

**ANALISIS KAPASITAS TIANG PANCANG BERDASARKAN
DATA KALENDERING PADA PROYEK JALAN TOL
INDRAPURA-KISARAN**

SKRIPSI

OLEH:

**ERIKSON PURBA
178110145**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

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 25/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)25/3/24

**ANALISIS KAPASITAS TIANG PANCANG BERDASARKAN
DATA KALENDERING PADA PROYEK JALAN TOL
INDRAPURA-KISARAN**

SKRIPSI

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



Oleh:

**ERIKSON PURBA
178110145**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

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 Kapasitas Tiang Pancang Berdasarkan Data
Kalendering Pada Proyek Jalan Tol Indrapura-Kisaran
Nama : Erikson Purba
NPM : 178110145
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



Ir. H. Irwan, MT
Pembimbing



Dr. Rahmasyari, Kom., M.Kom
Dekan



Lisa Eponita Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 2 Agustus 2023

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 saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 2 Agustus 2023



Erikson Purba

178110145

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Erikson Purba
NPM : 178110145
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Kapasitas Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering Pada Proyek Jalan Tol Indrapura-Kisaran. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif 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 : 2 Agustus 2023

Yang menyatakan


(Erikson Purba)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan Pada tanggal 18 Juli 1997 dari Ayah Nimrot Purba dan Ibu Dermina Pasaribu Penulis merupakan putra ke 1 dari 7 bersudara. Tahun 2015 Penulis lulus dari SMA METHODIST-8 MEDAN dan pada tahun 2017 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2020 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Jalan Tol Indrapura-Kisaran.



KATA PENGHANTAR

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 ialah Struktur dengan judul Analisis Kapasitas Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering Pada Proyek Jalan Tol Indrapura-Kisaran. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. H. Irwan, MT selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman stambuk 2017 yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. 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



(Erikson Purba)



ABSTRAK

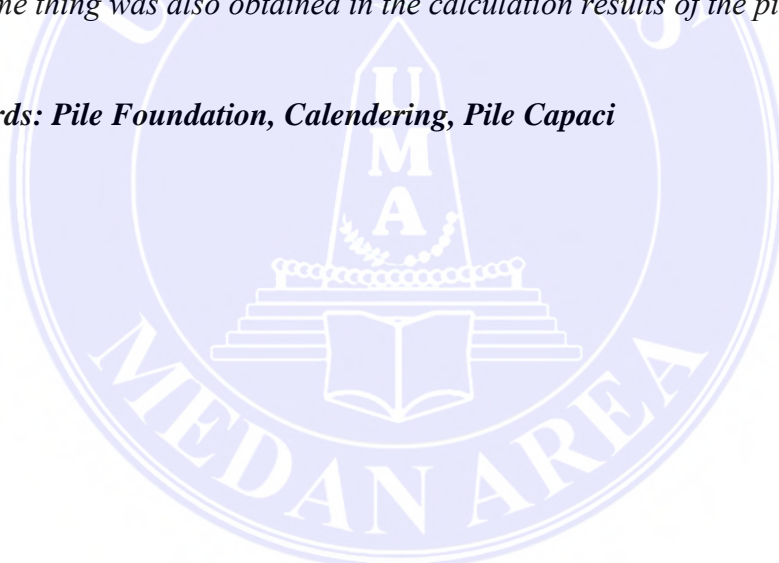
Fondasi tiang pancang diperlukan untuk mendukung bangunan, apabila lapisan tanah keras terletak sangat dalam. Fondasi tiang pancang berfungsi untuk mentransfer beban-beban yang berada di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Untuk keperluan ini, maka dibutuhkan analisis kapasitas tiang tunggal dan kapasitas kelompok tiang yang mampu memikul beban-beban yang berada di atasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kapasitas tiang tunggal (Q_a) berdasarkan data kalendering dan hubungan kapasitas tiang tunggal (Q_a) dengan penetrasi tiang (s) lalu kapasitas kelompok tiang (Q_g) berdasarkan efisiensi tiang. Penelitian ini dilakukan di Jalan Tol Indrapura -Kisaran STA146+225. Hasil analisis kapasitas dukung dari metode yang satu dibandingkan dengan metode lainnya dan hubungannya dengan penetrasi tiang. Kapasitas tiang sebagian besar menunjukkan nilai kapasitas tiang tunggal yang hampir sama seperti metode Hilley dengan Q_{atotal} 17244,72kN, Navy-Mckay dengan (Q_{atotal}) 26553,88kN, Janbu dengan Q_{atotal} 17276,89, kecuali metode Sanders (1851) Q_{atotal} 34763,62kN hal ini dapat disebabkan karena metode ini hanya mempertimbangkan berat tiang saja. Hubungan kapasitas tiang tunggal dengan penetrasi tiang didapatkan bahwa semakin kecil nilai penetrasi tiang, maka kapasitas tiang semakin besar. Hal ini didapatkan pada semua metode yang digunakan, walaupun cara perhitungan dan metode yang berbeda-beda. Hal yang sama juga didapatkan pada hasil perhitungan kelompok tiang (Q_g).

Kata kunci: Fondasi Tiang Pancang, Kalendering, Kapasitas Tiang.

ABSTRACT

A pile foundation is needed to support the building, if the hard soil layer is very deep. The pile foundation functions to transfer the loads above it (superstructure) to deeper soil layers. For this purpose, it is necessary to analyze the capacity of a single pile and the capacity of a group of piles that are capable of carrying the loads above them. The aim of this research is to determine the single pile capacity (Q_a) based on calendaring data and the relationship between single pile capacity (Q_a) with pile penetration (s) and then pile group capacity (Q_g) based on pile efficiency. This research was carried out on the Indrapura - Kisaran STA146 Toll Road +225. The results of the bearing capacity analysis from one method are compared with other methods and their relationship with pile penetration. Most of the pole capacities show almost the same single pole capacity values as the Hilley method with Q_{atotal} 17244.72kN, Navy-Mckay with (Q_{atotal}) 26553.88kN, Janbu with Q_{atotal} 17276.89, except for the Sanders method (1851) Q_{atotal} 34763.62kN. This could be because this method only considers the weight of the pole. The relationship between single pile capacity and pile penetration shows that the smaller the pile penetration value, the greater the pile capacity. This is obtained in all methods used, even though the calculation methods and methods are different. The same thing was also obtained in the calculation results of the pile group (Q_g).

Keywords: *Pile Foundation, Calendering, Pile Capaci*



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
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Lingkup Penelitian	3
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pengertian dan Jenis-jenis Pondasi Tiang Pancang	6
2.2.1 Tiang Pancang Kayu	8
2.2.2 Tiang Beton Pracetak	10
2.2.3 Tiang Baja Profil	13
2.2.4 Tiang Komposit	15
2.3 Alat Tiang Pancang	22
2.3.1 Pemukul Jatuh (<i>drop hammer</i>)	23
2.3.2 Pemukul Aksi Tunggal (<i>single acting hammer</i>)	24
2.3.3 Pemukul Aksi Dobel (<i>double acting hammer</i>)	25
2.3.4 Pemukul Diesel (<i>diesel hammer</i>)	26
2.3.5 Pemukul Getar (<i>vibratory hammer</i>)	27
2.4 Pekerjaan Pemasangan Tiang	28
2.4.1 Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang Pada Tanah Granuler	28
2.4.2 Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang Pada Tanah Kohesif	29
2.5 Perhitungan Pemancangan	30
2.5.1 Kekuatan Tiang	30
2.5.2 Persyaratan-persyaratan Pemancangan	31

2.5.3	Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan.....	32
2.5.4	Faktor Aman Tiang Pancang.....	33
2.6	Kalendering Pemancangan.....	34
2.7	Kapasitas Tiang Berdasarkan Data Kalendering.....	34
2.7.1	Persamaan Hiley.....	41
2.7.2	Persamaan Sanders.....	45
2.7.3	Persamaan Navy-Mckay	47
2.7.4	Persamaan Janbu	47
2.8	Kapasitas Kelompok Tiang.....	48
2.8.1	Susunan Tiang.....	50
2.8.2	Efisiensi Tiang	51
2.8.3	Kapasitas Tiang Kelompok.....	53
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	56
3.1	Lokasi Pondasi Tiang Pancang	56
3.2	Dimensi dan Jumlah Tiang	56
3.3.1	Denah Susunan Tiang Pancang.....	57
3.3.2	Penampang Memanjang Kelompok Tiang.....	58
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	59
3.4	Waktu Penelitian	61
3.5	Prosedur Analisis Pondasi Tiang Pancang	61
3.6	Bagan Alur Penelitian	62
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1	Analisis Kapasitas Tiang Tunggal Kedalaman 24 m	64
4.1.1	Kapasitas Tiang Tunggal Menggunakan Metode Persamaan Hiley	65
4.1.2	Kapasitas Tiang Tunggal Menggunakan Metode Persamaan Sanders.....	66
4.1.3	Kapasitas Tiang Tunggal Menggunakan Metode Persamaan Navy-Mckay	67
4.1.4	Kapasitas Tiang Tunggal Menggunakan Metode Persamaan Janbu.....	67
4.2	Analisis Kapasitas Tiang Tunggal Berdasarkan Interval Kedalaman	69
4.3	Kapasitas Tiang Kelompok	70
4.4	Hubungan Penetrasi Tiang dengan Kapasitas Tiang.....	71
4.5	Pembahasan Hasil Analisi.....	72
BAB IV.	SIMPULAN DAN SARAN	75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		xiv
LAMPIRAN.....		xv

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Nilai-nilai tipikal beban ijin tiang beton pracetak	13
Tabel 2 Penghentian pemancangan	32
Tabel 3 Nilai-nilai k_1	44
Tabel 4 Nilai efisiensi eh	45
Tabel 5 Koefisien restitusi n	45
Tabel 6 Data pengujian kalendering Abutment	60
Tabel 7 Hasil analisis kapasitas tiang kelompok pada ABT	73



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Panjang dan Beban Maksimum Untuk Berbagai Macam Tipe Tiang	8
Gambar 2 Tiang Kayu.....	9
Gambar 3 Tiang Beton Pracetak	11
Gambar 4 Pemasanan Tulangan Tiang Pancang Beton Pracetak.....	12
Gambar 5 Tampilan Melintang Tiang Baja Profil.....	13
Gambar 6 <i>Waterproofed Steelpipe and Wood Pile</i>	16
Gambar 7 <i>Composite Dropped In-Shell and Wood Pile</i>	17
Gambar 8 <i>Composite Ungased-concrete and Wood Pile</i>	19
Gambar 9 <i>Composite Dropped In-Shell and Pipe Pile</i>	20
Gambar 10 <i>Franki Composite Pile</i>	21
Gambar 11 Alat Pancang	23
Gambar 12 Pemukul Jatuh	24
Gambar 13 Pemukul Aksi Tunggal (<i>single acting hammer</i>)	25
Gambar 14 Pemukul Aksi Dobel (<i>double acting hammer</i>).....	26
Gambar 15 Pemukul Diesel (<i>diesel hammer</i>)	27
Gambar 16 Pemukul Getar (<i>vibratory hammer</i>)	28
Gambar 17 Pengaruh Pemancangan Tiang Pada Sudut Gesek Dalam (ϕ).....	29
Gambar 18 Notasi-notasi Dalam Rumus Dinamik	36
Gambar 19 Perbandingan Zona Tanah Tertekan	49
Gambar 20 Perbedaan Tekanan Tiang Pada Tanah Pendukung	50
Gambar 21 Pola Susunan Pancang.....	51
Gambar 22 Definisi Jarak s Dalam Hitungan Efisiensi Tiang	53
Gambar 23 Tipe Keruntuhan Dalam Kelompok Tiang.....	55
Gambar 24 Lokasi <i>Underpass</i> STA 146+225.....	56
Gambar 25 Plan <i>Underpass</i>	57
Gambar 26 Denah Tiang Pancang <i>Underpass</i>	58
Gambar 27 Potongan Memanjang <i>Underpass</i>	59
Gambar 28 Diagram Alir Analisis	63
Gambar 29 Grafik Kapasitas Tiang Tunggal Berdasarkan Interval Kedalaman.....	70
Gambar 30 Hubungan kapasitas tiang pancang ($Q_{\text{rata-rata}}$) dengan penetrasi tiang.....	74
Gambar 31 Grafik Kapasitas Tiang.....	75

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Arti Lambang

A	=	tampang melintang tiang (m^2)
E	=	modulus elastis tiang (kN/m^2)
E_g	=	efisiensi kelompok tiang
e_h	=	efisiensi pemukul (<i>hammer efficiency</i>)
g	=	gravitasi
h	=	tinggi jatuh pemukul (m)
I	=	jumlah impuls yang menyebabkan <i>kompresi</i> atau perubahan momentum
k	=	<i>rebound</i> (m)
k_1	=	<i>kompresi elastis blok</i> penutup (<i>capblok</i>) dan <i>pile cap</i> , yaitu $Q_u L/AE$ (m)
k_2	=	<i>kompresi elastis</i> tiang, yaitu $Q_u L/AE$ (m)
k_3	=	<i>kompresi elastis</i> tanah (m)
m	=	massa (berat/gravitasi)
M_r	=	momentum <i>ram</i> (kN)
n	=	<i>koefisien restitusi</i>
nI	=	jumlah impuls yang menyebabkan restitusi (kN)
Q_a	=	kapasitas ijin tiangx
Q_g	=	kapasitas dukung tiang kelompok
Q_u	=	kapasitas tiang ultimit
s	=	penetrasi pukulan per pukulan
v_i	=	kecepatan <i>ram</i> pada saat benturan
v_p	=	kecepatan tiang pada saat periode <i>restitusi</i>
v_r	=	kecepatan <i>ram</i> pada saat akhir periode <i>restitusi</i>
v_{ce}	=	kecepatan tiang dan <i>ram</i> pada akhir periode <i>kompresi</i>
W_p	=	berat tiang termasuk berat penutup tiang (<i>pile cap</i>), <i>driving shoe</i> dan blok penutup (<i>cap blok</i>) (juga termasuk <i>anvil</i> untuk pemukul uap aksi dobel) (kN)
W_r	=	berat <i>ram</i> (kN)

Singkatan

cm = *centi meter*

m = *meter*

kg = *kilo gram*

kN = *kilo Newton*

° = *deraja*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan Tol Indrapura-Kisaran adalah jaringan jalan tol yang memiliki panjang 47,75 km terbentang di atas tiga daerah/kabupaten yaitu Simalungun, Batubara, dan Kisaran. Tol ini akan melintasi berbagai jenis tata guna lahan mulai persawahan, perkebunan, permukiman, jalan raya, rel kereta api, tanah rawa, dan sungai.

Setiap fondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Sehingga, fondasi pada struktur bangunan harus diperhitungkan daya dukung agar dapat menjamin kestabilan bangunan dalam menahan beban yang diterima dan memperhitungkan penurunan yang terjadi dan tidak melebihi batas yang sudah ditetapkan.

Pembangunan infrastruktur untuk jalan tol sangat membutuhkan Bangunan yang kokoh dengan fondasi yang tahan. Salah satu infrastruktur jalan Tol, Fondasi tiang pancang digunakan untuk menopang bangunan ketika lapisan tanah yang kuat sangat dalam. Pondasi tiang berfungsi memindahkan atau memindahkan beban di atasnya (*super structure*) kelapisan tanah yang lebih dalam (Pratama, et al., 2016). Kapasitas tiang pancang diukur dengan data kalendering. Data pengujian dilakukan pada saat waktu pemancangan. Data kalendering dikumpulkan saat tiang mencapai tanah keras, jumlah penetrasi dan pantulan diambil sebanyak 10 pukulan (Lukman, 2017).

Analisis dilakukan dengan beberapa persamaan dari rumus dinamik karena beberapa persamaan ini memiliki keakuratan dalam menganalisis kapasitas tiang pancang tunggal (Q_a) dengan data kalendering, adapun persamaan-persamaan yang

akan dilakukan yaitu metode persamaan *Hiley* (1930), persamaan *Sanders* (1851), persamaan *Navy-Mckay* dan persamaan *Janbu* (1953), dari hasil perhitungan kapasitas tiang pancang tunggal ($Q_{\text{rata-rata}}$) dihubungkan dengan penetrasi tiang (s). Untuk analisis kapasitas tiang kelompok menggunakan faktor efisiensi tiang dengan metode *Converse-Labarre Formula*.

Sehingga dalam perencanaan fondasi harus dilakukan dengan teliti dan secermat mungkin, setiap fondasi harus dapat memikul beban yang telah ditentukan atau bahkan beban maksimum yang mungkin terjadi. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi dan komparasi dari berbagai metode guna memperoleh nilai daya dukung fondasi yang tepat secara efektif dalam perencanaan fondasi harus dilakukan dengan teliti dan secermat mungkin, setiap fondasi harus dapat memikul beban yang telah ditentukan atau bahkan beban maksimum yang mungkin terjadi.

Maka peneliti tertarik untuk meneliti dengan menggunakan metode *Hilley*, *Sanders*, *Janbu* dan *Navy-Mckay* untuk bertujuan Untuk membandingkan dari beberapa metode diatas, metode apa yang paling tepat digunakan untuk meneliti Analisis Kapasitas Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering Pada Proyek Jalan Tol Indrapura - Kisaran.

Berdasarkan uraian di atas maka, sangat dibutuhkan untuk menganalisis kapasitas tiang tunggal (Q_a), kapasitas tiang kelompok (Q_g) dan hubungan antara kapasitas tiang (Q_{rata}) dan penetrasi tiang (s) berdasarkan data kalendering. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi dan komparasi dari berbagai metode guna memperoleh nilai daya dukung fondasi yang tepat secara efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Menganalisis Kapasitas Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering Pada Proyek Jalan Tol Indrapura -Kisaran?
2. Bagaimana mengetahui kemampuan satu kelompok tiang dalam menentukan keamanan tiang untuk memikul beban yang ada?
3. Bagaimana hubungan kapasitas tiang tunggal (Q_a) dengan penetrasi tiang (s)?

1.3. Lingkup Penelitian

Agar pembahasan dan penyusunan skripsi terarah dan tidak menyimpang dari pokok penelitian, adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Batasan lokasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Abutment yang berada di STA 146+225.
2. Kapasitas tiang pada tiang pancang hanya ditentukan berdasarkan data kalendering.
3. Analisis kapasitas tiang tunggal hanya menggunakan metode persamaan *Hiley* (1930), persamaan *Sanders* (1851), persamaan *Navy-Mckay* dan persamaan *Janbu* (1953).

1.4. Maksud Penelitian dan tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah Menganalisis kapasitas tiang pancang berdasarkan data Kalendering pada proyek tol Indrapura-Kisaran.

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui hubungan kapasitas tiang tunggal (Q_a) dengan penetrasi tiang (s).
2. Untuk mengetahui kapasitas kelompok tiang (Q_g) berdasarkan efisiensi tiang.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Menjadi acuan dalam menganalisis kapasitas tiang berdasarkan data kalendering.
2. Sebagai referensi dalam pelaksanaan tiang pancang di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Review Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai analisis daya dukung tiang pancang yang pernah dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya, dari kepustakaan diketahui beberapa penulis yang telah melakukan penelitian yaitu :

- a. Eko Seftian Randyanto 2015, dengan judul analisis daya dukung tiang pancang dengan menggunakan metode statik dan kalendering (studi kasus: proyek pembangunan *Manado Town Square 3*), Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan hasil daya dukung tertinggi terdapat pada uji calendring dengan metode hiley sebesar 272,83 ton (dengan kapasitas hammer 3,5 ton, tinggi pemukul jatuh 1,4 m dan besar penetrasi 1,3 cm/ 10 pukulan). ditujukan untuk penghentian pemukulan dikarenakan tiang sudah tidak mengalami perlawanan penetrasi sehingga perlu dilakukan uji calendring untuk mendapatkan daya dukung tiang
- b. Sulha, Umran Satria, Fitriah, Muhammad Sukri, dengan judul analisis kapasitas dukung tiang pancang tunggal berdasarkan data N-SPT, CPT dan kalendering, dengan hasil daya dukung tertinggi terdapat pada uji calendring dengan metode hiley sebesar 272,83 ton (dengan kapasitas hammer 3,5 ton, tinggi pemukul jatuh 1,4 m dan besar penetrasi 1,3 cm/ 10 pukulan).

2.2. Pengertian dan Jenis-jenis Fondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan baja, yang digunakan untuk mentramisikan benda-benda permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1984).

Fondasi tiang pancang adalah fondasi dalam yang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Fondasi tiang pancang berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban yang berada di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam (Pratama, et al., 2016).

Menurut Hardiyatmo (2015), menyatakan bahwa fondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Fondasi tiang juga digunakan untuk bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Selain itu, tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, di mana pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air.

Fondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain:

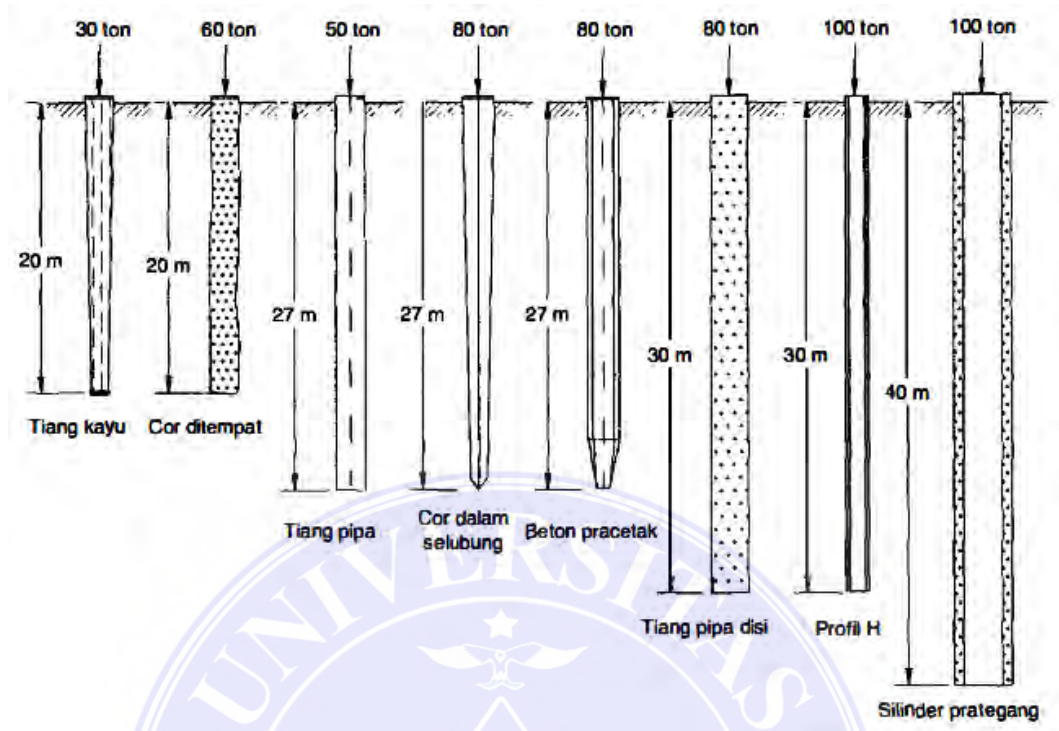
1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.
2. Untuk meneruskan beban tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga fondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah sekitarnya.
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatis atau momen penggulingan.

4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah.
6. Untuk mendukung fondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

Fondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 kategori, sebagai berikut:

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga volume tanah yang relatif besar. Termasuk dalam tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*) adalah sama seperti tiang kategori pertama, hanya volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan relatif kecil, contohnya: tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang 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 di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Termasuk dalam tiang tanpa perpindahan adalah tiang bor, yaitu tiang beton yang pengecorannya langsung di dalam lubang hasil pengeboran tanah (pipa baja diletakkan dalam lubang dan dicor beton).

Berdasarkan (Gambar 1.) menunjukkan panjang maksimum dan beban maksimum untuk berbagai macam tiang yang umum dipakai dalam praktek.



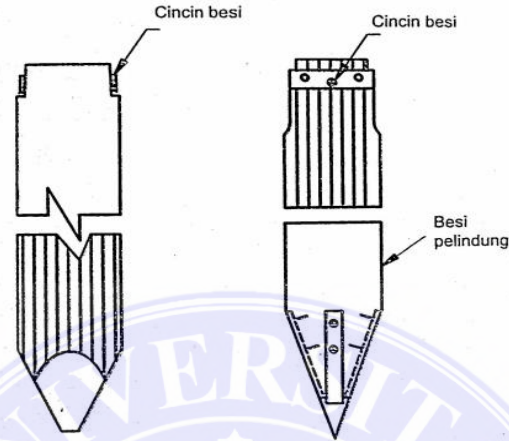
Gambar 1. Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang (Hardiyatmo, 2015)

2.1.1. Tiang Pancang Kayu

Tiang kayu (Gambar 2) adalah tiang yang dibuat dari kayu, umumnya berdiameter antara 10-25 cm. Tiang kayu cerucuk, yang banyak dipakai di Indonesia untuk perbaikan kapasitas dukung tanah lunak berdiameter antara 8–10 cm dan panjang 4 m.

Tiang kayu lebih murah dan mudah penanganannya, permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah. Tiang kayu ini dapat mengalami pembusukan atau rusak akibat dimakan serangga. Tiang kayu yang selalu terendam air biasanya lebih awet. Untuk menghindari kerusakan pada waktu pemancangan ujung tiang dilindungi dengan sepatu dari besi. Beban

maksimum yang dapat dipikul oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270 – 300 kN (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 2. Tiang kayu (Hardiyatmo, 2015)

Tiang kayu harus diperiksa terlebih dahulu sebelum dipancang, yaitu untuk memastikan bahwa tiang pancang kayu tersebut betul-betul memenuhi ketentuan dari bahan dan toleransi yang diijinkan. Bila menyimpang dari ketentuan yang diijinkan, bisa menyebabkan kesulitan dalam pemancangan ataupun tiang pancang kayu tidak bisa tahan lama.

Keuntungan pemakaian tiang pancang kayu antara lain:

1. Tiang pancang relatif ringan sehingga mudah dalam transport.
2. Kekuatan tarik besar sehingga pada waktu pengangkatan untuk perancangan tidak menimbulkan kesulitan seperti misalnya pada tiang pancang beton precast.
3. Mudah untuk pemotongannya apabila tiang kayu ini sudah tidak dapat masuk lagi ke dalam tanah.
4. Tiang pancang kayu lebih sesuai dan baik untuk friction pile daripada untuk end bearing pile sebab tegangan tekanannya relatif kecil.

5. Relatif flexible dan lenting terhadap arah terhadap horinzontal dibanding dengan tiang-tiang pancang selain dari kayu, maka apabila tiang ini menerima beban horizontal yang tidak tetap, tiang pancang kayu ini akan melentur dan segera kembali ke posisi setelah beban horizontal tersebut hilang.

Kerugian pemakaian tiang pancang kayu antara lain:

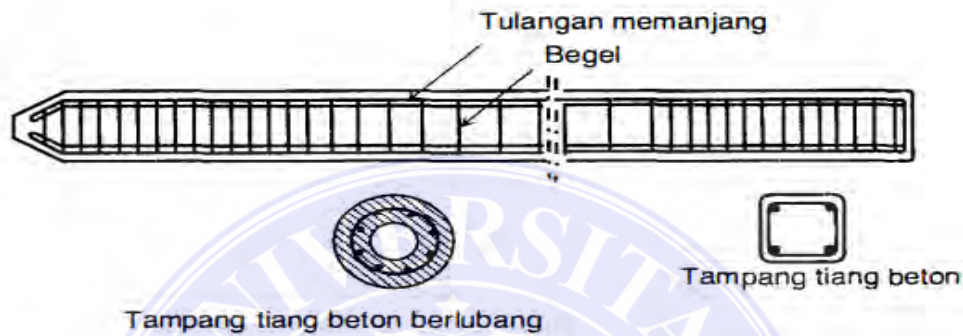
1. Harus selalu terletak di bawah muka air tanah yang terendah agar dapat tahan lama, maka kalau air tanah yang terendah tersebut letaknya sangat dalam. Mempunyai umur yang relatif Gambar 25. Denah posisi titik pancang terhadap pipa gas Gambar 25. Denah posisi titik pancang terhadap pipa gas
2. kecil dibandingkan dengan tiang pancang yang dibuat dari baja atas beton, terutama pada daerah yang tinggi air tanahnya sering naik dan turun.
3. Pada waktu pemancangan pada tanah yang berbatu untuk tiang pancang kayu ini dapat berbentuk sapu atau dapat pula ujung tiang tersebut merenyuk (Bowles, 1984).

2.2.2. Tiang Beton Pracetak

Tiang pancang beton precast adalah tiang dari beton yang dicetak di suatu tempat dan kemudian diangkut ke lokasi rencana bangunan. Tiang beton, umumnya berbentuk prisma atau bulat (Gambar 3). Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang di antara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang, diameternya dapat mencapai 140 cm. Panjang tiang beton pracetak biasanya bersekitar diantara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil berkisar di antara 300 sampai 800 kN (Hardiyatmo, 2015).

Keuntungan pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain:

1. Bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan.
2. Prosedur pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh air tanah.
3. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.
4. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler.



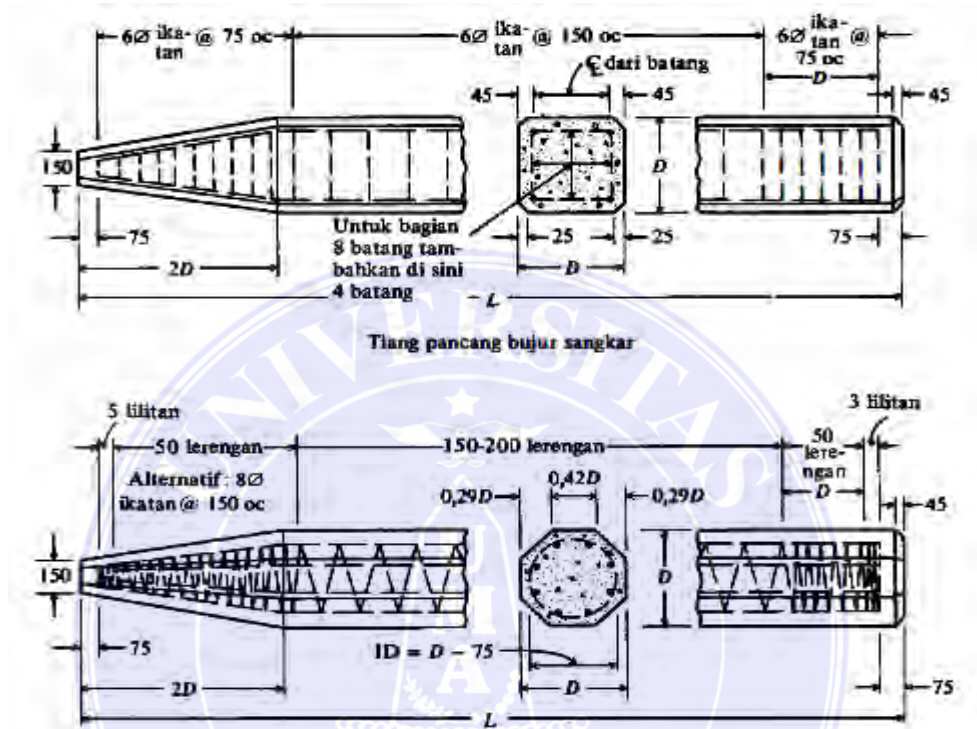
Gambar 2 Tiang beton pracetak (Hardiyatmo, 2015)

Kerugian pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain:

1. Pengembungan permukaan tanah dan gangguan tana akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
2. Kepala tiang kadang-kadang pecah akibat pemancangan.
3. Pemancangan sulit, bila diameter tiang terlalu besar.
4. Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan dformasi tana yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya.
5. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.

Menurut Bowles, (1984) tiang pancang beton dapat dibuat dengan menggunakan penguatan biasa seperti dalam (Gambar 4). Tiang pancang beton pracetak yang menggunakan penguatan biasa, dibuat untuk tegangan-tegangan lentur selama waktu pengambilan (*pickup*) dan pengangkutan ke tempat proyek,

untuk momen-momen lentur dari beban-beban lateral, serta untuk menyediakan tahanan untuk mencukupi terhadap beban vertikal dan terhadap setiap gaya tegangan yang timbul selama pemancangan.



Gambar 3. Pemasangan tulangan tiang pancang beton pracetak (Bowles, 1984)

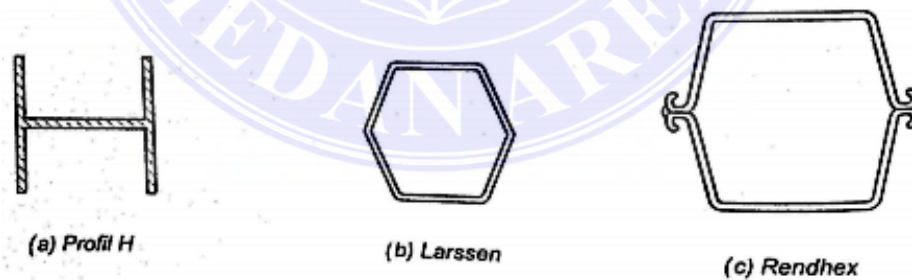
Nilai-nilai beban maksimum tiang beton pracetak pada umumnya, yang ditinjau dari segi kekuatan bahan tiangnya dapat dilihat dalam (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai-nilai tipikal beban ijin tiang beton pracetak (Hardiyatmo, 2015)

Diameter Tiang (cm)	Beban Tiang maksimum (KN)
30	300 – 700
35	350 – 850
40	450 – 1200
45	500 – 1400
50	700 – 1750
60	800 – 2500

2.2.3. Tiang Baja Profil

Tiang baja profil termasuk tiang pancang, dengan bahan yang dibuat dari baja profil. Tiang ini mudah penanganannya dan dapat mendukung beban pukulan yang besar waktu dipancang pada lapisan yang keras. Tiang baja profil H, empat persegi panjang, segi enam dan lain-lainnya (Gambar 5) (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 4. Tampang melintang tiang baja profil (Hardiyatmo, 2015)

Menurut Sardjono, (1988) kebanyakan penampang tiang pancang baja berbentuk profil H, karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri adalah sangat besar sehingga dalam transport dan pemancangan tidak menimbulkan

bahaya patah seperti halnya pada tiang pancang beton precast namun tiang baja ini lemah terhadap karat (*korosi*).

Tiang pancang baja mempunyai potensi kerawanan terhadap korosi. Berkaitan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian sebelumnya pada bagian mana yang mungkin terjadi korosi. Untuk menghindarinya ruas-ruas yang mungkin terkena korosi harus dilindungi dengan pengecatan menggunakan lapisan pelindung yang telah disetujui dan atau digunakan loam yang lebih tebal. Apabila tiang dipancang pada tanah asli yang kadar oksigennya rendah, maka umur tiang bisa tahan lama. Akan tetapi jika ada bagian tiang pancang yang berhubungan langsung dengan air, maka harus diberi perlindungan, bisa dengan dilapisi beton atau dengan *cathodic protection* (dengan ditimbulkan aliran listrik) agar besi dapat tahan terhadap karat. Perlu diperhatikan, bahwa sebelum tiang baja dipancang, pada kepala tiang harus dipasang topi pemancang (*driving cap*), yang berfungsi untuk menjaga rusaknya kepala tiang akibat pukulan dan untuk mempertahankan sumbu tiang pancang segaris dengan sumbu palu. Setelah selesai pemancangan, tiang pancang dengan panjang yang cukup harus ditanamkan ke dalam pur (*pile cap*).

Perlindungan terhadap karat dapat pula dilakukan dengan, antara lain:

1. Mempertebal plat tiang pancang H di daerah yang banyak menimbulkan karat, tebalnya sekurang-kurangnya sama dengan tebal badan tiang pancang H. Dengan adanya penambahan plat ini diperkirakan akan memperpanjang umur tiang sampai 25 tahun.
2. Dengan memberi sarung (*encasement*), seperti halnya dengan pertebalan plat, sarung ini juga diletakkan di daerah di mana akan terjadi korosi. Biasanya sarung ini diletakkan sekurang-kurangnya 60 cm di bawah muka air rendah.

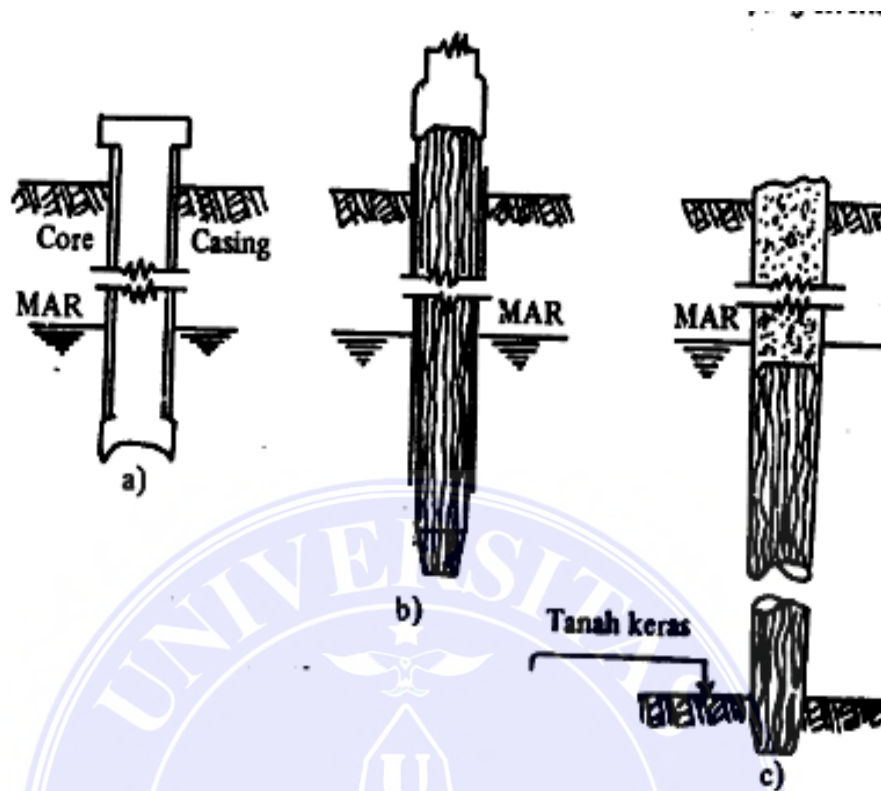
2.2.4. Tiang Komposit

Kombinasi bahan tiang pancang atau tiang bor dengan tiang pancang dapat digunakan untuk mengatasi masalah-masalah pada kondisi tanah tertentu. Problem pembusukan tiang kayu di atas muka air tanah misalnya, dapat diatasi dengan memancang tiang komposit yang terdiri tiang beton di bagian atas yang disambung dengan tiang kayu di bagian bawah zona muka air tanah (Hardiyatmo, 2015).

Menurut Sardjono, (1988) *composite pile* terdiri dari, antara lain:

1. *Water proofed steel pipe and wood pile*

Tiang ini terdiri dari tiang pancang kayu untuk bagian yang di bawah muka sedangkan bagian atas adalah beton. Diketahui bahwa kayu akan tahan dan awet kalau selalu terendam oleh air atau sama sekali tidak terendam air, karena itu di sini beban bayu diletakkan di bagian bawah yang mana selalu terletak di bawah air tanah seperti terlihat dalam (Gambar 6).

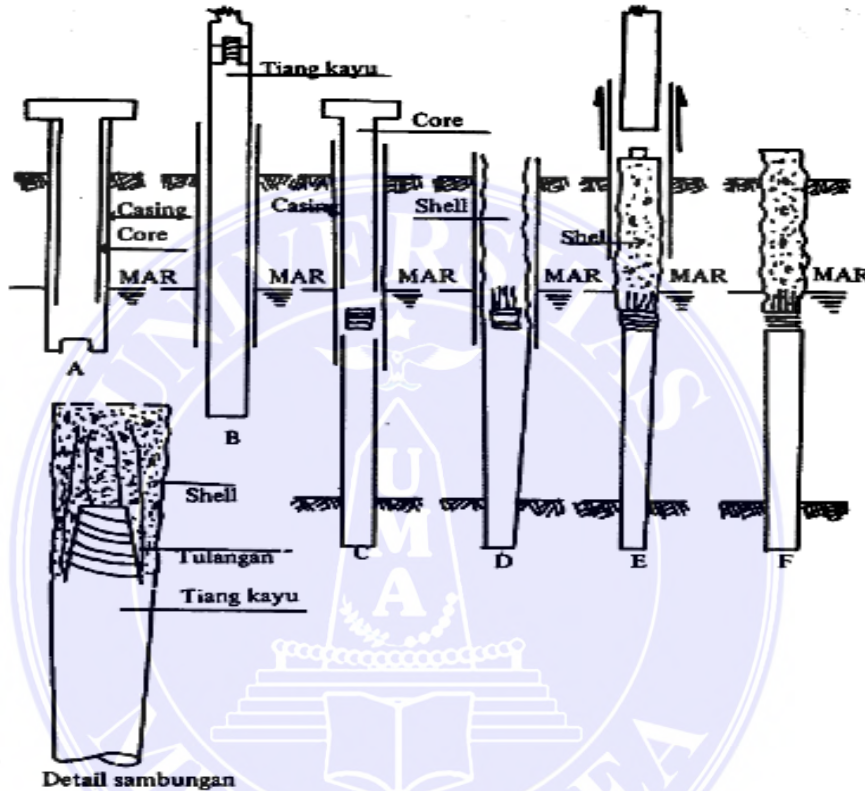


Gambar 5 Waterproofed steelpipe and wood pile (Sardjono, 1988)

Kelemahan tiang adalah pada saat sambungan apabila tiang pancang ini menerima gaya horizontal yang permanen. terlihat dalam (Gambar 6a) *Casing* dan *core* (inti) dipasang untuk meletakkan tiang pancang kayu tersebut dan ini harus terletak di bawah muka air tanah yang terendah. Kemudian pada (Gambar 6b) *core* ditarik ke atas dan tiang pancang kayu dimasukkan dalam *casing* dan terus dipancang sampai mencapai lapisan tanah keras. Pada (Gambar 6c) setelah mencapai lapisan tanah keras pemancangan dihentikan dan *core* ditarik keluar dari *casing* sampai penuh terus dipadatkan dengan menumbukkan *core* ke dalam *casing*.

2. Composite dropped in-shell and wood pile

Type tiang ini hampir sama dengan *water proofed steel pipe and wood pile* bedanya hanya disini memakai shell yang terbuat dari bahan logam tipis permukaan diberi alur spiral.



Gambar 6. Composite dropped in-shell and wood pile (Sardjono, 1988)

Berdasarkan (Gambar 7.) secara singkat pelaksanaannya, antara lain:

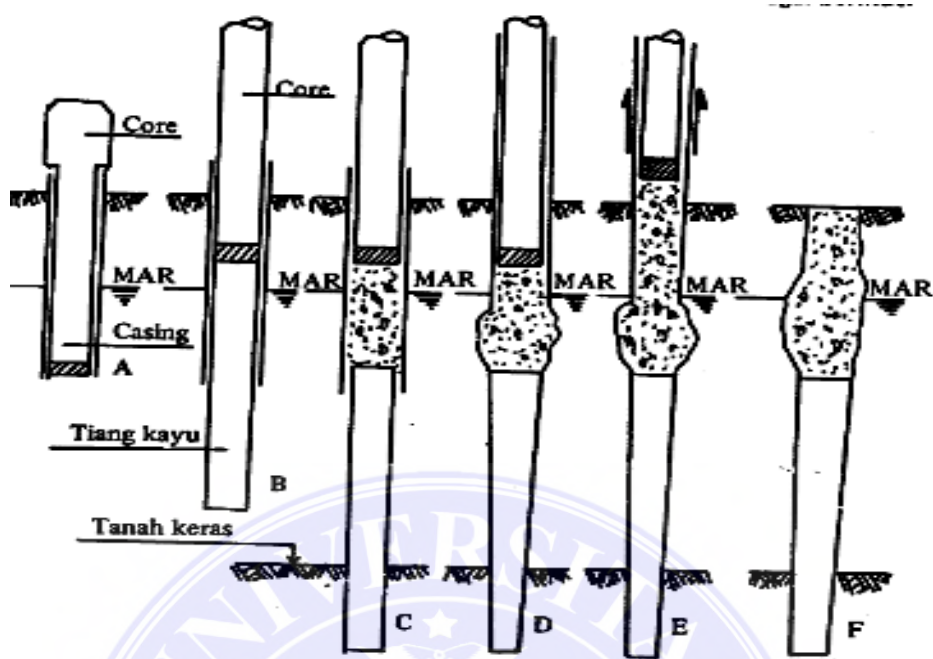
- A. *Casing* dan *core* dipancang bersama-sama sampai mencapai kedalaman yang telah ditentukan.
- B. Setelah mencapai kedalaman yang dimaksud *core* ditarik keluar dari *casing* dan tiang kayu dimasukkan dalam *casing* terus dipancang sampai mencapai lapisan tanah keras.
- C. Setelah mencapai lapisan tanah keras *core* ditarik keluar lagi dari *casing*.

- D. Kemudian *shell* berbentuk pipa yang diberi alur spiral dimasukkan dalam *casing*, pada ujung bagian bawah *shell* dipasang tulangan berbentuk sangkar ayng mana tulang inidibuat sedemikian rupa sehingga dapat masuk pada ujung atas tiang pancang kayu tersebut.
- E. Beton kemudian dicor dalam *shell*, setelah *shell* cukup penuh dan padat *casing* ditarik keluar sambil *shell* yang telah terisi beton tadi ditahan dengan cara meletakkan *core* di ujung atas *shell*.
- F. Lubang bekas *casing* yang terdapat di sekeliling diisi dengan kerikil.

3. *Composite unged – concrete and wood pile*

Dasar pemilihan tiang adalah:

- Lapisan tanah keras dalam sekali letaknya sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *cast in place concrete pile*. Sedangkan kalau menggunakan *precast concrete pile* akan terlalu panjang sehingga akan sulit dalam pengangkutan dan biayanya juga akan lebih besar;
- Muka air tanah terendah sangat dalam sehingga apabila kita menggunakan tiang pancang kayu akan memerlukan galian yang sangat besar agar tiang pancang tersebut selalu di bawah muka air tanah terendah.



Gambar 7. Composite ungrouted-concrete and wood pile (Sardjono, 1988)

Berdasarkan (Gambar 8.) adapun prinsip pelaksanaan tiang composite ini adalah sebagai berikut:

- A. *Casing* baja dan *core* dipancang bersama-sama dalam tanah sehingga sampai pada kedalaman tertentu.
- B. *Core* ditarik keluar dari *casing* dan tiang pancang kayu dimasukkan dalam *casing* terus dipancang lapisan tanah keras.
- C. setelah sampai pada tanah keras *core* dikeluarkan lagi dari *casing* dan beton sebagai dicor dalam *casing*. Kemudian *core* dimasukkan lagi dalam *casing*.
- D. Beton ditumbuk dengan *core* sambil ditarik ke atas sampai jarak tertentu sehingga terjadi bentuk beton yang menggelembung seperti bola di atas tiang pancang kayu tersebut.

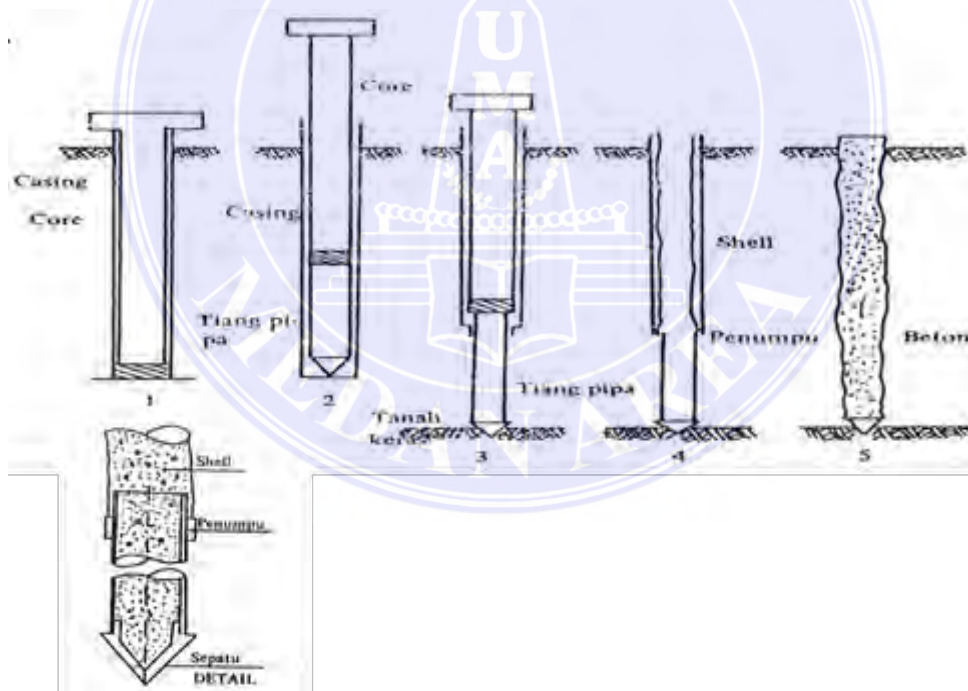
E. *Core* ditarik lagi keluar dari *casing* diisi dengan beton lagi sampai padat stinggi beberapa cm di atas permukaan tanah. Kemudian beton ditekan dengan *core* kembali sedangkan *casing* ditarik ke atas sampai keluar dari tanah.

F. Tiang pancang telah selesai.

4. *Composite dropped – shell and pipe pile*

Dasar pemilihan tiang ini adalah:

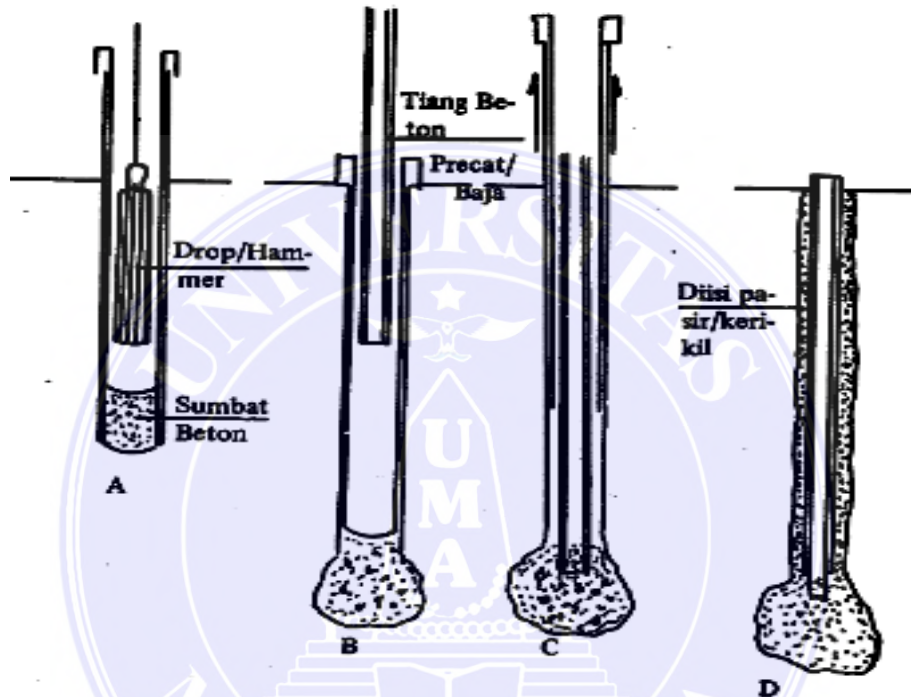
- Lapisan tanah keras terlalu dalam letaknya bila digunakan *cast in place concrete pile*;
- Letak muka air tanah terendah sangat dalam apabila kita menggunakan tiang *composite* yang bawahnya dari tiang pancang kayu.



Gambar 8. Composite dropped-shell and pipe pile (Sardjono, 1988)

5. Franki composite pile

Prinsip kerjanya hampir sama dengan tiang Franki biasa, hanya saja pada *Franki composite pile* ini pada bagian atasnya dipergunakan tiang beton *precast* biasa atau tiang profil H dari baja.



Gambar 9. Franki Composite Pile (Sardjono, 1998)

Berdasarkan (Gambar 10.) adapun pelaksanaan tiang composite ini adalah sebagai berikut:

- A. Pipa dengan sumbat beton yang di cor lebih dahulu pada ujung bawah pipa baja dipancang dalam tanah dengan drop hammer sampai pada tanah keras.
- B. Setelah pemasangan mencapai kedalaman yang telah direncanakan pipa diisi lagi dengan beton dan terus ditumbuk dengan drop hammer sambil pipa ditarik lagi ke atas sedikit sehingga terjadi bentuk beton seperti bola.

- C. Setelah tiang beton precast atau tiang baja H masuk dalam pipa sampai bertumpu pada bola beton pipa ditarik keluar tanah.
- D. Rongga di sekitar tiang beton precast atau tiang baja H diisi dengan kerikil atau pasir.

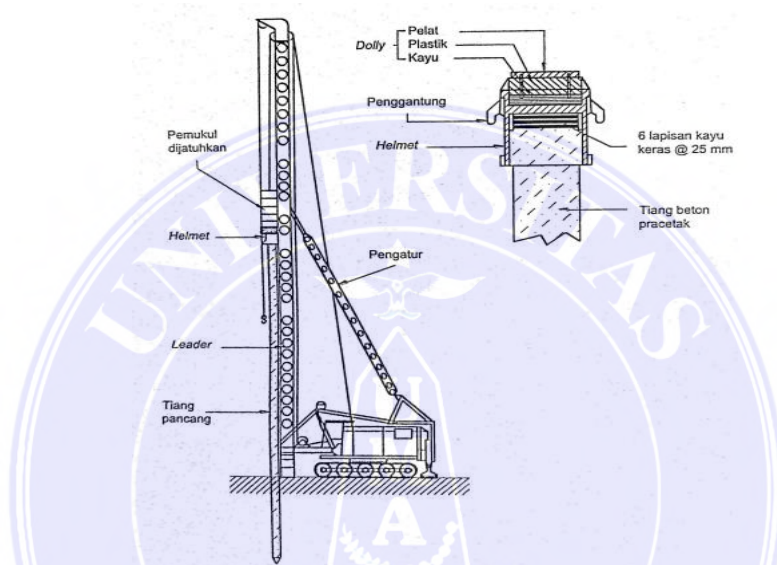
2.3. Alat Pancang Tiang

Pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Tiang dan pemukul dipasang pada peralatan *crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul ke kepala tiang yang disebut *lead* (Gambar 11.).

Elemen – elemen penting dalam sistem pemancangan adalah: *lead*, *anvil*, topi (*helmet*), *ram* dan untuk tiang bton, bantalan tiang (*pile cushion*). Berikut ini penjelasan masing – masing elemen (Gambar 11.).

1. *Lead* adalah rangka baja dengan dua bagian paralel sebagai pengatur tiang agar pada saat tiang dipancang arahnya benar. Jadi *Leader* berfungsi agar jatuhnya pemukul tetap terpusat pada sistem tiang.
2. *Anvil* adalah bagian yang teletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *ram* dan terletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *ram* dan mentransfernya ke kepala tiang.
3. Topi (*helmet*) atau *drive cap* (penutup pancang) adalah bahan yang dibuat dari baja cor yang diletakkan di atas tiang untuk mencegah tiang dari kerusakan saat pemancangan dan untuk menjaga agar as tiang sama dengan as pemukul.

4. Bantalan (*cushion*) dibuat dari kayu keras atau bahan lain yang ditempatkan di antara penutup tiang (*pile cap*) dan puncak tiang untuk melindungi kepala tiang dari kerusakan. Bantalan juga menjaga agar energi per pukulan seragam.
5. *Ram* adalah bagian pemukul yang bergerak ke atas dan ke bawah yang terdiri dari piston dan kepala penggerak (*driving head*) (Hardiyatmo, 2015).



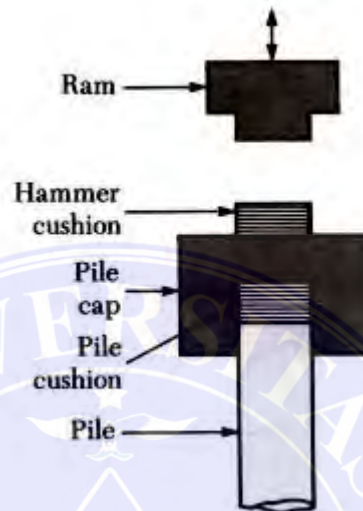
Gambar 10. Alat pancang (Hardiyatmo, 2015)

2.3.1. Pemukul Jatuh (*drop hammer*)

Pemukul jatuh terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ditarik dengan tinggi jatuh tertentu kemudian dilepas dan meenumbuk tiang. Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini hanya dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil (Hardiyatmo, 2015).

Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya Drop Hammer ditarik ke atas dengan kabel dan kerekan sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian pemukul tersebut jatuh bebas menimpa kepala tiang pancang.

Alat pancang ini bekerjanya sangat lambat jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lainnya dan jarang dipergunakan dalam pembangunan konstruksi berat dan modern.



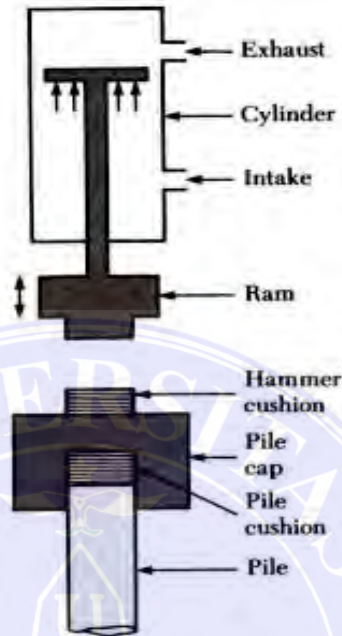
Gambar 11. Pemukul jatuh (*drop hammer*) (Rauf, 2012)

2.3.2. Pemukul Aksi Tunggal (*single acting hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun *ram* disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat *ram* dikalikan tinggi jatuhnya (Gambar 13) (Hardiyatmo, 2015).

Uap atau tekanan udara digunakan untuk mengangkat balok besi panjang sampai ketinggian yang diperlukan. Balok besi panjang tersebut kemudian jatuh karena gravitasi ke dalam landasan, yang mentransmisikan energi tumbukan ke blok sungkup, dan kemudian ke tiang pancang. Panjang palu haruslah sesuai dengan kecepatan tumbukan, yang tidak sesuai akan memberikan energi pendorong yang kecil (Bowles, 1984). Berat dari hammer berkisar dari 22 samapi 2669 kN (5 sampai 600 kips) dan menghasilkan tenaga dari 20 sampai 2500 kN (15 sampai 1670 kip/ft).

Namun, pukulan itu relatif lambat dengan sebagian besar energi yang berasal dari massa ram, dengan kecepatan 50 sampai 80 pukulan per menit (Rauf, 2012).

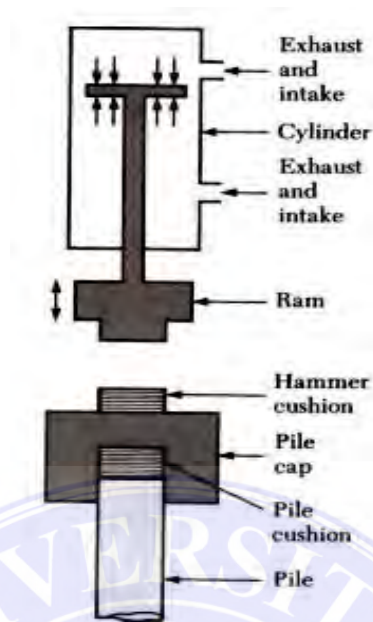


Gambar 12. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*) (Rauf, 2012)

2.3.3. Pemukul Aksi Dobel (*double acting hammer*)

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya (Gambar 14.). Kecepatan pukulan dan energi *output* biasanya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal (Hardiyatmo, 2015).

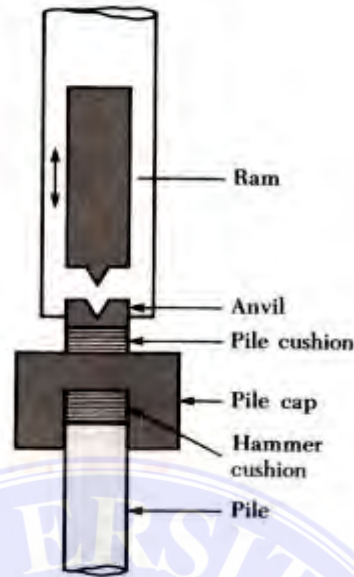
Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya hammer diangkat ke atas dengan tenaga uap sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk (*hammer*) tersebut ditekan ke bawah dengan tenaga uap pula. Jadi di sini hammer jatuh dengan kecepatan yang lebih besar daripada Single Acting Hammer dan Drop Hammer.



Gambar 13. Pemukul aksi double (double acting hammer) (Rauf, 2012)

2.3.4. Pemukul Diesel (*diesel hammer*)

Pemukul diesel terdiri dari silinder, *ram*, blok *anvil* dan sistem injeksi bahan bakar. Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan digerakkan dengan bahan bakar minyak (Gambar 15.). Energi pemancangan total yang dihasilkan adalah jumlah benturan dari *ram* ditambah energi hasil dari ledakan (Hardiyatmo, 2015).

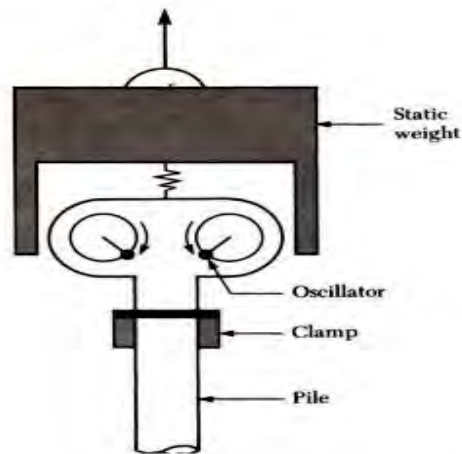


Gambar 14. Pemukul diesel (*diesel hammer*) (Rauf, 2012)

2.3.5. Pemukul Getar (*vibratory hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi (Gambar 16.). Estimasi kapasitas dukung tiang umumnya didasarkan pada jumlah pukulan yang dibutuhkan yang memancang tiang pada penetrasi yang ditentukan. Setiap jatuhnya pemukul akan memberikan energi pada tiang pancang. Jumlah pukulan total adalah energi total untuk menggerakkan tiang pada penetrasi tertentu. Energi ini dapat dikaitkan dengan tahanan tanah dan kapasitas dukung.

Kehilangan energi akan terjadi, bila sistem pemukul tidak lurus, tebal bantalan terlalu berlebih, dan lain-lain. Semakin tinggi hilangnya energi pemukulan, semakin besar jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyesatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat kapasitas dukung (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 15. Pemukul getar (*vibratory hammer*) (Rauf, 2012)

2.4. Pekerjaan Pemasangan Tiang

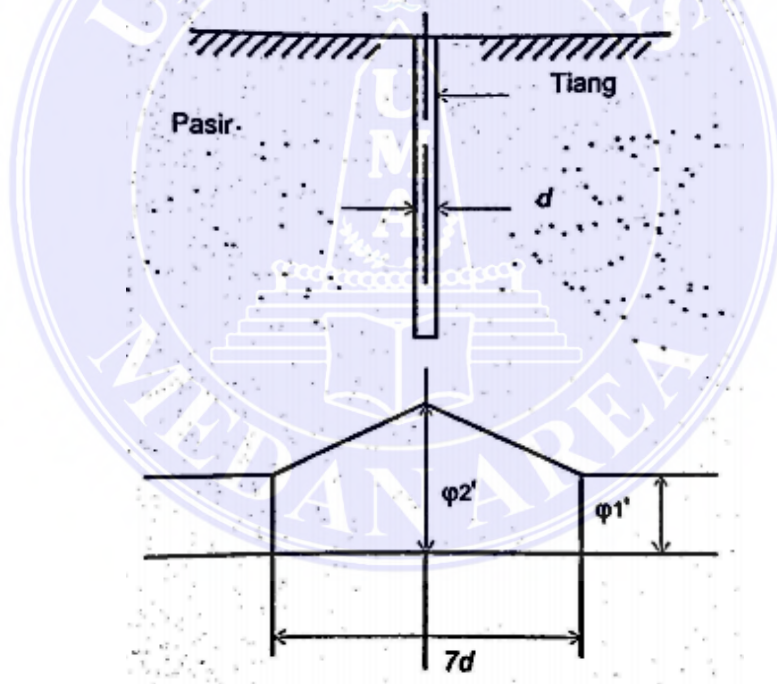
Pemasangan tiang (dipancang atau di bor) sangat berpengaruh pada kelakuan tiang dalam mendukung beban. Umumnya, tinjauan gangguan akibat pemancangan tiang ditujukan terutama pada perubahan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kapasitas dukungnya. Jika data kondisi tanah setelah pemancangan dapat diperkirakan, maka dapat dibuat cara yang cocok untuk mengevaluasi data laboratorium atau data hasil uji lapangan yang akan digunakan dalam perancangan kapasitas dukung tiang (Hardiyatmo, 2015).

2.4.1. Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang dalam Tanah Granuler

Tanah granuler (pasir), tiang yang dipancang dengan cara dipukul atau ditekan ke dalam tanah mengakibatkan perubahan susunan dan pecahnya sebagian butir tanah. Pada kondisi ini, tanah mengalami pemadatan yang menaikkan kuat geser tanah atau berat volume tanah. Jika tiang dipancang dalam tanah pasir yang tidak padat, depresi tanah akan terjadi pada tanah yang ditekan oleh tiang tersebut. Bila tanah padat, pemadatan yang terjadi akibat pemancangan relatif kecil dan tahan

terhadap penetrasi tiang sangat tinggi, sehingga energi pemancangan yang dibutuhkan juga besar.

Menurut Meyerhof (1959), bahwa akibat pemancangan pemadatan lebih besar terjadi, di bawah dasar tiang daripada bagian atasnya. Penentuan kenaikan besarnya *sudut geser* dalam (φ) tanah. Untuk tanah pasir yang tidak padat, berdasarkan hasil pengujian model dilakukan oleh Kishida (1967), diperoleh kesimpulan bahwa jari-jari pengaruh pemadatan tanah pasir akibat pemancangan sekitar $3,5d$ mengelilingi tiang. Di dalam zona yang berbentuk lingkaran dengan jari-jari $3,5d$ ini, *sudut gesek* dalam (φ) berkurang secara linier (Gambar 17).



Gambar 16. Pengaruh pemancangan tiang pada sudut gesek dalam (φ) (Hardiyatmo, 2015)

2.4.2. Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang dalam Tanah Kohesif

Pemancangan dalam tanah kohesif (lempung dan lanau) sangat berbeda dengan apa yang terjadi pada tanah pasir. Pemancangan tiang di dalam tanah kohesif, biasanya akan mengakibatkan kenaikan permukaan tanah di sekitar tiang,

yang diikuti oleh konsolidasi tanah. Deformasi akibat pemancangan dapat mempengaruhi struktur di dekatnya dan dapat mengakibatkan tiang yang dipancang lebih dulu terangkat ke atas akibat pemancangan tiang sesudahnya.

Bila tiang dipancang dalam tanah lempung kaku, cembungan tanah juga akan terjadi, namun tanah yang terdorong ke atas akan berupa bungkahan-bungkahan atau berupa bahan yang retak-retak. Pada kondisi ini, selama pemancangan, tiang yang dipancang lebih awal dapat terangkat ke atas. Konsolidasi kembali (rekonsolidasi), berjalan sangat lambat dan kuat geser asli tanah mungkin tidak pernah kembali seperti semula selama umur struktur. Berdasarkan pengamatan-pengamatan pemancangan tiang pada tanah kohesif, disimpulkan bahwa akibat pemancangan, susunan tanah menjadi terganggu dan terjadi penurunan kuat geser. Kenaikan kembali kuat gesernya terjadi dengan berjalannya waktu, dilaporkan bahwa paling sedikit 75 % dari kapasitas ultimit tiang dapat tercapai dalam waktu 30 hari setelah pemancangan (Hardiyatmo, 2015).

2.5. Perhitungan Pemancangan

Menurut Dr. Bambang Surendro, perhitungan pemancangan tidak terlepas dari dua hal yaitu kekuatan tiang dari persyaratan-persyaratan pemancangan.

2.5.1. Kekuatan Tiang

Menurut *modified engineering new formula* jumlah pukulan yang diberikan oleh “hammer” akan semakin banyak pada pemancangan yang dilakukan pada tanah yang semakin keras. Apabila berat “hammer” = W ton, dan tinggi jatuh pemukulan (*hammer*) = h meter, maka tenaga (E) yang diberikan oleh “hammer” adalah sebesar $E=W \times h$.

Tenaga yang diberikan oleh “hammer” tidak semuanya dapat dimanfaatkan, karena adanya faktor-faktor lain seperti gesekan. Jika perlawanan oleh = P ton dan masuknya tiang ke tanah sebesar s cm, maka:

$$E=W \times h=p \times s+p \times c \text{ atau}$$

$$P=\frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots (2.1)$$

Karena adanya faktor keamanan (n), maka Persamaan (2.1) menjadi sebagai berikut:

$$P=\frac{1}{n} \times \frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

- P = persamaan oleh tanah (kekuatan tiang maksimum).
- W = berat pemukul (hammer).
- h = tinggi jatuh.
- s = masuknya tiang ke tanah.
- c = konstanta, besarnya 0,25 untuk “steamer hammer” dan 0,5 untuk “drop hammer”.
- n = faktor keamanan, menurut *engineering new formula*, n=6, sehingga Persamaan (2.2) menjadi :

$$P=\frac{1}{6} \times \frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.5.2. Persyaratan-persyaratan Pemancangan

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam melaksanakan pemancangan adalah:

1. *Hammer* tidak boleh terlalu ringan, perbandingan antara berat *hammer* (pemukul) dengan berat tiang adalah sebagai berikut: Berat pemukul (*hammer*) = 3 sampai dengan 3,50 kali berat tiang.
2. Menurut *modified engineering new formula*, untuk menghitung kekuatan tiang maksimum dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{6} \times \frac{E}{s+c} \times \frac{W}{W+P} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

W = berat hammer

P = berat tiang

3. Persamaan tiang pancang, Persamaan (2.3) atau Persamaan (2.4) adalah sebagai dasar atau pedoman untuk menghentikan pemancangan tiang agar tiang tidak rusak karena pukulan.

2.5.3. Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan

Pekerjaan pemancangan, bila jumlah pukulan terlalu banyak, maka kepala tiang dapat pecah. Untuk ini diperlukan petunjuk kapan dapat dilakukan penghentian pemukulan, ditunjukkan dalam (Tabel 2).

Tabel 2. Penghentian pemancangan (Hardiyatmo, 2015)

Bahan Tiang	Pemukulan dihentikan bila penetrasi tiang mencapai:
Kayu	4 - 5 pukulan/25 mm
Beton bertulang	6 - 8 pukulan/25 mm
Baja	12 - 15 pukulan/25 mm

2.5.4. Faktor Aman Tiang Pancang

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

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Hardiyatmo, 2015). Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai (Yusti & Fahriani, 2014).

$$Q_a = \frac{Q_u}{F} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

Q_a = kapasitas ijin tiang.

Q_u = kapasitas ultimit tiang.

F = faktor aman.

2.6. Kalendering Pemancangan

Secara umum kalendering digunakan pada pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang.

Alat yang digunakan pada saat pelaksanaan kalendering adalah spidol, kertas milimeter, selotip, dan kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya. pengambilan data kalendering dilakukan pada saat tiang mencapai tanah keras, besarnya penetrasi dan *rebound* diambil untuk 10 kali pukulan (Lukman, 2017)

2.7. Kapasitas Tiang Berdasarkan Data Kalendering

Hitungan daya dukung ultimit tiang secara dinamik didasarkan pada rumus tiang pancang dinamik. Rumus ini hanya berlaku untuk tiang tunggal dan tidak memperhatikan hal-hal berikut yakni perilaku tanah yang terletak dibawah dasar kelompok tiang dalam mendukung beban struktur, reduksi tahanan gesek sisi tiang sebagai akibat pengaruh kelompok tiang dan perubahan struktur tanah akibat pemancangan (Sarita , et al., 2019).

Berdasarkan (Gambar 18.), saat pemukul pancang membentur kepala tiang, momentum dari *ram* awal:

$$M_r = \frac{W_r \times v_i}{g}$$

Dengan:

M_r = momentum *ram* (kN).

W_r = berat *ram* (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

g = gravitasi.

Pada akhir periode kompresi:

$$M_r = \frac{W_r \times v_i}{g} - I$$

Dengan :

M_r = momentum *ram* (kN).

W_r = berat *ram* (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

g = gravitasi.

dengan kecepatan:

$$v_{ce} = \left(\frac{W_r \times v_i}{g} - I \right) \left(\frac{g}{W_r} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan :

v_{ce} = kecepatan tiang dan *ram* pada akhir periode *kompresi*.

M_r = momentum *ram* (kN).

W_r = berat *ram* (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

g = gravitasi.

Jika dianggap momentum tiang (M_p) pada saat tersebut dengan I , maka:

$$v_{ce} = \left(\frac{g}{W_p} \right) I \dots\dots\dots (2.7)$$

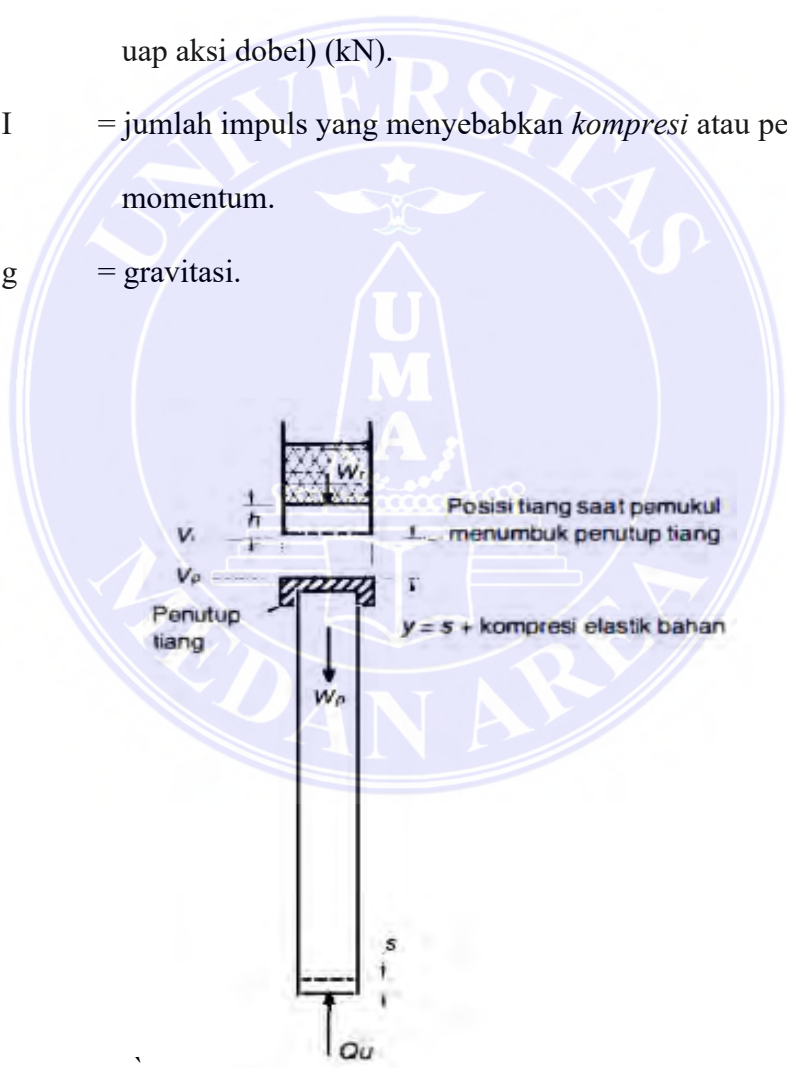
Dengan :

v_{ce} = kecepatan tiang dan *ram* pada akhir periode *kompresi*.

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

g = gravitasi.



Gambar 17. Notasi-notasi dalam rumus dinamik (Hardiyatmo, 2015)

Selain itu bila dianggap tiang dan *ram* belum terpisah saat periode akhir

kompresi, kecepatan sesaat tiang dan *ram* sama, karena itu Persamaan $v_{ce} =$

$$\left(\frac{W_r \times v_i}{g} - I\right) \left(\frac{g}{W_r}\right) \dots\dots\dots (2.6) \text{ dan}$$

Persamaan (2.7),

$$I = v_i \frac{W_r W_p}{g(W_r + W_p)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

W_r = berat *ram* (kN).

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

g = gravitasi.

pada akhir periode restitusi, momentum tiang:

$$I + nI = \left(\frac{W_p}{g}\right) v_p \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

nI = jumlah impuls yang menyebabkan restitusi (kN).

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

g = gravitasi.

v_p = kecepatan tiang pada saat periode *restitusi*.

substitusi Persamaan (2.8) ke Persamaan (2.9), diperoleh:

$$\frac{W_r v_i}{g} - |I - nI| = \frac{W_r v_r}{g} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

nI = jumlah impuls yang menyebabkan restitusi (kN).

W_r = berat *ram* (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

v_r = kecepatan *ram* pada saat akhir periode *restitusi*.

g = gravitasi.

pada akhir periode restitusi, momentum *ram*:

$$\frac{W_r v_i}{g} - |I - nI| = \frac{W_r v_r}{g} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan :

I = jumlah impuls yang menyebabkan *kompresi* atau perubahan momentum.

nI = jumlah impuls yang menyebabkan restitusi (kN).

W_r = berat *ram* (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

v_r = kecepatan *ram* pada saat akhir periode *restitusi*.

g = gravitasi.

subtitusi I,

$$v_r = \frac{W_r - n W_p}{W_r + W_p} v_i \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

W_r = berat *ram* (kN).

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

v_i = kecepatan *ram* pada saat benturan.

v_r = kecepatan *ram* pada saat akhir periode *restitusi*.

Energi total yang tersedia dalam tiang dan *ram* pada akhir periode restitusi adalah:

$$\frac{1}{2} m v^2(\text{tiang}) + \frac{1}{2} m v^2(\text{ram})$$

Substitusi Persamaan (2.10) dengan Persamaan (2.12), dengan beberapa penyerderhanaan dapat diperoleh:

$$\frac{W_r}{2g} v_r^2 + \frac{W_p}{2g} v_p^2 = e_h W_r h \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

W_r = berat *ram* (kN).

v_r = kecepatan *ram* pada saat akhir periode *restitusi*.

g = gravitasi.

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

v_p = kecepatan tiang pada saat periode *restitusi*.

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

h = tinggi jatuh pemukul (m).

n = koefisien *restitusi*.

Jika sistem 100% efisien, beban ultimit Q_u dikalikan dengan perpindahan taing (s):

$$Q_u s = e_h W_r h \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan :

Q_u = kapasitas tiang ultimit.

s = penetrasi pukulan per pukulan.

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

W_r = berat *ram* (kN).

h = tinggi jatuh pemukul (m).

Perpindahan puncak tiang sesaat adalah $s + k_1 + k_2 + k_3$, di mana hanya s yang permanen. Energi input aktual pada tiang:

$$e_h W_r h = Q_u (s + k_1 + k_2 + k_3) = Q_u C \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan :

Q_u = kapasitas tiang ultimit.

s = penetrasi pukulan per pukulan.

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

W_r = berat *ram* (kN).

h = tinggi jatuh pemukul (m).

k_1 = *kompresi elastis blok penutup (capblok) dan pile cap*, yaitu $Q_u L / AE$ (m).

k_2 = *kompresi elasti tiang*, yaitu $Q_u L / AE$ (m).

k_3 = kompresi elastis tanah (m).

Penggantian suku persamaan energi ekivalen dengan ekivalen dari Persamaan (2.14),diperoleh:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{C} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan :

Q_u = kapasitas tiang ultimit.

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

W_r = berat ram (kN).

h = tinggi jatuh pemukul (m).

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

n = koefisien restitusi.

Nilai k_2 dapat diambil sebagai kompresi elastis dari tiang $Q_u L/AE$ sehubungan dengan energi regangan $Q_u^2 L/(2AE)$.

2.7.1. Persamaan Hiley (1930)

Bila persamaan (2.16) diberikan faktor $\frac{1}{2}$ untuk k (untuk energi regangan), diperoleh persamaan *Hiley* (1930):

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

Q_u = kapasitas tiang ultimit.

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

W_r = berat ram (kN).

h = tinggi jatuh pemukul (m).

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (kN).

n = koefisien restitusi.

k_1 = kompresi elastis blok penutup (*capblok*) dan *pile cap*, yaitu $Q_u L/AE$ (m)

k_2 = kompresi elastis tiang, yaitu $Q_u L/AE$ (m)

k_3 = kompresi elastis tanah (m)

s = penetrasi pukulan per pukulan.

Penggantian suku persamaan energi

Untuk pemukul aksi dobel atau diferensial, Chellis (1961) menyarankan penyesuaian persamaan Hiley (1930):

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \text{ (faktor aman, } F=4) \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)

E_h = besaran energi pemukul dari pabrik (LF)

k_1 = kompresi elastis blok penutup (*capblok*) dan *pile cap*

k_2 = kompresi elastis tiang

k_3 = kompresi elastis tanah

n = koefisien restitusi

Q_u = kapasitas ultimit tiang

s = penetrasi pukulan per pukulan

W_r = berat *ram*

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap blok*)

Menurut Chellis, E_h didasarkan pada berat ekuivalen W dan tinggi jatuh *ram*, yaitu:

$$E_h = W h = (W_r + \text{berat casing}) \times h \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*).

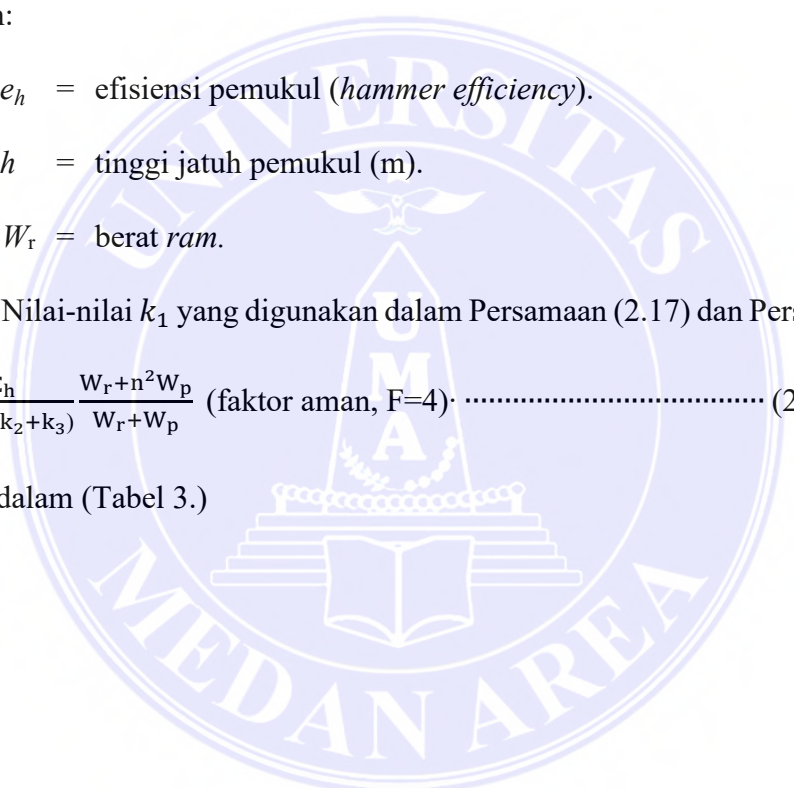
h = tinggi jatuh pemukul (m).

W_r = berat *ram*.

Nilai-nilai k_1 yang digunakan dalam Persamaan (2.17) dan Persamaan $Q_u =$

$$\frac{e_h E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \text{ (faktor aman, } F=4) \dots\dots\dots (2.18) \text{ dapat}$$

dilihat dalam (Tabel 3.)



Tabel 2. Nilai-nilai k_1 (Hardiyatmo, 2015)

Bahan Tiang	Nilai-nilai k_1 (mm), untuk tegangan akibat pukulan pemancangan 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 di dalam 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 pelat baja 10 mm	0,5	1	1,5	2

Nilai efisiensi pemukul (e_h) bergantung pada kondisi pemukul dan blok penutup (*capblock*) dan kondisi tanah (khususnya untuk pemukul tenaga uap). Jika belum ada data yang tepat, nilai-nilai e_h dalam dapat dipakai sebagai acuan ditunjukkan dalam (Tabel 4.).

Nilai-nilai koefisien restitusi n ditunjukkan dalam (Tabel 2.5), di mana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblock* dan bantalan kepala tiang.

Koefisien k_2 dihitung sama dengan $\frac{Q_u L}{AE}$.

Nilai k_3 dapat diambil :

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

$k_3 = 0,1''$ sampai $0,2''$ (2,5 mm sampai 5 mm) untuk tanah0tanah yang lain

Tabel 3. Nilai efisiensi e_h (Hardiyatmo, 2015)

Nilai efisiensi e_h	
TIPE	Efisiensi
pemukul jatuh (drop Hammer)	0,75 -1
pemukul Aksi Tunggal	0,75-0,85
pemukul Aksi double	0,85
pemukul diesel	0,85-1

Tabel 4. Koefisien restitusi n (Hardiyatmo, 2015)

Koefisien Restitusi n	
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 (cap)	0,40

2.7.2. Persamaan Sanders (1851)

Pada rumus *Sanders*, rumus dinamik didasarkan juga pada hubungan :

Energi yang masuk = energi digunakan + energi hilang

Energi yang digunakan sama dengan tahanan tiang waktu pemancangan (*driving resistance*) dikalikan dengan perpindahan tiang. Jika energi yang masuk (*energi input*) telah diketahui, dapat diestimasi besarnya energi yang hilang yang didasarkan pada pengalaman. Dengan mengamati gerakan tiang waktu dipancang dapat ditentukan tahanan tiang waktu pemancangan. Energi yang dihasilkan oleh pemukul ditransformasikan sebagai gaya (Q_u) yang dihasilkan penetrasi tiang sebesar s dan energi yang hilang sewaktu pemancangan (ΔE):

$$E = Q_u s + \Delta E \dots\dots\dots(2.20)$$

Jika $\Delta E = Q_u C$ dan $E = W_r h$, dengan $C =$ konstanta empiris untuk energi hilang sewaktu pemancangan, $W_r =$ berat pemukul, $h =$ tinggi jatuh pemukul, maka Persamaan (2.19) menjadi:

$$\begin{aligned} W_r h &= Q_u s + Q_u C \dots\dots\dots(2.21) \\ &= Q_u (s + C) \end{aligned}$$

Dengan :

- Q_u = kapasitas tiang ultimit.
- W_r = berat ram (kN).
- h = tinggi jatuh pemukul (m).
- s = penetrasi pukulan per pukulan.

Dari persamaan ini diperoleh,

$$Q_u = \frac{W_r h}{s + C} \text{ (faktor aman, } F = 8) \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan :

- Q_u = kapasitas tiang ultimit.

- W_r = berat ram (kN).
- h = tinggi jatuh pemukul (m).
- s = penetrasi pukulan per pukulan.

Nilai C umumnya diambil 0,1 in (0,25 cm) untuk pemukul dengan mesin tenaga uap dan 1 in (2,5 cm) untuk pemukul yang dijatuhkan. Persamaan

$$(2.22) Q_u = \frac{W_r h}{s+C} \text{ (faktor aman, } F = 8) \dots\dots\dots (2.22)$$

merupakan formula pemancangan tiang yang disarankan oleh Sanders (1851).

2.7.3. Persamaan Navy – Mckay

Navy-Mckay memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data uji hasil kalendering sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s(1+0,3\frac{W_p}{W_r})} \text{ (faktor aman, } F=6) \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan,

- Q_u = kapasitas tiang ultimit
- e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)
- E_h = besaran energi pemukul dari pabrik (LF)
- W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (F)
- W_r = Berat ram (F)
- s = penetrasi per pukulan (L)

2.7.4. Persamaan Janbu (1953)

Berdasarkan metode ini persamaan untuk menghitung gaya dukung tiang dengan hasil uji dari tes kalendering adalah:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{K_u s} \text{ (faktor aman, } F= 3 \text{ sampai } 6) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan :

Q_u = kapasitas tiang ultimit

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)

E_h = besaran energi pemukul dari pabrik (LF)

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi double) (F)

W_r = Berat *ram* (F)

s = penetrasi per pukulan (L)

2.8. Kapasitas Kelompok Tiang

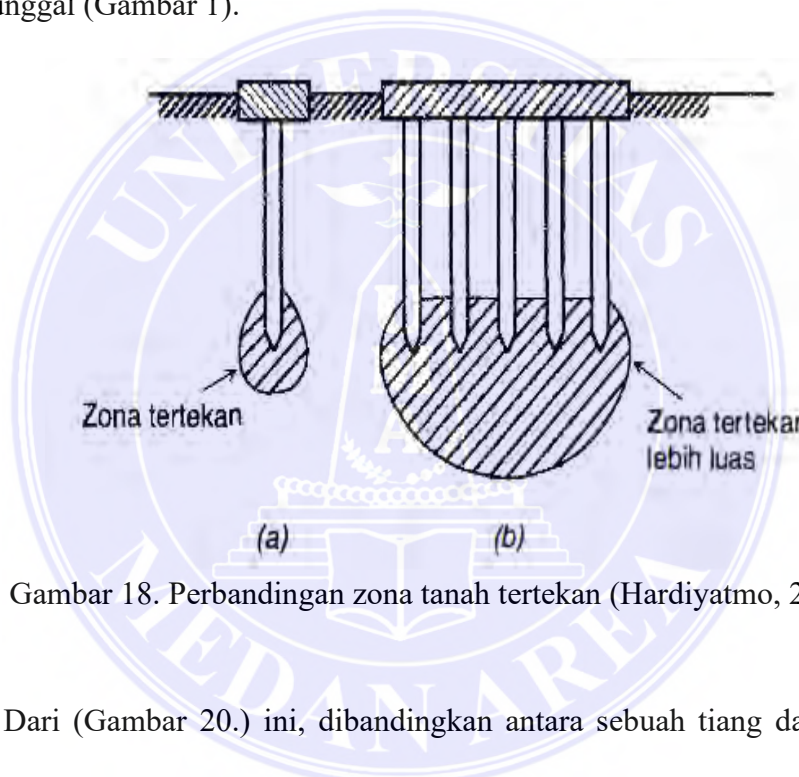
Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berda dalam kelompoknya. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan p endukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat, namun dibawahnya terdapat lapisan lunak. Dalam kondisi tersebut, stabilitas kelompok tiang tergantung dari dua hal, yaitu:

1. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
2. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Pemasangan tiang, seperti: dipancang, dibor, digetarkan atau ditekan, akan berpengaruh kecil pada kedua hal tersebut di atas. Penurunan kelompok tiang sama

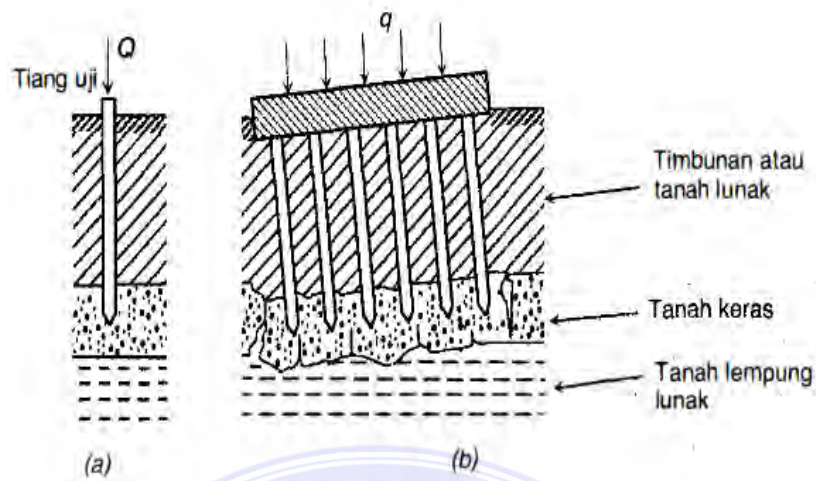
dengan penurunan tiang tunggal, jika dasar kelompok tiang terletak pada lapisan keras.

Penurunan kelompok tiang lebih besar dari penurunan tiang tunggalnya, pada beban struktur yang sama. Karena pada tiang tunggal luas zona tertekan pada bagian bawah tiang sangat lebih kecil daripada luas zona tertekan untuk kelompok tiang, sehingga penurunan kelompok tiang menjadi lebih besar dari pada penurunan tiang tunggal (Gambar 1).



Gambar 18. Perbandingan zona tanah tertekan (Hardiyatmo, 2015)

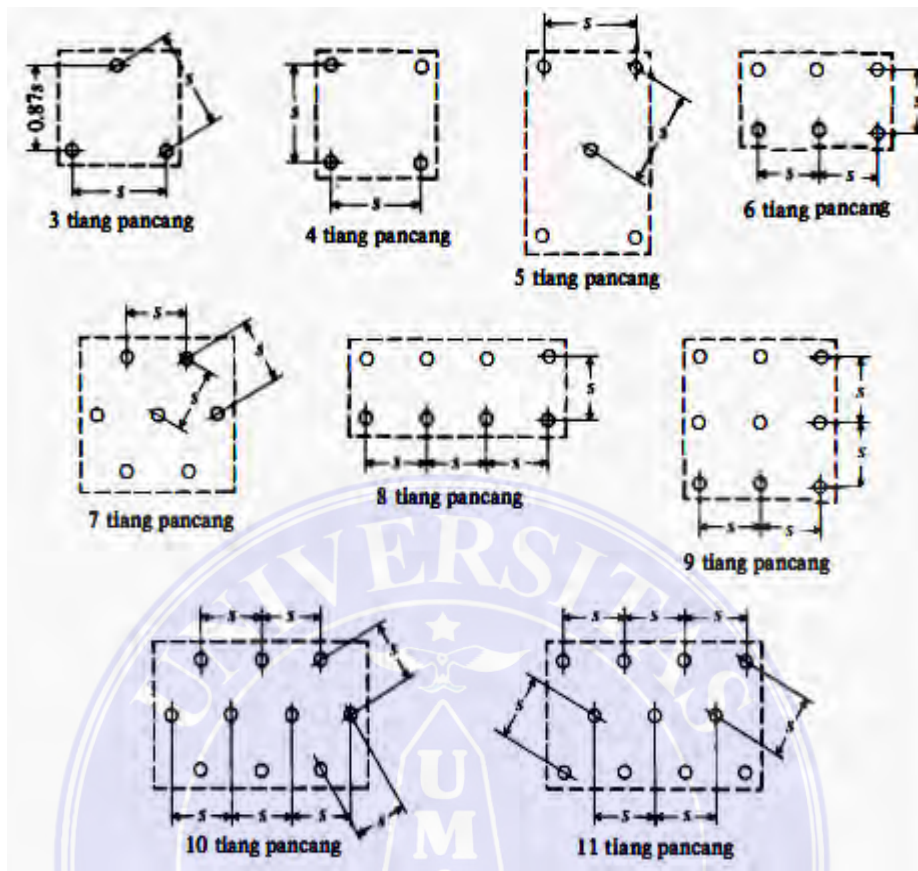
Dari (Gambar 20.) ini, dibandingkan antara sebuah tiang dari kelompok tiang yang dibebani (dalam uji beban tiang) dengan kelompok tiang saat beban total bangunan telah telah bekerja.



Gambar 19. Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung (Hardiyatmo, 2015)

2.8.1. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak. Pada (Gambar 21.) ditunjukkan contoh susunan tiang (Bowles, 1984).



Gambar 20. Pola susunan pancang (Bowles, 1984)

2.8.2. Efisiensi Tiang

Besarnya kapasitas dukung total menjadi tereduksi dengan nilai reduksi yang tergantung dari ukuran, bentuk kelompok, jarak, dan panjang tiangnya. Nilai pengali terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang, disebut *efisiensi tiang* (E_g).

Menurut Coduro (1994), *efisiensi tiang* (E_g) 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. Macam tanah.
6. Waktu setelah pemancangan tiang.
7. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
8. Arah dari beban yang bekerja.

Beberapa persamaan efisiensi tiang telah disusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan-persamaan yang diusulkan didasarkan 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. Salah satu dari persamaan-persamaan efisiensi tiang tersebut, yang disarankan oleh *converse-labarre formula*, sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \frac{\phi \left[(n'-1)m + (m-1)n' \right]}{90mn'} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah baris tiang
- n' = jumlah tiang dalam satu baris
- ϕ = arc tg d/s , dalam derajat
- s = jarak pusat ke pusat tiang (m)
- d = diameter tiang (m)

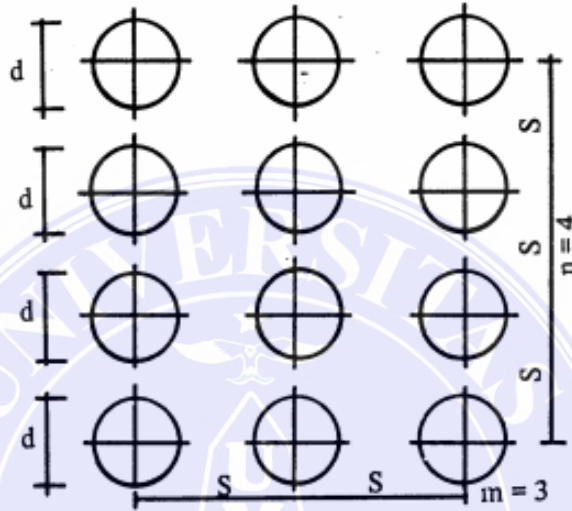
efisiensi kelompok tiang diidentifikasi sebagai:

$$E_g = \frac{Q_g}{nQ_u} \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

- E_g = efisiensi kelompok tiang

- Q_g = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan
- Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan
- n = jumlah tiang dalam kelompok



Gambar 21. Definisi jarak s dalam hitungan efisiensi tiang (Sardjono, 1988).

2.8.3. Kapasitas Tiang Kelompok

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

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

dengan:

- Q_g = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan
- Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan
- n = jumlah tiang dalam kelompok

Kasus di mana pondasi tiang secara keseluruhan berada dalam tanah lempung lunak, maka tiang-tiang dalam mendukung beban sebagian besar

didukung oleh tahanan geseknya. Kondisi pondasi tiang semacam ini, disebut pondasi tiang apung (*floating pile*).

Menurut Coduto (1994), Kapasitas kelompok tiang apung dipengaruhi oleh salah satu faktor berikut ini:

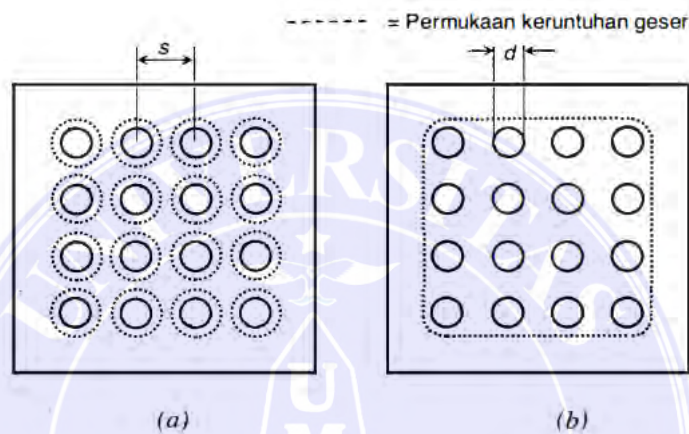
1. Jumlah kapasitas tiang tunggal dalam kelompok tiang, bila jarak tiang jauh, atau
2. Tahanan gesek tiang yang dikembangkan oleh gesekan antara bagian luar kelompok tiang dengan tanah disekelilingnya, jika jarak tiang terlalu dekat

Tiang yang dipasang pada jarak yang besar, tanah di antara tiang tidak bergerak sama sekali, ketika tiang bergerak ke bawah oleh akibat beban yang bekerja (Gambar 22.). Tetapi, jika jarak tiang-tiang terlalu dekat, saat tiang turun oleh akibat beban, tanah di antara tiang-tiang juga ikut bergerak turun. Pada kondisi ini, kelompok tiang dapat dianggap sebagai satu tiang besar yang dibentuk oleh kelompok tiang dan tanah yang terkurung di dalamnya, dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang.

Saat tanah yang mendukung beban kelompok tiang ini mengalami keruntuhan, maka model keruntuhannya disebut *keruntuhan blok* (Gambar 22b). Jadi, pada *keruntuhan blok*, tanah yang terletak di antara tiang bergerak ke bawah bersama-sama dengan tiangnya. Mekanisme keruntuhan yang demikian dapat terjadi pada tipe-tipe tiang pancang maupun bor.

Panjang dan jumlah tiang tertentu dalam satu kelompok, terdapat suatu jarak kritis, di mana mekanisme keruntuhan berubah dari bentuk *keruntuhan blok* menjadi bentuk *keruntuhan tiang tunggal*. Untuk jarak tiang yang kurang dari jarak kritisnya, keruntuhan terjadi dengan bidang runtuh (bidang gelincir) yang

mengelilingi kelompok tiang-tiang (Gambar 22b). Untuk jarak tiang yang besar, keruntuhan terjadi dengan masing-masing tiang menembus lapisan lempungnya, sehingga terjadi gerakan relatif antara tanah lempung dan tiang-tiang (Gambar 22b). Jarak kritis tiang-tiang bertambah, jika jumlah tiang dalam kelompoknya bertambah.



Gambar 22. Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang (Hardiyatmo, 2015).

Menghitung kapasitas kelompok tiang maka dipilih dari hal-hal sebagai berikut:

1. Jika kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiang (nQ_u), maka kapasitas dukung fondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompoknya (Q_g).
2. Sebaliknya, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya (nQ_u) (Hardiyatmo, 2015).

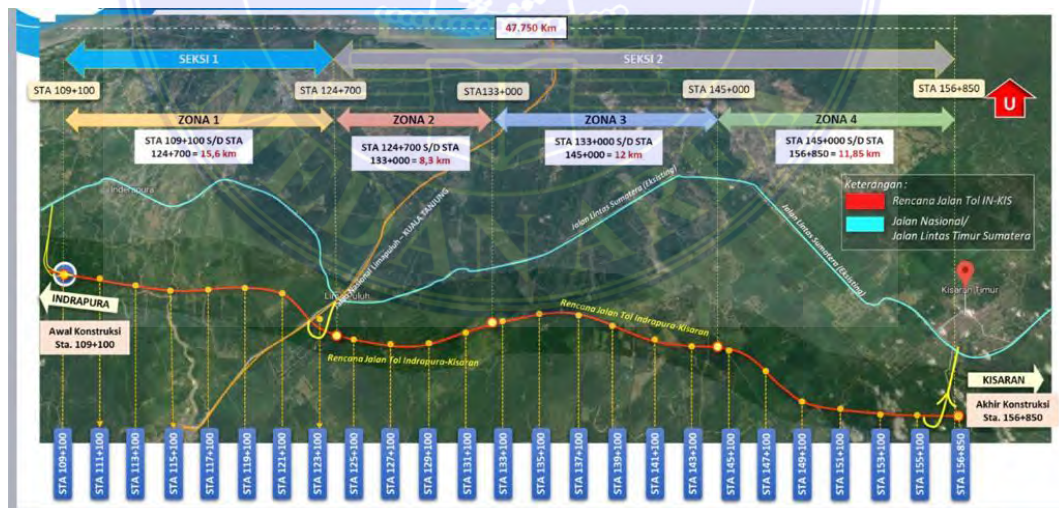
BAB III

METODE PENGUMPULAN DATA

3.1. Lokasi Fondasi Tiang Pancang

Pembangunan proyek Tol Indrapura- Kisaran. Jalan tol Indrapura-Kisaran yang memiliki panjang 47,75 km terbentang diatas tiga daerah/kabupaten yaitu Simalungun, Batubara, dan Kisaran. Tol ini akan melintasi berbagai jenis tata guna lahan mulai persawahan, perkebunan, pemukiman, jalan raya, rel kereta api, tanah rawa,dan sungai.

Pada perlintasan jalan, kereta api, dan sungai yang melintasi jalan tol akan dibangun berupa jembatan. Sesuai dengan spesifikasi teknik akan ada tambahan biaya jika pekerjaan pemancangan dan penyediaan pancang dilaksanakan di aliran sungai.



Gambar 24. Lokasi underpass STA 146+225 (PT.PP (Persero) Tbk)

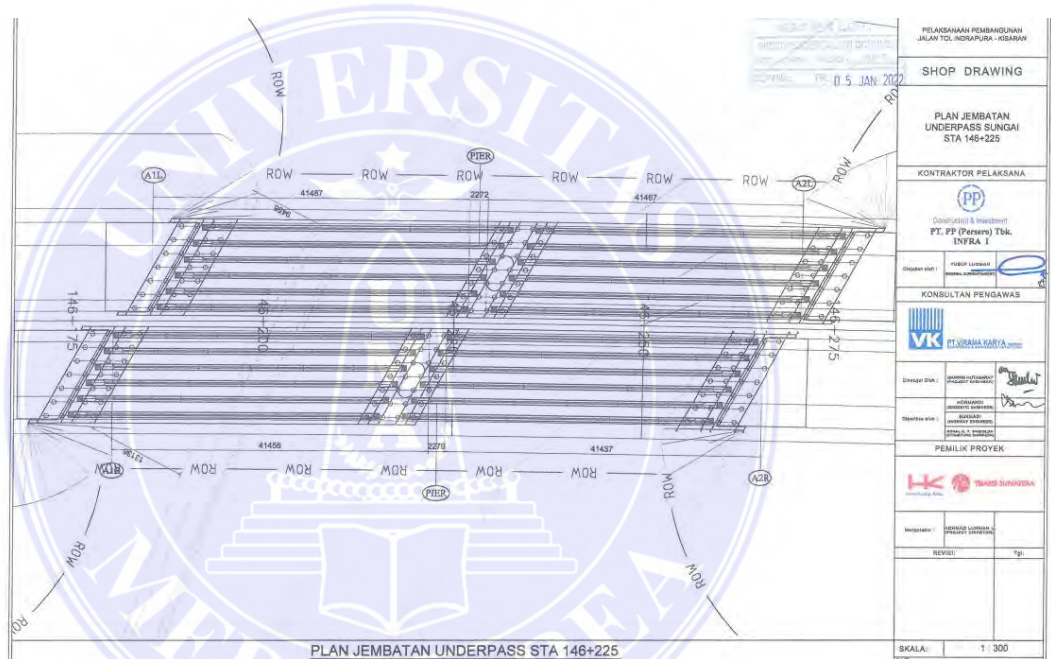
3.2. Dimensi dan Jumlah Tiang

Pelaksanaan pembangunan *underpass* digunakan fondasi tiang pancang dengan spesifikasi tiang sebagai berikut:

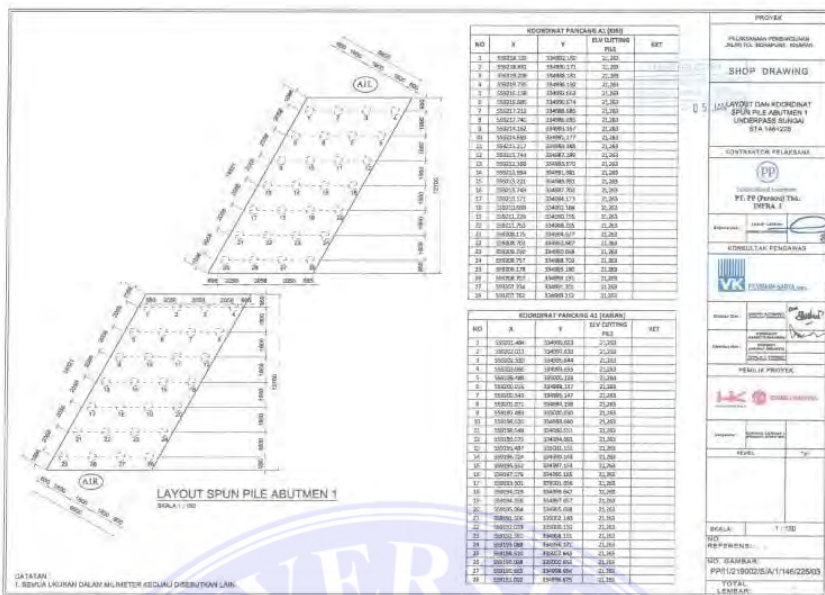
1. Jenis fondasi : fondasi tiang pancang beton pracetak
2. Rencana kedalaman ABT : 24 m
3. Diameter : 60 cm
4. Jumlah tiang pancang : 28 buah

3.2.1. Denah Susunan Tiang Pancang

Denah susunan tiang pancang pada pembangunan *underpass* terlihat pada (Gambar 25.) dan (Gambar 26.).



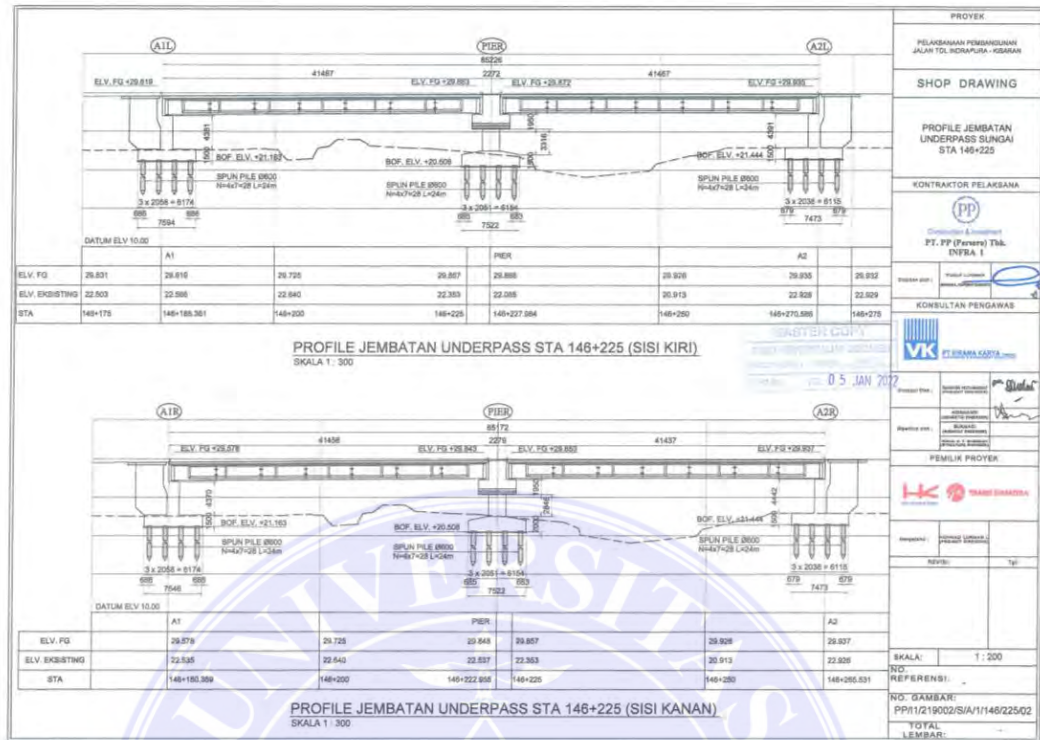
Gambar 25. Plan Underpass (PT.PP (Persero) Tbk)



Gambar 26. Denah titik pancang *underpass* (PT.PP (Persero) Tbk)

3.2.2. Penampang Memanjang Kelompok Tiang

Penampang memanjang kelompok tiang pada pembangunan *underpass* terlihat pada (Gambar 27.).



Gambar 27. Potongan memanjang *underpass* (PT. PP (Persero) Tbk)

3.3. Metode Pengumpulan Data

Penulis agar dapat menyelesaikan dan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini dilakukan beberapa metode pengumpulan data antara lain:

1. Pengambilan data diperoleh dari Kantor PT. PP (Persero) Tbk selaku penanggung jawab proyek, data yang diambil meliputi:
 - a. Gambar Kerja (layout struktur, denah, potongan, detail – detail)
 - b. Data kalendering
2. Melakukan *review* dan studi kepustakaan terhadap *text book* dan jurnal – jurnal yang terkait dengan fondasi tiang pancang, kapasitas dukung tiang dan melakukan analisis antara data yang diperoleh dengan buku yang sesuai pembahasan tentang penggunaan teori dan persamaan yang sesuai dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini.

3. Melakukan peninjauan kelapangan bertujuan agar mengetahui lokasi pembangunan jembatan STA 146+225 Indrapura-Kisaran dan pengamatan terhadap prosedur pelaksanaan kalendering pada saat dilakukan pemancangan.
4. Mendokumentasikan Foto-foto kegiatan proyek dan prosedur pelaksanaan kalendering pada saat dilakukan pemancangan.

Berdasarkan dari hasil pengujian kalendering diperoleh data seperti terlihat pada (Tabel 6.) meliputi diameter tiang, kedalaman panjang tiang pancang, rebound (k), penetrasi (s), berat hammer, dan tinggi jatuh hammer. Data-data ini memberikan petunjuk dalam menganalisis nilai kapasitas tiang pancang.

Tabel 6. Data pengujian kalendering Abutment (PT.PP (Persero) Tbk)

Titik Pemancangan	Tanggal Pemancangan	Diameter Spun Pile (cm)	Konfigurasi Tiang Pancang (m)				Jumlah Pukulan	Final Set		Berat Hammer (ton)	Ramstroke (cm)	Total Pile length (m)
			Bottom	Middle 1	Middle 2	Middle 3		K (cm)	S (cm)			
1	24-Sep-22	60	8	8	8	657	2,5	1,4	6,5	2,6	24	
2	24-Sep-22	60	8	8	8	780	2,1	1,6	6,5	2,6	24	
3	24-Sep-22	60	8	8	8	638	2,4	1,4	6,5	2,6	24	
4	24-Sep-22	60	8	8	8	725	2,8	1,5	6,5	2,6	24	
5	26-Sep-22	60	8	8	8	775	2,3	1,4	6,5	2,6	24	
6	26-Sep-22	60	8	8	8	764	2,6	1,5	6,5	2,6	24	
7	26-Sep-22	60	8	8	8	658	2,1	1,5	6,5	2,6	24	
8	26-Sep-22	60	8	8	8	657	2,1	1,7	6,5	2,6	24	
9	26-Sep-22	60	8	8	8	790	2,3	1,5	6,5	2,6	24	
10	27-Sep-22	60	8	8	8	812	2,5	1,3	6,5	2,6	24	
11	27-Sep-22	60	8	8	8	680	2,1	1,6	6,5	2,6	24	
12	27-Sep-22	60	8	8	8	640	2,8	1,4	6,5	2,6	24	
13	27-Sep-22	60	8	8	8	910	2,3	1,7	6,5	2,6	24	
14	27-Sep-22	60	8	8	8	832	2,8	1,2	6,5	2,6	24	
15	27-Sep-22	60	8	8	8	630	2,1	1,4	6,5	2,6	24	
16	27-Sep-22	60	8	8	8	705	2,5	1,3	6,5	2,6	24	
17	29-Sep-22	60	8	8	8	740	2,8	1,5	6,5	2,6	24	
18	29-Sep-22	60	8	8	8	825	2,6	1,1	6,5	2,6	24	
19	29-Sep-22	60	8	8	8	680	2,4	1,8	6,5	2,6	24	
20	29-Sep-22	60	8	8	8	780	2,5	1,8	6,5	2,6	24	
21	29-Sep-22	60	8	8	8	870	2,1	1,6	6,5	2,6	24	
22	29-Sep-22	60	8	8	8	721	2,5	1,4	6,5	2,6	24	
23	29-Sep-22	60	8	8	8	626	2,3	1,1	6,5	2,6	24	
24	29-Sep-22	60	8	8	8	638	2,7	1,4	6,5	2,6	24	
25	30-Sep-22	60	8	8	8	751	2,3	1,7	6,5	2,6	24	
26	30-Sep-22	60	8	8	8	768	2,5	1,4	6,5	2,6	24	
27	30-Sep-22	60	8	8	8	640	2,1	1,5	6,5	2,6	24	
28	30-Sep-22	60	8	8	8	660	2,4	1,4	6,5	2,6	24	

3.4. Tempat dan waktu penelitian

3.4.1 Tempat Pelaksanaan Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Jalan Tol Indrapura-Kisaran yang memiliki panjang 47,75 km terbentang di atas tiga daerah/kabupaten yaitu Simalungun, Batubara, dan Kisaran. Tol ini akan melintasi berbagai jenis tata guna lahan mulai persawahan, perkebunan, permukiman, jalan raya, rel kereta api, tanah rawa, dan sungai.

3.4.2 Waktu pelaksanaan penelitian

Waktu efektif melaksanakan penelitian dilakukan pada hari senin sampai dengan jumat, namun untuk waktu yang lain tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan penelitian baik survei maupun pengambilan data lapangan. Karena pada dasarnya penelitian ini tidak terikat dengan waktu namun tergantung pada cuaca dan kondisi serta medan yang terjadi di lapangan. Penelitian ditargetkan selesai dalam kurun waktu 2 bulan.

3.5. Prosedur Analisis Pondasi Tiang Pancang

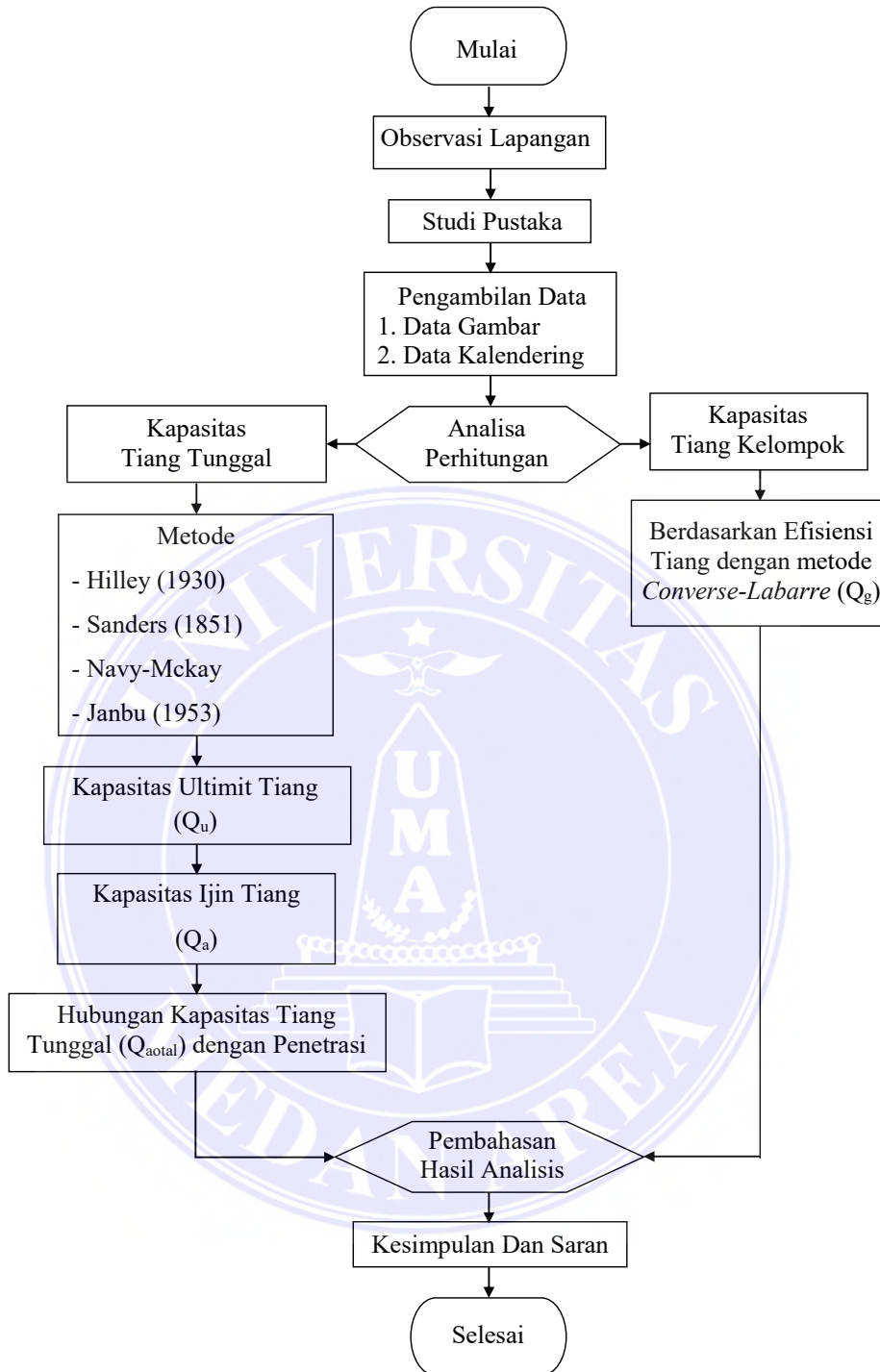
Prosedur analisis nilai kapasitas tiang pancang terdiri dari:

1. Melakukan peninjauan kelengkapan bertujuan agar mengetahui lokasi pembangunan Jembatan STA 146+225 Indrapura-Kisaran dan pengamatan terhadap prosedur pelaksanaan kalendering pada saat dilakukan pemancangan.
2. Melakukan *review* terhadap *text book* dan jurnal – jurnal yang terkait dengan fondasi tiang pancang, kapasitas dukung tiang dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini.

3. Pengambilan data yang diperoleh dari Kantor PT. PP (Persero) Tbk Kecamatan Air Putih, Kabupaten Batu Bara selaku penanggung jawab proyek, data yang diambil meliputi:
 - a. Gambar kerja (layout struktur, denah, potongan, detail – detail).
 - b. Data-data kalendering
4. Mempelajari data gambar kerja, data-data kalendering, dan data-data pendukung lainnya.
5. Menganalisis Kapasitas tiang tunggal berdasarkan data hasil uji kalendering dengan menggunakan metode Hiley (1930), Sanders (1851), Navy-Mckay, Janbu (1953) untuk mendapatkan kapasitas ultimit tiang tunggal (Q_u) dan kapasitas ijin tiang tunggal (Q_a).
6. Menganalisis kapasitas kelompok tiang berdasarkan efisiensi tiang dengan menggunakan metode *Converse-Labarre Formula* (Q_g).
7. Melakukan pembahasan berdasarkan hasil analisis kapasitas tiang tunggal, hubungan kapasitas tiang tunggal dengan penetrasi tiang dan kapasitas kelompok tiang.
8. Mengambil kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.
9. Memberikan rekomendasi berdasarkan kesimpulan yang didapatkan.

3.6. Bagan Alur Penelitian

Secara keseluruhan proses kegiatan penyusunan skripsi ini dapat digambarkan seperti bagan berikut.



Gambar 28. Diagram alir analisis

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

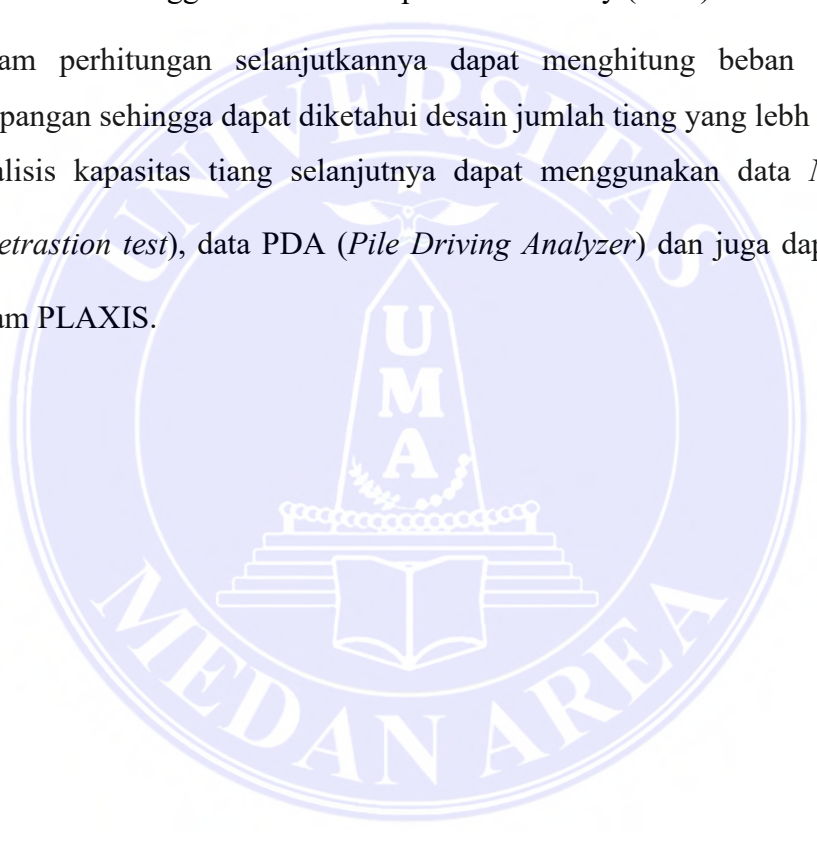
Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas tiang tunggal yang diijinkan berdasarkan data kalendering didapatkan bahwa hampir semua metode-metode analisis menghasilkan nilai yang cenderung berdekatan kecuali metode persamaan *Sanders* (1851) jauh lebih tinggi dari metode lainnya.
2. Semua metode menunjukkan bahwa jika semakin tinggi penetrasi, maka kapasitas tiang semakin kecil dan sebaliknya jika semakin kecil penetrasi, maka kapasitas tiang semakin tinggi.
3. Kapasitas kelompok tiang berdasarkan efisiensi tiang dan kapasitas tiang tunggal dari semua metode didapatkan bahwa nilai kapasitas kelompok tiang sekitar kapasitas kelompok tiang (Q_g) didapat sebesar 13270,90 kN dari hasil kapasitas tiang tunggal (Q_{atotal}) metode *Hiley* (1930), 26752,80 kN dari hasil kapasitas tiang tunggal (Q_{atotal}) metode *Sanders* (1851), 20434,89 kN dari hasil kapasitas tiang tunggal (Q_{atotal}) metode *Navy-Mckay*, dan 13295,66 kN dari hasil kapasitas tiang tunggal (Q_{atotal}) metode *Janbu* (1953).
4. Berdasarkan hasil kapasitas daya dukung tiang pancang dari interval kedalaman 2m, 4m, 6m diperoleh nilai kapasitas yang berbeda tergantung dari tiang pancang yang tertanam dalam 1 *pile cap*.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan maka ada beberapa hal yang disarankan sebagai berikut:

1. Dalam menganalisis kapasitas tiang tunggal berdasarkan data kalendering disarankan menggunakan metode persamaan Hiley (1930).
2. Dalam perhitungan selanjutnya dapat menghitung beban yang bekerja dilapangan sehingga dapat diketahui desain jumlah tiang yang lebih ekonomis.
3. Analisis kapasitas tiang selanjutnya dapat menggunakan data N_{spt} (*Standard penetration test*), data PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan juga dapat dikerjakan dalam PLAXIS.



DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1984. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid I*. 4 ed. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C., 2008. *Teknik Fondasi 2*. 4 ed. s.l.:s.n.
- Hardiyatmo, H. C., 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press,.
- Hardiyatmo, H. C., 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I*. 2 ed. Yogyakarta: Gajah Mada University Press,.
- Hardiyatmo, H. C., 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. 3 ed. Yogyakarta: Gajah Mada University Press,.
- Lukman, H., 2017. Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering. *Jurnal Teknik*, Juni, Volume 18 No 1, pp. 50-57.
- Munirwansyah & LumbanTobing, B. M., 2019. Perbandingan Kapasitas Penggunaan Formula Dinamis pada Tiang Pancang sebagai Kontrol Daya Dukung. *Journal of The Civil Engineering Student*, Volume 1 No 3, pp. 43-49.
- Saptorini, T. R., 2015. Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang terhadap Hasil Uji Calendering. *Jurnal TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN*, Volume 17, pp. 35-42.
- Sardjono, 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid I*. 1 ed. Surabaya: SINAR WIJAYA.
- S., Sarita , U., F. & Sukri, M., 2019. Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data N-SPT, CPT dan Kalendering. *Jurnal STABILITA*, Volume 7 No 1, pp. 39-46.

LAMPIRAN

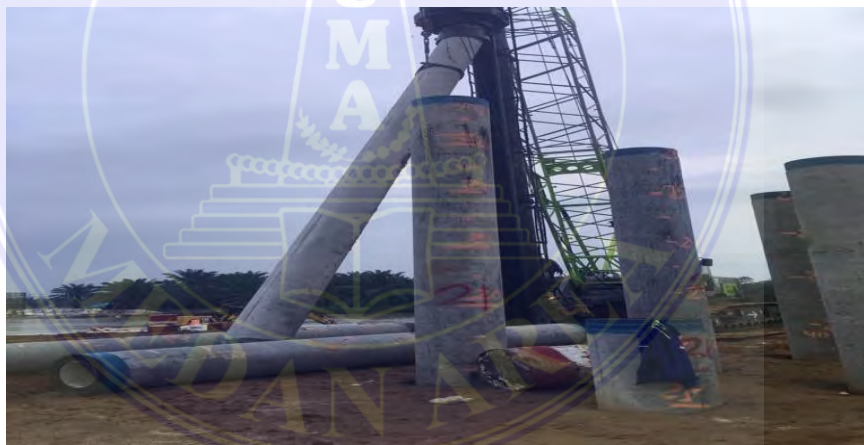
Lampiran 1. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas tiang tunggal

Titik Pemancangan	Hiley (1930)		Sanders (1851)		Navy-Mckay		Janbu (1953)	
	Q _u (kN)	Q _a (kN)	Q _u (kN)	Q _a (kN)	Q _u (kN)	Q _a (kN)	Q _u (kN)	Q _a (kN)
1	2724,31	681,08	12276,54	1534,57	7314,88	1219,15	2052,14	684,05
2	2905,93	726,48	12276,54	1534,57	7314,88	1219,15	2052,14	684,05
3	2254,60	563,65	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
4	2254,60	563,65	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
5	2564,05	641,01	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
6	2335,12	583,78	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
7	2564,05	641,01	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
8	2377,58	594,39	8499,14	1062,39	4733,16	788,86	1714,61	571,54
9	2467,30	616,82	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
10	2564,05	641,01	10692,47	1336,56	6189,51	1031,59	1925,77	641,92
11	2467,30	616,82	8958,55	1119,82	5028,98	838,16	1762,93	587,64
12	2335,12	583,78	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
13	2294,15	573,54	8499,14	1062,39	4733,16	788,86	1714,61	571,54
14	2514,75	628,69	11429,88	1428,73	6705,31	1117,55	1986,95	662,32
15	2668,71	667,18	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
16	2564,05	641,01	10692,47	1336,56	6189,51	1031,59	1925,77	641,92
17	2254,60	563,65	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
18	2724,31	681,08	12276,54	1534,57	7314,88	1219,15	2052,14	684,05
19	2179,45	544,86	8084,55	1010,57	4470,20	745,03	1668,86	556,29
20	2143,72	535,93	8084,55	1010,57	4470,20	745,03	1668,86	556,29
21	2467,30	616,82	8958,55	1119,82	5028,98	838,16	1762,93	587,64
22	2467,30	616,82	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
23	2668,71	667,18	12276,54	1534,57	7314,88	1219,15	2052,14	684,05
24	2377,58	594,39	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
25	2294,15	573,54	8499,14	1062,39	4733,16	788,86	1714,61	571,54
26	2467,30	616,82	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
27	2564,05	641,01	9470,47	1183,81	5364,25	894,04	1814,06	604,69
28	2514,75	628,69	10044,44	1255,55	5747,41	957,90	1868,25	622,75
TOTAL	68978,87	17244,72	278108,93	34763,62	159323,27	26553,88	51830,66	17276,89

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Mobilisasi Tiang Pancang



Gambar 2. Proses Pengangkatan Tiang Pancang



Gambar 3. Proses Pemukulan Tiang Panjang (*Spun pile*)



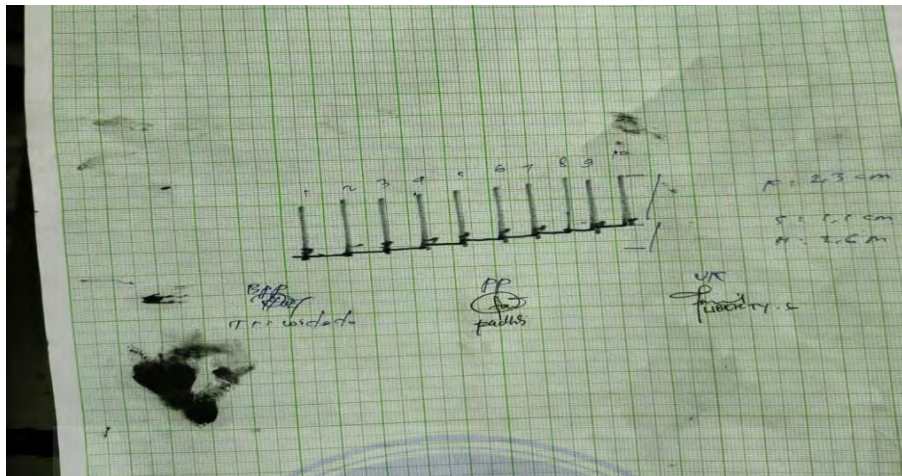
Gambar 4. Penyambungan Tiang Pancang (*Spun pile*)



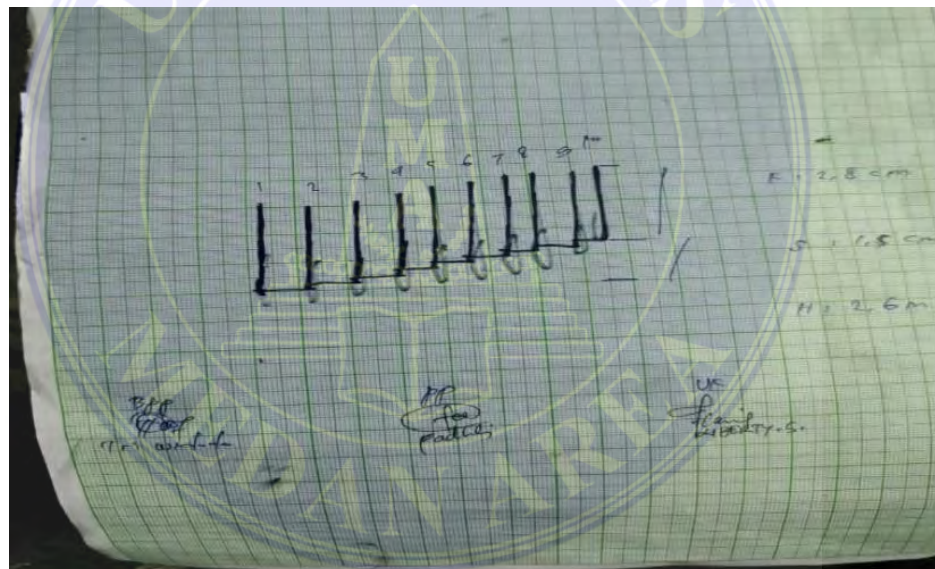
Gambar 5. Pelaksanaan uji kalendering



Gambar 6. Data Kalendering







Gambar 7. Data Kalendering



Gambar 8. Data Kalendering

Lampiran 3. Data Pengujian Kalendering

		PT. Berdikari Pondasi Perkasa-Pardasa Jalan Pangeran Tubagus Angku No. 99 RT 07/RW 05, Grogol Petamburan Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta 11488				Main Contractor : PT. PP (Persero) Project : Pembangunan Jalan Tol Iktis Location : JOP STA 146+225							
PILE DRIVING RECORD													
Tahk Pemasangan	Tanggal Pemasangan	Diameter Spun Pile (cm)	Konfigurasi Tiang Pancang (m)				Jumlah Pukulan	Final Set		Berat Hammer (ton)	Rambrotoke (cm)	Total Pile length (m)	Depth Of Penetration (m)
			Bottom	Middle 1	Middle 2	Middle 3		K (cm)	S (cm)				
1	24-Sep-22	60	8	8	8	657	2,6	1,1	6,5	2,6	24	19,6	
2	24-Sep-22	60	8	8	8	780	2,3	1,1	6,5	2,6	24	20	
3	24-Sep-22	60	8	8	8	638	2,8	1,5	6,5	2,6	24	19,5	
4	24-Sep-22	60	8	8	8	725	2,8	1,5	6,5	2,6	24	19	
5	26-Sep-22	60	8	8	8	775	2,3	1,4	6,5	2,6	24	20	
6	26-Sep-22	60	8	8	8	764	2,6	1,5	6,5	2,6	24	19,8	
7	26-Sep-22	60	8	8	8	658	2,1	1,5	6,5	2,6	24	19,5	
8	26-Sep-22	60	8	8	8	657	2,1	1,7	6,5	2,6	24	19,6	
9	26-Sep-22	60	8	8	8	790	2,3	1,5	6,5	2,6	24	20	
10	27-Sep-22	60	8	8	8	812	2,5	1,3	6,5	2,6	24	19,6	
11	27-Sep-22	60	8	8	8	680	2,1	1,6	6,5	2,6	24	19,5	
12	27-Sep-22	60	8	8	8	640	2,8	1,4	6,5	2,6	24	20	
13	27-Sep-22	60	8	8	8	910	2,3	1,7	6,5	2,6	24	19,5	
14	27-Sep-22	60	8	8	8	832	2,8	1,2	6,5	2,6	24	19,7	
15	27-Sep-22	60	8	8	8	630	2,1	1,4	6,5	2,6	24	20	
16	27-Sep-22	60	8	8	8	705	2,5	1,3	6,5	2,6	24	20	
17	29-Sep-22	60	8	8	8	740	2,8	1,5	6,5	2,6	24	19,6	
18	29-Sep-22	60	8	8	8	825	2,6	1,1	6,5	2,6	24	18,7	
19	29-Sep-22	60	8	8	8	680	2,4	1,8	6,5	2,6	24	19,7	
20	29-Sep-22	60	8	8	8	780	2,5	1,8	6,5	2,6	24	19,6	
21	29-Sep-22	60	8	8	8	870	2,1	1,6	6,5	2,6	24	19	
22	29-Sep-22	60	8	8	8	721	2,5	1,4	6,5	2,6	24	19,5	
23	29-Sep-22	60	8	8	8	626	2,3	1,1	6,5	2,6	24	20	
24	29-Sep-22	60	8	8	8	638	2,7	1,4	6,5	2,6	24	20	
25	30-Sep-22	60	8	8	8	751	2,3	1,7	6,5	2,6	24	20	
26	30-Sep-22	60	8	8	8	768	2,5	1,4	6,5	2,6	24	19,1	
27	30-Sep-22	60	8	8	8	640	2,1	1,5	6,5	2,6	24	19,5	
28	30-Sep-22	60	8	8	8	660	2,4	1,4	6,5	2,6	24	19,4	
Dikerjakan oleh, PT. Berdikari Pondasi Perkasa			Diperiksa dan diejukkan oleh, PT. PP (Persero)				Diperiksa dan Ditetujui oleh, PT. VIRAMA KARYA (Persero)						
Sub Contractor			Main Contractor				Consultant						
 Tri Widodo			 PT. PP (Persero)				 PT. Virama Karya (Persero)						