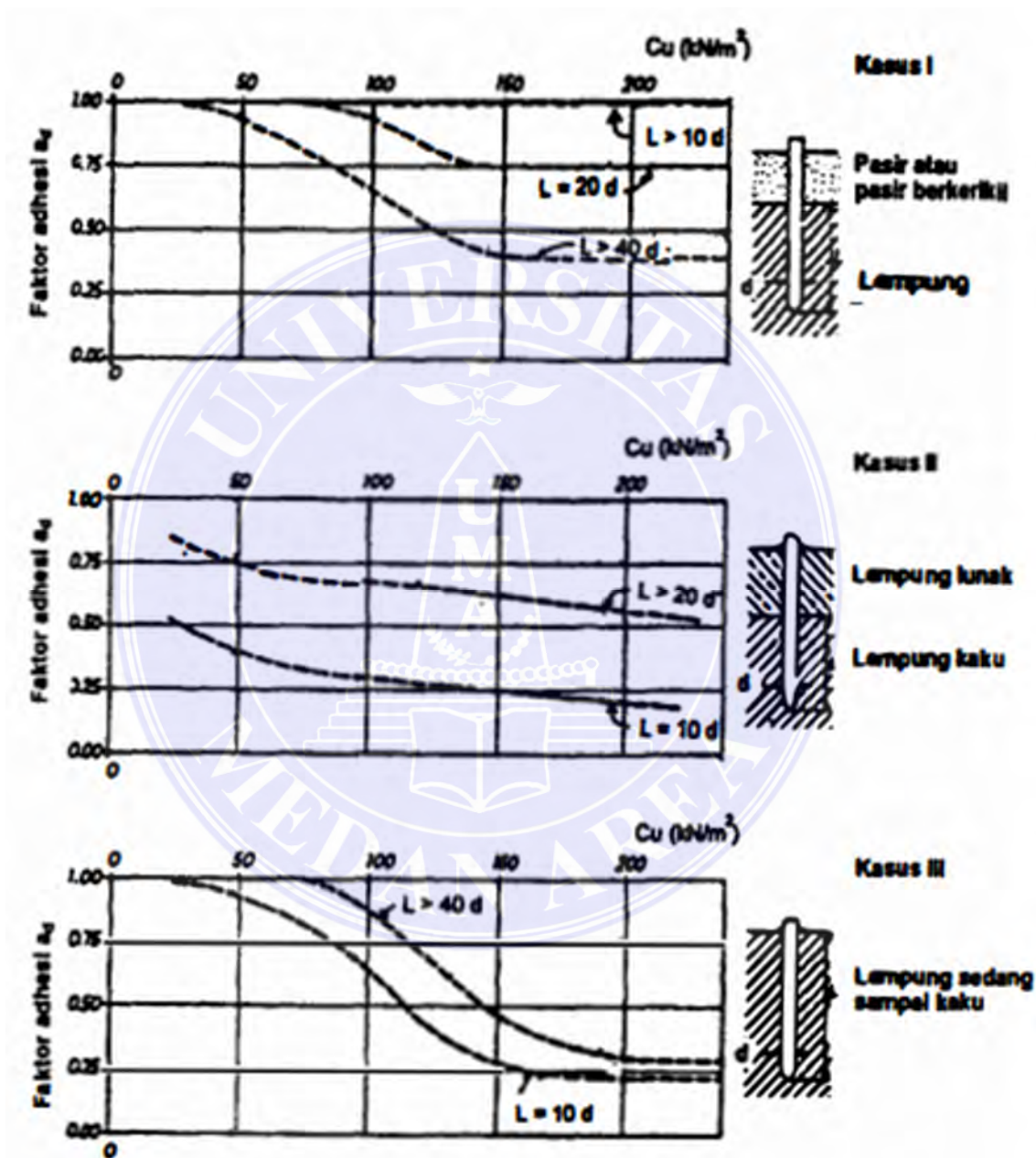
$$= N\text{-spt} \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (2.8)$$

P = Keliling tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah (m)



Tomlinson (1977) menyarankan untuk memperoleh faktor adhesi tiang pancang α dalam tanah lempung dengan menggunakan grafik berikut.



Gambar 7 Hubungan antara faktor adhesi dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (Tomlinson, 1977)

Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

2.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Data Kalendering

Kalendering digunakan untuk memperoleh daya dukung secara empiris berdasarkan hasil perhitungan pemukulan alat pancang pada saat proses pemancangan, data kalendering diambil ketika tiang pancang telah mencapai lapisan tanah keras dimana penetrasi tiang sudah sangat kecil dan rebound telah terlihat tinggi. Perhitungan daya dukung berdasarkan data kalendering telah banyak digunakan pada pemancangan tiang beton maupun baja, prosesnya cukup mudah dan menggunakan peralatan yang sederhana.

Berikut tahapan pelaksanaan kalendering :

1. Pemukulan hammer dihentikan apabila kalendering telah ditentukan.
2. Pasang kertas milimeter blok dengan selotip pada tiang pancang.
3. Siapkan spidol yang telah ditumpu pada kayu, dekatkan ujung spidol hingga menempel pada kertas milimeter.
4. Pukulan dijalankan.
5. Seseorang melakukan kalendering, dan satu orang lainnya menghitung pukulan sambil mengawasi jalannya kalendering.
6. Ambil kertas milimeter ketika mencapai 10 pukulan.
7. Agar mendapatkan grafik yang bagus tahap ini dilakukan 2 sampai 3 kali percobaan.
8. Lindungi kertas dari tetesan oli diesel hammer agar kertas bersih dan grafiknya menjadi lebih mudah dibaca.
9. Final set pengujian kalendering diambil sebesar 2.5cm/10 pukulan.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperoleh daya dukung tiang dengan data kalendering atau RUT (ton) :

1. Danish Formula

$$R_{ut} = \frac{eh \times Eh}{s + \left(\frac{eh \times Eh \times L}{2 \times A \times E} \right)^{0.5}} \quad (2.9)$$

Dimana :

R_{ut} = Daya dukung tiang

Eh = Energi palu

eh = Efisiensi

L = Panjang tiang

A = Luas penampang tiang

E = Modulus elastisitas tiang

S = Penetrasi pada 10 pukulan terakhir

2. Hiley Formula

$$Rut = \frac{eh \times Eh}{s + 0.5 \times Cx} \times \frac{Wr + n^2 + WP}{Wr + Wp} \quad (2.10)$$

Dimana :

Rut = Daya dukung tiang

Eh = Energi palu

eh = Efisiensi

s = Rata-rata penetrasi 10 pukulan terakhir

Wr = Berat palu

Wp = Berat tiang

n = Koefisien restitusi

Cx = Pencatatan rebound dari pukulan terakhir

3. Modified ENR Formula

$$Rut = \frac{eh \times Eh}{s + 0,254} \times \frac{Wr + n^2 + WP}{Wr + Wp} \quad (2.11)$$

Dimana :

Rut = Daya dukung tiang

Eh = Energi palu

eh = Efisiensi

s = Rata-rata penetrasi 10 pukulan terakhir

Wr = Berat palu

Wp = Berat tiang

n = Koefisien restitusi

Untuk menentukan energi, efisiensi, dan koefisien palu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Karakteristik alat pancang diesel hammer

Type	Tenaga Hammer			Jumlah pukulan /menit	Berat balok besi panjang		
	Kn-m	Kips-fit	Kg-cm		Kn	Kips	Kg
K 150	379,9	280	3872940	45-60	147,2	33,11	1501 4,40
K 60	143,2	105,6	1460640	42-60	58,7	13,20	5987 ,40
K 45	123,5	91,1	1259700	39-60	44	9,9	4480
K 35	96	70,8	979200	39-60	34,3	7,7	3498 ,60
K 25	68,8	50,7	701760	39-60	24,5	5,5	2499

Sumber: Sosrodarsono (1977)

Tabel 4 Nilai efisiensi palu

Jenis alat pancang	Efisiensi
Palu jatuh	0,75 – 1,00
Palu <i>single acting</i>	0,75 – 0,85
Palu <i>double acting</i>	0,85
Pemukul <i>diesel</i>	0,85 – 1,00

Sumber: Pedoman pemilihan alat pemancang tiang fondasi jembatan, PUPR 2015

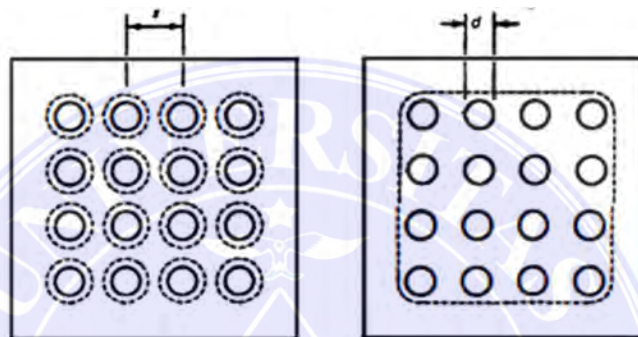
Tabel 5 Nilai koefisien restitusi

Material	n
Tiang pancang kayu	0,25
Bantalan kayu diatas tiang pancang baja	0,32
Bantalan kayu pada tiang pancang baja	0,4
Tiang pancang baja tanpa bantalan kayu / tiang beton dengan bantalan	0,5
Palu besi cor diatas tiang pancang beton tanpa topi	0,4

Sumber: Pedoman pemilihan alat pemancang tiang fondasi jembatan, PUPR 2015

2.5.3 Daya Dukung Kelompok Tiang

Penggunaan tiang tunggal sangat jarang sekali ditemui bahkan hampir tidak ada tiang yang hanya berdiri sendiri (*single pile*). Kelompok tiang biasanya disatukan dan dibuat menjadi kaku sempurna menggunakan *pile cap*. Kelompok tiang terdiri dari beberapa pondasi tiang yang menjadi satu kesatuan disusun dengan cara simetris dengan jarak yang sama agar berat *pile cap* dan pusat beban tiang bekerja pada garis vertikal yang sama.



Gambar 8 Tiang Kelompok

Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Menurut Coduto (1983), daya dukung kelompok tiang bergantung pada beberapa faktor, antara lain:

1. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
2. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
4. Urutan pemasangan tiang.
5. Jenis tanah.
6. Waktu setelah pemasangan tiang.
7. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
8. Arah dari beban yang bekerja.

Untuk menentukan daya dukung kelompok tiang terlebih dahulu menghitung efisiensi kelompok tiang (E_g), rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang hanyalah sebuah pendekatan. Persamaan yang diusulkan berdasarkan pada susunan tiang, jarak relatif dan diameter tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah

dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Berikut beberapa persamaan yang dapat digunakan dalam menentukan efisiensi tiang tersebut :

Formula Converse-Labarre

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90mn} \quad (2.12)$$

Dimana :

Eg = Efisiensi kelompok tiang

θ = Arc tg d/s, dalam derajat

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

Daya dukung ultimit tiang kelompok dengan memperhitungkan efisiensi tiang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Qg = Eg \cdot n \cdot Qu \quad (2.13)$$

Dimana :

Qg = Daya dukung ultimit tiang kelompok

Eg = Efisiensi kelompok tiang

Qu = Daya dukung ultimit tiang tunggal

n = Jumlah tiang dalam kelompok

2.5.4 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang

Pondasi tiang sering kali harus direncanakan mampu mendukung gaya lateral, besarnya gaya lateral yang akan didukung oleh pondasi bergantung dengan bangunan yang mengirimkan gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah. Gaya lateral yang bekerja biasanya diakibatkan oleh beban angin untuk struktur bagian atas, gempa, dan beban statis. Pondasi tiang yang direncanakan untuk mampu mendukung gaya lateral harus dapat memenuhi kriteria sebagai berikut faktor aman terpenuhi untuk keruntuhan ultimit, defleksi tiang yang terjadi masih dalam batas toleransi yang diijinkan.

Untuk menganalisis gaya lateral, tiang-tiang dibedakan berdasarkan dengan model ikatannya pada pelat penutup tiang, dapat dikategorikan tiang ujung jepit (*fixed end pile*) dan tiang ujung bebas (*free end pile*). Dimana jenis ikatan tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kekakuan tiang dalam mendukung beban lateral.

“tiang ujung jepit (*fixed end pile*) sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm dan sebaliknya tiang ujung bebas (*free end pile*) adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup tetapi kurang dari 60 cm.” (McNulty; 1956)

Sebelum menganalisis daya dukung lateral tiang dalam mendukung beban, tentukan terlebih dahulu perilaku tiang tersebut, apakah berperilaku sebagai tiang pendek (*rigid pile*) atau tiang panjang (*elastic pile*). Cara untuk mengetahui perilaku tiang ialah dengan menentukan faktor kekakuan R dan T. Ini akan dipengaruhi oleh kompresibilitas tanah (modulus tanah), K dan kekakuan tiang itu sendiri (EI).

Apabila jenis tanah merupakan lempung kaku terkonsolidasi berlebihan, dengan modulus tanah dapat dianggap konstan di seluruh kedalamannya.

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p}{K}} \tag{2.14}$$

Dimana:

K = modulus tanah (k1/1,5)

k1 = modulus reaksi subgrade Terzaghi

Ep= modulus elastis tiang

I = momen inersia tiang

d = diameter tiang

Tabel 6 Nilai-nilai k1 yang disarankan oleh Tezaghi (1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
Kohesi undrained (Cu), KN/m ²	100-200	200-400	>400
K1, MN/m ³	18-36	36-72	>72
K1 direkomendasikan, MN/m ³	27	54	>108

Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Untuk jenis tanah granular dan lempung terkonsolidasi normal, dianggap modulus tanah tidak konstan atau bertambah secara linier dengan kedalamannya.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{\eta h}} \tag{2.15}$$

Dimana:

E_p = modulus elastis tiang

I_p = momen inersia tiang

ηh = koefisien modulus variasi

K_h = modulus reaksi subgrade

Tabel 7 Nilai koefisien modulus variasi (granuler $c = 0$)

Kerapatan relatif	Tidak padat	sedang	padat
Interval nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
ηh , pasir kering atau lembab (Terzaghi) (KN/m^3)	2425	7275	19400
ηh , pasir terendam air (KN/m^3), Terzaghi	1386	4850	11779
Reese dkk	5300	16300	34000

Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Tabel 8 Nilai koefisien modulus variasi (kohesif)

Deskripsi tanah	ηh , (KN/m^3)	Referensi
Lempung terkonsolidasi normal lunak	166-3518	Reese dan Matlock (1956)
Lempung terkonsolidasi normal organik	277-554	Davisson – Parkash (1963)
Gambut	111-277	Peck dan Davisson (1962)
	111-831	Davisson (1970)
	55	Davisson (1970)
	27,7-111	Wilson dan Hiltz (1967)

Sumber : Poulos dan Davis, 1980

Kriteria tiang kaku (pendek) dan tiang tidak kaku (panjang) berdasarkan faktor kekakuan diperlihatkan pada table di bawah ini.

Tabel 9 Jenis tiang pendek dan panjang berdasarkan faktor kekakuan.

Jenis tiang	Modulus tanah bertambah dengan kedalaman	Modulus tanah konstan
Kaku	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Tidak kaku	$L \geq 4T$	$L \geq 3.5R$

Sumber : Tomlinson, 1977

Daya dukung lateral tiang dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode salah satunya menggunakan metode Broms (1964), hal ini didasarkan pada keadaan tanah dilapangan, dan mekanisme keruntuhan tiang yang dipengaruhi oleh jenis ikatan dan perilaku tiang.

Metode Broms (1964)

Metode Broms dapat digunakan untuk menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik pada tiang panjang (*elastic pile*) ataupun tiang pendek (*rigid pile*) yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granular. Penggunaan metode ini dengan mengangap bahwa daya dukung tanah telah mencapai nilai ultimitnya disepanjang kedalaman tiang tertanam, hal ini berdasarkan pada diagram tekanan tanah yang disederhanakan.

a. Tiang dalam tanah granular ($C = 0$)

Asumsi Broms bahwa tekanan tanah aktif yang bekerja dibelakang tiang dapat diabaikan, distribusi tekanan tanah pasif disepanjang tiang bagian depan sama dengan tiga kalinya tekanan tanah pasif Rankine, tekanan tanah ultimit tidak dipengaruhi oleh bentuk penampang tiang, tahanan lateral tanah keseluruhannya dimobilisasi oleh gerakan tiang yang diperhitungkan. Distribusi tekanan tanah dapat dinyatakan dengan :

$$p_u = 3 p_o K_p \quad (2.16)$$

Dimana :

p_o = tekanan overburden efektif

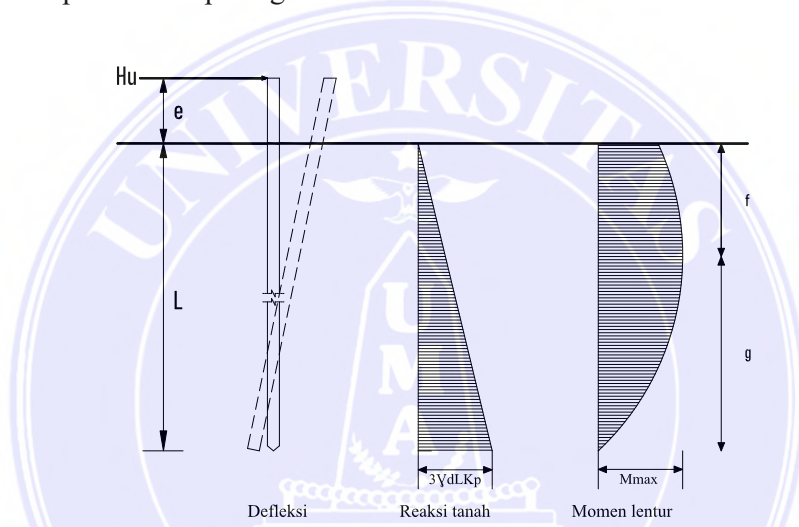
K_p = $\tan^2(45 + \phi/2)$

ϕ = sudut gesek dalam tanah

- Tiang ujung bebas

Tiang ujung bebas merupakan tiang yang tidak memiliki pelat penutup pada kepala tiang atau tertutup namun tertanam <60 cm. Model keruntuhan yang akan terjadi pada tiang ujung bebas akan sangat dipengaruhi oleh perilaku tiang itu sendiri, pada tiang ujung bebas perilaku tiang dibedakan menjadi dua yaitu tiang pendek (*rigid pile*) dan tiang panjang (*elastic pile*).

Model keruntuhan untuk tiang ujung bebas dalam tanah granular pada tiang pendek diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9 Tiang ujung bebas dalam tanah granular untuk tiang pendek
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Yang termasuk dengan kategori tiang pendek apabila momen maksimum yang diakibatkan oleh tekanan tanah lebih kecil dari momen maksimum yang mampu ditahan oleh tiang itu sendiri, pada ujung bawah tiang dianggap mampu untuk berotasi.

Pada tiang pendek, dengan mengambil momen terhadap ujung bawah :

$$H_u = \frac{\frac{1}{2} \gamma \cdot d \cdot L^3 K_p}{e + L} \tag{2.17}$$

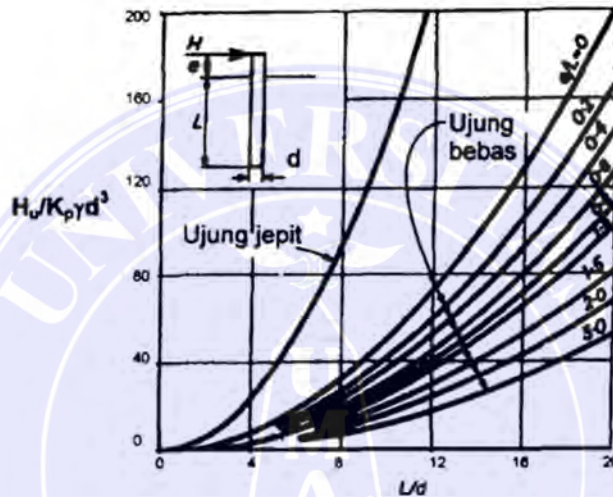
Dimana:

H_u = Beban lateral (kN)

γ = Berat isi tanah (kN/m³)

- d = Diameter tiang (m)
- L = Panjang tiang (m)
- Kp = Koefisien tekanan tanah pasif
- e = Jarak beban lateral dari permukaan tanah (m)

Dari hasil plot persamaan di atas akan memberikan gambar grafik hubungan L/d dan $H_u/(K_p \gamma d^3)$ seperti dibawah ini.



Gambar 10 Tahanan lateral ultimit tiang pada tanah granuler untuk tiang pendek
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Lokasi momen maksimum (f) yang terjadi di bawah permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$H_u = 1.5 \cdot \gamma \cdot d \cdot K_p \cdot f^2 \quad (2.18)$$

$$\text{Dan } f = 0.82 \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times \gamma}} \quad (2.19)$$

Sehingga momen maksimum dapat diperoleh :

$$M_{\text{maks}} = H_u(e + 2f/3) \quad (2.20)$$

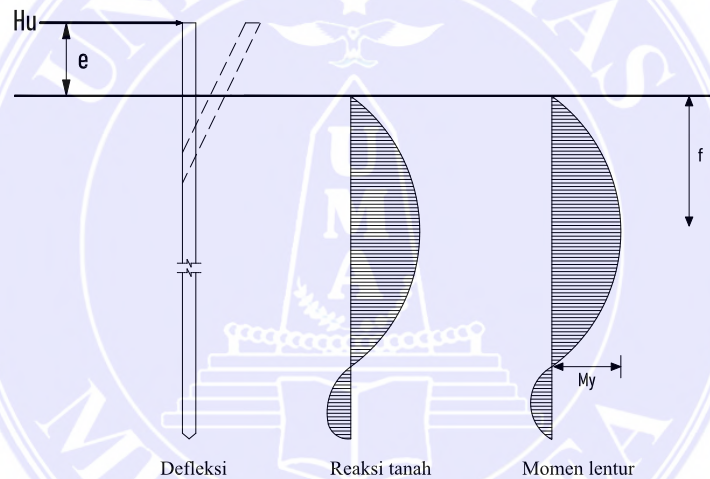
Dimana:

- Hu = Beban lateral (kN)
- e = Jarak beban lateral dari permukaan tanah (m)

- γ = Berat isi tanah (kN/m^3)
- d = Diameter tiang (m)
- K_p = Koefisien tekanan tanah pasif
- f = Jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)

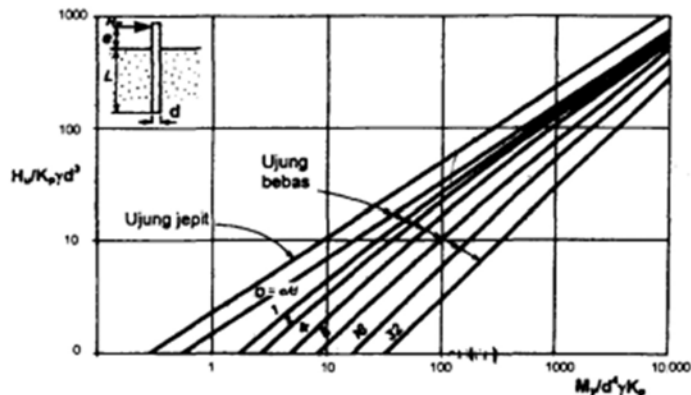
Apabila persamaan (2.18) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.20) dan diperoleh $M_{\text{maks}} > M_y$, maka tiang termasuk dalam kategori tiang panjang. Untuk memperoleh besarnya nilai H_u dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.20) yaitu $M_{\text{maks}} = M_y$.

Model keruntuhan untuk tiang ujung bebas dalam tanah granular pada tiang panjang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 Tiang ujung bebas dalam tanah granular untuk tiang panjang
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

H_u juga dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan untuk menghitung H_u dalam tinjauan tiang panjang diplot dalam grafik hubungan $H_u/(K_p \cdot \gamma \cdot d^3)$ dan $M_y/(d^4 \cdot \gamma \cdot K_p)$, ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

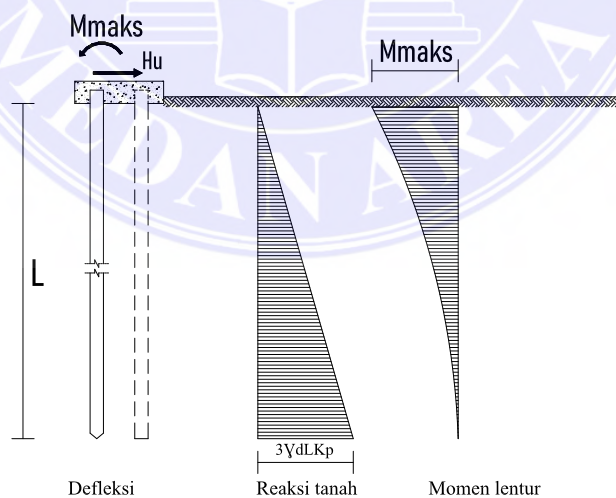


Gambar 2.12 Tahanan lateral ultimit pada tanah granuler untuk tiang panjang
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo

- Tiang ujung jepit

Tiang ujung jepit merupakan tiang yang ujung atasnya tertanam pada pelat penutup kepala tiang paling sedikit 60cm. Model keruntuhan yang akan terjadi pada tiang ujung jepit akan sangat dipengaruhi oleh perilaku tiang itu sendiri, pada tiang ujung jepit perilaku tiang dibedakan menjadi tiga yaitu tiang pendek, sedang dan tiang panjang.

Model keruntuhan untuk tiang ujung jepit dalam tanah granular pada tiang pendek diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 13 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang pendek
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Pada tiang ujung jepit untuk tiang pendek (kaku) model keruntuhan yang akan terjadi berupa translasi, beban lateral ultimit untuk tiang pendek dinyatakan oleh :

$$H_u = 1.5 \cdot \gamma \cdot d \cdot L^2 \cdot K_p \quad (2.21)$$

Momen yang terjadi di kepala tiang dinyatakan dengan persamaan :

$$M_{maks} = \frac{2}{3} \cdot H_u \cdot L = \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p \quad (2.22)$$

Jika $M_{maks} > M_y$, maka keruntuhan tiang akan berbentuk seperti tiang sedang, sehingga dapat diperoleh :

$$H_u = 1.5 \cdot \gamma \cdot d \cdot L^2 \cdot K_p - H_u \quad (2.23)$$

Sehingga nilai H_u dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_y = 1/2 \cdot \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p \quad (2.24)$$

Dimana:

H_u = Beban lateral (kN)

M_y = Momen leleh (kN-m)

M_{max} = Momen maksimum (kN-m)

L = Panjang tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

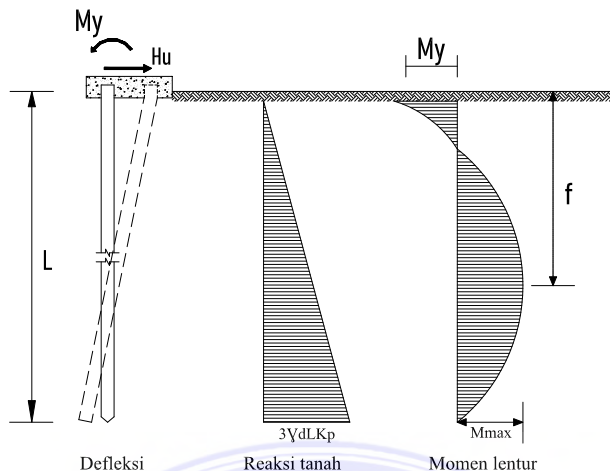
γ = Berat isi tanah (kN/m³)

e = Jarak beban lateral dari permukaan tanah (m)

f = Jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)

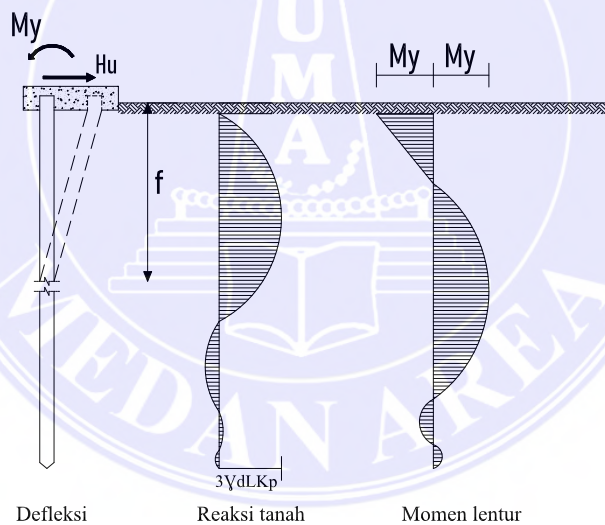
K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

Model keruntuhan untuk tiang ujung jepit dalam tanah granular pada tiang sedang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 14 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang sedang
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Model keruntuhan untuk tiang ujung jepit dalam tanah granular pada tiang panjang diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 15 Tiang ujung jepit dalam tanah granular untuk tiang panjang
 Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Untuk tiang panjang dalam tanah granuler:

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

$$\text{Dengan : } F = 0.82 \sqrt{\frac{Hu}{d \times Kp \times \gamma}} \quad (2.26)$$

Dimana:

H_u = daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = Momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kN-m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

d = diameter tiang (m)

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

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

f = jarak kedalaman titik dimana gaya geser sama dengan nol (m)

Persamaan untuk menghitung H_u dalam tinjauan tiang panjang diplot dalam grafik hubungan $H_u/(K_p \cdot \gamma \cdot d^3)$ dan $M_y/(d^4 \cdot \gamma \cdot K_p)$, ditunjukkan pada gambar Gambar 13 Tahanan lateral ultimit pada tanah granuler untuk tiang panjang.

2.6 Penurunan Pondasi Tiang Pancang

Dalam sebuah kelompok tiang maka pada tiap ujungnya akan diikat dengan *pile cap* hingga sekaku mungkin agar menjadi kokoh, dengan adanya *pile cap* ini maka pendistribusian beban pada kelompok tiang menjadi merata, sehingga apabila terjadi penurunan pada pondasi diharapkan merata secara keseluruhannya.

Penurunan (*settlement*) merupakan sebuah pergerakan pada tiap titik-titik tertentu pada struktur bangunan dari titik acuan yang telah ditetapkan. Apabila terjadi penurunan yang tidak merata akan lebih membahayakan struktur bangunan dibandingkan dengan penurunan totalnya yang merata. Pada umumnya penurunan sering terjadi karena gagalnya tanah dalam memberikan daya dukung (*bearing capacity failure*) terhadap beban yang bekerja pada pondasi sehingga terjadinya pergeseran pada struktur bangunan, selain itu perlu diperhatikan bahwa salah satu penyebab penurunan dapat juga dipicu oleh proses penggalan yang berkaitan dengan terjadinya perubahan tegangan didalam tanah, ini disertai dengan perubahan volume yang terjadi pada tanah. “Penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya.” (Hardiyatmo; 1996).

Untuk tiang kelompok pada lapisan pasir Meyerhof (1976) menyarankan hubungan empiris sebagai berikut :

$$S_g = \frac{2q\sqrt{BgI}}{N_{60}} \quad (2.27)$$

Dimana :

$$q = \frac{Q}{L_g \cdot B_g} \quad (2.28)$$

$$I = \text{Faktor pengaruh} = 1 - \frac{L}{8B_g} \geq 0,5 \quad (2.29)$$

Q = Beban yang bekerja

L_g = Panjang poor tiang pancang kelompok

B_g = Lebar tiang pancang kelompok

L = Panjang tiang

q = Tekanan pada dasar pondasi

N₆₀ = N-SPT pada kedalaman ± dibawah ujung pondasi tiang

Penurunan tiang kelompok dapat juga dihitung dengan menggunakan hasil pengujian tunggal, hubungan keduanya dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{S_g}{S} = \frac{(4B+3)^2}{(B+4)^2} \quad (2.30)$$

Dimana :

S_g = penurunan kelompok tiang (m)

B = lebar kelompok tiang (m)

S = penurunan tiang tunggal pada intensitas beban yang sama (m)

Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penurunan pada suatu struktur bangunan meliputi fungsi, jenis, kekakuan, dan tinggi bangunan, serta kecepatan dan besar penurunan serta pendistribusianya. Apabila penurunan yang terjadi berjalan lambat maka akan memudahkan struktur menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa menyebabkan kerusakan struktur yang dipengaruhi oleh rangkai (*creep*). Berdasarkan pada penjelasannya sebelumnya maka kriteria penurunan pondasi pada tanah lempung dan pasir akan berbeda. Dengan ketetapan yang telah ada maka penurunan maksimum bisa diprediksikan, hubungan antara

penurunan yang diijinkan dan penurunan maksimum dapat diadakan. Dimana syarat perbandingan penurunan yang aman yaitu:

$$S \leq S_{izin}$$
$$S_{izin} = 10 \% \cdot D \quad (2.31)$$

Dimana :

D = diameter tiang

2.7 Faktor Aman

Untuk memperoleh daya dukung ijin tiang dapat dengan membagi daya dukung tiang dengan faktor aman, maksud diberikanya faktor aman untuk:

1. Mengantisipasi adanya kekeliruan pada saat melakukan perhitungan.
2. Memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
3. Guna meyakinkan bahwa bahan tiang yang digunakan akan cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Memastikan bahwa penurunan total yang akan terjadi pada kelompok tiang berada dalam batas toleransi.
5. Apabila terjadi penurunan yang tidak merata antara tiang dalam kelompok masih dalam batas-batas toleransi yang diijinkan.

Berdasarkan hasil uji beban tiang yang telah banyak dilakukan untuk diameter kecil hingga sedang (60cm) baik berupa tiang pancang ataupun tiang bor, penurunan yang terjadi diakibatkan oleh beban yang bekerja (working load) dengan menggunakan faktor aman kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977) maka harus lebih kecil dari 10 mm. Pemilihan faktor aman (F) yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) dengan memperhitungkan faktor-faktor tertentu untuk perancangan pondasi tiang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 10 Faktor Aman oleh Reese dan O'Neill

Klasifikasi struktur	Faktor aman (F)			
	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	2,0	2,3	2,8

Sumber : Sumber: Buku teknik pondasi 2 H. C. Hardiyatmo (2008)

Kapasitas daya dukung ijin tiang (Q_a) terhadap besarnya beban yang bekerja (*working load*) dengan mempertimbangkan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai daya dukung ultimit tiang (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F). Nilai faktor aman yang telah disarankan oleh Tomlinson, (1977) adalah 2.5, maka persamaanya menjadi :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2.5} \quad (2.32)$$

Dimana:

Q_a = Daya dukung ijin tiang

Q_u = Daya dukung ultimit tiang

2.5 = Nilai faktor aman yang disarankan Tomlinson, (1977).

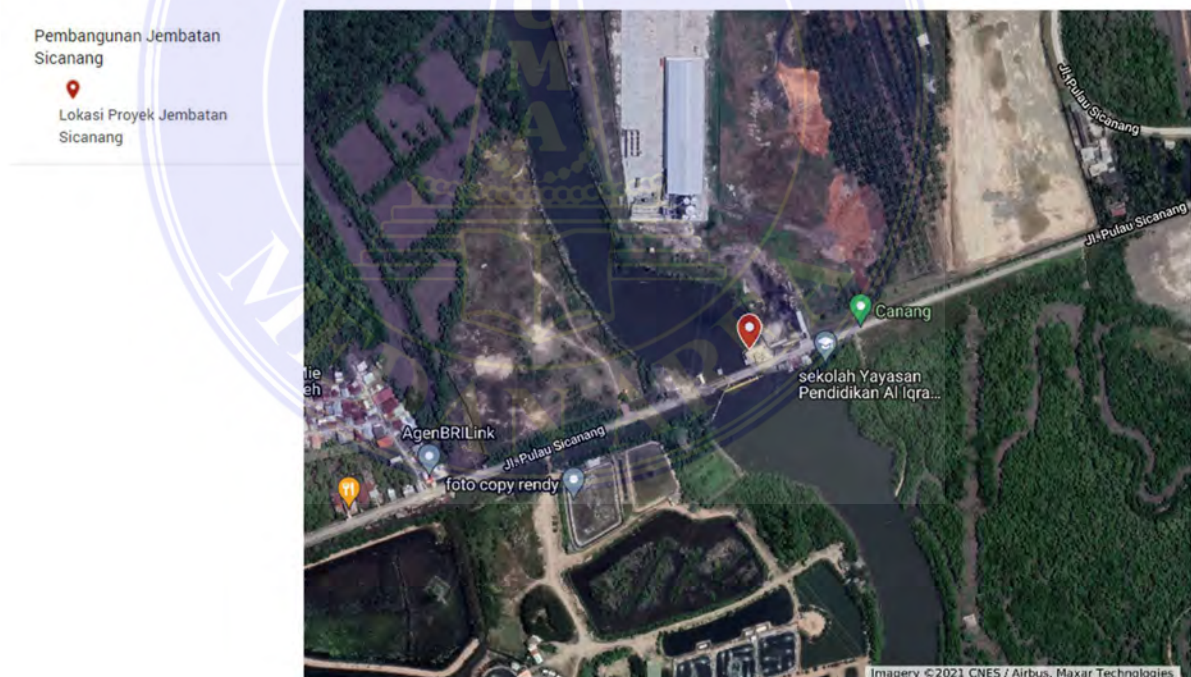
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pembangunan proyek jembatan Sicanang ini menjadi satu-satunya akses keluar masuk warga untuk menyeberangi aliran sungai yang memisahkan Kelurahan Belawan Sicanang dan Kelurahan Belawan Bahari, dengan bentang 60m dan lebar 6m dengan 1 jalur 2 lajur. Jembatan tersebut dibangun diatas muara/hilir sungai yang mengalir langsung ke laut.

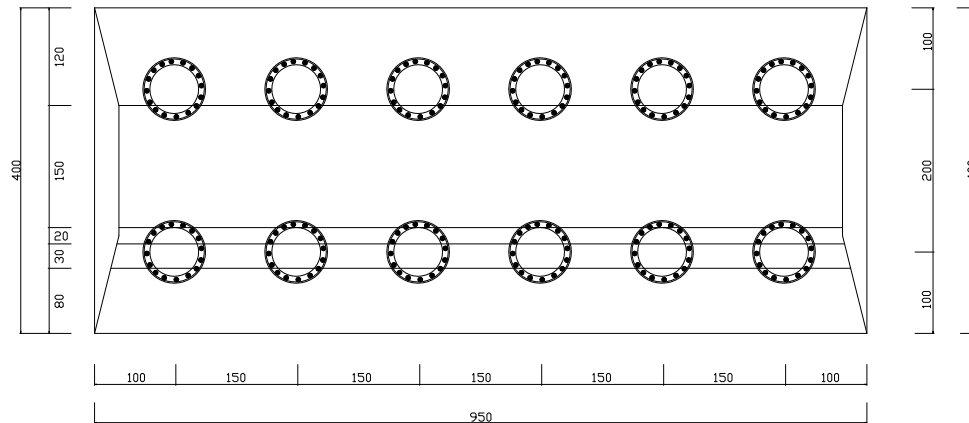
3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Belawan Sicanag, Kec.Medan Belawan, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Proyek Jembatan Sicanang



Gambar 16 Peta lokasi penelitian
Sumber : Google Maps (2022)



Gambar 17 Gambar Detail Titik Pancang Abutmen 1
Sumber : Data Lapangan (2022)

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan terlebih dahulu, penulis telah melakukan pengamatan langsung dilapangan selama 1 minggu, selain itu penulis juga telah memperoleh data sekunder yaitu dokumen terkait pelaksanaan proyek seperti SPT, kalendering, dan hasil uji laboratorium (*Index propertis of soil*).

3.3. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer diperoleh dengan survey wawancara kepada pihak kontraktor pelaksana, konsultan, dan owner. Data sekunder merupakan informasi tertulis berbentuk dokumen yang berkaitan dengan perencanaan proyek diperoleh dari kontraktor pelaksana.

3.4. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan penulis sehingga tercapainya tujuan dalam penelitian ini, Adapun beberapa tahapan yang dilakukan penulis yaitu :

1. Studi literatur, mengumpulkan berbagai jenis referensi berupa buku maupun jurnal terkait dengan permasalahan pada penelitian ini.

2. Peninjauan langsung ke lapangan untuk menentukan lokasi pengambilan data yang dianggap perlu
3. Mencari sumber data berupa data primer dan sekunder yang dibutuhkan untuk keperluan analisis.
4. Melakukan analisis menggunakan data yang telah diperoleh sebelumnya dengan referensi yang ada.

3.5. Analisis Data

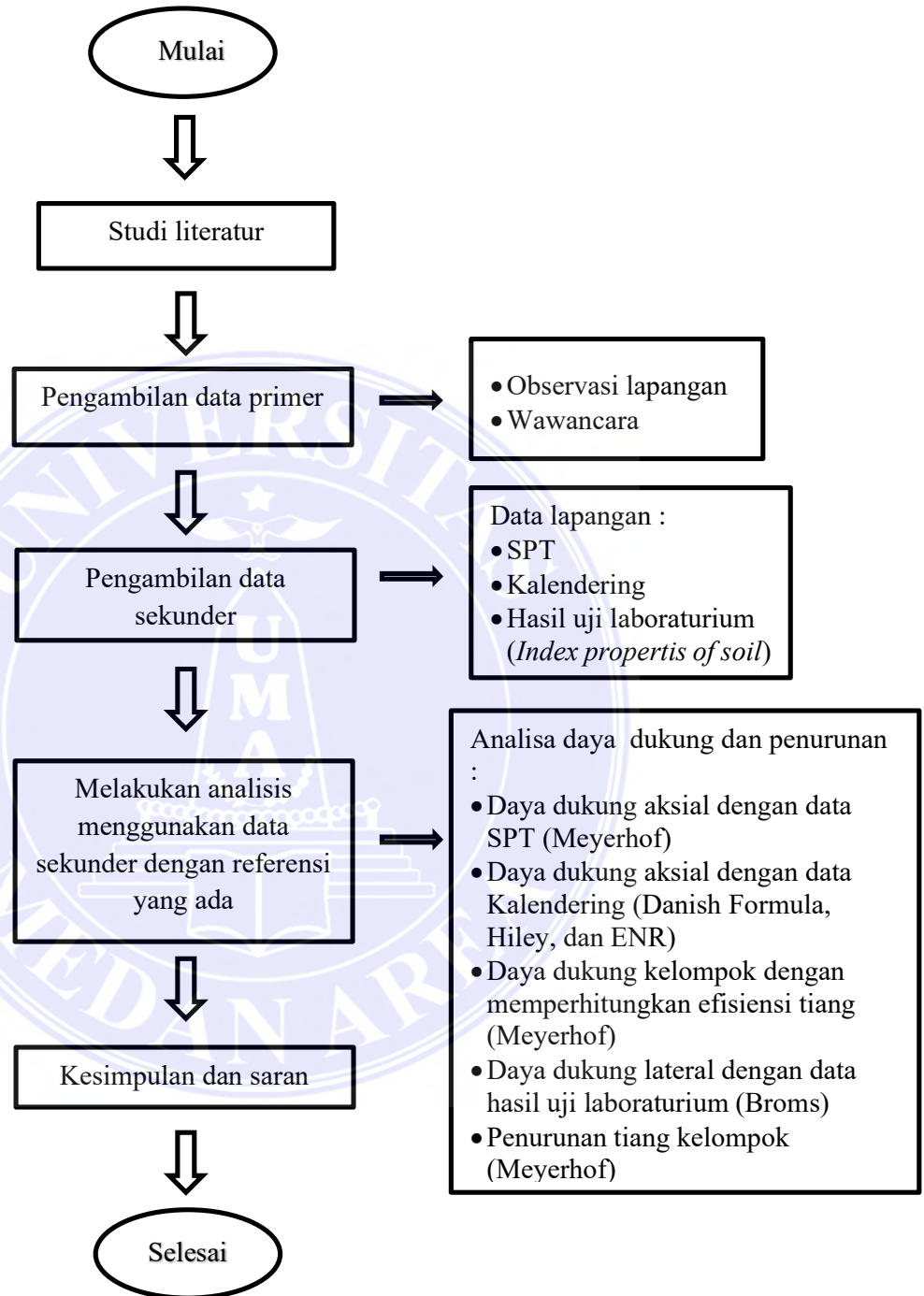
Analisis data dilakukan setelah memperoleh informasi dan data terkait yang diperlukan dalam penelitian ini, adapun tahapan-tahapan dalam menganalisis data akan dijelaskan dibawah ini :

1. Dalam menganalisis daya dukung aksial tiang tunggal dengan menggunakan data SPT rumus yang digunakan berbeda antara tanah kohesif dan non-kohesif, perhitungan dilakukan berdasarkan jenis lapisan tanah yang telah diperoleh sebelumnya dari hasil uji SPT menggunakan rumus Meyerhof.
2. Analisis daya dukung aksial tiang tunggal berdasarkan hasil uji kalendering dengan final set 25mm, digunakan beberapa rumus yaitu Danish Formula, Hiley, dan ENR.
3. Menghitung daya dukung kelompok tiang, terlebih dahulu menentukan efisiensi kelompok tiang dengan rumus converse-labare, kemudian daya dukung kelompok tiang dihitung menggunakan rumus Meyerhof dengan mengalikan efisiensi, jumlah tiang, dan daya dukung ultimit tiang tunggal.
4. Sebelum menghitung daya dukung lateral ijin tiang penting diketahui jenis ikatan tiang dengan pile cap apakah berlaku sebagai jepit atau bebas, kemudian tentukan faktor kekakuan tiang apakah termaksud tiang panjang atau pendek, setelah itu daya dukung lateral tiang dapat dihitung dengan metode Broms sesuai dengan jenis tiang yang telah diketahui sebelumnya. Perhitungan daya dukung lateral tiang menggunakan data hasil uji laboratorium (*Index propertis of soil*).

5. Penurunan tiang kelompok yang akan ditinjau merupakan penurunan segera, karna pada kasus ini tiang yang dipancang jatuh pada lapisan tanah pasir (granular) sehingga tidak perlu menghitung penurunan konsolidasinya.



3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 18 Bagan Alir Penelitian
Sumber : Analisis Penulis (2022)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis daya dukung pondasi tiang pancang diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut ;

1. Analisis daya dukung aksial pondasi tiang tunggal dengan data SPT menggunakan metode Meyerhof diperoleh 262,48 Ton. Daya dukung tersebut diperoleh pada kedalaman 63m dan merupakan penjumlahan antara daya dukung ujung dan gesekan selimut tiang dibagi dengan *safety factor* 2.5. Sedangkan analisis daya dukung aksial pondasi tiang tunggal dengan data kalendering menggunakan metode Danish Formula, Hiley Formula, dan ENR diperoleh 256,40 Ton, 362,97 Ton, dan 419,24.
2. Analisis daya dukung aksial tiang kelompok dengan memperhitungkan efisiensi tiang (*converse-labare*) diperoleh :

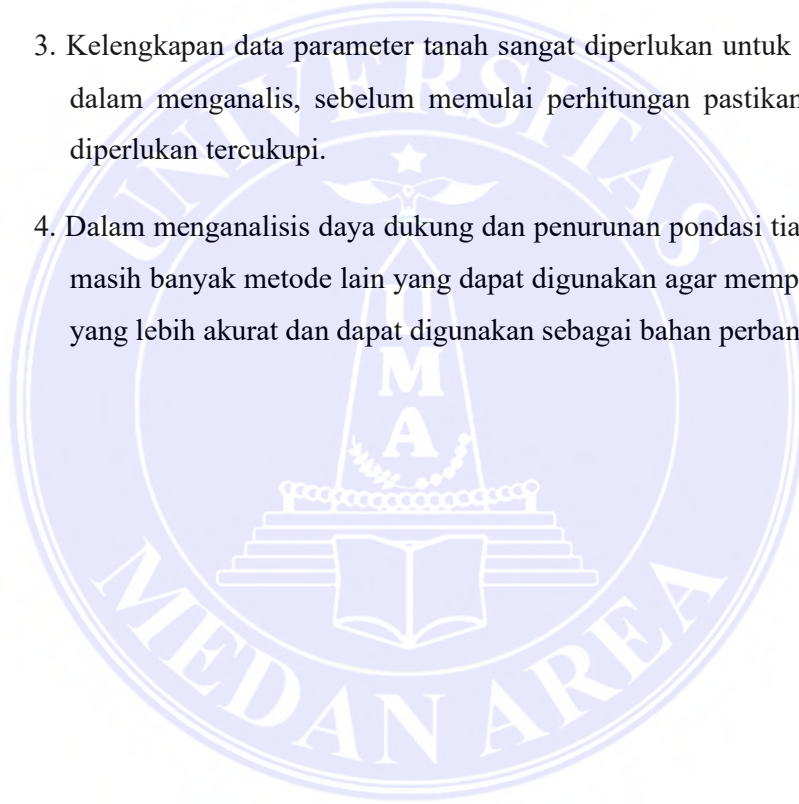
Metode perhitungan	Efisiensi kelompok tiang (Eg)	Jumlah tiang dalam kelompok (n)	Daya dukung ultimit tunggal Qu (ton)	Daya dukung kelompok tiang Qg (ton)
SPT	0,752	12	262,48	2368,61
Danish formula	0,752	12	256,40	2313,75
Hiley formula	0,752	12	362,97	3275,44
ENR formula	0,752	12	419,24	3783,22

Sumber : Penelitian (2022)

3. Analisis daya dukung lateral (Hu) menggunakan metode Broms secara analitis dan grafis diperoleh 13,636 Ton dan 15,41 Ton.
4. Analisis penurunan tiang pancang kelompok dengan menggunakan metode Meyerhof diperoleh 3,37mm, dimana hasil ini masih memenuhi batas penurunan yang diijinkan sebesar 6cm.

5.2 Saran

1. Agar memudahkan dalam menganalisis dan guna mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan realita sebenarnya, sebaiknya menggunakan rumus ataupun metode yang sesuai dengan keadaan tanah dilapangan.
2. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat sebaiknya dilakukan analisis secara numerik seperti program plaxis.
3. Kelengkapan data parameter tanah sangat diperlukan untuk kemudahan dalam menganalisis, sebelum memulai perhitungan pastikan data yang diperlukan tercukupi.
4. Dalam menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang masih banyak metode lain yang dapat digunakan agar memperoleh hasil yang lebih akurat dan dapat digunakan sebagai bahan perbandingan.

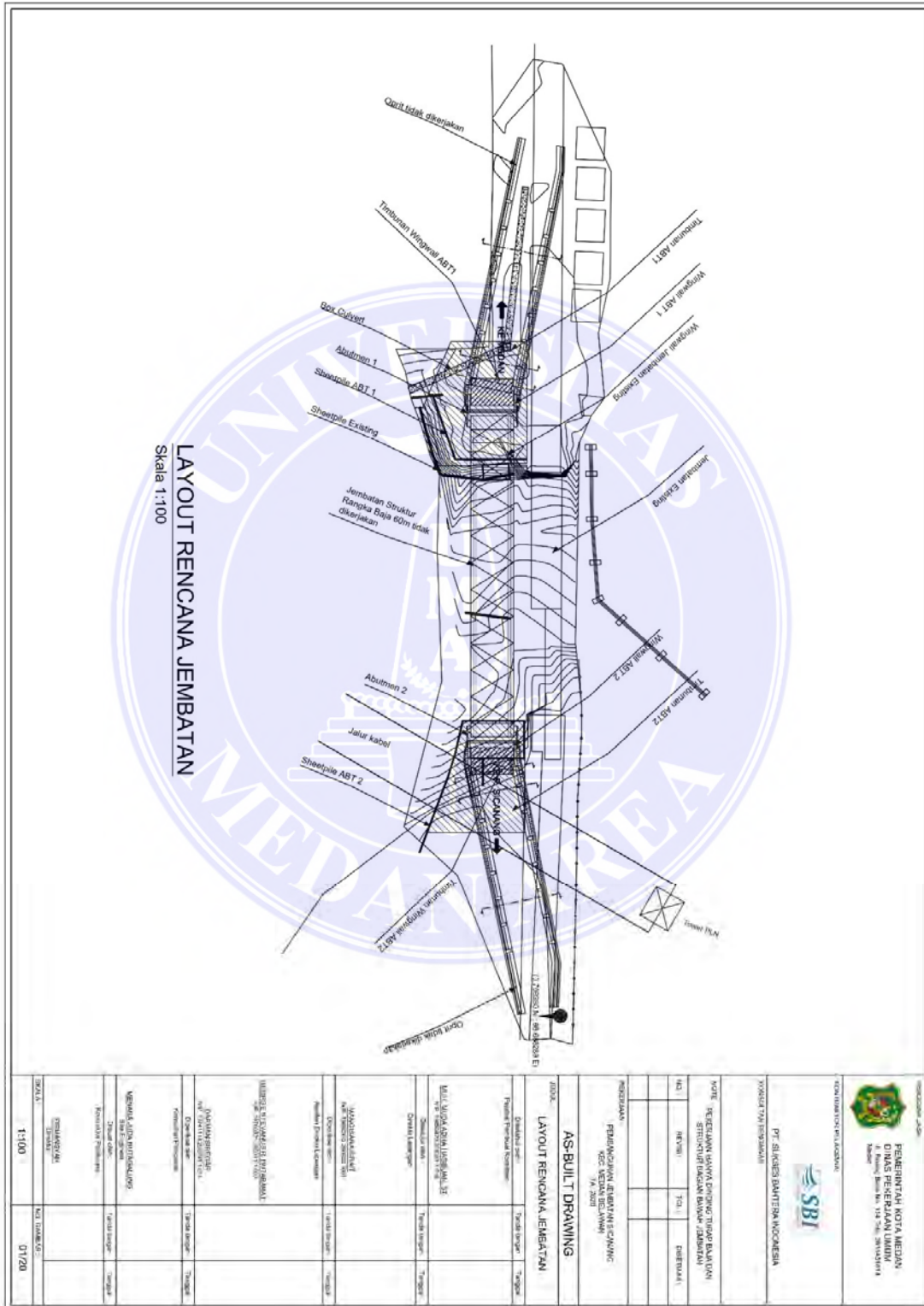


DAFTAR PUSTAKA

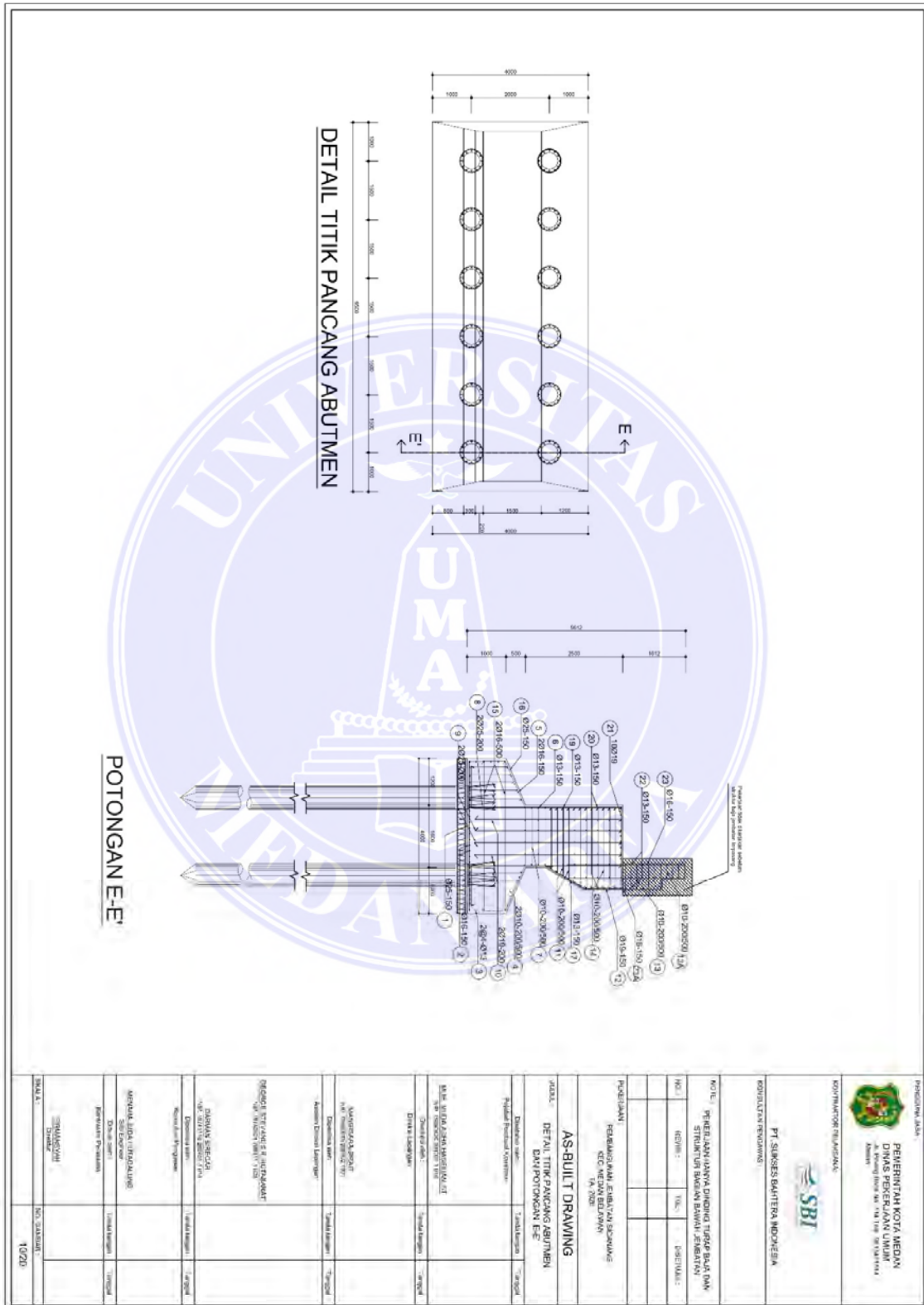
- Hardiyatmo, H.C., 1996, *Teknik Fodasi 1*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 1996, *Teknik Fodasi 2, Edisi ke empat*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Bowles, Joseph. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi Edisi keempat Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja. M., 1995, *Mekanika Tanah 1*, Erlangga, Jakarta.
- Sardjono, H. S., 1988, *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Sardjono, H. S., 1988, *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2, Edisi pertama*, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Aulia, R., Lukman, H., dan Artiningsih, T.P, 2019, *ANALISIS GAYA LATERAL PADA PONDASI TIANG PANCANG SQUARE (Studi Kasus: Pembangunan Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR) PT.Ultra Jaya Milk Industri Bandung)*, Jurnal Vol 1, No 1, Universitas Pakuan, Bogor.
- Kawengian, S., Balamba, S., dan Sarajar, A.N, 2018, *ANALISIS DAYA DUKUNG LATERAL PADA TIANG PANCANG KELOMPOK DI DERMAGA BELANG*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.9, Universitas Sam Ratulangi Manado, Manado.
- Luthfiani, F., Nurhuda, I., dan Atmanto, I.D.,2017, *ANALISIS PENURUNAN BANGUNAN PONDASI TIANG PANCANG DAN RAKIT PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMEN SURABAYA CENTRAL BUSINESS DISTRICT* , JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL, Volume 6, Nomor 2, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ahmad, G.L., dan Surahman, M., 2016, *ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MENGGUNAKAN DATA INSITU TEST, PARAMETER LABORATORIUM TERHADAP LOADING TEST KANTLEDGE*, Jurnal Konstruksia Universitas Muhammadiyah Jakarta | Volume 7 Nomer 2 | April 2016, Jakarta.

LAMPIRAN

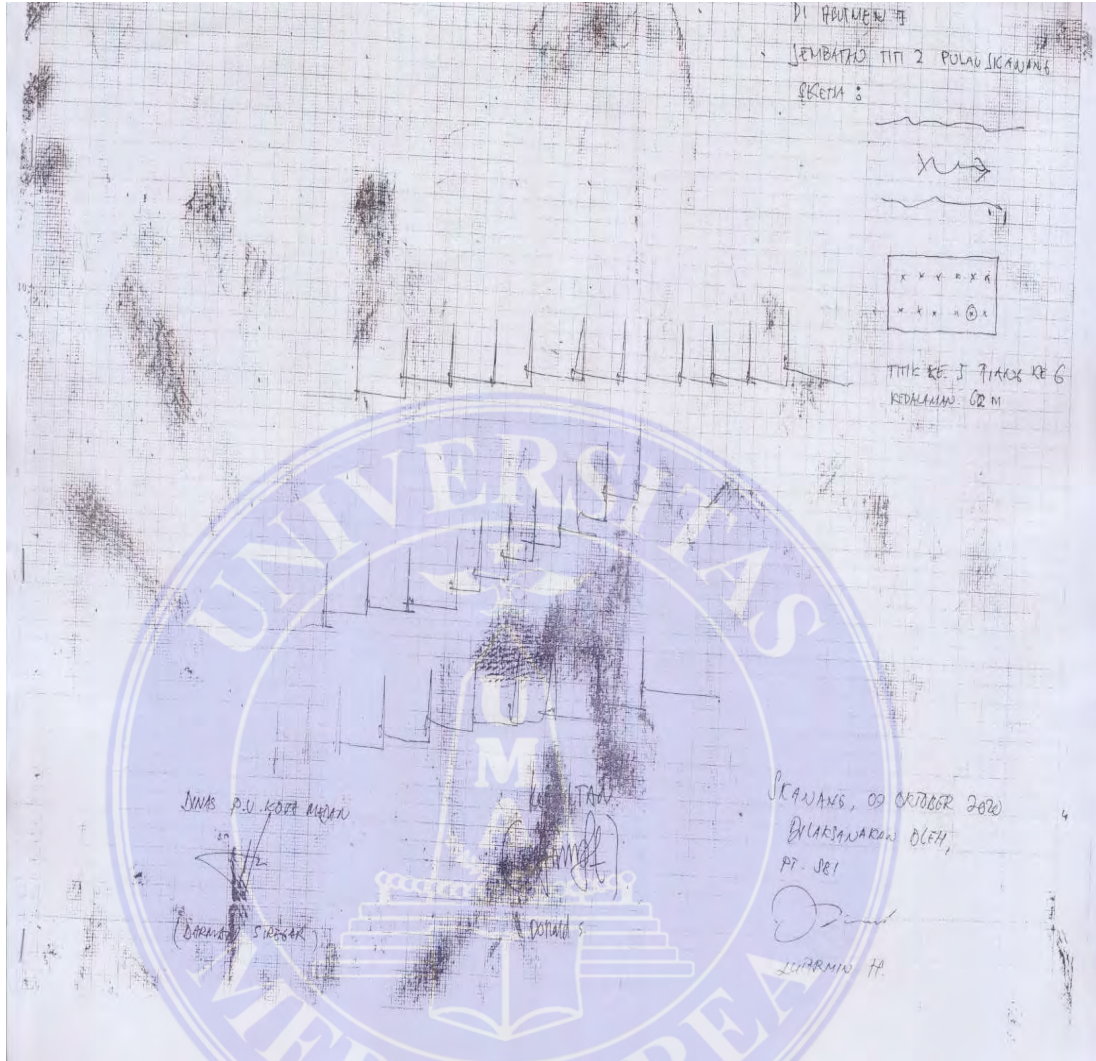
1. Gambar Layout Rencana Jembatan



3. Gambar Detail Titik Pancang Abutmen dan Potongan E-E' Abutmen



4. Data Kalendering



5. Data Standard penetration test (SPT)

CV. CITRA SOIL KONSULTAN				DRILLING LOG				BORE MASTER : Oscar	
BORE No : BH-1				Project : Pembangunan Jembatan Sleiang Kecamatan				DESCRIPTION BY : Nelson	
Beginning : 20-07-2020				Location : Belawan				DRILLING RIG : ZT-100	
Ending : 24-07-2020				GWL : 1.00 M				GEOTECHNIGIANER : Ir. Hidayat	
Scale (m)				Core Recovery in (%)				SPT Test	
Depth (m)				Number of SPT				N1 N2 N3	
Thickness (m)				Depth of SPT				30 Cm 15 15 15	
Symbol				Depth of UDS				in in in	
DESCRIPTION				Standard Penetration Test in (Blows / 30 cm)					
0	0.00	0.00							
1			Clay						
2			Clay						
3	2.80	3.00	Clay						
4			Clay						
5			Clay						
6			Clay						
7			Clay						
8			Clay						
9			Clay						
10			Clay						
11			Clay						
12			Clay						
13			Clay						
14			Clay						
15			Clay						
16	16.40	13.00	Clay						
17			Clay						
18			Clay						
19	19.00	2.00	Clay						
20			Clay						
21			Clay						
22			Clay						
23			Clay						
24			Clay						
25			Clay						
26			Clay						
27			Clay						
28			Clay						
29			Clay						
30			Clay						
31			Clay						
32			Clay						
33			Clay						
34			Clay						
35			Clay						
36			Clay						
37			Clay						
38			Clay						
39			Clay						
40			Clay						
41			Clay						
42			Clay						
43			Clay						
44			Clay						
45	45.00	36.00	Clay						
46			Clay						
47			Clay						
48			Clay						
49			Clay						
50			Clay						
51			Clay						
52			Clay						
53			Clay						
54			Clay						

CV. CITRA SOIL KONSULTAN		DRILLING LOG				BORE MASTER : Oscar					
BORE No : BH-1		Project : Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan		DESCRIPTION BY : Nelson		DRILLING RIG : ZT-100					
Beginning : 20-07-2020		Location : Belawan		GEO-ENGINEER : Ir. Hidayat		TOTAL LENGTH OF DRIL : 75.00 Meter.					
Ending : 24-07-2020		Location : Sicanang Kecamatan Belawan		GWL : 1.80 M							
Scale	Depth (m)	Thickness (m)	Symbol	DESCRIPTION	Core Recovery in (%)	Number of SPT	Depth of SPT (m)	Depth of U D S (m)	Σ N	SPT Test	Standard Penetration Test
	0	0.00									
	55										
	56										
	57					SPT 19	57.00 57.45			37	14 15 15
	58			Description : Pasir halus berbatu Colour : Abu-abu kehitaman							
	59			Strength : Sedang							
	60			Plasticity : Rendah		SPT 20	60.00 60.45	59.85 - 60.60		34	13 15 19
	61			Moist. Content : Rendah							
	62										
	63					SPT 21	63.00 63.45			46	16 18 28
	64										
	65	55.00	20.00								
	66					SPT 22	66.00 66.45	65.75 - 66.50		59	15 19 31
	67										
	68										
	69			Description : Lempung halus Colour : Abu-abu kehitaman		SPT 23	69.00 69.45			82	19 26 35
	70			Strength : Kaku ke sangat kaku							
	71			Plasticity : Tinggi							
	72			Moist. Content : Rendah							
	73					SPT 24	72.00 72.45	71.50 - 72.60		61	21 29 32
	74										
	75	75.00	10.00			SPT 25	75.00 75.45			63	22 27 30
	76										
	77										
	78										
	79										
	80										
	81										
	82										
	83										
	84										
	85										
	86										
	87										
	88										
	89										
	90										
	91										
	92										
	93										
	94										
	95										
	96										
	97										
	98										
	99										
	100										
	101										
	102										
	103										
	104										
	105										
	106										
	107										
	108										
	109										
	110										
	111										

6. Hasil pengujian tanah di laboratorium (*Index propertis of soil*)


SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT BH-1							
Bore Hole	BH	No	BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1
Sample Depth	(M)	(Meter)	5.50 - 6.00	11.50 - 12.00	17.50 - 18.00	23.50 - 24.00	29.50 - 30.00
Sample Type	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS
Natural Density Test							
- Wet Density	(Wet γ)	(gr/cc)	1.632	1.645	1.811	1.689	1.720
- Dry Density	(Dry γ)	(gr/cc)	1.156	1.134	1.369	1.214	1.255
- Void Ratio	(e)	(%)	1.2509	1.2903	0.8748	1.1167	1.0513
- Porosity	(n)	(%)	0.5557	0.5634	0.4666	0.5276	0.5125
- Saturation	(Sr)	(%)	85.66	90.64	94.80	90.01	90.67
Specific Gravity Test		(Gs)	2.602	2.598	2.566	2.570	2.575
Moisture Content Test		(%)	41.18	45.02	32.32	39.11	37.02
Atterberg Limit Test							
- Liquid Limit	(LL)	(%)	47.12	48.06	NP	36.12	34.05
- Plastic Limit	(PL)	(%)	29.05	28.89	NP	24.05	19.94
- Plastic Index	(PI)	(%)	18.07	19.17	NP	12.07	14.11
Soil Classification							
- AASHTO Standard			A-7-5	A-7-5	A-3	A-2-6	A-2-6
- U S C S Standard			OH	OH	SP	SC	SC
Sieve Analysis Test							
- No 4 Sieve Size	Passing	(%)	100	100	100	100	100
- No 10 Sieve Size	Passing	(%)	100	100	98.03	98.70	98.32
- No 40 Sieve Size	Passing	(%)	98.00	98.40	56.30	91.66	90.51
- No 200 Sieve Size	Passing	(%)	93.45	92.11	7.45	32.81	33.51
Uncon Fined Test							
- Qu Maximum	(Qu)	(kg/cm ²)	0.140	0.146	NP	0.122	0.134
- Strain Maximum	(Str)	(%)	5.50	6.00	NP	5.00	6.00
Direct Shear Test							
- Internal Friction	(ϕ)	(Degree)	5° 2' 27.06"	5° 2' 43.39"	17° 16' 54.20"	10° 27' 23.75"	12° 41' 59.26"
- Cohesion	(C)	(kg/cm ²)	0.103	0.104	0.054	0.108	0.114
Consolidation Test							
- Coef of Consol	(Cv)	10 ⁻³	1.72E-03	1.60E-03	NP	1.70E-03	2.41E-03
- Coeffisien Index	(Cc)	(-)	0.4070	0.4030	NP	0.3403	0.2804
- Permeability	(K)	(10 ⁻⁷)	1.24E-07	1.24E-07	NP	1.11E-07	1.63E-07
Pekerjaan :				Lokasi :		Page :	
Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan Belawan				Sicanang, Kecamatan Belawan			

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT BH-1

Bore Hole	BH	No	BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1
Sample Depth	(M)	(Meter)	35.50 - 36.00	41.50 - 42.00	47.50 - 48.00	53.50 - 54.00	59.50 - 60.00
Sample Type	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS	UDS
Natural Density Test							
- Wet Density	(Wet γ)	(gr/cc)	1.784	1.805	1.816	1.795	1.832
- Dry Density	(Dry γ)	(gr/cc)	1.317	1.384	1.406	1.341	1.425
- Void Ratio	(e)	(%)	0.9589	0.8697	0.8421	0.9279	0.8163
- Porosity	(n)	(%)	0.4895	0.4651	0.4571	0.4813	0.4494
- Saturation	(Sr)	(%)	95.38	90.47	89.69	94.25	90.58
Specific Gravity Test		(Gs)	2.580	2.588	2.590	2.586	2.588
Moisture Content Test		(%)	35.45	30.40	29.16	33.82	28.57
Atterberg Limit Test							
- Liquid Limit	(LL)	(%)	37.12	35.22	33.14	32.10	31.25
- Plastic Limit	(PL)	(%)	22.05	22.06	25.10	24.96	25.17
- Plastic Index	(PI)	(%)	15.07	13.16	8.04	7.14	6.08
Soil Classification							
- AASHTO Standard			A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-4
- U S C S Standard			SC	SC	SM	SM	SM
Sieve Analysis Test							
- No 4 Sieve Size	Passing	(%)	100	100	100	100	100
- No 10 Sieve Size	Passing	(%)	98.16	98.07	98.62	98.54	98.70
- No 40 Sieve Size	Passing	(%)	88.60	90.42	89.25	87.45	90.02
- No 200 Sieve Size	Passing	(%)	30.01	32.75	30.82	34.00	33.21
Uncon Fined Test							
- Qu Maximum	(Qu)	(kg/cm ²)	0.155	0.175	0.170	0.162	0.178
- Strain Maximum	(Str)	(%)	5.00	6.50	5.50	5.50	5.00
Direct Shear Test							
- Internal Friction	(ϕ)	(Degree)	15° 28' 35.50"	16° 16' 22.60"	21° 13' 2.71"	20° 23' 16.06"	22° 30' 40.85"
- Cohesion	(C)	(kg/cm ²)	0.117	0.121	0.123	0.130	0.126
Consolidation Test							
- Coef of Consol	(Cv)	10 ⁻³	1.90E-03	2.02E-03	2.00E-03	1.43E-03	2.09E-03
- Coeffisien Index	(Cc)	(-)	0.2960	0.2462	0.4265	0.3173	0.3101
- Permeability	(K)	(10 ⁻⁷)	1.05E-07	1.04E-07	1.97E-07	1.13E-07	1.61E-07
Pekerjaan :				Lokasi :		Page :	
Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan Belawan				Sicanang, Kecamatan Belawan			

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT BH-1						
Bore Hole	BH	No	BH - 1	BH - 1		
Sample Depth	(M)	(Meter)	65.50 - 66.00	71.50 - 72.00		
Sample Type	UDS	UDS	UDS	UDS		
Natural Density Test						
- Wet Density	(Wet γ)	(gr/cc)	1.942	1.988		
- Dry Density	(Dry γ)	(gr/cc)	1.587	1.635		
- Void Ratio	(e)	(%)	0.6419	0.5898		
- Porosity	(n)	(%)	0.3909	0.3710		
- Saturation	(Sr)	(%)	90.91	95.04		
Specific Gravity Test		(Gs)	2.605	2.600		
Moisture Content Test		(%)	22.40	21.56		
Atterberg Limit Test						
- Liquid Limit	(LL)	(%)	38.15	36.11		
- Plastic Limit	(PL)	(%)	21.97	17.85		
- Plastic Index	(PI)	(%)	16.18	18.26		
Soil Classification						
- AASHTO Standard			A-6	A-6		
- U S C S Standard			CL	CL		
Sieve Analysis Test						
- No 4 Sieve Size	Passing	(%)	100	100		
- No 10 Sieve Size	Passing	(%)	100	100		
- No 40 Sieve Size	Passing	(%)	99.20	99.15		
- No 200 Sieve Size	Passing	(%)	90.85	91.62		
Uncon Fined Test						
- Qu Maximum	(Qu)	(kg/cm ²)	0.245	0.260		
- Strain Maximum	(Str)	(%)	6.00	5.00		
Direct Shear Test						
- Internal Friction	(ϕ)	(Degree)	27° 56' 7.07"	29° 43' 48.61"		
- Cohesion	(C)	(kg/cm ²)	0.200	0.199		
Consolidation Test						
- Coef of Consol	(Cv)	10 ⁻³	STIFF	STIFF		
- Coeffisien Index	(Cc)	(-)	STIFF	STIFF		
- Permeability	(K)	(10 ⁻⁷)	STIFF	STIFF		
Pekerjaan :			Lokasi :		Page :	
Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan Belawan			Sicanang, Kecamatan Belawan			

7. Hasil PDA test



PT. GEO STRUKTUR INDONESIA
 Jl. Kapten Soemarakono No. 55, Helvetia Dell Serdang,
 Medan - Indonesia
 Telp. : 0823 6800 5288
 Fax : (061) 80440856
 Email : geostruktur_indonesia@yahoo.co.id

▪ **Pile No. ABT1-P6**
 Pile No. ABT1-P6 (Spun Pile Dia. 60 cm, L = 36 m – Panjang Penetrasi 34.8 m) Hasil CAPWAP menunjukkan total kapasitas daya dukung sebesar 110 Ton, dengan pembagian tahanan friksi sebesar 84 Ton, dan tahanan ujung sebesar 26 Ton, serta perpindahan total sebesar 19.9 mm dan penurunan tetap sebesar 6 mm.

▪ **Pile No. ABT1-P6**
 Pile No. ABT1-P6 (Spun Pile Dia. 60 cm, L = 36 m – Penetration Length 34.8 m) The CAPWAP shows total bearing capacity 110 Tons, consists friction resistance 84 Tons, and end bearing 26 tons. The total displacement is 19.9 mm, and permanent settlement is 6 mm.

Table II
SUMMARIES OF CAPWAP RESULTS

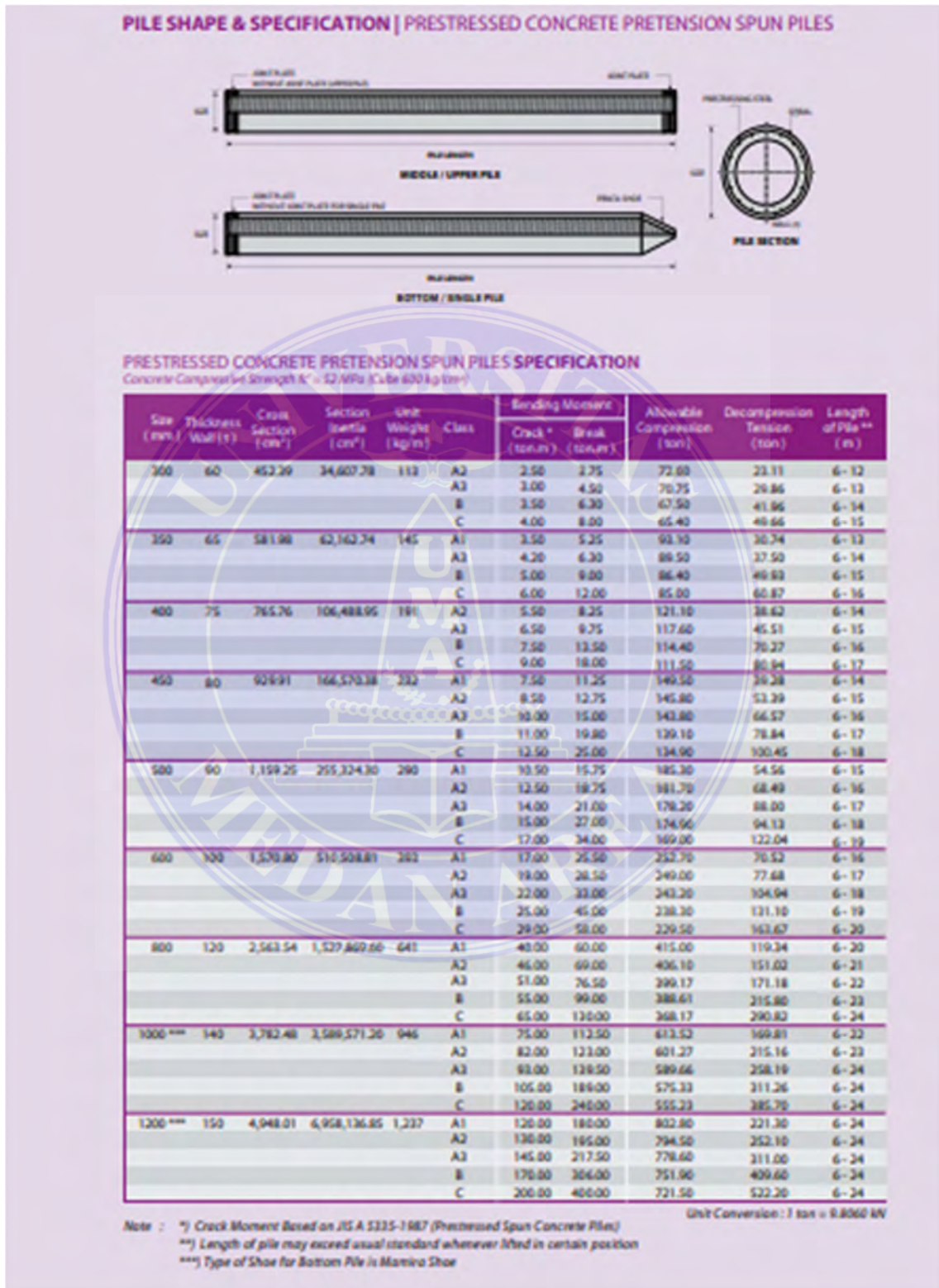
Pile No.	CAPWAP				
	Days Dukung Total Total Bearing Capacity (Ton)	Days Dukung Friksi Friction Capacity (Ton)	Days Dukung Ujung End Bearing Capacity (Ton)	Displacement (mm)	Set (mm)
ABT1-P2	288	273	15	28.5	2
ABT1-P6	110	84	26	19.9	6

▪ **Pile No. ABT1-P2**
 Pile No. ABT1-P2 (Spun Pile Dia. 60 cm, L = 63 m – Panjang Penetrasi 61.2 m) Hasil CAPWAP menunjukkan total kapasitas daya dukung sebesar 288 Ton, dengan pembagian tahanan friksi sebesar 273 Ton, dan tahanan ujung sebesar 15 Ton, serta perpindahan total sebesar 28.5 mm dan penurunan tetap sebesar 2 mm.

▪ **Pile No. ABT1-P2**
 Pile No. ABT1-P2 (Spun Pile Dia. 60 cm, L = 63 m – Penetration Length 61.2 m) The CAPWAP shows total bearing capacity 288 Tons, consists friction resistance 273 Tons, and end bearing 15 tons. The total displacement is 28.5 mm, and permanent settlement is 2 mm.

FOUNDATION TESTING:
 • STATIC LOAD TEST • DYNAMIC LOAD TEST (PSA • HAMMER) • PILE WELCHIN TEST (WT) • EXCESSIVE SINKING (OGGRIE) • THERMAL INTEGRITY PDA (ING) •
 SOIL INVESTIGATION & LABORATORY
 • SOILBORING INVESTIGATION • STANDARD PENETRATION TEST (SPT) • CONE PENETRATION TEST (CPT) • PENETRATION TEST • SAND CONE TEST •

8. Tabel spesifikasi tiang pancang (Wika beton)



9. Foto dokumentasi lapangan



