

**TINJAUAN PERBEDAAN KUAT DUKUNG TIANG TUNGGAL ANTARA DATA
KALENDERING, DATA *SPT*, DAN DATA *PDA TEST* PADA TIANG PANCANG
NO. 7 DAN NO. 25 *PILE CAP* NO. 1 *OVERPASS* STA 58+250 PROYEK JALAN
TOL PEKANBARU-DUMAI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru



Oleh

RIDHO ALDINO

143110286

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2019

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
Abstrak	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Umum	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.3 Keaslian Penelitian.....	6
BAB III LANDASAN TEORI	7
3.1 Pondasi Tiang.....	7
3.2 Tiang Pancang Beton Pracetak.....	8
3.3 Alat Pancang Tiang	9
3.4 Pemilihan Pemukul Tiang.....	12
3.5 Catatan Pemancangan Tiang (<i>Pile Driving Record</i>).....	16
3.6 Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan.....	16
3.7 Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek.....	17

3.8	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Tunggal	17
3.8.1	Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Dari Hasil Kalendering (Formula Hilley, 1930)	19
3.8.2	Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Dari Hasil SPT (Formula Meyerhoff, 1956)	22
3.9	Pengujian Beban Dengan <i>PDA Test</i>	23
3.10	Faktor Aman	28
BAB IV	METODE PENELITIAN	30
4.1	Gambaran Umum Penelitian	30
4.2	Lokasi Proyek Penelitian	30
4.3	Teknik Penelitian	31
4.4	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	31
4.5	Cara Analisis	34
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1	Lingkup Penelitian	35
5.2	Kompilasi Data	37
5.3	Analisa Data	40
5.3.1	Kesesuaian Pemukul Tiang Pancang	41
5.3.2	Kuat Dukung Ijin Tiang Tunggal (<i>Single Pile</i>)	42
5.4	Pembahasan	46
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1	Kesimpulan	49
6.2	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	50
	LAMPIRAN A	
	LAMPIRAN B	
	LAMPIRAN C	

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1	Pemilihan Pemukul Untuk Turap Baja, Tiang Beton, Tiang Kayu Pada Kondisi Ringan, Sedang Dan Berat (Teng, 1962 Dalam Hardiyatmo, 2015).....	13
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Hammer</i> Kobelco K45 (Kobelco, 2018).....	14
Tabel 3.3	Model K45 (Kobelco, 2018)	15
Tabel 3.4	Penghentian Pemancangan (Hardiyatmo, 2015).....	16
Tabel 3.5	Nilai-Nilai k_1 (Chellis, 1991 dalam Hardiyatmo, 2015)	20
Tabel 3.6	Nilai Efisiensi <i>Hammer</i> , e_h (Hardiyatmo, 2015)	21
Tabel 3.7	Koefisien Restitusi n (ASCE, 1941 dalam Hardiyatmo, 2015)	21
Tabel 3.8	Nilai Redaman J (Rausche dkk, 1985 dalam Toyeb, 2009).....	25
Tabel 3.9	Faktor Aman Yang Disarankan (Reese & O'Neill, 1989 dalam Hardiyatmo, 2008)	29
Tabel 5.1	Spesifikasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> dia. 60 cm tipe B (PT. Hakaaston, 2018).....	37
Tabel 5.2	Mutu Beton Dan Kuat Dukung Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Dia. 60 cm tipe B (PT. Hakaaston, 2018)	38
Tabel 5.3	Data Kalendering (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)	39
Tabel 5.4	Data <i>SPT</i> Tanah (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018).....	40
Tabel 5.5	Hasil Kuat Dukung Ultimit Tiang Pancang (Q_u)	

	Formula Hilley (1930).....	42
Tabel 5.6	Kuat Dukung Ultimit (Q_u) Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data $N-SPT$	43
Tabel 5.7	Kapasitas Kuat Dukung Ultimit (Q_u) Tiang Pancang Dari Data SPT	45
Tabel 5.8	Kapasitas Kuat Dukung Ultimit (Q_u) Tiang Pancang Hasil $PDA Test$ (PT. Geo Struktur Indonesia, 2018).....	45
Tabel 5.9	Perbandingan Kuat Dukung Ultimit (Q_u) Formula Hilley (1930), Meyerhoff (1956), Dan $PDA Test$	46
Tabel 5.10	Persentase Rasio Perbandingan Antara Hasil Analisa Kuat Dukung Ultimit (Q_u) Formula Hilley (1930) Dan Formula Meyerhoff (1956) Terhadap $PDA Test$	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1	Tiang Pancang Beton Pracetak (Hardiyatmo, 2015)8
Gambar 3.2	Sistem Alat Pancang Tiang. (Hardiyatmo, 2015)..... 11
Gambar 3.3	Tinggi Jatuh <i>Hammer</i> K45 (Kobelco, 2018)..... 15
Gambar 3.4	Tiang Ditinjau Dari Cara Mendukung Bebannya (Hardiyatmo, 2015) 17
Gambar 3.5	<i>Drop Hammer</i> (Hardiyatmo, 2015).....20
Gambar 3.6	Skema Sistem Kerja <i>PDA Test</i> (Hardjasaputra, 2006 Dalam Toyeb, 2015).....24
Gambar 3.7	Macam-Macam Alat Uji Beban Dinamik (Hardjasaputra, 2006 Dalam Toyeb, 2015).....26
Gambar 3.8	Signal Matching Rambatan Gelombang <i>PDA</i> Dan Analisa <i>CAPWAP</i> (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015)27
Gambar 3.9	Hasil Rekaman Rambatan Gelombang Dengan <i>PDA</i> (Hardjasaputra, 2006 Dalam Toyeb 2009)27
Gambar 3.10	Kurva Beban Vs Penurunan <i>CAPWAP</i> (Hardjasaputra, 2006 Dalam Toyeb, 2009)28
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian Lokasi Penelitian <i>Overpass</i> STA 58+250 (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)30
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian.....33

Gambar 5.1	Denah <i>Overpass</i> STA 58+250 (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)	35
Gambar 5.2	Profil Memanjang <i>Overpass</i> STA 58+250 (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)	36
Gambar 5.3	Proses Pemancangan Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Dengan <i>Diesel Hammer</i> (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)	36
Gambar 5.4	Denah <i>Pile Cap</i> Skema Titik Kalendering Dan <i>PDA Test</i> , (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)	38
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Kuat Dukung Pondasi Berdasarkan Data <i>N-SPT</i> Dengan Kedalaman Tiang	44
Gambar 5.6	Perbandingan Kuat Dukung Ultimit Tiang, Q_u (Ton) Formula Statik Dan Dinamik Dengan <i>PDA Test</i> Untuk Nomor Tiang 7 (P1)	47
Gambar 5.7	Perbandingan Kuat Dukung Ultimit Tiang, Q_u (Ton) Formula Statik Dan Dinamik Dengan <i>PDA Test</i> Untuk Nomor Tiang 25 (P1)	47

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

1. Perhitungan Kuat Dukung Hilley (P1 – 07 & P1 – 25)
2. Perhitungan Kuat Dukung SPT (P1 - 07 & P1 - 25)

LAMPIRAN B

1. *Manual Operator Hammer Kobelco*
2. *Pile Driving Record (P1 - 07)*
3. *Kalendering (P1 - 07)*
4. *Pile Driving Record (P1 - 25)*
5. *Kalendering (P1 - 25)*
6. *Bor Log*
7. *Gambar Autocad*

LAMPIRAN C

1. Surat Usulan Penulisan Tugas Akhir
2. Surat Keputusan Penulisan Tugas Akhir
3. Lembaran Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir
4. Surat Keterangan Persetujuan Seminar
5. Lembaran Berita Acara Seminar Tugas Akhir
6. Surat Keterangan Persetujuan Komprehensif
7. Lembaran Berita Acara Komprehensif Tugas Akhir
8. Surat Keterangan Persetujuan Jilid Tugas Akhir

DAFTAR NOTASI

A_p	= Luas penampang ujung pondasi tiang pancang (cm^2)
A_s	= Keliling pondasi tiang pancang (cm^2)
B	= Berat palu (<i>hammer</i>) (kg)
D	= Diameter tiang (cm)
e_h	= Efisiensi pemukul
h	= Tinggi jatuh palu (<i>ram stroke</i>) (cm)
C	= Rata-rata <i>rebound</i> / pantulan pada 10 pukulan terakhir (cm)
k_1	= Kompresi balok penutup elastis dan penutup tiang pancang (m)
k_2	= Kompresi elastis tiang pancang (m)
k_3	= Kompresi elastis tanah (m)
O	= Keliling tiang pancang (m)
P	= Daya dukung tiang pancang (ton)
Q_a	= Kapasitas dukung izin (ton)
Q_b	= Kapasitas dukung ujung tiang (ton)
Q_g	= Kuat dukung maksimum <i>group</i> tiang (ton)
Q_u	= Kapasitas dukung ultimit (ton)
Q_s	= Kapasitas dukung kulit tiang (ton)
S	= Penurunan tiang tunggal (<i>Settlement</i>) (cm)
S_F	= faktor keamanan
W_r	= Berat <i>hammer</i> (ton)
W_p	= Berat tiang pancang (kg)

TINJAUAN PERBEDAAN KUAT DUKUNG TIANG TUNGGAL ANTARA DATA KALENDERING, DATA *SPT*, DAN DATA *PDA TEST* PADA TIANG PANCANG NO. 7 DAN NO. 25 PILE CAP NO. 1 OVERPASS STA 58+250 PROYEK JALAN TOL PEKANBARU-DUMAI

RIDHO ALDINO
NPM : 143110286

ABSTRAK

Pelaksanaan pembangunan infrastruktur seperti jalan tol sangat membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan pondasi yang kuat. Pembangunan jalan tol tersebut juga harus didukung dengan adanya jembatan *overpass* yang berguna untuk jalan penyeberangan masyarakat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa ton berat pemukul tiang pancang yang dibutuhkan untuk pemancangan tiang pancang. Mengetahui hasil analisa perbandingan kuat dukung ijin tiang pancang dari hasil perhitungan formula Hilley, *Standard Penetration Test* terhadap *PDA test* berdasarkan data penyelidikan tanah dan pemancangan. Mengetahui perbedaan hasil analisis dari data kalendering dan *PDA test* terhadap data tanah di lokasi yaitu data *Standard Penetration Test*.

Dalam penelitian ini digunakan metode perhitungan tiang pacang dengan menggunakan formula Hilley dan formula Meyerhoff. Digunakan data sekunder berupa data *SPT*, data pemancangan, gambar rencana dan *PDA test*. Dihitung kuat dukung statik dan dinamik. Hasil analisis berat tiang pancang *spun pile* dengan total panjang desain kedalaman 34 m memiliki berat sendiri sebesar 14695,2 kg. Umumnya *hammer* paling sedikit setengah dari berat total tiang yang digunakan. Maka dipilih penumbuk (*hammer*) sebesar 10500 kg yaitu *Diesel Hammer* Kobelco K45. Hasil analisis dari formula statik dan dinamik memberikan nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang beragam untuk data penyelidikan tanah dan data pemancangan di lokasi *Pier* yang sama. Berdasarkan hasil analisa perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) *spun pile* di *Pier* I pada titik P1-07 dan P1-25 dari formula Hilley memiliki nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang cenderung serupa dengan *PDA test*. Hasil perhitungan formula statik memberikan nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dari formula dinamik dan *PDA test*.

Kata Kunci : Tiang Pancang, Kapasitas Dukung, Pondasi, *Overpass*

**REVIEW OF THE DIFFERENTIATION OF SINGLE PILE BEARING
CAPACITY BASED ON PILING RECORD, SPT DATA AND PDA TEST FOR
PILE NO. 7 AND NO. 25 PILE CAP NO. 1 OVERPASS STA 58 + 250
PEKANBARU-DUMAI TOLL ROAD PROJECT**

RIDHO ALDINO
NPM : 143110286

ABSTRACT

The development of infrastructure like as toll roads in desperate need of a sturdy building with a strong foundation. The toll road development should also be supported by the bridge overpass which is useful for people crossing the road. The purpose of this study was to determine how many tons of heavy hitters piles needed for erection stake. Knowing the results of the comparative analysis of the strength of the supporting piles permit from the calculation results of the Hilley formula, Standard Penetration Test of PDA tests based on soil investigation and piling data. Knowing the differences in the results of the analysis of calendar data and PDA tests on soil data at the location of the Standard Penetration Test data

In this study the calculation of the pacemak calculation method using the formula Hilley and Meyerhoff. Secondary data are used in the form of SPT data, piling data, drawing plans and PDA tests. Calculated static and dynamic bearing strength. The results of the analysis of the weight of the spun pile piles with a total design length of 34 m depth have a weight of 14695.2 kg. Generally the hammer is at least half the total weight of the pole used. Then a hammer was selected for 10500 kg, namely the Diesel Hammer Kobelco K45. The results of the analysis of the static and dynamic formulas provide varying ultimit (Q_u) bearing strength values for soil investigation data and piling data at the same Pier location. Based on the results of a comparative analysis of ultimate bearing strong (Q_u) spun pile at Pier I at the point P1-07 and P1-25 of formula Hilley has the ultimate bearing strength value (Q_u), which tend to be similar to the PDA test. Static formula calculation results provide strong value of ultimate bearing (Q_u) is greater than the dynamic formula and PDA test.

Keywords: *Pile, Support Capacity, Foundation, Overpass*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pertumbuhan ekonomi Provinsi Riau yang dapat dilihat dari lajunya tingkat pembangunan sektor konstruksi infrastruktur. Pembangunan Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai merupakan salah satu wujud dari percepatan pembangunan infrastruktur di Provinsi Riau, dimana pembangunan tersebut merupakan investasi dari PT. Utama Karya (Persero) melalui kontraktor yaitu PT. Utama Karya Infrastruktur sebagai pelaksana yang merupakan anak perusahaan dari PT. Utama Karya (Persero).

Pelaksanaan pembangunan infrastruktur seperti jalan tol sangat membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan pondasi yang kuat. Pembangunan jalan tol tersebut juga harus didukung dengan adanya jembatan *overpass* yang berguna untuk jalan penyeberangan masyarakat. Dimana jembatan *overpass* pastinya juga membutuhkan pondasi bangunan yang kuat dan kokoh. Hal ini disebabkan karena pondasi sebagai dasar bangunan harus mampu memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya yang turut diperhitungkan, serta meneruskannya ke dalam tanah sampai kelapisan atau kedalaman tertentu.

Salah satu bangunan proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai yaitu pembangunan *Overpass* STA 58+250. Proyek ini menggunakan pondasi tiang pancang *spun pile* berukuran diameter 60 cm dengan ketebalan 10 cm. Kuat dukung pondasi tersebut dapat dihitung dengan data tanah tak terganggu di lokasi pemancangan yaitu data *Standard Penetration Test* dengan formula Meyerhoff (1956) serta didukung data pada saat pelaksanaan pemancangan yaitu dengan data kalendering dan *PDA Test*. Untuk pengujian dinamis, peneliti dapat menggunakan formula Hilley (1930) untuk menghitung kuat dukung tiang pancang tunggal dari data kalendering. Sebagai alternatif dari uji beban statik, kini banyak digunakan uji beban dinamik, khususnya dengan metode *Pile Driving Analyzer (PDA)*. Beban dinamik akibat tumbukan dari *drop hammer* pada kepala tiang, akan menimbulkan regangan pada tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang dan tanah

disekitarnya menimbulkan gelombang akibat perlawanan atau reaksi tanah. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam. Dari hasil rekaman, karakteristik gelombang-gelombang ini dapat dianalisa untuk menentukan daya dukung statik tiang yang diuji.

Peningkatan tingkat jaminan mutu uji coba tiang diperlukan strategi pengujian yang mengkombinasikan antara uji coba formula statik dan dinamik terhadap *PDA Test* yang dapat saling melengkapi untuk mendapatkan jaminan mutu tiang pondasi untuk keseluruhan bangunan agar lebih terpercaya. Dengan *PDA Test* jumlah titik yang diuji dapat dipilih lebih banyak dan acak, sedangkan uji coba statik tetap diperlukan untuk mengkalibrasi hasil *PDA Test*. Hasil perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang antara formula Hilley (1930) dan formula Meyerhoff (1956) untuk menghitung kuat dukung tiang pancang tunggal kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian langsung *PDA Test (Pile Driving Analyzer)*.

Penelitian ini dilakukan karena ada ketertarikan dan keingintahuan penulis terhadap perbedaan kuat dukung tiang tunggal dari data yang umum didapatkan di pemancangan pondasi tiang pancang dilapangan, yaitu data kalendering, *Standard Penetration Test* dan *PDA Test (Pile Driving Analyzer)*. Dari ketiga data tersebut penulis ingin mengetahui data mana yang memberikan nilai kuat dukung tertinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka perumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Berapa ton berat pemukul tiang pancang yang dibutuhkan untuk pemancangan Tiang Pancang.
2. Bagaimana hasil analisa kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal dari hasil perhitungan formula Hilley (1930), formula Meyerhoff (1956) dan *PDA Test* berdasarkan data penyelidikan tanah dan pemancangan.
3. Bagaimana perbedaan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal hasil analisis dari data kalendering dan *PDA Test* terhadap data tanah tak terganggu di lokasi yaitu data *Standard Penetration Test*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan dan pembahasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kesesuaian berat pemukul tiang pancang yang dibutuhkan untuk pemancangan tiang pancang.
2. Mengetahui hasil analisa kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal dari hasil perhitungan formula Hilley (1930), formula Meyerhoff (1956) dan *PDA Test* berdasarkan data penyelidikan tanah dan pemancangan.
3. Mengetahui perbedaan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal hasil analisis dari data kalendering dan *PDA Test* terhadap data tanah tak terganggu di lokasi yaitu data *Standard Penetration Test*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis, untuk menambah ilmu pengetahuan tentang pondasi tiang pancang serta mengetahui tata cara perhitungan.
2. Bagi pihak pembaca, sebagai bahan referensi bagi mahasiswa yang sedang dan akan melakukan penelitian yang sama.

1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk mempersingkat dan memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Hanya menganalisa perhitungan tiang tunggal.
2. Tidak menghitung beban aksial, lateral dan momen.
3. Tidak menganalisa penurunan tiang pancang.
4. Tidak memperhatikan isotropi tanah.
5. Tidak membahas metode pelaksanaan dan rencana anggaran biaya (RAB).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka memuat tentang hasil penelitian yang di dapat oleh peneliti terdahulu, serta memiliki hubungan yang erat dengan penelitian yang sedang dilakukan. Sehingga dapat memberikan solusi untuk pemecahan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan. Beberapa referensi diantaranya yang melakukan penelitian terkait dengan pondasi tiang pancang adalah Amanda (2018), Ginting (2018), Saptorini, (2015), Zulayna (2007).

2.2 Penelitian Terdahulu

Amanda, (2018) telah melakukan penelitian tentang pada pembangunan jembatan *underpass* STA 129+742 Proyek Tol Lampung oleh PT. Wijaya Karya, tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang *spun pile* dengan diameter 60 cm, alat yang digunakan yaitu diesel *hammer* JWDD 65. Perancangan jembatan digunakan kedalaman tanah keras level -16 m dari hasil uji *SPT* (*Standart Penetration Test*), namun pada pelaksanaannya pemancangan dihentikan pada saat tiang sudah mencapai tanah keras yaitu level 10 m, jika pada posisi seperti ini maka segera evaluasi perhitungan dengan hasil data *kalendering* dan melakukan uji *PDA*.

Ginting (2018) telah melakukan penelitian tentang daya dukung pondasi tiang pancang *Overpass* Sei. Semayang STA. 0+350 di proyek pembangunan jalan tol ruas Medan-Binjai. Untuk mengetahui daya dukung tiang tersebut memenuhi atau tidak, dapat memakai perhitungan metode Meyerhoff dengan data *SPT* dan *PDA test*, lalu perhitungan tersebut dapat diteruskan untuk menghitung efisiensi tiang pancang. Perhitungan efisiensi tiang ini digunakan rumus Converse-Labarre karena jenis tanah pendukung pada objek adalah tanah kepasiran. Dari hasil analisa dan perhitungan daya dukung tiang hasil *SPT* berdasarkan metode Meyerhoff, *Abutment 1* memiliki daya dukung tiang tunggal sebesar 767,88 ton, daya dukung tiang kelompok sebesar 12649,45 ton dan *Abutment 2* memiliki daya dukung tiang

tunggal sebesar 732,5 ton, daya dukung tiang kelompok sebesar 12056,75 ton. Masing-masing daya dukung pada kedua percobaan telah mencapai tanah keras sedalam 21 meter, sedangkan analisa daya dukung tiang pancang berdasarkan *PDA Test* adalah sebesar 394,9 ton pada *OP 1* dan 325,9 ton pada *OP 2*.

Saptorini (2015) telah melakukan penelitian tentang evaluasi daya dukung pondasi tiang pancang pada *Overpass* Lembah Ireng STA 20+212 Proyek Jalan Tol Semarang - Bawen Paket V. Jenis tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang beton pratekan bulat (*Prestressed Spun Concrete Piles*) dengan \varnothing 500 mm. Adanya kelebihan tiang pancang di *overpass* lain ($L = 8$ m), memunculkan pemikiran untuk dapat digunakan di *abutment 2 overpass* (OP) Lemah Ireng, dimana sesuai *design* awal, kebutuhan tiang pancang di OP Lemah Ireng adalah sejumlah 8 buah, diameter (D) 50 cm, panjang 9 meter. Hasil analisis pondasi tiang pancang di *abutment 2 Overpass* (OP) Lemah Ireng menghasilkan kebutuhan tiang pancang menjadi 10 (sepuluh) tiang pancang diameter $D = 50$ cm panjang $L = 8$ meter. Analisis *review design* ini dilakukan dengan menghitung kapasitas kelompok tiang *design* awal yang di dapat sebesar 8694,468 Kn, kemudian membaginya dengan kapasitas 1 tiang hasil *review design* ($L = 8$ m) sesuai dengan nilai SPT pada kedalaman 8 (delapan) meter tersebut. Dari analisis kapasitas daya dukung tiang pancang hasil kalendering di dapat kapasitas 1 tiang (P_{cal}) = 1527.941kN, sementara analisis kapasitas daya dukung 1 tiang pancang hasil *review design* ditentukan oleh kekuatan tanahnya, yaitu sebesar $P_{ijin_rd} = 1214.74916$ kN. Dengan demikian kapasitas daya dukung tiang pancang hasil *review design* secara teknis dinyatakan aman.

Toyeb dalam Zulayna (2007) telah melakukan penelitian tentang pengaruh faktor keamanan beberapa formula dinamik terhadap kuat dukung tiang pancang Jembatan Sungai Kuantan Taluk Kuantan Provinsi Riau. Jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang baja (*pile stell*) dengan \varnothing 500 mm. Salah satu pengaruh faktor keamanan yang berbeda-beda terhadap kuat dukung ijin tiang tunggal adalah terjadi perbedaan banyaknya tiang yang memenuhi beban pada tiang (Q_i) dan perbedaan banyaknya tiang yang tidak memenuhi beban pada tiang (Q_i). Pengaruh lain dari penggunaan faktor keamanan yang berbeda-beda terhadap kuat

dukung ijin tiang tunggal adalah terjadi perbedaan tiang yang mempunyai besarnya kuat dukung ijin tiang tunggal maksimum (Q_a). Berdasarkan kuat dukung ijin kelompok tiang dari beberapa formula dinamik yang digunakan, formula Janbu dengan $SF = 3$ adalah yang mempunyai kuat dukung maksimum dan Eytelwein formula dengan $SF = 6$ adalah yang mempunyai kuat dukung minimum. Dari beberapa formula dinamik tersebut yang efektif digunakan adalah Janbu dan Danish dengan $SF = 3$ sampai 4, dan Hilley dengan $SF = 2,7$.

2.3 Keaslian Penelitian

Judul yang diajukan oleh peneliti dalam penelitian tugas akhir ini memang terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu tetapi memiliki perbedaan-perbedaan seperti lokasi penelitian, kondisi tanah, kedalaman tiang pancang, intensitas beban, dimensi tiang pancang dan fungsi bangunan. Maka dari itu seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan penelitian ini belum pernah diteliti sebelumnya sebagai obyek penelitian tugas akhir.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Pondasi Tiang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga. Pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air. (Hardiyatmo, 2015).

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam. (Sardjono, 1988)

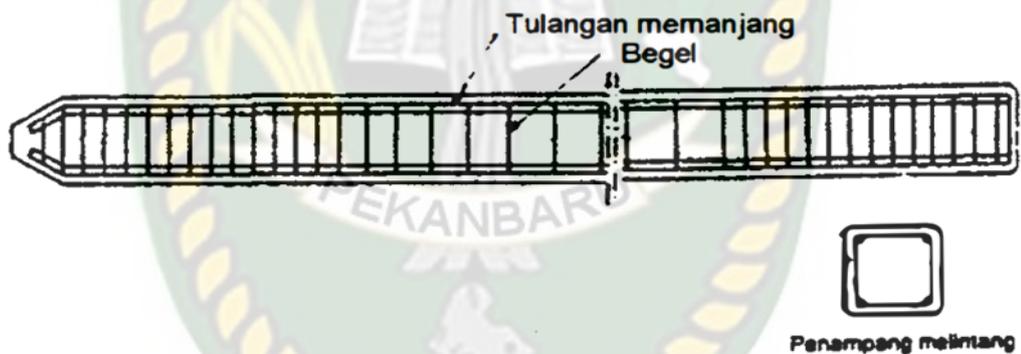
Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain (Hardiyatmo, 2015).

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.
2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah di sekitarnya.
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatik atau momen penggulingan.
4. Untuk menahan gaya-gaya horisontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah.

6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

3.2 Tiang Pancang Beton Pracetak

Tiang beton pracetak umumnya berbentuk prisma atau bulat yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Tiang-tiang dicetak di lokasi tertentu, kemudian diangkut ke lokasi pembangunan. Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang diantara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang diameternya dapat mencapai 140 cm. Panjang tiang beton pracetak biasanya berkisar diantara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil dapat berkisar di antara 300 sampai 800 kN (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 3.1 Tiang pancang beton pracetak (Hardiyatmo, 2015)

Keuntungan pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain (Hardiyatmo, 2015):

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 granular.

Adapun kerugian pemakaian tiang pancang pracetak antara lain (Hardiyatmo, 2015):

1. Penggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
2. Tiang kadang-kadang rusak akibat pemancangan .
3. Pemancangan sulit, bila diameter tiang terlalu besar.
4. Pamancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya.
5. Penulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.

3.3 Alat Pancang Tiang

Dalam pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap. pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Penutup tiang (*pile cap*) biasanya diletakkan menutup kepala tiang yang kadang-kadang dibentuk dalam geometri tertutup. Tiang dan pemukul dipasang pada peralatan *crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul ke kepala tiang yang disebut *lead*. Berikut jenis-jenis alat pancang tiang (Hardiyatmo, 2015).

1. Pemukul jatuh (*drop hammer*)

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

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.

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

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya. Kecepatan pukulan dan energi *output* biasanya lebih tinggi dari pada pemukul aksi tunggal.

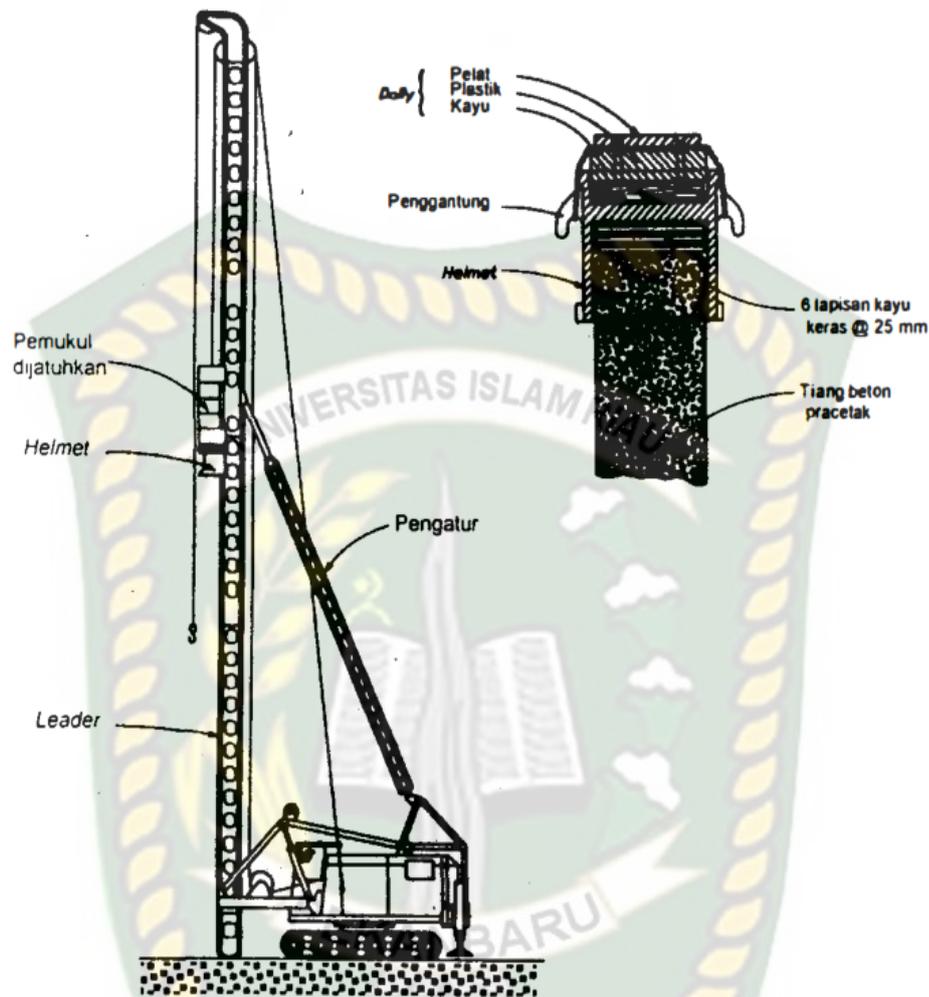
4. Pemukul diesel (*diesel hammer*)

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

5. Pemukul getar (*vibratory hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi, estimasi kapasitas dukung tiang umumnya didasarkan pada jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memancang tiang pada penetrasi yang ditentukan. Setiap jatuhnya pemukul akan memberikan energi pada tiang. Jumlah pukulan total adalah energi total untuk menggerakkan tiang pada penetrasi tertentu. Energi ini dapat dikaitkan dengan tahanan tanah dan kapasitas dukung. Namun pengawasan pemancangan tiang memerlukan tidak hanya jumlah pukulan. Hal ini karena energi yang diberikan oleh pemukul kepada tiang sangat bergantung pada alat pancang yang digunakan kontraktor. Kehilangan energi akan terjadi, bila sistem pemukul tidak lurus, tebal bantalan terlalu berlebihan, dan lain-lain. Semakin tinggi hilangnya energi pemukulan, semakin besar jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang (Hardiyatmo, 2015).

Spesifikasi energi alat pemukul yang dikeluarkan oleh pabrik alat pancang didasarkan pada kehilangan energi yang minimum. Jika ternyata energi yang hilang besar, maka dibutuhkan jumlah pukulan yang lebih banyak. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyesatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat kapasitas dukung. Kepala tiang beton harus dilindungi dengan bantalan yang dibuat dari bantalan yang dibuat dari kayu keras atau *plywood*. Tebal minimum bantalan harus tidak kurang dari 10 cm. Bantalan yang baru untuk setiap tiang (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 3.2 Sistem Alat Pancang Tiang. (Hardiyatmo, 2015)

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa elemen-elemen penting dalam sistem pemancangan adalah: *lead*, *anvil*, topi (*helmet*), *ram* dan untuk tiang beton, bantalan tiang (*pile cushion*). Berikut ini penjelasan masing-masing elemen (Hardiyatmo, 2015):

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 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 as tiang sama dengan as pemukul.
4. Bantalan (*cushion*) dibuat kayu keras atau bahan lain yang ditempatkan diantara penutup tiang (*pile cap*) dan puncak tiang untuk melindungi kepala tiang dari kerusakan. Bantalan juga menjaga agar energi per pukulan seragam. Bantalan harus dibuat dari material yang kuat, biasanya dispesifikasikan oleh pabrik pemukul. Semua kayu, tali pengikat, dan bantalan pemukul dari *asben* tidak diizinkan untuk digunakan. Bahan-bahan yang kurang awet yang mudah rusak saat pelaksanaan pemancangan akan menyebabkan ketidakpastian energi pukulan ke tiang. Pada prinsipnya, semakin tebal bantalan, energi yang diterima tiang semakin berkurang.
5. *Ram* adalah bagian pemukul yang bergerak ke atas dan ke bawah yang terdiri dari piston dan kepala penggerak (*driving head*).

3.4 Pemilihan Pemukul Tiang

Saat ini, tersedia berbagai macam jenis pemukul tiang. Pemilihan tipe pemukul dan ukuran untuk proyek tertentu bergantung pada banyak faktor. Umumnya ukuran lebih penting dari pada tipenya. Tiang berat sebaiknya dipancang dengan pemukul berat sehingga memberikan energi yang besar pula. Lebih disukai berat pemukul paling sedikit setengah dari berat total tiang dan energi pemancangan sebaiknya paling sedikit 1 ft-lb. untuk setiap *pounds* (lb) berat tiang. Tiap-tiap pemukul mempunyai kecocokan pada kondisi tertentu . Pemilihan juga bergantung pada ketersediaan pemukul, ketersediaan uap, tekanan udara, ruang gerak, tiang miring dan sebagainya. Berikut ditampilkan pada Tabel 3.1 pemilihan berat pemukul tiang pancang berdasarkan jenis-jenis tiang pancang (Hardiyatmo, 2015):

Tabel 3.1 Pemilihan pemukul untuk turap baja, tiang beton, tiang kayu pada kondisi ringan, sedang dan berat (Teng, 1962 dalam Hardiyatmo, 2015)

Panjang tiang (ft)	Kedalaman Penetrasi (%)	Turap (energi untuk turap tunggal, bila turap double nilainya dikalikan dua)			Tiang kayu		Tiang beton	
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Berat	Ringan	Berat
		(ft-lb per pukulan)			(ft-lb per pukulan)		(ft-lb per pukulan)	
1. Pemancangan pada tanah pasir, kerikil longgar. Tanah-tanah dengan tahanan gesek normal								
25	50	1000-1800	1000-1800	1800-2500	3600-4200	3600-7250	7250-8750	8750-15000
	100	1000-3600	1800-3600	1800-3600	3600-7250	3600-8750	7250-8750	13000-15000
50	50	1800-3600	1800-3600	3600-4200	3600-8750	7250-8750	8750-15000	13000-25000
	100	3600-4200	3600-4200	3600-7500	7250-8750	7250-15000	13000-15000	15000-25000
100	50		3600-7500	3600-8750		13000-15000		19000-36000
	100			3600-8750		15000-19000		19000-36000
2. Pemancangan pada tanah lempung kaku, kerikil yang dipadatkan. Tanah dengan tahanan terhadap pemancangan sangat tinggi								
25	50	1800-2500	1800-2500	1800-4200	7250-8750	7250-8750	7250-8750	8750-15000
	100	1800-3600	1800-3600	1800-4200	7250-8750	7250-8750	7250-15000	13000-15000
50	50	1800-4200	3600-4200	3600-4200	7250-15000	7250-15000	13000-15000	13000-25000
	100		3600-4200	3600-13000		13000-15000		19000-36000
100	50		3600-8750	3600-8750		15000-25000		19000-36000
	100			7500-1900				
Berat (per ft panjang)		20 lb	30 lb	40 lb	30 lb	60 lb	150 lb	400 lb
Ukuran tiang (pendekatan)		15 in	15 in	15 in	13 in. diameter	18 in. diameter	12 in ²	20 in ²

Catatan: 1 lb = 0,454 kg, 1 ft = 0,3048 kg

Waktu yang diperlukan untuk pemancangan adalah merupakan faktor yang penting dalam pekerjaan pemancangan tiang pancang. Misalnya saja waktu pemancangan yang diperlukan untuk pemancangan tiang dengan alat pancang *drop hammer* relatif lebih lama jika dibandingkan dengan alat-alat pancang tipe yang lain. Jadi jelaslah bahwa pemilihan tipe alat pancang sangat besar pengaruhnya pada perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan pemancangan tiang pancang. Pemilihan berat penumbuk (*hammer*) tergantung pada berat tiang pancang yang akan dipancang.

Adapun hubungan antara berat penumbuk (*hammer*) dengan berat tiang pancang sebagai berikut (Sardjono, 1988):

$$B = 0,5 P + 600 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Dimana :

B = Berat palu penumbuk (*hammer*) (kg)

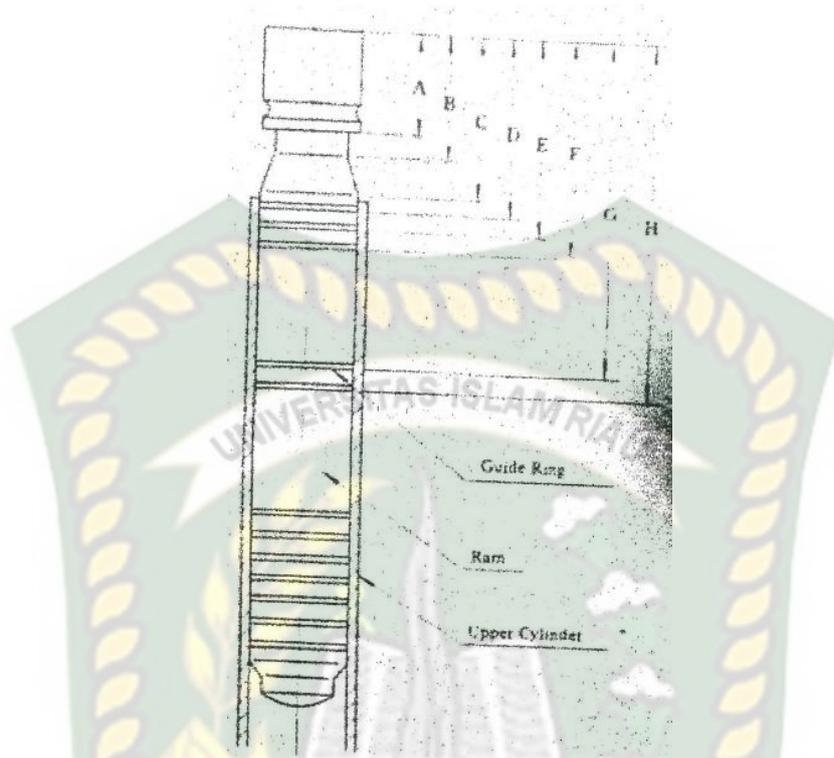
P = Berat tiang pancang (kg)

Pada pekerjaan proyek *Overpass* STA 58+250 digunakan pemukul tiang pancang tipe *diesel hammer* kobelco K45. Berikut data spesifikasi yang diperoleh dari buku *Operators Manual Kobelco K45*.

Adapun bentuk spesifikasi *Hammer* Kobelco K45 dapat dilihat dalam Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Spesifikasi *Hammer* Kobelco K45 (Kobelco, 2018)

	K45
<i>Overall lenght</i> (mm)	4.925
<i>Total weight of hammer</i> (kg)	10.500
<i>Weight of ram</i> (kg)	4.500
<i>Number of blows per minuts</i>	39 to 60
<i>Energy output per blow (max.) kg-m</i>	13.600
<i>Explosion pressure on pile (lbs.)</i>	191



Gambar 3.3 Tinggi Jatuh *Hammer* K45 (Kobelco, 2018)

Adapun bentuk tinggi jatuh *Hammer* Kobelco K45 dapat dilihat dalam Tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Model K45 (Kobelco, 2018)

	<i>Ram Length out of Upper Cylinder (mm)</i>	<i>H, Ram Stroke (mm)</i>
	0	1.048
A	658	1.716
B	818	1.866
C	968	2.016
D	1.018	2.066
E	1.118	2.166
F	1.222	2.396
G	1.852	3.025
H	1.882	3.056

3.5 Catatan Pemancangan Tiang (*Pile Driving Record*)

Dalam proyek-proyek, kecil atau besar, informasi mengenai pemancangan tiang harus dilakukan dengan baik. Informasi yang diperlukan antara lain (Hardiyatmo, 2015):

1. Ukuran tiang, lokasi tiang dalam kelompok tiang dan lokasi kelompoknya.
2. Urutan pemancangan dalam kelompok.
3. Elevasi akhir dari dasar dan kepala tiang.
4. Tipe dan energi, peralatan pancang lain termasuk penyemprot air (*water jet*), bantalan (*cushion*), penutup tiang dan lain-lain.
5. Jumlah pukulan per satuan panjang untuk seluruh panjang tiang, dan set untuk 10 pukulan terakhir.
6. Pemeriksaan tiang untuk posisi vertikalnya.
7. Keterangan lain seperti penanguhan kelangsungan pemancangan, kerusakan tiang dan lain-lain.

3.6 Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan

Dalam pekerjaan pemancangan, bila jumlah pukulan terlalu banyak, maka kepala tiang dapat pecah. Untuk ini diperlukan petunjuk kapan dapat dilakukan penghentian pemukulan. Jumlah pukulan untuk penghentian pemukulan yang disarankan ditunjukkan dalam Tabel 3.4 Hardiyatmo, (2015).

Tabel 3.4 Penghentian pemancangan (Hardiyatmo, 2015)

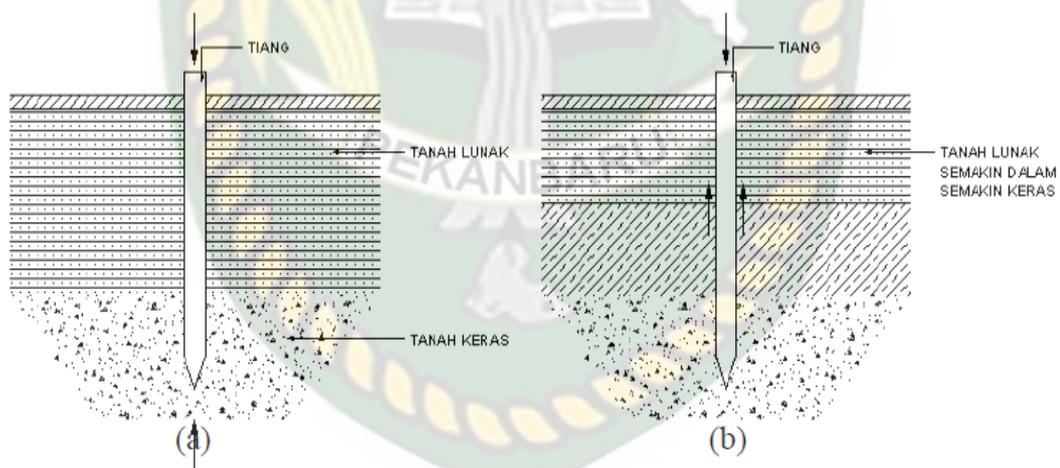
Bahan tiang	Pemukul dihentikan bila penetrasi tiang mencapai:
Kayu	4 – 5 pukulan / 25 mm
Beton Bertulang	6 – 8 pukulan / 25 mm
Baja	12 – 15 pukulan / 25 mm

Namun pada pelaksanaan proyek umumnya pemukul dihentikan bila penetrasi tiang mencapai 10 pukulan / 30 mm.

3.7 Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek

Suatu konstruksi bangunan memerlukan pondasi tiang apabila tanah disekitar lokasi proyek tersebut merupakan tanah lunak. Pondasi tiang mendukung beban di atasnya bekerja dengan 2 macam bagian yaitu (Hardiyatmo, 2008):

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawahnya ujung tiang (Gambar 3.4a)
2. Tiang gesek (*Friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya (Gambar 3.4b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 3.4 Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya (Hardiyatmo, 2015).

3.8 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Tunggal

Kapasitas dukung adalah kemampuan tanah menahan beban pada permukaan tanah ataupun menahan beban pada kedalaman di bawah permukaan seperti halnya dengan pondasi tiang (Wesley, 2012). Jika beban yang bekerja pada pondasi ditambah secara terus menerus maka pondasi akan turun dan akhirnya terjadi kelongsoran. Besarnya beban tersebut disebut beban longsor dan tekanan

yang bekerja disebut kapasitas dukung atau keseimbangan (*ultimate bearing capacity*) dari tanah. (Deny, 2015).

Kapasitas dukung pondasi tiang umumnya dihasilkan dari kapasitas dukung ujung tiang dan tahanan gesek pada selimut tiang. Kuat dukung ujung tiang terjadi bila ujung tiang mencapai kedalaman lapisan tanah keras atau tanah yang memiliki kapasitas dukung yang tinggi sedangkan tahanan gesek merupakan hasil interaksi antara selimut tiang dengan lapisan tanah di sekeliling selimut tiang tersebut (Hardiyatmo, 2008).

Dalam proses perencanaan pondasi tiang harus memperhitungkan besarnya kapasitas dukung yang dihasilkan dari pondasi tersebut dan besarnya penurunan yang akan terjadi pada pondasi tiang. Dalam hal ini ada dua persyaratan yang harus dipenuhi yaitu:

1. Faktor aman terhadap keruntuhan yang digunakan sebagai faktor pembagi dari kapasitas dukung ultimit (Q_u) untuk memperoleh kapasitas dukung izin (Q_a) dari pondasi.
2. Penurunan yang terjadi pada pondasi masih dalam batas toleransi yang diizinkan.

Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa kapasitas dukung pondasi tiang pancang terbagi kapasitas dukung ujung (*end bearing pile*) dan tahanan gesek selimut tiang (*friction pile*) dan bila keduanya digabungkan akan menghasilkan kapasitas dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang.

Berikut persamaan kapasitas dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.2)$$

Berikut persamaan kapasitas dukung izin tiang (Q_a) pondasi tiang yaitu :

$$Q_a = \frac{Q_u}{s_f} \quad (3.3)$$

dimana :

Q_u = kapasitas daya dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Q_s = kapasitas gesek selimut tiang (kN)

W_p = berat sendiri tiang pancang (kN)

Q_a = kapasitas dukung izin tiang (kN)

S_F = faktor keamanan

3.8.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Dari Hasil Kalendering (Formula Hilley, 1930)

Pada pemancangan tiang pancang metode dinamis dihasilkan suatu data hasil pemancangan yaitu data kalendering, data tersebut mempunyai nilai *settlement* dan *rebound* dari pemancangan tiang pada saat 10 pukulan terakhir.

Formula Hilley (1930) adalah salah satu metode untuk menghitung kuat dukung pondasi tiang pancang dengan analisa dinamik. Metode ini memanfaatkan hasil pencatatan dari waktu pemancangan (*piling record*). Kuat dukung tiang pancang tunggal menggunakan data kalendering dapat diolah menggunakan formula Hilley (1930) sebagai berikut ini (Hardiyatmo, 2015):

$$Q_u = \frac{ehWrh}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{Wr + n^2Wp}{Wr + Wp} \quad (3.4)$$

Menurut Chellis, E_h didasarkan pada berat ekivalen tinggi jatuh *ram* yaitu:

$$E_h = W.h = (W_r + \text{berat casing}) \times h \quad (3.5)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas tiang ultimit (ton)

e_h = Efisiensi pemukul

C = *rebound* (mm) = $k_1 + k_2 + k_3$

k_1 = Kompresi balok penutup elastis dan penutup tiang pancang (m)

k_2 = Kompresi elastis tiang (m)

k_3 = Kompresi elastis tanah (m)

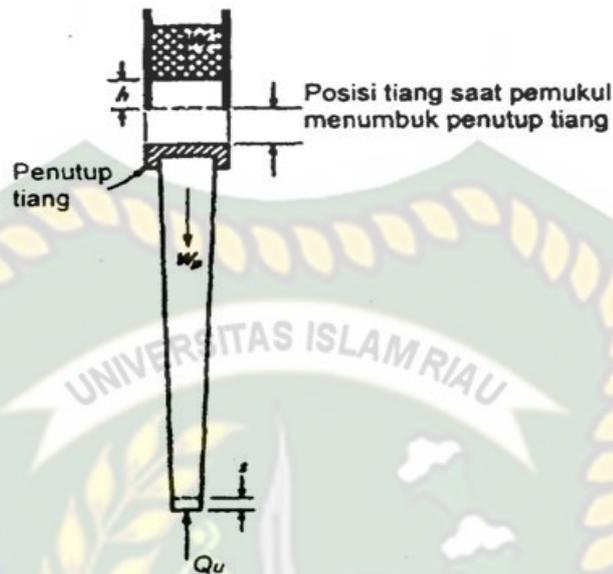
n = Koefisien restitusi

h = tinggi jatuh palu (m)

S = Penetrasi per pukulan (mm)

W_p = Berat tiang (kg)

W_r = Berat palu (kg)



Gambar 3.5 Drop hammer (Hardiyatmo, 2015).

Pada Gambar 3.5 menunjukkan bahwa posisi penumbuk tiang pancang tegak lurus terhadap penutup tiang dengan tinggi jatuh sebesar nilai h . Proses penumbukan tiang pancang memberikan perlawanan Q_u oleh tanah.

Nilai-nilai k_l (mm), untuk tegangan akibat pukulan pemancangan di kepala tiang dapat dilihat pada Tabel 3.5 (Hardiyatmo, 2015).

Tabel 3.5 Nilai-nilai k_l (Chellis, 1991 dalam Hardiyatmo, 2015)

Bahan tiang	Nilai-nilai k_l (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 mm – 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 di antara dua pelat baja.	0,5	1	1,5	2

Menurut Hardiyatmo, (2016) 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 Tabel 3.6, dimana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblock* dan bantalan kepala tiang.

Koefisien k_2 dihitung dengan:

$$Qu.L/A.E \quad (3.6)$$

sedangkan 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 tanah-tanah yang lain.

Tabel 3.6 Nilai efisiensi *hammer*, e_h (Hardiyatmo, 2015)

Tipe	Efisiensi, e_h
Pemukul jatuh (<i>drop hammer</i>)	0,75 - 1
Pemukul aksi tunggal (<i>single-acting hammer</i>)	0,75 – 0,85
Pemukul aksi dobel (<i>double-acting hammer</i>)	0,85
Pemukul diesel (<i>diesel hammer</i>)	0,85 - 1

Nilai-nilai koefisien restitusi n ditunjukkan dalam Tabel 3.7, dimana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblock* dan bantalan kepala tiang.

Tabel 3.7 Koefisien restitusi, n (ASCE, 1941 dalam Hardiyatmo, 2015)

Material	n
<i>Broomed Wood</i>	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

3.8.2 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Dari Hasil SPT

(Formula Meyerhoff, 1956)

Standard Penetration Test (SPT) digunakan di lokasi proyek untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Tujuan dari percobaan *Standard Penetration Test (SPT)* ini untuk menentukan relatifnya kepadatan tanah dari tabung sampel sehingga jenis tanah beserta lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan tertentu dapat diketahui dan data kualitatif perlawanan penetrasi tanah.

Metode *Standard Penetration Test (SPT)* adalah suatu percobaan dinamis yang dilakukan pada suatu lubang bor (*bore hole*) dengan cara memasukkan tabung sampel dengan diameter dalam 35 mm sedalam 305 mm menggunakan palu dengan berat 63,5 kg dengan tinggi jatuh bebas 760 mm. nilai N dinyatakan sebagai dari jumlah pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 305 mm dinyatakan sedalam 305 mm. Data *Standard Penetration Test (SPT)* ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ini.

$$Q_u = (40N_b A_p) \quad (3.7)$$

Q_u = Daya dukung ujung tiang

A_p = Luas penampang tiang pancang, m².

N_b = Nilai N – SPT pada elevasi dasar tiang.

$N_b = (N_1 + N_2) / 2$

Dimana :

$N(3D)$ = Nilai *SPT* terkecil pada kedalaman $3D$ dari dasar tiang ke bawah

$N(8D)$ = Nilai *SPT* terkecil pada kedalaman $8D$ dari dasar tiang ke atas

A_p = Luas area penampang tiang (m²) = $3,14 \times r^2$

$$Q_{si} = q_s \cdot A_{si} \quad (3.8)$$

Dimana :

Q_{si} = Daya dukung gesek tiang

q_s = 0,2 N untuk tanah pasir

q_s = 0,5 N untuk tanah lempung

Daya dukung tiang pancang (*SPT*)

$$P = Q_u + Q_{si} \quad (3.9)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ujung tiang

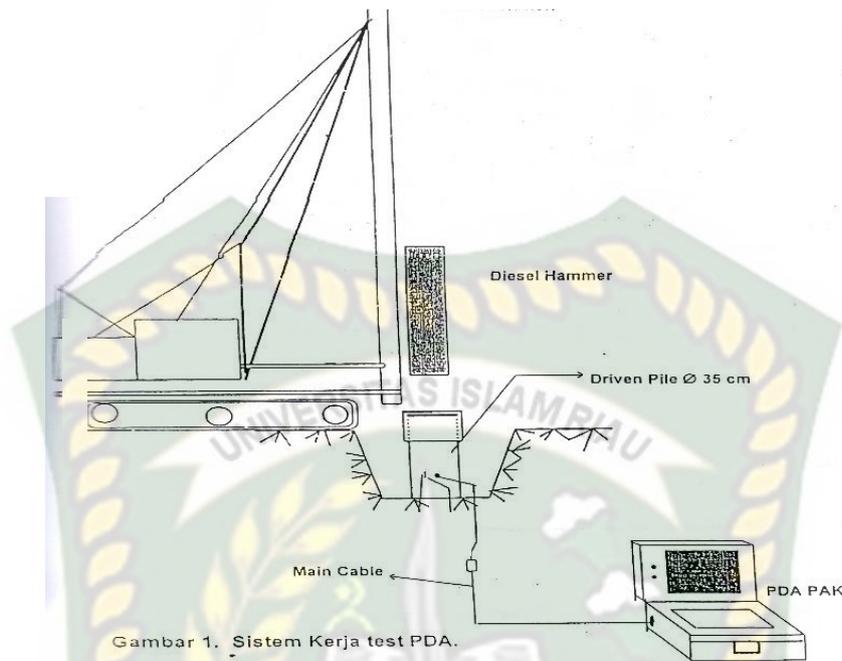
Q_{si} = Daya dukung gesek tiang

3.9 Pengujian Beban Dengan *PDA Test*

Pengujian dinamis pondasi tiang menggunakan alat *Pile Driving Analyzer* (*PDA*) dapat memberikan informasi-informasi penting yang berkaitan dengan interaksi pondasi tiang dengan tanah dibawah beban aksial yang diberikan. Hasil-hasil yang didapat dari pengujian dengan *PDA* ini adalah kapasitas tiang, *transfer energi hammer* ke tiang, tegangan tekan dan tarik yang bekerja pada tiang akibat tumbukan, serta *integritas* (keutuhan) tiang. Pengujian dapat dilakukan saat pemancangan tiang (*initial driving*) atau pada akhir pemancangan (*end of driving*), dapat juga dilakukan pengujian dengan memukul kembali (*restrike*) tiang yang telah dipancang. Waktu yang disarankan untuk pengujian *restrike* sebaiknya seminggu setelah pemancangan, mempertimbangkan parameter fungsi waktu dari tanah, yaitu dimana tanah telah kembali pada kondisi awalnya (Protech, PT., 2005 dalam Toyeb, 2009).

Pile Driving Analyzer (PDA) mengukur regangan dan percepatan dengan '*strain transducer*' yang dipasang (dibaut) dibagian atas tiang, minimum "2d" dari ujung atas tiang. Digunakan sepasang *strain transducer* dan sepasang *accelerometer* untuk mendapatkan pengukuran yang baik (Toyeb, 2009).

PDA Test bertujuan untuk memverifikasikan kapasitas daya dukung tekan pondasi tiang pancang terpasang. Dari hasil-hasil pengujian akan didapatkan informasi besarnya kapasitas dukung termobilisir dengan faktor keamanan 2, dan dipakai untuk menilai apakah beban rencana dapat diterima oleh tiang terpasang (www.suramadu.com, *pda-test* dalam Toyeb, 2009). Skema sistem *PDA* adalah seperti terlihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 1. Sistem Kerja test PDA.

Gambar 3.6 Skema sistem kerja *PDA Test* (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015)

Berdasarkan hukum *Hooke*, regangan yang diukur dapat dikonversikan menjadi gaya (F), sedangkan percepatan yang diukur diintegrasikan terhadap waktu (t) untuk menghasilkan kecepatan partikel (V). Dengan kecepatan membaca *PDA* sebesar 20.000 sampel per detik, alat ini sanggup membaca regangan dan percepatan tiang sebanyak 5.000 sampel per detik (4 *channels*). Dengan kecepatan gelombang sekitar 5.000 m/det, hanya diperlukan 0,1 detik bagi gelombang untuk merambat mencapai ujung bawah tiang sepanjang 250 m (*offshore pile*) dan kembali lagi ke ujung atas tiang. Jadi selama perambatan gelombang, dapat disampel sebanyak 500 titik (apabila diperlukan) (Toyeb, 2009).

Pada umumnya didalam sebuah praktek tidak diperlukan *sampel point* sebanyak itu dan juga karena *PDA* harus mengkonversikan setiap hasil pengukuran, menghitung daya dukung tiang dan berbagai besaran lainnya, serta memplotkannya dilayar komputer, untuk setiap *blow* (tumbukan). Setiap pasangan kurva F dan V yang ditayangkan dilayar komputer adalah konversi hasil pengukuran dengan prosedur sederhana yang dijelaskan diatas. Jadi, kurva yang dihasilkan *PDA* bukan hasil model matematika. Berdasarkan kurva hasil pengukuran tersebut, *PDA*

menghitung kuat dukung aksial tiang pancang yang diuji dengan menggunakan *chase method* (Toyeb, 2009).

Tahanan tiang total (*RT*) yang dijelaskan diatas terdiri dari tahanan dinamis dan daya dukung statis. *Chase method* yang dikembangkan oleh Goble dkk (1975) menguraikan lebih lanjut tahanan total *RT* dan mengusulkan rumus untuk menghitung kuat dukung statis (*RSP*) pondasi tiang yang diuji secara dinamis, untuk berbagai kondisi. Salah satu rumus yang banyak digunakan pada awal penggunaan *PDA* adalah *RSP* (Toyeb, 2009):

$$RSP = (1-J)[F(t_1)+Z.V(t_1)]/2+(1+J)[F(t_2)-Z.V(t_2)]/2 \quad (3.10)$$

Dimana : *J* adalah faktor damping *Case*, yang tidak berdimensi.

Berdasarkan hasil penelitian, besarnya *J* yang direkomendasikan untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.8 Nilai Redaman *J* (Rausche dkk, 1985 dalam Toyeb, 2009)

Jenis Tanah	Nilai <i>J</i>
Pasir	0,05-0,20
Pasir berlanau, lanau berpasir	0,15-0,30
Lanau	0,20-0,45
Lanau berlempung, lempung berlanau	0,40-0,70
Lempung	0,60-1,10

Berdasarkan nilai *J* yang dipilih akan mempengaruhi besarnya perkiraan daya dukung tiang, karena itu dalam perkembangan selanjutnya telah direkomendasikan juga '*automatic method*' *RAU* dan *RA2*, yang tidak dipengaruhi oleh faktor redaman *J*, karena hitungan pada saat V_b (kecepatan ujung bawah tiang) mencapai 0 (tidak bergerak) sehingga daya dukung total pada saat itu statis (Toyeb, 2009).

Apabila tiang diuji beberapa waktu setelah pemancangan, lekatan tanah telah bekerja dengan baik. Lekatan tanah yang cukup besar akan menyebabkan terjadinya '*unloading*' selama pengujian, yaitu kecepatan partikel dibagian atas tiang arahnya keatas akibat gelombang reaksi tanah. Untuk kondisi seperti ini, perlu

dilakukan koreksi *RSU method* untuk memperkirakan daya dukung yang diuji (Toyeb, 2009).

Sampai saat ini pengujian dengan PDA sudah banyak dilakukan untuk pondasi tiang pancang seperti *precast piles*, *steel piles* dan *spun piles*, dengan menggunakan palu dari alat pancangnya sendiri sehingga sangat praktis dan ekonomis. Salah satu contoh *PDA Test* dapat dilihat pada Gambar 3.7. (Toyeb, 2009):



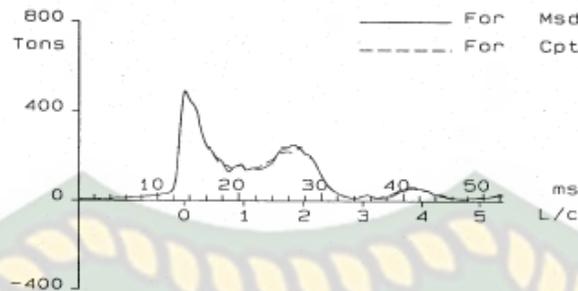
Gambar 3.7 Macam-macam alat uji beban dinamik (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015)

(a) Alat *PDA (Pile Driving Analyzer)*

(b) *Strain transducer* dan *Accelerometer*

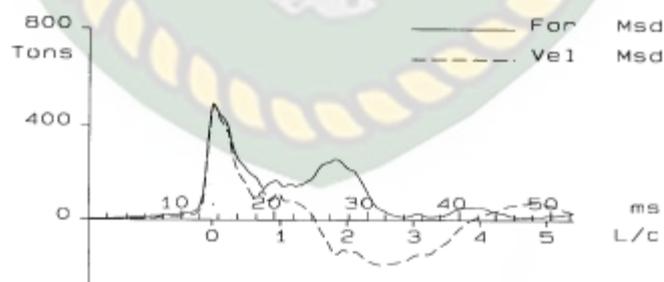
Sebuah analisa lanjutan pengujian dengan *PDA*, hasil rekaman gelombang akibat tumbukan palu dapat dianalisa lebih jauh dengan menggunakan *software Case Pile Wave Equation Analysis Program* disingkat *CAPWAP*, sebagai satu paket dengan *PDA*.

Program *CAPWAP* mengkombinasikan rambatan gelombang pada tiang hasil rekaman *PDA* dan modelisasi tanah beserta parameter – parameternya (*damping factor*, *quake*, material tiang) dan secara iterasi menentukan parameter-parameter tanah lainnya, sehingga grafik gelombang hasil iterasi itu mempunyai korelasi yang cukup baik dengan grafik gelombang yang di hasilkan oleh *PDA*. Proses iterasi ini disebut sebagai *signal matching*. Gambar 3.8 menunjukkan proses iterasi antara rambatan gelombang *PDA* dan analisa *CAPWAP* (Toyeb, 2009).



Gambar 3.8 *Signal Matching* rambatan gelombang PDA dan analisa CAPWAP (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2015)

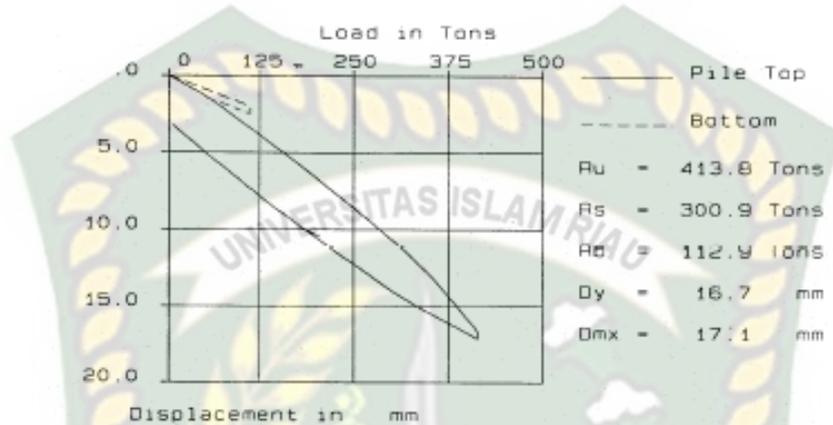
Beban dinamik akibat tumbukan dari *drop hammer* pada kepala tiang, akan menimbulkan regangan pada tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang dan tanah disekitarnya menimbulkan gelombang akibat perlawanan atau reaksi tanah. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul. Gelombang aksi maupun reaksi akibat perlawanan tanah akan direkam. Dari hasil rekaman, karakteristik gelombang-gelombang ini dapat di analisa untuk menentukan daya dukung statik tiang yang diuji, berdasarkan *Theory of Stress Wave Propagation on Pile (Case Method)*. Hubungan antara rambatan gelombang dengan PDA dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini (Toyeb, 2009).



Gambar 3.9 Hasil rekaman rambatan gelombang dengan PDA (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb 2009)

Analisa dengan CAPWAP akan menghasilkan kurva penurunan tiang S vs. beban dan distribusi gaya gesek dan tahanan ujung tiang. Dengan demikian kualitas pengujian dengan PDA dapat kita bandingkan selain dengan daya dukung batasnya

juga melalui kurva penurunan tiang S vs beban yang diperoleh melalui uji beban statik. Grafik kurva beban vs penurunan *CAPWAP* dapat dilihat pada Gambar 3.10 dibawah ini (Toyeb, 2009).



Gambar 3.10 Kurva Beban vs Penurunan *CAPWAP* (Hardjasaputra, 2006 dalam Toyeb, 2009)

3.10 Faktor Aman

Untuk memperoleh kapasitas izin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud sebagai berikut (Toyeb, 2009).

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

Sehubungan dengan alasan butir (d), dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai

sedang (600 mm), penurunan akibat beban bekerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm, untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Toyeb, 2009).

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (*F*) untuk perancangan pondasi tiang pada Tabel 3.9, yang dipertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

1. Tipe dan kepentingan dari struktur.
2. Variabilitas tanah (tanah tidak *uniform*).
3. Ketelitian penyelidikan tanah.
4. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
5. Ketersediaan data ditempat (uji beban tiang).
6. Pengawasan/ kontrol kualitas dilapangan.
7. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Tabel 3.9 Faktor aman yang disarankan (Reese & O'Neill, 1989 dalam Hardiyatmo, 2008)

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman			
	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

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang pancang, sebagai berikut (Hardiyatmo, 2006 dalam Toyeb, 2009):

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (3.11)$$

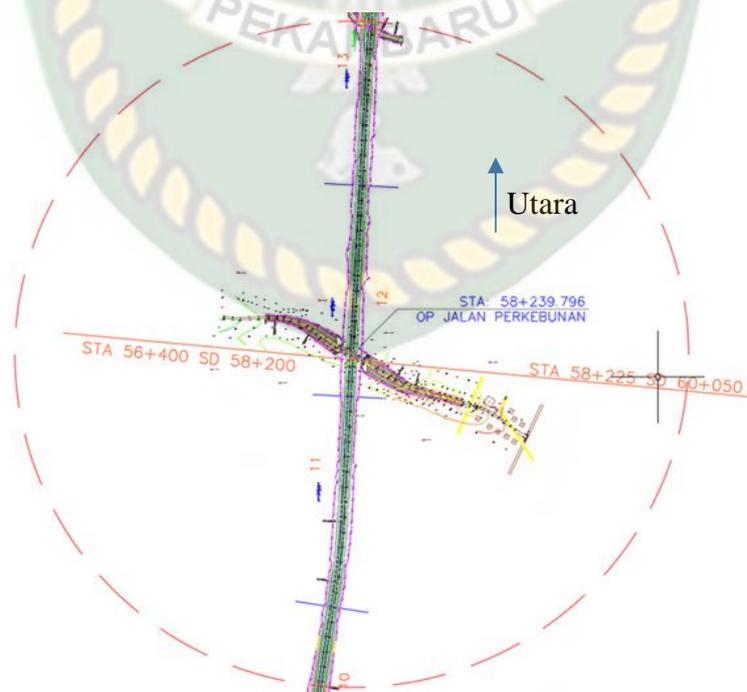
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum Penelitian

Objek penelitian ini dilakukan pada pembangunan *Pier 1 Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai. *Pier 1 overpass* ini dibangun dengan menggunakan pondasi tiang pancang *spun pile* sebanyak 30 titik pemancangan. Pelaksanaan pemancangan tiang dilakukan dengan cara dipukul dengan *diesel hammer*. Penyelidikan tanah pada lokasi pembangunan dilakukan dengan metode *Standard Penetration Test* serta data pemancangan yaitu kalendering dan didukung data pengujian tiang pancang menggunakan alat *Pile Driving Analyzer (PDA)*.

4.2 Lokasi Proyek Penelitian

Pembangunan *Pier 1 Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai. Dibangun dengan memanfaatkan lahan perkebunan sawit. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian *Overpass* STA 58+250 (PT. Hutama Karya Infrastruktur, 2018)

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa area tersebut merupakan lokasi penelitian. Lokasi ini terletak di wilayah Kandis Selatan, Kabupaten Siak, Provinsi Riau.

4.3. Teknik Penelitian

Teknik penelitian pada tugas akhir ini menggunakan teknik deskriptif yaitu mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa atau kejadian yang terjadi pada saat itu. Sedangkan untuk metode pengumpulan data yang digunakan yaitu dengan metode observasi langsung ke lapangan (proyek) melalui pihak kontraktor.

4.4. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini dengan judul “Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data *SPT*, Dan Data *PDA Test* Pada Tiang Pancang No. 7 Dan No. 25 *Pile Cap* No. 1 *Overpass* Sta 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai”, dilakukan beberapa tahapan pelaksanaan penelitian. Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini diuraikan dalam *flow chart* (Gambar 4.2) sebagai berikut :

1. Persiapan.

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mempersiapkan segala bahan-bahan yang diperlukan untuk meneliti.

2. Teknik Pengumpulan Data.

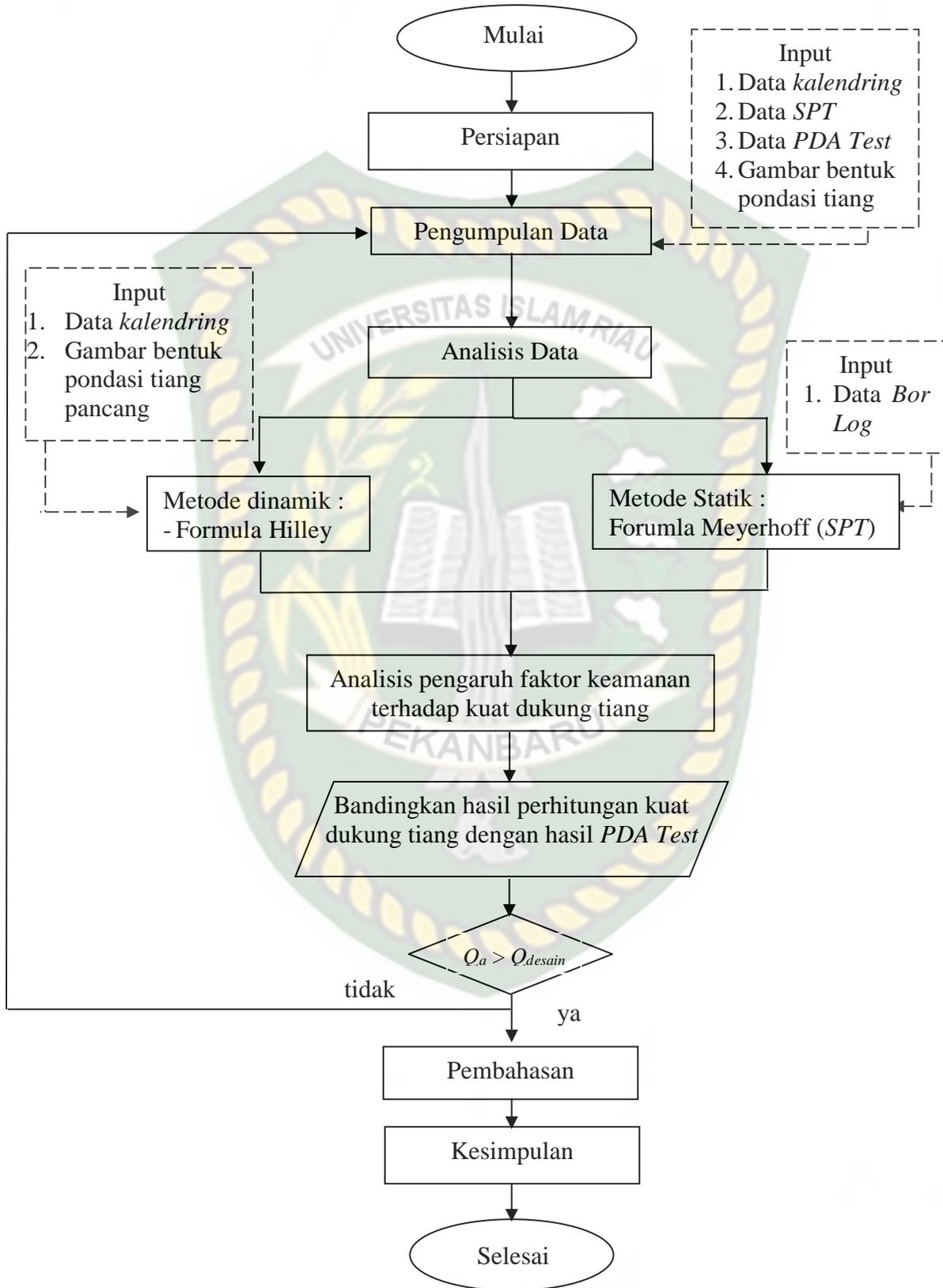
Dalam penelitian ini didapatkan data secara langsung dari pihak kontraktor pelaksana pada PT. Utama Karya Infrastruktur, sedangkan data yang sudah didapat adalah antara lain :

- a) Data kalendring tiang.
- b) Data hasil *PDA Test* (*Pile Driving Analyzer*).
- c) Data hasil *Standard Penetration Test* (*SPT*)
- d) Data gambar atau konstruksi bangunan meliputi data denah tiang pancang, dimensi tiang pancang, susunan tiang pancang.

3. Analisa Data.

Setelah pengumpulan data dilanjutkan dengan analisa data terhadap kuat dukung tiang dengan beberapa formula dinamik yaitu metode Hilley dan *PDA Test*.

4. Analisa kuat dukung tiang dengan formula dinamik dan statik
Analisa data yang digunakan adalah data *kalendering*, *SPT* dan *PDA Test* tiang pancang.
5. Perbandingan hasil kuat dukung.
Bandingkan hasil perhitungan kuat dukung formula statik dan formula dinamik kemudian dibandingkan dengan hasil *PDA Test*.
6. Pembahasan.
Hasil dari kuat dukung tiang yang telah dianalisa, maka yang akan dilakukan adalah pembahasan terhadap apa yang ingin dicapai, dimana pada penulisan penelitian ini tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui hasil analisis kuat dukung 2 titik tiang pancang dengan cara statik dan dinamik yang mendekati terhadap kuat dukung tiang pancang hasil *PDA Test*.
7. Kesimpulan yaitu terdiri dari rangkuman hasil penelitian.
Dari perbedaan kuat dukung tiang pancang dengan metode Hiley dengan hasil *PDA Test*, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini.
8. Tahapan penelitian dalam bentuk bagan alir dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

Pada penelitian ini penulis tidak mempunyai data kuat dukung tiang tunggal desain (Q_{desain}) yang terjadi pada tiang pancang oleh karena itu penulis hanya menghitung sampai dengan kuat dukung tiang tunggal ultimit (Q_u) sehingga penulis tidak menghitung berapa besar kuat dukung tiang tunggal ijin (Q_a).

4.5 Cara Analisis

Dalam perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang ini, peneliti melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

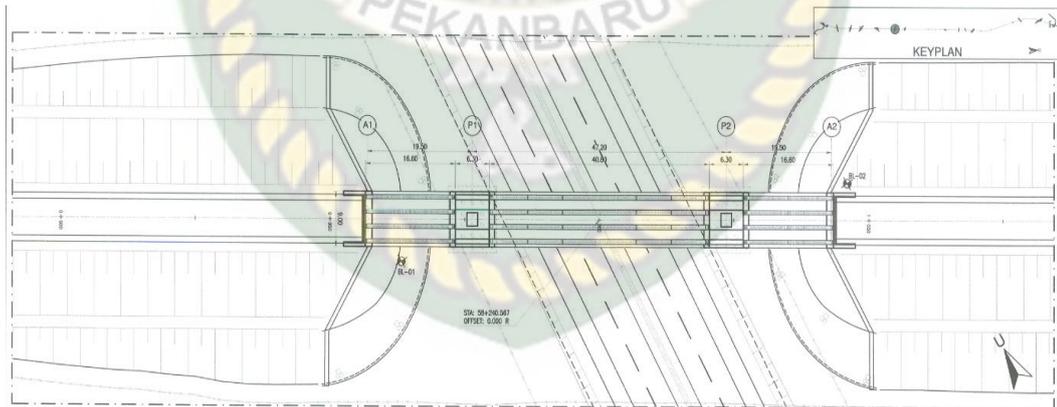
1. Menghitung kuat dukung ultimit tiang tunggal dengan formula dinamik yaitu dengan formula Hilley (1930).
2. Menghitung kuat dukung ultimit tiang tunggal dengan formula statik yaitu dengan formula Meyerhoff (1956).
3. Membandingkan kuat dukung ultimit tiang pancang tunggal dengan formula statik dan dinamik dari 2 titik tiang pancang hasil *PDA Test*.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Lingkup pembahasan

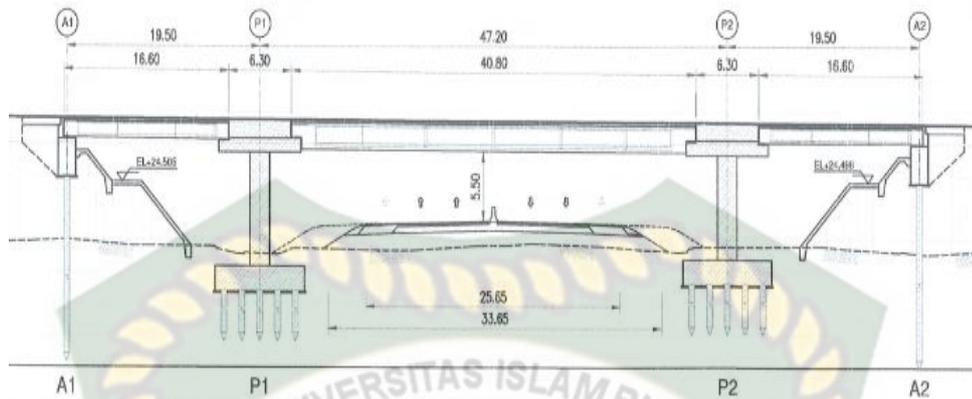
Proyek Jembatan *Overpass* STA 58+250 yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah bagian dari Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai yang mana proyek ini dikerjakan oleh PT. Hutama Karya Infrastruktur. Jembatan tersebut membentang di atas jalan tol untuk perlintasan jalan pada perkebunan sawit milik PT. Murini Sam-Sam yang mana jalan tersebut merupakan kebutuhan sebagai jalan akses keluar masuk kendaraan baik kendaraan milik masyarakat maupun kendaraan milik perusahaan dari arah PT. Murini Sam-Sam ke jalan lintas Pekanbaru-Dumai. Oleh karena itu *Overpass* STA 58+250 ini merupakan suatu kebutuhan yang amat penting bagi pembangunan Jalan Tol Pekanbaru-Dumai.

Bentuk denah dan profil memanjang struktur bangunan *Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.1 Denah *Overpass* STA 58+250 (PT. Hutama Karya Infrastruktur, 2018)

Pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa denah *Overpass* STA 58+250 pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai dimana *pier* jembatan tersebut terletak di samping bahu jalan tol.



Gambar 5.2 Profil Memanjang *Overpass* STA 58+250 (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)

Pada Gambar 5.2 menunjukkan profil memanjang *Overpass* STA 58+250 pada proyek jalan tol Pekanbaru-Dumai. *Overpass* tersebut memiliki 2 *pier* dan 2 *abutment*. Pemilihan tiang pancang *spun pile* dengan alat pancang *diesel hammer* untuk pemancangan pondasi pada proyek *overpass* ini dikarenakan tidak adanya bangunan lain di sekitar lokasi proyek sehingga aman untuk digunakan.



Gambar 5.3 Proses pemancangan tiang pancang *spun pile* dengan *diesel hammer* (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)

Pada Gambar 5.3 menunjukkan bahwa proses pemancangan dengan palu jatuh (*drop hammer*). *Hammer* yang dijatuhkan oleh *crane* memberikan tumbukkan pada kepala tiang pancang sehingga tiang dapat terpancang.

5.2 Kompilasi Data

Faktor pendukung dalam keberhasilan penelitian ini, memerlukan beberapa data konstruksi yang berkaitan dengan apa yang akan dianalisis. Data-data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

1. Data *Standard Penetration Test (SPT)*.
2. Data hasil *Pile Driving Analyzer (PDA) Test*.
3. Data kalendering tiang pancang.
4. Data *pile record*.
5. Gambar struktur.

Gambar-gambar yang didapat dari pihak proyek, terdiri dari gambar konstruksi seperti :

1. Gambar denah dan profil memanjang *overpass*.
2. Gambar denah *pier* atau *pile cap*.
3. Denah titik-titik tiang pancang P1 sebanyak 30 titik.
4. Gambar bentuk tiang pancang *spun pile*.
5. Gambar detail *pier* yang ditinjau yaitu *pier (P1)*.

Spesifikasi tiang pancang yang digunakan pada pelaksanaan pemancangan pembangunan *Pier 1 Overpass STA 58+250* Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Spesifikasi tiang pancang *spun pile* dia. 60 cm tipe B
(PT. Hakaaston, 2018)

Bentuk Tiang Pancang	Dimensi	Panjang Segmen	Berat Tiang Pancang	Tebal Tiang Pancang
Bulat	60 cm	12 m	408 kg/m	10 cm

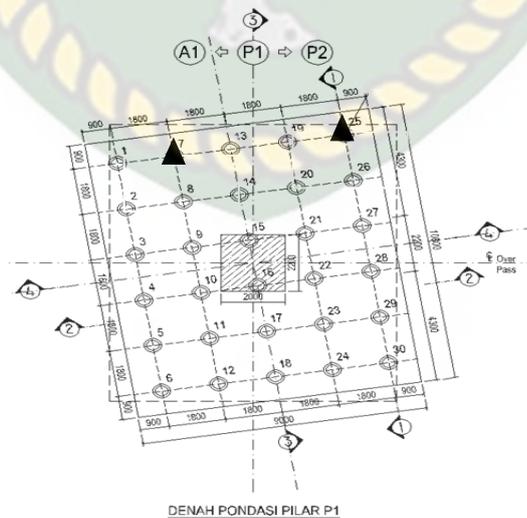
Tabel 5.1 menunjukkan bahwa bentuk tiang pancang pada proyek ini berbentuk bulat dengan diameter adalah 60 cm dan panjang segmen (L) adalah 12 m dan tebal 10 cm.

Mutu beton dan kuat dukung bahan tiang pancang *spun pile* yang digunakan pada pelaksanaan pemancangan pembangunan *Pier 1 Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, dapat dilihat Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Mutu beton dan kuat dukung tiang pancang *spun pile* dia. 60 cm Tipe B (PT. Hakaaston, 2018)

Mutu Beton	Kuat Dukung Bahan	Moment Crack	Moment Bending
K600	234.5 ton	25,7 ton.m	46,3 ton.m

Tabel 5.2 menunjukkan bahwa mutu tiang pancang pada proyek ini yaitu dengan beton K600 dengan kuat dukung bahan 234,5 ton dan *moment crack* 25,7 ton.m serta *moment bending* 46,3 ton.m. Pada Gambar 5.4 di bawah ini, dapat dilihat denah *pile cap* dan skema titik kalendering tiang pancang serta lokasi *PDA Test* dalam penelitian ini (tanpa skala).



(▲) = lokasi titik *PDA Test*

Gambar 5.4 Denah *pile cap* skema titik kalendering dan *PDA Test*, (PT. Hutama Karya Infrastruktur, 2018)

Pada Gambar 5.4 menunjukkan bahwa denah *pile cap* yang merupakan lokasi tiang pancang pada penelitian ini. *Pile cap* tersebut diputar karena ada perubahan untuk mengakomodir perubahan desain arah *overpass*.

1. Data kalendering

Dari data kalendering tiang pancang yang diperoleh melalui PT. Utama Karya Infrastruktur, maka diperoleh panjang tiang pancang masuk ke dalam tanah dan penetrasi per 10 pukulan terakhir pada tiang pancang P1-07 dan P1-25 dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Data kalendering (PT. Utama Karya Infrasturktur, 2018)

Kode Pier	No. Tiang Pancang	Waktu Pemancangan	Panjang Tiang Pancang (m)	Ram Stroke (h) (m)	Kedalaman Tiang Pancang Masuk (m)	Penetrasi Tiang pancang per pukulan (S) (mm)	Rebound (C) (mm)
P1	7	23 – 8 - 2018	34	2,5	33,5	2,3 (10 pukulan terakhir)	1,9 (10 pukulan terakhir)
	25	21 – 8 - 2018	34	2,5	33,5	2,5 (10 pukulan terakhir)	2,2 (10 pukulan terakhir)

Tabel 5.3 menunjukkan bahwa tiang pancang *spun pile* pada tiang P1-07 dipancang pada tanggal 23 Agustus 2018 dengan total panjang tiang 34 m sedangkan total tiang masuk ke dalam tanah sepanjang 33,5 m dengan penetrasi tiang per pukulan (S) sebesar 2,3 mm (10 pukulan terakhir) dan *Rebound (C)* sebesar 1,9 (10 pukulan terakhir). Tiang pancang *spun pile* pada tiang P1-25 dipancang pada tanggal 21 Agustus 2018 dengan total panjang tiang 34 m sedangkan total tiang masuk ke dalam tanah sepanjang 33,5 m dengan penetrasi tiang per pukulan (S) sebesar 2,5 mm (10 pukulan terakhir) dan *Rebound (C)* sebesar 2,2 (10 pukulan terakhir).

2. Data Standard Penetration Test

Dari data *Standard Penetration Test* yang diperoleh melalui PT. Utama Karya Infrastruktur, maka diperoleh data kedalaman tanah, deskripsi tanah, tebal lapisan dan *N-SPT* tanah.

Tabel 5.4 Data *SPT* Tanah (PT. Utama Karya Infrastuktur, 2018)

Koordinat Titik	Kedalaman (meter)	Tebal Lapisan (m)	<i>N-SPT</i>	Jenis Tanah
1	2	3	4	5
750860.00, 16204.00	0,00 – 2,00	2	5	Lempung Kepasiran
	2,00 – 4,00	2	4	Lempung Kepasiran
	4,00 – 6,00	2	12	Pasir
	6,00 – 8,00	2	20	Pasir
	8,00 – 10,00	2	17	Pasir
	10,00 – 12,00	2	8	Pasir
	12,00 – 14,00	2	17	Pasir
	14,00 – 16,00	2	20	Pasir
	16,00 – 18,00	2	21	Pasir
	18,00 – 20,00	2	22	Pasir
	20,00 – 22,00	2	18	Pasir
	22,00 – 24,00	2	23	Pasir
	24,00 – 26,00	2	17	Pasir
	26,00 – 28,00	2	14	Lempung Lanauan
	28,00 – 30,00	2	14	Lempung Lanauan
	30,00 – 32,00	2	16	Lempung Lanauan
	32,00 – 34,00	2	25	Lempung Lanauan
	34,00 – 36,00	2	30	Lempung Lanauan
	36,00 – 38,00	2	35	Lempung Lanauan
	38,00 – 40,00	2	37	Lempung Lanauan
40,00 – 42,00	2	40	Pasir	
42,00 – 45,00	2	45	Pasir	

Tabel 5.4 menunjukkan nilai *N-SPT* tanah dan jenis lapisan tanah setiap ketebalan 2 meter hingga kedalaman 45 m.

5.3 Analisa Data

Analisis kuat dukung ultimit pondasi (Q_u) tiang pancang pada pembangunan *Pier 1 Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai dilakukan dengan formula dinamik yaitu formula Hilley (1930) dan formula statik yaitu formula Meyerhoff (1956). Dari hasil pengolahan data, masing-masing hasil kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang akan dibandingkan dengan hasil uji *PDA Test*. Guna mendapatkan hasil penelitian, maka dilakukan analisa data yang dibuat secara sistematis. Berikut adalah data-data pondasi tiang dan pemancangan serta bentuk

hasil pengolahan dari data yaitu pemukul tiang, kalendering, dan *SPT*. Dikarenakan penulis tidak memiliki data kuat dukung desain maka penulis hanya menghitung kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal sebagai berikut.

5.3.1 Tinjauan Kesesuaian Pemukul Tiang Pancang

Hubungan antara berat penumbuk (*hammer*) dengan berat tiang pancang berdasarkan persamaan 3.1:

$$B = 0,5 P + 600 \text{ kg}$$

Dimana :

B = Berat palu penumbuk (*hammer*) (kg)

P = Berat tiang pancang (kg)

Berat tiang pancang dapat dihitung dengan mengalikan volume *spun pile* dengan total desain kedalaman satu titik pancang yaitu 34 m. Berat tiang pancang per meter yaitu 408 kg/m^3 (Tabel 5.1: Spesifikasi tiang pancang *spun pile* dia. 60 cm tipe B).

$$P = 408 \text{ kg/m} \times 34 \text{ m} = 13872 \text{ kg}$$

$B = 0,5 \times 13872 \text{ kg} + 600 \text{ kg} = 7536 \text{ kg} < 10500 \text{ kg}$ (Tabel 3.2 *Hammer Diesel Hammer Kobelco K45, B = 10500 kg*) Ok!!

Berdasarkan sub bab 3.4 diketahui umumnya berat pemukul tiang paling sedikit setengah dari berat total tiang (Hardiyatmo, 2015) yaitu $7536 \text{ kg} < 10500 \text{ kg}$ (Tabel 3.2 *Hammer Diesel Hammer Kobelco K45, B = 10500 kg*) Ok!!

5.3.2 Kuat Dukung Ultimit Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Perhitungan kuat dukung ultimit tiang tunggal (Q_u) dengan menggunakan data kalendering, data *Standard Penetration Test*, dan data *PDA Test* diperoleh hasil sebagai berikut ini.

1. Hilley (1930)

Hasil analisis kuat dukung ultimit tiang pancang tunggal (Q_u) dari data kalendering dengan formula Hilley (1930) yang dapat dilihat pada Lampiran A1, diperoleh hasil dan disajikan dalam Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil kuat dukung ultimit tiang pancang (Q_u) formula Hilley (1930)

Kode Tiang Pancang	Nomor Tiang Pancang	Kedalaman tiang pancang (m)	Q_u (ton)
P1	7	33,5	290,48
	25	33,5	295,11

Tabel 5.5 menunjukkan bahwa tiang pancang *spun pile* nomor 7 dan 25 pada *pile cap* nomor 1 terpancang pada kedalaman tiang sebesar 33,5 m dan berdasarkan formula Hilley (1930) diperoleh kuat dukung ultimit tiang pancang (Q_u) sebesar 290,48 ton untuk tiang nomor P1-07 dan kuat dukung ultimit tiang pancang (Q_u) sebesar 295,11 ton untuk tiang nomor P1-25.

2. Meyerhoff (1956)

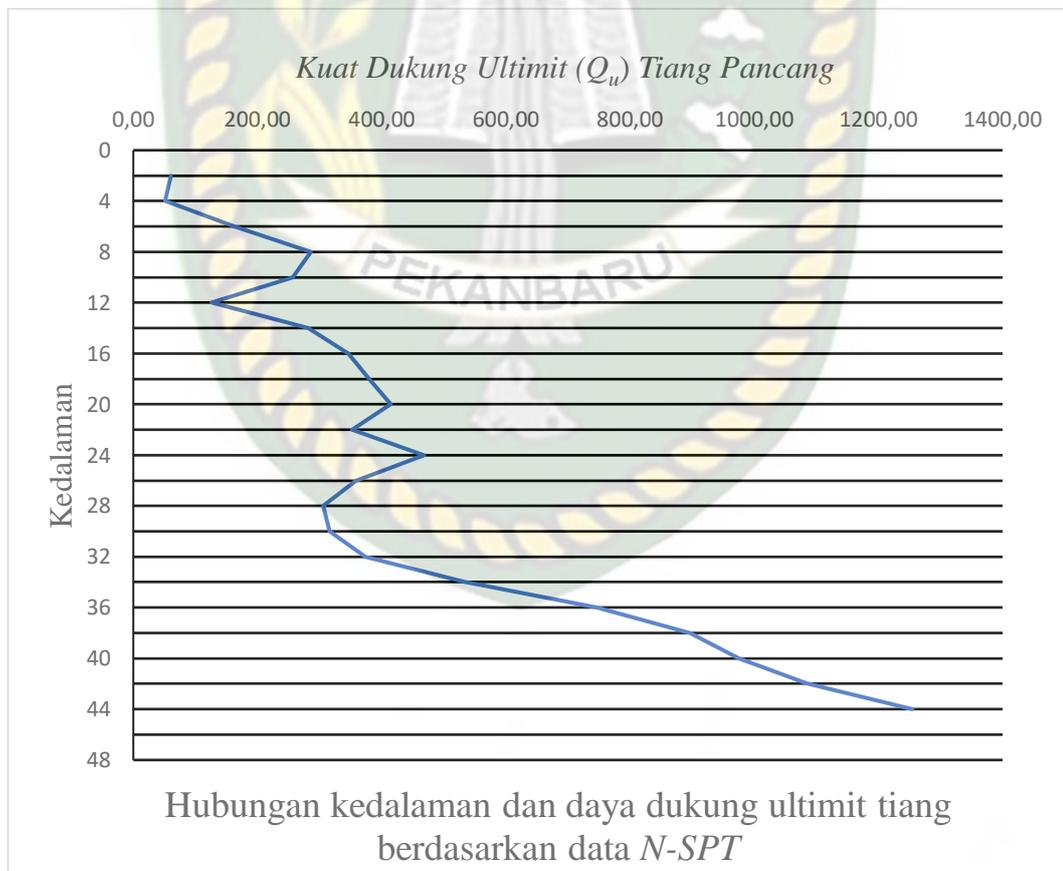
Dari data *Standart Penetration Test* yang diperoleh melalui PT. Utama Karya Infrastruktur, maka didapatkan hasil kapasitas kuat dukung ultimit tiang pancang tunggal (Q_u) perlapisan tanah setebal masing-masing 2 meter berdasarkan analisis data *SPT* dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Kuat dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang berdasarkan N -SPT.

Koordinat Titik	Kedalaman (meter)	Tebal Lapisan (m)	N-SPT	$A_p = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2$	K_{st} ($\pi \cdot D$)	$A_s = K_{st} \cdot L$ (m)	$N_{rata-rata}$ SPT	$40 \times N_b \times A_p$ (ton)	$0,2 \times N \times A_s$ (ton)	Q_u (ton)
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12
750860.00, 16204.00	0,00 – 2,00	2	5	0,28	1,88	3,77	5,00	56,52	3,77	60,29
	2,00 – 4,00	2	4	0,28	1,88	7,54	4,50	45,22	6,03	51,24
	4,00 – 6,00	2	12	0,28	1,88	11,30	7,00	135,65	27,13	162,78
	6,00 – 8,00	2	20	0,28	1,88	15,07	10,25	226,08	60,29	286,37
	8,00 – 10,00	2	17	0,28	1,88	18,84	11,60	192,17	64,06	256,22
	10,00 – 12,00	2	8	0,28	1,88	22,61	11,00	90,43	36,17	126,60
	12,00 – 14,00	2	17	0,28	1,88	26,38	11,86	192,17	89,68	281,85
	14,00 – 16,00	2	20	0,28	1,88	30,14	12,88	226,08	120,58	346,66
	16,00 – 18,00	2	21	0,28	1,88	33,91	13,78	237,38	142,43	379,81
	18,00 – 20,00	2	22	0,28	1,88	37,68	14,60	248,69	165,79	414,48
	20,00 – 22,00	2	18	0,28	1,88	41,45	14,91	203,47	149,21	352,68
	22,00 – 24,00	2	23	0,28	1,88	45,22	15,58	259,99	207,99	467,99
	24,00 – 26,00	2	17	0,28	1,88	48,98	15,69	192,17	166,55	358,71
	26,00 – 28,00	2	14	0,28	1,88	52,75	15,57	158,26	147,71	305,96
	28,00 – 30,00	2	14	0,28	1,88	56,52	15,47	158,26	158,26	316,51
	30,00 – 32,00	2	16	0,28	1,88	60,29	15,50	180,86	192,92	373,79
	32,00 – 34,00	2	25	0,28	1,88	64,06	16,06	226,080	307,657	533,737
	34,00 – 36,00	2	30	0,28	1,88	67,82	16,83	339,12	406,94	746,06
36,00 – 38,00	2	35	0,28	1,88	71,59	17,79	395,64	501,14	896,78	
38,00 – 40,00	2	37	0,28	1,88	75,36	18,75	418,25	557,66	975,91	
40,00 – 42,00	2	40	0,28	1,88	79,13	19,76	452,16	633,02	1085,18	
42,00 – 44,00	2	45	0,28	1,88	82,90	20,91	508,68	746,06	1254,74	

Tabel 5.6 menunjukkan lapisan-lapisan tanah dan kuat dukung ultimit pondasi tiang pancang berdasarkan data *N-SPT* tanah setiap ketebalan 2 meter dengan setiap nilai *N-SPT* tanah yang berbeda hingga kedalaman 45 m.

Dari Tabel 5.6 diperoleh grafik hubungan kuat dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang berdasarkan data *N-SPT* dengan kedalaman tanah setiap ketebalan 2 meter dengan setiap nilai *N-SPT* yang berbeda hingga kedalaman 45 m. Kuat dukung tersebut bervariasi karena setiap lapisan tanah mempunyai nilai *N-SPT* tanah yang berbeda dan mempunyai karakteristik serta jenis tanah yang berbeda pula sehingga dapat diketahui gambaran kuat dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal pada tiap kedalaman hingga kedalaman 45 m sesuai dengan kedalaman *bor log*.



Gambar 5.5 Grafik hubungan kuat dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang berdasarkan data *N-SPT* tanah dengan kedalaman tiang.

Pada Gambar 5.5 menunjukkan kuat dukung pondasi tiang dengan berbagai kedalaman hingga kedalaman 45 meter.

Dari data *SPT* yang diperoleh melalui PT. Utama Karya Infrastruktur, maka didapatkan hasil kapasitas kuat dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal dengan kedalaman 34 meter yang dapat dilihat pada Lampiran A5, diperoleh hasil dan disajikan dalam Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Kapasitas kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang dari data *SPT*

Kode <i>Pier</i>	Formula Meyerhoff (1956)		
	Kuat dukung ultimit, Q_u (ton)	Kuat dukung kulit, Q_s (ton)	Kuat dukung ujung, Q_b (ton)
P1	533,73	226.08	307,66

Tabel 5.7 menunjukkan bahwa hasil pengujian dari data *Standard Penetration Test* pada *Pier* 1 diperoleh kuat dukung ultimit tiang pancang (Q_u) sebesar 533,73 ton dengan rincian kuat dukung kulit, $Q_s = 226,08$ ton serta kuat dukung ujung, $Q_b = 307,66$ ton.

3. Data *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Dari data *Pile Driving Analyzer (PDA) Report* yang diperoleh melalui PT. Geo Struktur Indonesia, maka didapatkan hasil kapasitas kuat dukung ultimit berdasarkan analisis *CAPWAP* yang dapat dilihat pada Lampiran B, diperoleh hasil dan disajikan dalam Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Kapasitas kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang hasil *PDA Test*
(PT. Geo Struktur Indonesia, 2018)

Kode <i>Pier</i>	No. Tiang	<i>CAPWAP</i>		
		Kuat dukung ultimit, Q_u (ton)	Kuat dukung kulit, Q_s (ton)	Kuat dukung ujung, Q_b (ton)
P1	7	275	191	84
P1	25	278	193	85

Tabel 5.8 menunjukkan bahwa hasil pengujian *PDA Test* pada tiang pancang nomor 7 *Pier* 1 di dapatkan kuat dukung ultimit, $Q_u = 275$ ton dengan rincian kuat dukung kulit, $Q_s = 191$ ton serta kuat dukung ujung, $Q_b = 84$ ton. Pada tiang pancang nomor 25 *Pier* 1 didapatkan kuat dukung ultimit, $Q_u = 278$ ton dengan rincian kuat dukung kulit, $Q_s = 193$ ton serta kuat dukung ujung, $Q_b = 85$ ton.

5.4 Pembahasan

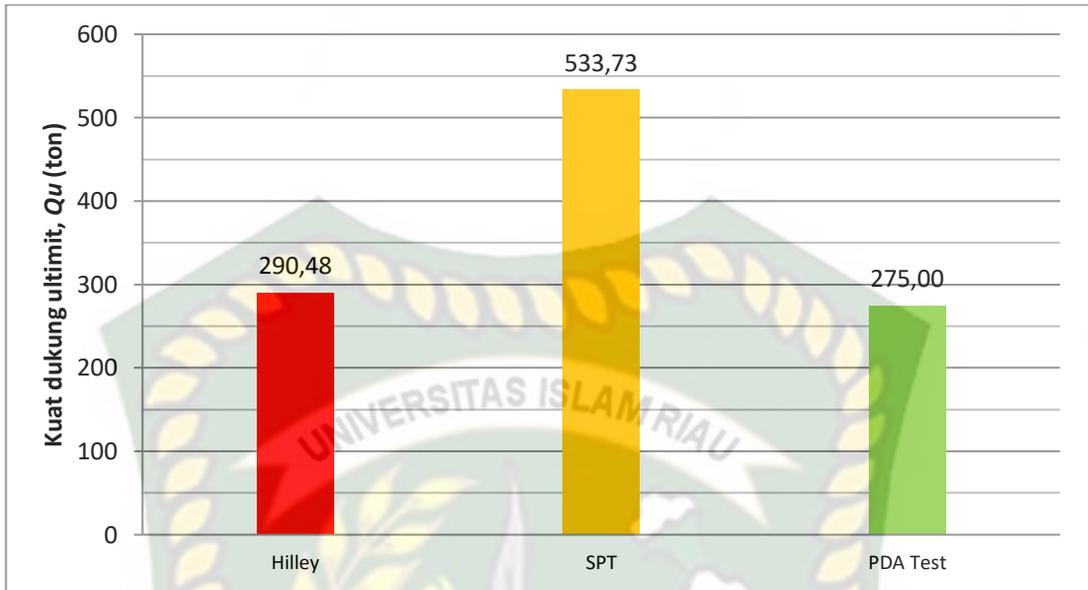
Dari hasil perhitungan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang diperoleh perbandingan antara formula Hilley (1930) yang merujuk pada Tabel 5.5 serta hasil perhitungan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang formula Meyerhoff (1956) yang merujuk pada Tabel 5.7 terhadap kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang hasil *PDA Test* yang merujuk pada Tabel 5.8 dapat dilihat perbandingan pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) formula Hilley (1930), formula Meyerhoff (1956), dan *PDA Test*

Kode <i>Pier</i>	Nomor Tiang	Kedalaman tiang (m)	Q_u Formula Hilley (ton)	Q_u Formula Meyerhoff, SPT (ton)	Q_u <i>PDA Test</i> (ton)
P1	7	33,5	290,48	533,73	275
P1	25	33,5	295,11	533,73	278

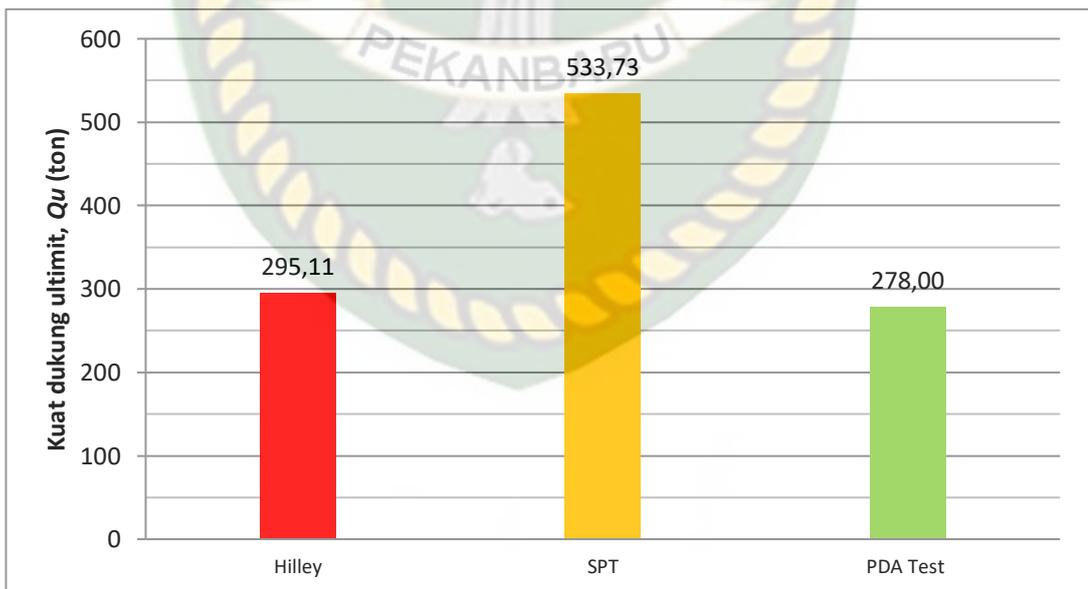
Tabel 5.9 menunjukkan bahwa hasil perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang P1-07 dan P1-25 dengan formula Hilley (1930) dan formula Meyerhoff (1956) terhadap kuat dukung ultimit *PDA Test*.

Dari Tabel 5.9 perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang dengan formula Hilley (1930) dan formula Meyerhoff (1956) terhadap kuat dukung ultimit (Q_u) *PDA Test* pada nomor tiang P1-07 dapat dilihat dalam bentuk diagram batang pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Perbandingan kuat dukung ultimit tiang, Q_u (Ton) formula statik dan dinamik dengan *PDA Test* untuk nomor tiang 7 (P1)

Dari tabel 5.8 perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) formula Hilley (1930) dan formula Meyerhoff (1956) terhadap kuat dukung ultimit *PDA Test* pada nomor tiang P1-25 dapat dilihat dalam bentuk diagram batang pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Perbandingan kuat dukung ultimit tiang, Q_u (Ton) formula statik dan dinamik dengan *PDA Test* untuk nomor tiang 25 (P1)

Berdasarkan Gambar 5.6 dan 5.7 dapat disimpulkan bahwa secara umum nilai kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang dari formula Hilley (1930) cenderung mirip dengan nilai kuat dukung ultimit (Q_u) dari nilai *PDA Test* namun lebih kecil dari nilai kuat dukung ultimit (Q_u) berdasarkan dari formula Meyerhoff (1956).

Tabel 5.10 Persentase rasio perbandingan antara hasil analisa kuat dukung ultimit (Q_u) formula Hilley (1930) dan formula Meyerhoff (1956) terhadap *PDA Test*

Kode Pier	Nomor Tiang	Q_u Formula Hilley (%)	Q_u Formula Meyerhoff (%)
P1	7	105,63	194,08
P1	25	106,16	191,99

Tabel 5.10 menunjukkan persentase rasio perbandingan antara kuat dukung ultimit (Q_u) dari formula Hilley (1930) terhadap kuat dukung ultimit *PDA Test* pada tiang pancang P1-07 sebesar 105,63 % dan tiang pancang P1-25 sebesar 106,16 %, persentase rasio perbandingan antara kuat dukung ultimit (Q_u) formula formula Meyerhoff (1956) terhadap kuat dukung ultimit *PDA Test* pada tiang pancang P1-07 sebesar 194,08 % dan tiang pancang P1-25 sebesar 191,99 %.

Berdasarkan data pengujian kuat dukung tiang pancang tunggal, didapatkan bahwa perbedaan nilai kuat dukung dari data kalendering, *Standard Penetraion Test*, dan *PDA Test* cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena analisis kuat dukung ultimit formula statik (data *SPT*) hanya menganalisis tiang tunggal berdasarkan sifat-sifat tanah asli.

Analisis kuat dukung ultimit formula dinamik (data kalendering) tidak memperhitungkan naiknya dasar tanah beserta perubahan parameter-parameter tanah dan reduksi tahanan kulit akibat pengaruh kelompok tiang (*pile group*) yang terdapat pada *Pier 1*. Pada formula *PDA Test* daya dukung kulit lebih besar dari nilai kuat dukung ujung hal ini dikarenakan telah terjadinya *soil setup* pada pondasi tiang setelah selesai pemancangan oleh karena itu timbul lekatan, sehingga pada saat dilakukan *PDA Test* maka energi yang di transfer dari *hammer* ke ujung tiang pancang sebagian hilang.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dalam bab hasil dan pembahasan dari penelitian Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data *SPT*, dan Data *PDA Test* Pada Tiang Pancang No. 7 dan No. 25 *Pile Cap* No. 1 *Overpass* STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tiang pancang dengan total panjang desain kedalaman 34 m memiliki berat sendiri sebesar 13872 kg. Umumnya berat *hammer* paling sedikit setengah dari berat total tiang yang digunakan yaitu 7536 kg. Maka dipilih penumbuk (*hammer*) sebesar 10500 kg yaitu *Diesel Hammer* Kobelco K45.
2. Berdasarkan hasil analisa perbandingan kuat dukung ultimit (Q_u) *spun pile* di *Pier* I pada titik P1-07 dan P1-25 dari formula Hilley memiliki nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang cenderung serupa dengan *PDA Test*.
3. Hasil perhitungan formula statik yaitu metode Meyerhoff (1956) memberikan nilai kuat dukung ultimit (Q_u) yang lebih besar dari formula dinamik dan *PDA Test*.

6.2 Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan antara lain :

1. Untuk mengetahui kuat dukung ultimit (Q_u) tiang pancang tunggal dapat juga dilakukan dengan metode pembebanan langsung (*loading test*).
2. Bagi penelitian selanjutnya menentukan beban aksial pada tiang pancang tunggal dan menentukan faktor keamanan teoritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanda, 2018, *Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Cara Dinamik Dan Program Capwap Hasil Pengujian Pda Pada Jembatan Underpass Sta 129+742 Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Paket 4*, Tugas Akhir, Program Studi D-III Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Bandung.
- Bowles, J.E., 1991. *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi keempat jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Deny, 2015, *Analisa Kapasitas Dukung Pondasi Bored Pile Pada Gedung Mahasiswa Universitas Islam Riau*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Geo Struktur Indonesia, P.T., 2018. *Pile Driving Analyzer (PDA) Report*, Laporan, Medan.
- Ginting, S.V.R.B., 2018, *Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Overpass Sei Semayang Sta. 0+350 Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area, Medan.
- Hakaaston, P.T., 2018. *Product Catalogue*, Brosur, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2008. *Teknik Pondasi II*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2015. *Teknik Pondasi II*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Hardjasaputra, Harianto., 2006, *Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 2, Universitas Pelita Harapan, Bandung.
- Hutama Karya Infrastruktur, P.T., 2018. *Bor Log*, Laporan, Pinggir.
- Kobelco, P.T., 2018. *Operators Manual K13, K25, K35, K45*, Buku, Jakarta.
- Santa, 2018, *Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Overpass Sei Semayang STA. 0+350 Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area, Medan.
- Saptorini, 2009, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Calendering (Studi Kasus Review Design Pada Overpass Lemah Ireng Sta 20+212 Proyek Jalan Tol Semarang - Bawen Paket V)*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1, No. 17, Undaris, Ungaran.
- Sardjono., 1988. *Pondasi Tiang Pancang*, Jilid 1, Cetakan ke 3, Sinar Jaya Widjaya, Surabaya.
- Toyeb, M., 2009, *Perbandingan Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Antara Beberapa Formula Statik Dan Dinamik Dengan Hasil PDA Tes Pada Pembangunan Gedung Rusunawa UIR*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Wesley, Laurence D. 2012. *Mekanika Tanah*. Andi. Yogyakarta.