

**ANALISIS KUAT DUKUNG DINAMIS PONDASI TIANG  
PANCANG PADA JEMBATAN *OVERPASS* STA 58+250 JALAN  
TOL RUAS PEKANBARU-DUMAI SEKSI 4**

**TUGAS AKHIR**

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



Disusun Oleh :

**RINI ANDRI SARI**  
**153110652**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU  
2021**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu), baik di Universitas Islam Riau maupun diperguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan “*software*” computer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 05 Maret 2021

RINI ANDRI SARI  
153110652

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya berupa akal, pikiran serta kesehatan jasmani dan rohani kepada penulis sehingga tetap bersemangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini sesuai dengan harapan. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi besar Muhammad SAW karena berkat perjuangan beliau kita bisa menikmati ilmu pengetahuan hingga saat ini.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini merupakan sebuah tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa yang akan menyelesaikan studinya dibangku perkuliahan. Melalui proses yang panjang akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Kuat Dukung Dinamis Pondasi Tiang Pancang Pada Overpass Sta 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4”**. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa kuat dukung pondasi secara dinamis dengan menggunakan Metode *Engineering News Record*, *Eytelwein* dan *Formula Gates* dengan data penyelidikan tanah yaitu Data *Standard Penetration Test*, Data *Kalendering*, dan Data Uji *Pile Driving Analyzer*.

Mengingat keterbatasan kemampuan seorang penulis, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak luput dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, dengan segala kerendahan hati penulis sangat menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dan melengkapi Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 05 Maret 2021

Penulis

RINI ANDRI SARI  
NPM: 153110652

## UCAPAN TERIMA KASIH

**Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.**

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisis Kuat Dukung Dinamis Pondasi Tiang Pancang Pada *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4”**. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim. ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, SSI, MSc selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dan Pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Akmar Efendi, S. Kom, M. Kom selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST, M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST, MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Ibu Roza Mildawati, ST, MT selaku dosen penguji 1.
9. Bapak Firman Syarif, ST, M.Eng selaku dosen penguji 2.
10. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh Staff Tata Usaha dan Karyawan/ti Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Kepada PT.Hutama Karya Infrastruktur beserta Karyawan yang telah bersedia memberikan data untuk penelitian Tugas Akhir ini.
13. Kedua Orang Tua ku tercinta Ayahanda Nasir Rasyad dan Ibunda Murniati yang telah mendidik saya dari kecil dan memberikan kasih sayang, serta semangat untuk mewujudkan impian kepada penulis.
14. Untuk Bg Ramanda Pratama sebagai staff teknis PT.Hutama Karya Infrastruktur yang telah membantu memperlancar administrasi permintaan data dan telah bersedia berdiskusi tentang permasalahan Tugas akhir ini.
15. Untuk rekan dan sahabatku Sapriadi, Cindy Ayu, Sri Ramadani, Azu, Dila, Wahyuningsih, Nabilla, Ridho Firdaus, Ryadi P, Riza, Ulfajri, Okta, Bg Rizky Anugrah, Bg Ingkia Mohta, Bg Ridho Aldino, dan terkhusus untuk Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 15 yang telah membantu dan memotivasi penulis dalam Tugas Akhir ini.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat serta pahala yang berlipat ganda didunia dan di akhirat kelak. Amin Ya Robbal Alamin.

**Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1. Umum .....	4
2.2. Penelitian Sebelumnya .....	4
2.3. Keaslian Penelitian .....	7
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>8</b>
3.1. Definisi Tanah .....	8
3.1.1. Jenis tanah .....	8
3.1.2. Sifat-sifat tanah .....	10
3.1.3. Sistem Klasifikasi Tanah.....	11
3.2. Penyelidikan Tanah .....	13
3.2.1. <i>Standar Penetration Test (SPT)</i> .....	13
3.2.2. Uji Kalendering.....	14
3.2.3. <i>Pile Driving Analyzer (PDA)</i> .....	15

3.3.	Parameter Tanah.....	16
3.4.	Definisi Pondasi .....	22
3.5.	Pondasi Tiang Pancang .....	24
3.5.1.	Kategori Pondasi Tiang Pancang .....	25
3.5.2.	Jenis Pondasi Tiang Menurut Cara Pemindahan Beban .....	25
3.5.3.	Jenis Pondasi Tiang Menurut Bahan Yang Digunakan.....	26
3.5.4.	Jenis Pondasi Tiang Berdasarkan Cara Pembuatan .....	29
3.5.5.	Metode Pelaksanaan Tiang Pancang.....	31
3.5.6.	Jenis – Jenis Alat Pancang.....	35
3.6.	Pemilihan untuk Pemukul Tiang .....	37
3.7.	Catatan Pemancangan Tiang (Pile Driving Record) .....	38
3.8.	Pembebanan.....	39
3.8.1	Berat Sendiri.....	39
3.8.2	Beban Mati Tambahan .....	40
3.8.3	Beban Lalu Lintas .....	40
3.8.4	Pengaruh Dari Prategang (PR).....	44
3.8.5	Beban Angin .....	44
3.9.	Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang.....	47
3.9.1	Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Menurut Rumus Dinamis.....	47
3.9.2	Menghitung Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal Dengan Data Kalendering:.....	48
3.10.	Kuat Dukung Pondasi Metode Elemen Hingga.....	51
3.10.1	Pemodelan Pada Program Plaxis.....	51
3.10.2	Pemodelan Tanah Mohr-Coulomb.....	52
3.11.	Faktor Aman Pondasi Tiang .....	52
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>		<b>54</b>
4.1.	Lokasi Penelitian .....	54
4.2.	Lokasi titik <i>Pile Driving Analyzer</i> (PDA) <i>Test</i> .....	54
4.3.	Teknik Pengumpulan Data .....	55
4.4.	Data Umum Proyek .....	56

4.5.	Data Teknis Tiang Pancang.....	56
4.6.	Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....	57
4.7.	Cara Analisis Data .....	61
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>62</b>
5.1.	Deskripsi Umum.....	62
5.2.	Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Data <i>SPT</i> .....	62
5.3.	Data Kalendering.....	64
5.4.	Uji <i>Pile Driving Analyzer</i> .....	64
5.5.	Hasil Analisa Beban Yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang Tunggal Menggunakan <i>Software</i> Midas Civil V.8.7.5 2019.....	65
5.6.	Hasil Distribusi Beban.....	69
5.7.	Hasil Parameter Tanah Input Plaxis V.8.2 .....	70
5.8.	Hasil Analisa Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal.....	74
5.9.	Hasil Analisa Faktor Aman Pondasi Tiang Pancang.....	76
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>80</b>
6.1.	Kesimpulan.....	80
6.2.	Saran.....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>82</b>
<b>LAMPIRAN</b>		



### DAFTAR NOTASI

$A_p$	= Luas Penampang Tiang ( $m^2$ )
$c$	= Kohesi Tanah ( $kg/cm^2$ )
$D$	= Diameter Tiang (cm)
$D_r$	= Kepadatan Relatif (%)
$E$	= Angka Pori
$e_h$	= Efisiensi Hammer
$E_p$	= Modulus elastis tiang ( $kN/m^2$ )
$E_s$	= <i>Modulus Young</i> ( $kg/cm^2$ )
$h$	= Tinggi Jatuh <i>Hammer</i> (cm)
$I$	= Momen Inersia Tiang ( $m^4$ )
$k$	= Koefisien Permeabilitas
$L$	= Panjang Tiang Pancang (m)
$n$	= Koefisien Restitusi
$O$	= Keliling Tiang Pancang (m)
$P$	= Beban Yang Bekerja (ton)
$Q_a$	= Kapasitas Dukung Izin (ton)
$Q_u$	= Kapasitas Dukung Ultimit (ton)
$S$	= 10 Pukulan Terakhir (cm)
$S_f$	= Faktor Aman
$V$	= Beban Vertikal

$W_r$  = Berat Hammer (ton)

$W_p$  = Berat Tiang Pancang (ton)

$\gamma$  = Berat Isi Tanah ( kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{sat}$  = Berat Isi Jenuh ( kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{unsat}$  = Berat Isi Tak Jenuh ( kN/m<sup>3</sup>)

$\pi$  = phi

$\psi$  = Sudut Dilatansi (°)

$\phi$  = Sudut Geser Dalam (°)

$\mu$  = Poisson Ratio



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Hubungan Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah (Hardiyatmo,2002).	16
<b>Tabel 3. 2</b> Perkiraan angka Poisson Ratio ( $\mu$ ) (Hardiyatmo,2002).....	17
<b>Tabel 3. 3</b> Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997) .....	17
<b>Tabel 3. 4</b> Hubungan Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) Dengan Konsistensi (Hardiyatmo, 2008) .....	19
<b>Tabel 3. 5</b> Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995) .....	20
<b>Tabel 3. 6</b> Nilai $n, e, w, \gamma_{unsat}$ dan $\gamma_{sat}$ untuk tanah asli dilapangan (Terzaghi, 1947).....	20
<b>Tabel 3. 7</b> Parameter untuk beberapa tipe tanah keadaan asli (Das, 1988).....	21
<b>Tabel 3. 8</b> Nilai – nilai tipikal beban izin beton pracetak (Hardiyatmo, 2015).....	28
<b>Tabel 3. 9</b> Spesifikasi tiang pancang spun pile $\varnothing$ 60 cm type B (PT.Hakaaston, 2018) .....	35
<b>Tabel 3. 10</b> Spesifikasi Hammer Kobelco K45 (Kobelco, 2018).....	38
<b>Tabel 3. 11</b> Faktor Pembebanan Untuk Berat Sendiri (SNI 1725:2016).....	39
<b>Tabel 3. 12</b> Faktor Pembebanan Untuk Beban Mati Tambahan (SNI 1725:2016). ...	40
<b>Tabel 3. 13</b> faktor beban untuk beban lajur “D” (SNI 1725:2016) .....	41
<b>Tabel 3. 14</b> Faktor beban untuk beban “T” (SNI 1725:2016) .....	42
<b>Tabel 3. 15</b> Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang (SNI 1725:2016) .....	44
<b>Tabel 3. 16</b> Nilai $V_o$ dan $Z_o$ Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu (SNI 1725:2016) .....	45
<b>Tabel 3. 17</b> Tekanan Angin Dasar (SNI 1725:2016).....	46
<b>Tabel 3. 18</b> Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan (SNI 1725:2016) .....	47
<b>Tabel 3. 19</b> Nilai-nilai efisiensi hammer $e_h$ (Hardiyatmo, 2015) .....	49
<b>Tabel 3. 20</b> Koefisien Restitusi $n$ (ASCE,1941 dalam Hardiyatmo 2015).....	49
<b>Tabel 5. 1</b> Klasifikasi Jenis Tanah (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018).....	63
<b>Tabel 5. 2</b> Data Kalendering (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018).....	64

<b>Tabel 5. 3</b> Hasil Uji PDA dengan Progam CAPWAP (PT. Utama Karya Infrastruktur. 2018) .....	65
<b>Tabel 5. 4</b> Kombinasi Pembebanan Jembatan (SNI 1725:2016).....	66
<b>Tabel 5. 5</b> Hasil Analisa Beban Pada Pier 1 .....	68
<b>Tabel 5. 6</b> Hasil Distribusi Beban.....	69
<b>Tabel 5. 7</b> Hasil Parameter Tanah Untuk Input Plaxis 2D V.8.2 .....	71
<b>Tabel 5. 8</b> Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal.....	74
<b>Tabel 5. 9</b> Faktor Aman Pondasi Tiang Pancang P1-07 dan P1-25 .....	76



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1</b> Macam – Macam Tipe Pondasi (Hardiyatmo, 1985).....	24
<b>Gambar 3. 2</b> Tiang Pancang Beton Precast Reinforced Concrete Pile (Bowles, 1991) .....	30
<b>Gambar 3. 3</b> Tiang Pancang Precast Prestressed Concrete Pile (Bowles, 1991) ...	30
<b>Gambar 3. 4</b> tiang pancang cast in place (Bowles, 1991).....	31
<b>Gambar 3. 5</b> Pengangkatan tiang dengan dua tumpuan.....	33
<b>Gambar 3. 6</b> Pengangkatan tiang dengan satu tumpuan.....	34
<b>Gambar 3. 7</b> Pembebanan Truk “T” 500 kN .....	42
<b>Gambar 5. 1</b> Denah Overpass STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018) .....	62
<b>Gambar 5. 2</b> (A) Beban Vertikal (FZ), (B) Horizontal (MX), (C) Horizontal (MY) 67	67
<b>Gambar 5. 3</b> Hasil Deformasi Tanah untuk tiang P1-07 .....	72
<b>Gambar 5. 4</b> Hasil Displacement untuk tiang P1-07 .....	72
<b>Gambar 5. 5</b> Hasil Deformasi Tanah untuk tiang P1-25 .....	73
<b>Gambar 5. 6</b> Hasil Displacement untuk tiang P1-25 .....	73
<b>Gambar 5. 7</b> Grafik Kuat Dukung Pondasi Tiang P1-07.....	75
<b>Gambar 5. 8</b> Grafik Kuat Dukung Pondasi Tiang P1-25.....	76
<b>Gambar 5. 9</b> Grafik Faktor Aman Pondasi Tiang P1-07 .....	78
<b>Gambar 5. 10</b> Grafik Faktor Aman Pondasi Tiang P1-25 .....	79

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A ANALISIS PERHITUNGAN

- A.1. Klasifikasi Parameter Tanah Berdasarkan Data Uji SPT
- A.2. Analisis Beban Struktur Pada Midas Civil V.8.7.5 2019
- A.3. Tahapan Perhitungan Menggunakan *Software* Midas Civil V.8.7.5 2019
- A.4. Distribusi Pembebanan Pada Setiap Tiang
- A.5. Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan Cara Dinamis
- A.6. Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang P1-7 Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis 2D V8.2.
- A.7. Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang P1-25 Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis 2D V8.2.
- A.8. Perhitungan Faktor Aman (SF) Pondasi Tiang

### LAMPIRAN B DATA SEKUNDER

### LAMPIRAN C DATA ADMINISTRASI

**ANALISIS KUAT DUKUNG DINAMIS PONDASI TIANG PANCANG PADA  
JEMBATAN *OVERPASS* STA 58+250 JALAN TOL RUAS PEKANBARU-  
DUMAI SEKSI 4**

**RINI ANDRI SARI  
NPM: 153110652**

**ABSTRAK :**

Pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai didukung dengan adanya jembatan *overpass* yang berguna untuk jalan penyeberangan masyarakat. Infrastruktur tersebut sangat membutuhkan pondasi yang kuat dan kokoh. Penelitian ini membahas tentang analisa kuat dukung dan faktor aman tiang pancang untuk menentukan hasil masing-masing metode yang lebih efektif digunakan.

Penelitian ini menggunakan cara dinamis dengan metode Engineering News Record, Eytelwein dan Formula Gates untuk metode elemen hingga 2D menggunakan Plaxis 2D dengan model Aksisimetri. Metode tersebut digunakan untuk menghitung kuat dukung dan faktor aman tiang pancang P1-07 dan P1-25 kemudian dibandingkan masing-masing nilai kuat dukung dan faktor aman terhadap PDA Test.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbandingan kuat dukung pondasi dan faktor aman tiang pancang tunggal pada tiang P1-07 dan P1-25. Untuk kuat dukung tiang dengan menggunakan cara dinamis untuk metode engineering news record untuk tiang P1-07 sebesar 7482,51 kN, untuk tiang P1-25 sebesar 7476,58 kN, Eytelwein untuk tiang P1-07 sebesar 4875,16 kN, untuk tiang P1-25 sebesar 4872,98 kN, dan formula gates untuk tiang P1-07 sebesar 4595,08 kN, untuk tiang P1-25 sebesar 4549,35 kN serta metode elemen hingga 2D untuk tiang P1-07 sebesar 4899,68 kN, untuk tiang P1-25 sebesar 4867,19 kN menunjukkan hasil bahwa kuat dukung dengan formula gates memiliki nilai yang lebih mendekati dengan hasil uji PDA yaitu tiang P1-07 sebesar 2696,84 kN dan tiang P1-25 sebesar 2576,26 kN. Untuk analisa faktor aman pada tiang P1-07 dan P1-25 dengan menggunakan metode Engineering News Record sebesar 4,06 dan 4,10, Eytelwein sebesar 2,65 dan 2,67, Formula Gates sebesar 2,49, MEH 2D sebesar 2,65 dan 2,67 sedangkan uji PDA sebesar 1,46 dan 1,49. Dari kelima metode analisis perhitungan formula gates memiliki nilai yang paling mendekati terhadap uji PDA baik dari hasil kuat dukung pondasi maupun faktor aman pondasi.

**Kata Kunci :** Faktor Aman, Jembatan *Overpass*, Kuat Dukung Dinamis

**ANALYSIS OF DYNAMIC BEARING CAPACITY OF PILE FOUNDATION  
ON STA 58+250 OVERPASS BRIDGE TOLL ROAD PEKANBARU-  
DUMAI SECTION 4**

**RINI ANDRI SARI**

**153110652**

**ABSTRACT :**

*The construction of the Pekanbaru-Dumai toll road is supported by an overpass bridge which is useful for community pedestrian roads. This infrastructure development was really require a strong and sturdy foundation. This study discussed the bearing capacity analysis and the safety factor of the pile to determine the results of each method which is more effectively used.*

*This study used a dynamic method with the Engineering News Record, Eytelwein and Gates Formula for the 2D finite element method using 2D Plaxis with the axisymmetry model. This method is used to calculate the bearing capacity and safety factor of piles P1-07 and P1-25 and then compared the bearing capacity and safety factors respectively against the PDA Test.*

*The results of this study indicate a comparison of the bearing capacity of the foundation and the safety factor of a single pile on the P1-07 and P1-25 piles. For the bearing capacity of the pile using a dynamic method for the engineering news record method for P1-07 piles of 7482.51 kN, for P1-25 piles of 7476.58 kN, Eytelwein for P1-07 piles of 4875.16 kN, for P1 piles -25 is 4872.98 kN, and the gates formula for P1-07 piles is 4595.08 kN, for P1-25 piles is 4549.35 kN and the 2D finite element method for P1-07 piles is 4899.68 kN, for piles P1-25 of 4867.19 kN shows that the bearing capacity with the gates formula has a value closer to the PDA test results, namely P1-07 pile of 2696.84 kN and P1-25 pile of 2576.26 kN. For the analysis of the safety factor on the P1-07 and P1-25 poles using the Engineering News Record method of 4.06 and 4.10, Eytelwein of 2.65 and 2.67, Formula Gates of 2.49, MEH of 2D of 2, 65 and 2.67, while the PDA test was 1.46 and 1.49. Of the five analysis methods, the calculation of the Gates formula has the closest value to the PDA test both from the results of the foundation bearing capacity and the foundation safety factor.*

**Keywords:** Safe Factor, Overpass Bridge, Bearing Capacity dynamic

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Pembangunan dan pengembangan di wilayah Indonesia dalam bidang teknik sipil dari tahun ke tahun mengalami kemajuan yang cukup pesat. Hal ini memberikan fasilitas umum yang lebih baik, salah satunya pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai. Pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai ini diinvestasikan oleh PT.Hutama Karya (Persero) melalui kontraktor yaitu PT.Hutama Karya Infrastruktur sebagai pelaksana yaitu anak perusahaan dari PT. Utama Karya (Persero).

Elemen struktur yang lebih utama dilaksanakan adalah pekerjaan pondasi (struktur bawah). Pekerjaan pondasi memiliki dampak besar pada proyek. Biasanya, pondasi dipasang di bagian terbawah bangunan dan menyalurkan beban ke tanah dan batuan dibawahnya (Hardiyatmo, 2002).

Pembangunan jalan tol Pekanbaru-Dumai tersebut didukung dengan adanya jembatan *overpass* yang berfungsi untuk jalan penyeberangan masyarakat. Jembatan *overpass* membutuhkan pondasi yang kokoh karena memegang peranan penting dalam mendukung kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti angin, gempa bumi, dan lain sebagainya.

Jembatan *overpass* STA 58+250 adalah salah satu pembangunan dari proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai. Jembatan ini menggunakan pondasi tiang pancang *spun pile* dengan diameter 60 cm dan tebal 10 cm. Kuat dukung pondasi tersebut dihitung dengan data penyelidikan tanah yaitu data *Kalendering* dengan Metode *Engineering News Record (ENR)*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates*.

Hasil perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal antara Metode *Engineering News Record (ENR)*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates* dibandingkan dengan hasil pengujian *Pile Driving Analyzer*.

Aldino (2019) telah melakukan penelitian di Jembatan *Overpass*, dengan tujuan mengetahui perbedaan kuat dukung tiang tunggal dari data pelaksanaan pemancangan pondasi dilapangan yaitu data kalendering, *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Pile Driving Analyzer (PDA) Test*. Pada penelitian ini perhitungan kuat dukung dihitung dengan metode Hilley dan Metode Meyerhoff dan tidak menghitung beban struktur yang bekerja pada pile cap.

Penelitian ini dilakukan karena keingintahuan seorang peneliti terhadap kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan data Kalendering dan membandingkan dengan hasil uji dilapangan dari hasil Uji *Pile Driving Analyzer* serta mengetahui apakah beban yang bekerja pada pile cap aman terhadap kuat dukung pondasi tersebut.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dilatar belakang, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah kuat dukung pondasi tiang pancang secara dinamis dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates* ?
2. Berapakah kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal menggunakan metode elemen hingga 2D ?
3. Bagaimana hasil perbandingan kuat dukung pondasi dengan hasil Uji *Pile Driving Analyzer* ?
4. Bagaimanakah perbandingan faktor aman pondasi tiang pancang terhadap faktor aman uji PDA Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai dalam pembahasan penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menentukan kuat dukung pondasi secara dinamis dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates*.

2. Menentukan kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan metode elemen hingga 2D.
3. Mengetahui perbandingan hasil kuat dukung pondasi dengan hasil Uji *Pile Driving Analyzer*.
4. Mengetahui faktor aman pondasi tiang pancang Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah :

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

#### 1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan diambil dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai Seksi 4.
2. Kuat dukung yang dihitung pada Jembatan *Overpass* STA 58+250 nomor tiang P1-07 dan P1-25 karena pada tiang tersebut dilakukan Uji *Pile Driving Analyzer*.
3. Menghitung Pembebanan menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019.
4. Menghitung kuat dukung pondasi menggunakan metode *Engineering News Record (ENR)*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates*.
5. Menghitung kuat dukung pondasi menggunakan Metode Elemen Hingga di Plaxis 2D V8.2.
6. Hanya menganalisa perhitungan Tiang Tunggal.
7. Tidak menganalisa penurunan.
8. Tidak membahas rencana anggaran biaya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Tinjauan pustaka membahas tentang penelitian sebelumnya yang ada hubungannya dengan penelitian yang akan dilakukan untuk memberikan solusi bagi penelitian yang sedang dilakukan dalam permasalahan yang tidak terpecahkan demi mendapatkan hasil penelitian yang sangat memuaskan.

#### 2.2. Penelitian Sebelumnya

Tinjauan pustaka memuat uraian sistematis tentang pustaka dan hasil penelitian yang didapatkan oleh peneliti sebelumnya serta memiliki hubungan dengan penelitian yang sedang dilakukan yang dapat membantu memberikan solusi untuk memecahkan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Penelitian Sebelumnya

No	Penulis, Tahun	Metode	Hasil Penelitian
1	Aldino (2019)	-Metode Analitis : Secara Dinamis menggunakan metode Hilley. Secara Statis menggunakan metode Meyerhoff.	Dalam penelitian ini hasil kuat dukung pondasi secara dinamis dengan metode Hilley untuk tiang P1-07 sebesar 290,48 ton dan tiang P1-25 sebesar 295,11 ton dan hasil kuat dukung pondasi secara statis dengan metode Meyerhoff untuk tiang P1-07 dan P1-25 sebesar 533,73 ton. Berdasarkan hasil analisis perbandingan kuat dukung ultimit ( $Q_u$ ) <i>spun pile</i> di Pier I pada titik P1-07 dan P1-25 dari metode Hilley memiliki nilai

			kuat dukung ultimit ( $Q_u$ ) yang cenderung serupa dengan Uji PDA. Hasil perhitungan metode statis memberikan nilai kuat dukung ultimit ( $Q_u$ ) yang lebih besar dari formula dinamik dan PDA test.
2	Hanun (2019)	<p>- Metode Analitis: Secara dinamis menggunakan metode Hilley, Danish, dan Engineering News Record.</p> <p>-Metode elemen hingga 2D</p>	Pada penelitian ini hasil kuat dukung ultimit aksial tiang pancang tunggal dihitung dan dibandingkan dari data SPT yaitu metode Meyerhof, data Kalendering yaitu metode Hilley, metode Danish, dan metode ENR yaitu data PDA, dan dengan Metode Elemen Hingga 2D. Nilai perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi berbeda, baik dari segi metode perhitungan maupun lokasinya. Berdasarkan hasil perhitungan kuat dukung aksial tiang tunggal dengan data SPT = 112,69 Ton, ENR=755,36 Ton, Danish = 840,38 Ton, data PDA = 228,00 Ton, dengan Metode Elemen Hingga bernilai 308,00 Ton.
3	Gunawan (2014)	Metode analitis: Secara dinamis menggunakan metode Olsen dan Flaate, Hilley, Engineering News Record, Janbu, serta	Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan metode statis berdasarkan data sondir dan metode dinamis melalui uji kalendering dan uji Pile Driving Analyzer. Hasil analisis memperlihatkan daya dukung batas dari

	<p>AASHTO.</p> <p>Secara statis menggunakan metode Meyerhoff, Aoki deAlencer, LCPC, Price dan Waldre, dan Schmertmann.</p>	<p>yang terendah dan tertinggi untuk metode Statis adalah 114,096 ton dengan metode Aoki De Alencer dan 305,479 ton dengan metode Schmertmann. Untuk metode kalendering secara dinamis nilai terendah 284,22 ton diperoleh dari rumus yang diberikan oleh metode Hilley dan nilai kuat dukung yang tertinggi 1450,26 ton diperoleh dari persamaan yang diberikan dengan metode Janbu. Data uji PDA diperoleh nilai kuat dukung pondasi sebesar 171,2 ton – 174,5 ton. Nilai rasio antara uji sondir dan PDA yang paling dekat dengan nilai 1 adalah metode Meyerhof dengan nilai Rasio 0,938 sedangkan untuk uji kalendering yang terdekat dengan nilai 1 adalah rasio daya dukung antara Metode Hilley dan uji PDA yaitu sebesar 1,660.</p>
--	--	--

### 2.3. Keaslian Penelitian

Berdasarkan judul yang diajukan dalam penelitian ini ialah melanjutkan penelitian dari Aldino (2019) pada Pembangunan Jembatan *Overpass* Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai Seksi 4. Dalam penelitian ini terdapat beberapa kesamaan seperti lokasi penelitian, data yang digunakan untuk perhitungan, jenis tanah, dan lain – lain. Namun terdapat perbedaan seperti metode perhitungan secara dinamis, perhitungan pembebanan yang bekerja pada Pile Cap, perhitungan kuat dukung dengan metode elemen hingga 2D dan perhitungan faktor aman pondasi. Maka peneliti tertarik untuk melanjutkan penelitian seperti yang dijelaskan.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. Definisi Tanah

Tanah dapat diartikan sebagai partikel mineral yang tersemen maupun yang lepas sebagai hasil pelapukan dari batuan, dimana rongga pori antar partikel terisi oleh udara dan air. Akibat pengaruh cuaca dan pengaruh lainnya, tanah mengalami pelapukan sehingga terjadi perubahan ukuran dan bentuk butirannya. Pelapukan batuan tersebut dapat disebabkan oleh pelapukan mekanis, kimia dan organis (Suyono Sosrodarsono, 1984).

Istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan untuk membedakan berbagai jenis tanah. Tanah dalam kondisi alami dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Misalnya lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya yaitu lempung dan seterusnya (Hardiyatmo, 2002).

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang diantara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air dan udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering yaitu tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol (Hardiyatmo, 2002).

#### 3.1.1. Jenis tanah

Di alam sangat sering ditemukan tanah yang tidak hanya dibentuk dari suatu material pembentuk, tanah terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan terkadang terdapat pula kandungan bahan organik. Adapun jenis-jenis tanah antara lain (Bowles, 1998) :

### 1. Tanah granuler

Tanah granuler merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan badan jalan karena memiliki kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan kecil dalam kondisi padat. Tanah granuler mempunyai tahanan geser yang berupa gesekan. Tahanan gesernya merupakan fungsi dari tegangan normal pada tanah granuler berbanding lurus terhadap tahanan geser, jika tegangan normal besar, tahanan geser besar juga. Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus pada bidang gesernya. Jika tanah granuler kering dan tegangan normal nol, tahanan gesernya juga nol.

### 2. Tanah kohesif

Tanah kohesif merupakan material kedap air. Jenis tanah kohesif antara lain lempung, lempung berpasir, lempung berlanau. Perilaku lempung dalam mendukung pondasi sangat bergantung pada jenis geologi, kedap air dan kandungan materialnya. Tanah lempung dikategorikan tanah lunak, sedang atau kaku bergantung pada kadar air yang dinyatakan dalam konsistensi. Pada waktu kering tanah tersebut sangat kering dan menyusut yang serta terjadi retakan. Pada waktu basah, kuat gesernya akan menurun dan lempung akan mengembang. Jenis lempung kaku hingga keras mengalami penurunan konsolidasi yang kecil dibawah tekanan yang relative besar. Jika dalam lapisan tanah terdapat lensa pasir dan kerikil, perencanaan pondasi harus memperhitungkan variasi kuat dukung dan penurunan pada lokasi. Selain Sifat-sifat disebutkan diatas tanah kohesif juga memiliki beberapa sifat lainnya seperti bila basah bersifat plastis dan mudah (mudah turun), kuat gesernya berbanding berbalik terhadap kadar air, bila struktur tanah terganggu kuat geser tanah kohesif ini akan berkurang, volume akan berubah seiring dengan bertambahnya waktu akibat rangak (*creep*) pada beban yang konstan dan jenis tanah ini merupakan material yang jelek untuk tanah urug karena menghasilkan tekanan lateral yang tinggi.

### 3. Tanah lanau

Lanau merupakan material yang butiran-butirannya lolos saringan No.200, tanah jenis lanau terbagi menjadi dua kategori yaitu lanau yang dikarakteristikan sebagai tepung batu yang tidak berkohesi serta tidak plastis dan lanau yang bersifat halus.

### 4. Tanah organik

Sembarang tanah yang mengandung bahan organik, yang mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah, disebut tanah organik. Bahan-bahan organik dapat terdiri dari sisa tumbuh-tumbuhan atau binatang. Tanah dalam kondisi alam dapat mengandung bahan organik. Biasanya, pada presentase bahan organik yang relative rendah (kira-kira 20%), tanah mempunyai karakteristik yang mempunyai kuat geser rendah, mudah mampat, bersifat asam, dan sifat-sifat lainnya yang dapat merusak material bangunan. Oleh karena itu, tanah organik sebaiknya tidak digunakan untuk mendukung pondasi. Gambut merupakan material organik yang jelek untuk mendukung pondasi, karena sangat mudah mampat. Pondasi harus diletakkan sampai mencapai tanah yang baik, yang terletak dibawah tanah tersebut.

#### 3.1.2. Sifat-sifat tanah

Secara garis besar sifat-sifat tanah diantaranya sebagai berikut (Sosrodarsono, 2000) :

##### 1. Permeabilitas (*permeability*)

Pori-pori tanah bukan merupakan rongga-rongga yang dapat menyimpan air. Air akan selalu dilewatkan oleh pori-pori tanah sehingga tanah tersebut material yang permeable atau dapat ditembus. Sifat tanah yang permeable sangat penting dalam analisa konstruksi bendungan tanah urugan.

##### 2. Konsolidasi (*consolidation*)

Tanah memiliki sifat kemampatan (konsolidasi) yang sangat besar jika diberikan beban bila dibandingkan dengan material lain seperti beton maupun baja.

Kemampatan ini akan menyebabkan perubahan isi pori tanah, sifat ini digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi pada tanah yang di atasnya ada beban bangunan.

### 3. Tegangan geser (*Shear Strenght*)

Nilai kuat geser diperlukan untuk menghitung kapasitas dukung tanah dan untuk menghitung tekanan yang bekerja pada tembok penahan tanah. Secara sederhana kekuatan geser dapat dibagi menjadi tahanan geser antara butir-butir tanah kohesi pada permukaan butir-butir tanah tersebut. Berdasarkan hal tersebut, tanah sering dibedakan butir tanah kohesif dan butir tidak kohesif. Jika tanah berada dalam keadaan tidak jenuh meskipun tanah itu tidak kohesif maka sifat kohesif kadang kala dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kuat geser tanah tidak selalu sama bergantung pada jenis dan kondisi tanah.

Sifat-sifat lainnya yang dimiliki oleh tanah antara lain kadar air, kadar pori, kepadatan relative, pembagian butir, kepekaan dan sebagainya (Hardiyatmo, 2002).

#### **3.1.3. Sistem Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah pengklasifikasian tanah secara sistematis dengan sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok menurut kegunaannya (Das, 1995).

Adapun sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan adalah :

#### 1. Sistem klasifikasi kesatuan tanah (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk perencanaan lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Menurut sistem klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (Das. Braja. M,1988), tanah diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Tanah butir kasar (*Coarse-Grained-Soil*) adalah kerikil dan pasir, dengan kurang dari 50% dari berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, S adalah pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b. Tanah berbutir halus (*Fine-Grained-Soil*) adalah tanah lebih dari 50% dari berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*Peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS, adalah :

- W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)  
 P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)  
 L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*),  $LL \leq 50$   
 H = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*),  $LL \geq 50$

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No.200 (fraksi halus)
  2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No.40
  3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*,  $C_u$ ) dan koefisien gradasi (*Gradation Coefficient*,  $C_c$ ) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No.200
  4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No.400 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No.200)
2. Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway And Transporting Official*)

Sistem ini membedakan tanah dalam delapan kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8, A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan.

- a. Analisis ukuran butiran.
- b. Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.
- c. Batas susut.
- d. Ekuivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.

### 3.2. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan kegiatan untuk mengetahui jenis tanah, keadaan tanah, daya dukung tanah, dan kedalaman tanah keras sebagai pendukung bangunan di lokasi yang akan dibangun. Pada Pembangunan jembatan *Overpass* Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai Seksi 4 ini penyelidikan tanah dilakukan dengan Uji N-SPT.

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian dilapangan secara langsung. Pengujian dilapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan contoh (Hardiyatmo, 2010).

#### 3.2.1. Standar Penetration Test (SPT)

*Standar Penetration Test* merupakan pengujian penyelidikan tanah dilakukan dilapangan atau lokasi pekerjaan dengan tujuan mengetahui dan mendapatkan kuat dukung tanah dalam suatu struktur (Hardiyatmo, 2000).

Keuntungan dan kekurangan penggunaan Uji SPT ini adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2000) :

Keuntungannya :

1. Dapat mengidentifikasi jenis tanah secara visual.
2. Untuk mendapatkan parameter secara kualitatif melalui korelasi empiris.
3. Dapat dilakukan dengan cepat dan operasinya sederhana.
4. Biaya yang digunakan relatif murah.
5. Prosedur pengujian sederhana dapat dilakukan secara manual.

Kekurangannya :

1. Profil kuat tanah tidak menerus.
2. Perlu ketelitian dalam pelaksanaan uji SPT tersebut.
3. Hasil yang didapat merupakan contoh tanah terganggu.
4. Interpretasi hasil SPT bersifat empiris.
5. Tergantung perhitungan operator.

### 3.2.2. Uji Kalendering

Secara umum uji kalendering biasanya digunakan secara empiris untuk mengetahui kuat dukung tanah dengan perhitungan yang dihasilkan selama proses pemukulan alat pancang. Alat pancang biasa berupa diesel hammer maupun hydraulic hammer.

Jika tinggi bacaan mencapai nilai  $\leq 1$  cm, maka pemancangan sudah siap dihentikan. Artinya tiang tersebut telah mencapai tanah yang keras. Karena tanah keras itulah yang menyebabkan bacaan kalenderingnya kecil yaitu 1 cm atau kurang.

Metode pelaksanaan uji kalendering ini bersifat sederhana. Alat yang tersedia antara lain spidol, kertas milimeter blok, selotip, waterpass, dan kayu pengarah spidol

agar selalu pada posisinya. Dan pelaksanaannya pun merupakan bagian dari kontrak pemancangan. Pelaksanaannya dilakukan pada saat 10 pukulan terakhir.

### 3.2.3. *Pile Driving Analyzer (PDA)*

*Pile Driving Analyzer (PDA)* merupakan pengujian yang menyesuaikan kapasitas beban pondasi dibawah beban dinamis (hammer dengan berat tertentu yang dijatuhkan diatas kepala tiang uji). Saat beban dinamis diaplikasikan pada tiang uji, alat PDA akan menghasilkan data berupa grafik gaya dan kecepatan yang diperoleh dari regangan dan percepatan yang terukur oleh sensor strain transcedur dan sensor accelerometer yang terpasang pada badan tiang uji.

Syarat utama pemasangan sensor strain transcedur dan accelerometer pada badan tiang uji adalah masing – masing 2 unit (untuk tiang  $D \leq 60 \text{ cm}$ ) dan 4 unit (untuk tiang  $D \geq 60 \text{ cm}$ ) yang dipasang pada sisi yang saling berhadapan ( $180^\circ$ ), dengan tujuan untuk mendapatkan data yang baik (dapat diambil nilai rata – rata) apabila terjadi bending dan juga sebagai factor keamanan dalam pengambilan data apabila salah satu instrument sensor ada yang tidak bekerja dengan baik.

Test PDA biasanya dilaksanakan ketika saat tiang uji memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima dan menahan berat dinamis pengujian. Untuk meminimalkan tegangan berlebih pada kepala tiang dapat dipakai cushion di sisi atas kepala tiang.

Tujuan dari pengujian PDA ini adalah untuk mendapatkan daya dukung, penurunan, dan keutuhan tiang pondasi satu tiang uji.

Pengujian dilaksanakan dengan menjatuhkan hammer dengan ketinggian jatuh pertama sekitar 50 cm, kemudian tinggi jatuh dinaikkan secara bertahap sesuai dengan instruksi engineer PDA hingga mencapai daya dukung yang diantisipasi. Pada saat pengujian, beberapa variable tiang yang termonitor antara lain kapasitas tiang, energi, penurunan, maupun integritas tiang.

### 3.3. Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui dan menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah (Wihardi, 2015). Adapun bagian dari parameter tanah dapat dilihat sebagai berikut :

#### 1. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Kuat geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga diperoleh dengan mengukur spesifikasi tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Hubungan Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah (Hardiyatmo,2002)

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )
Kerikil Kepasiran	35° – 40°
Kerikil Kerakal	35° – 40°
Pasir Padat	35° – 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° - 30°
Lempung	20°– 25°

#### 2. Poisson Ratio ( $\mu$ )

Nilai *Poisson Ratio* ( $\mu$ ) ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai poisson ratio ditentukan oleh jenis tanah seperti pada tabel 3.2 dibawah ini :

**Tabel 3. 2** Perkiraan angka Poisson Ratio ( $\mu$ ) (Hardiyatmo,2002)

Jenis tanah	Poisson ratio
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar (angka pori, $e=0,4 - 0,7$ )	0,15
Pasir halus (angka pori, $e=0,4 - 0,7$ )	0,25
Batu	0,1 – 0,4
<i>Loess</i>	0,1 – 0,3

### 3. Modulus young (E)

Modulus young adalah besarnya elastisitas yang terjadi akibat perbandingan tegangan terhadap regangan yang bisa dapat uji *triaxial*. Nilai modulus tanah juga tergantung pada jenis tanah (Bowles, 1997). Nilai perkiraan Modulus Elastisitas tanah ditentukan pada Tabel 3.3 berikut ini:

**Tabel 3. 3** Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) kN/cm <sup>2</sup>
<b>LEMPUNG</b>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Berpasir	30000 – 42500

<b>PASIR</b>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 14000
Padat	20000 – 10000
<b>PASIR DAN KERIKIL</b>	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
<i>Loess</i>	15000 – 60000
Serpih	140000 – 1400000

#### 4. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan (Hardiyatmo, 2008). Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan Kuat tekan bebas ( $q_u$ ), mendapatkan kohesi tak terdrainase ( $C_u$ ) dengan (Pers 3.1) :

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (\text{Pers 3.1})$$

Adapun kaitan antara kuat tekan bebas ( $q_u$ ) tanah lempung dengan konsistensinya ditunjukkan pada tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Hubungan Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) Dengan Konsistensi (Hardiyatmo, 2008)

Konsistensi	Kuat Dukung Bebas ( $q_u$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )
Lempung keras	>400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	<25

### 5. Permeabilitas ( $k$ )

Koefisien rembesan (*Permeability*) pada tanah adalah kemampuan tanah untuk dapat mengalirkan atau merembeskan air (atau jenis fluida lainnya) melalui pori-pori tanah. Berdasarkan persamaan Kozeny – Carman, nilai permeabilitas untuk setiap layer tanah dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Darma,2015) :

$$k = \frac{e^3}{1+e} \quad (\text{Pers 3.2})$$

Untuk tanah yang berlapis – lapis harus dicari nilai permeabilitas untuk arah vertical dan horizontal dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut(Darma,2015) :

$$K_v = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_1}\right) + \left(\frac{H_2}{k_2}\right) + \left(\frac{H_n}{k_n}\right)} \quad (\text{Pers 3.3})$$

Keterangan :

- H = Tebal lapisan (cm)
- e = Angka pori
- k = Koefisien permeabilitas
- $k_v$  = Koefisien permeabilitas arah vertical
- $k_h$  = Koefisien permeabilitas arah horizontal

Nilai koefisien permeabilitas tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.5.

**Tabel 3. 5** Nilai koefisien permeabilitas tanah (Das, 1995)

Jenis	K	
	cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

## 6. Berat Isi Tanah ( $\gamma$ )

Berat isi tanah ( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume. Nilai tipikal berat isi tanah berbagai jenis tanah untuk keadaan dibawah muka air tanah dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

**Tabel 3. 6** Nilai  $n$ ,  $e$ ,  $w$ ,  $\gamma_{\text{unsat}}$  dan  $\gamma_{\text{sat}}$  untuk tanah asli dilapangan (Terzaghi, 1947)

Macam Tanah	$n$ (%)	$E$	$W$ (%)	$\gamma_{\text{unsat}}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$\gamma_{\text{sat}}$ ( $\text{kN/m}^3$ )
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	14,3	18,9
Pasir seragam padat	34	0,51	19	17,5	20,9
Pasir berbutir campur, tidak padat	40	0,67	25	15,9	19,9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	18	18,6	21,6
Lempung lunak	66	1,90	70	-	15,8

sedikit organic					
Lempung lunak sangat organic	75	3,00	110	-	14,3

**Tabel 3. 7** Parameter untuk beberapa tipe tanah keadaan asli (Das, 1988)

Tanah	Angka pori E	Kadar Air dalam Keadaan Jenuh	Berat Volume Kering $\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Pasir lepas dengan butiran seragam ( <i>loose uniform sand</i> )	0,85	30	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam ( <i>dense uniform sand</i> )	0,45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut ( <i>loose angular-grained silty sand</i> )	0,65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut ( <i>dense angular-grained silty sand</i> )	0,4	15	19
Lempung kaku ( <i>stiff clay</i> )	0,6	21	17
Lempung lembek ( <i>soft clay</i> )	0,19 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
Tanah ( <i>loess</i> )	0,9	25	13,5

Lempung organik lembek ( <i>soft organic clay</i> )	2,5 – 3,2	90 – 120	6 – 8
<i>Glacial till</i>	0,3	10	21

### 7. Sudut Dilatasi ( $\psi$ )

Sudut dilatasi ( $\psi$ ) (psi), dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung akan cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali (yaitu  $\psi = 0$ ). Dilatasi dari tanah pasir bergantung pada kepadatan serta sudut gesernya. Sudut dilatasi dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$\psi = \phi - 30^\circ \quad (\text{Pers 3.4})$$

### 3.4. Definisi Pondasi

Pondasi merupakan komponen atau elemen struktur yang paling rendah dari suatu bangunan yang akan meneruskan beban-beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Pondasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang dapat menahan beban yang relative kecil dan menerima beban konstruksi secara langsung. Pondasi dalam adalah pondasi yang dapat menahan beban konstruksi yang besar dan meneruskan beban structural ke tanah keras dan batuan yang sangat dalam (Hardiyatmo,2002).

Macam-macam contoh jenis pondasi ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Berikut adalah jenis-jenis fondasi:

#### 1. Pondasi dangkal

##### a. Pondasi memanjang (*continous footing*)

Pondasi memanjang juga dikenal sebagai pondasi batu kali digunakan untuk menopang sederetan kolom-kolom yang jaraknya berdekatan atau digunakan

untuk menopang dinding memanjang. Bahan pondasi ini bisa berupa batu pecah atau batu kali atau pasangan bata serta cor beton tanpa tulangan.

b. Pondasi telapak (*spread footing*)

Pondasi telapak digunakan sebagai tumpuan kolom yang berdiri sendiri. Pondasi ini terbuat dari beton bertulang yang dibentuk menyerupai papan atau telapak yang memiliki ketebalan tertentu. Untuk bangunan bertingkat, pondasi telapak cocok untuk diterapkan.

c. Pondasi rakit (*raft foundation*)

Pondasi rakit digunakan apabila suatu bangunan terletak pada tanah lunak atau pada tanah yang dirasa mempunyai daya dukung tanah rendah. Pondasi ini juga biasa digunakan pada bangunan yang memiliki basement.

2. Pondasi Dalam

a. Pondasi sumuran (*well foundation*)

Pondasi sumuran atau kaison didefinisikan sebagai pondasi yang tersusun atas pipa beton yang ditanam dalam tanah membentuk sumur kemudian dicor ditempat menggunakan bahan batu belah dan beton sebagai isinya. Pondasi sumuran ini dapat diterapkan pada konstruksi dimana kedalaman lapisan tanah kerasnya berkisar 3 sampai 5 meter.

b. Pondasi tiang (*pile foundation*)

Pondasi tiang digunakan untuk menopang bangunan ketika tanah keras terletak sangat dalam. Pondasi tiang cocok untuk bangunan yang bertingkat yang mengalami gaya guling akibat beban horizontal, dan juga dapat menahan gaya vertikal untuk menopang bangunan.



**Gambar 3. 1** Macam – Macam Tipe Pondasi (Hardiyatmo, 1985)

### 3.5. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk menopang struktur ketika lapisan tanah padat sangat dalam dan pada saat yang sama untuk mendukung bangunan terhadap gaya ke atas pada bangunan tinggi yang mengalami gaya guling akibat beban. Selain itu, tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, dimana pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air (Hardiyatmo, 2015).

Pondasi tiang pancang dapat digunakan untuk berbagai maksud, antara lain :

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak diatas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.

2. Untuk meneruskan beban sampai kedalaman tertentu pada tanah yang relatif lemah sehingga pondasi dapat menahan beban gesek antara dinding tiang dengan tanah di sekitarnya.
3. Mengatasi dampak pemekaran tanah terhadap kerusakan struktur
4. Untuk menopang pondasi bangunan yang permukaannya rentan terhadap erosi air.
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas tanah tersebut bertambah.
6. Pencegahan kelongsoran di lereng tanah.

### 3.5.1. Kategori Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang dapat dikategorikan dalam tiga kategori (Hardiyatmo, 2015) yaitu :

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang kedalam tanah sehingga terjadi pemindahan volume tanah yang relatif besar. Contoh : tiang kayu, tiang beton pejal atau berlubang, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*) merupakan volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan relatif kecil. Contoh : tiang beton berlubang dengan ujung terbuka tiang beton, prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja bulat, tiang ulir.
3. Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*) terdiri dari tiang yang dipasang didalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Contoh : tiang beton yang dicor ke dalam lubang hasil pengeboran tanah, tabung dipasang dalam lubang kemudian dicor beton, tiang cetak yang diletakkan dalam lubang bor, tabung baja dibor ke tanah.

### 3.5.2. Jenis Pondasi Tiang Menurut Cara Pemindahan Beban

Menurut cara pemindahan beban, tiang pancang (Hardiyatmo, 2002) dibagi dua yaitu sebagai berikut :

1. *Point bearing pile (end bearing pile)* atau tiang pancang dengan tahanan ujung. Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras yang mampu memikul beban yang diterima oleh tiang tersebut. Lapisan tanah keras itu dapat berupa lempung keras sampai pada batu – batuan yang sangat keras.
2. *Friction pile* (tiang pancang yang bertahan dengan pelekatan antara tiang dengan tanah) dibagi 2 yaitu :
  - a. *Friction pile* pada tanah dengan butiran – butiran tanah kasar dan sangat mudah melewati air. Tiang ini meneruskan beban ke tanah melalui geseran kulit (*skin friction*). Proses pemancangan tiang - tiang ini dilakukan dalam satu grup (kelompok), menyebabkan tanah diantara tiang menjadi padat karena itu dikategorikan "*compaction pile*".
  - b. *Friction pile* pada tanah dengan butiran – butiran tanah halus dan sangat sulit melewati air. Tiang ini meneruskan beban ke tanah melalui (*skin friction*). Proses pekerjaan tiang ini tidak menyebabkan tanah diantara tiang menjadi padat, karena tiang ini termasuk dalam kategori "*floating pile foundation*".

### 3.5.3. Jenis Pondasi Tiang Menurut Bahan Yang Digunakan

Menurut bahan yang digunakan tiang pancang dibagi enam (Hardiyatmo,2015) yaitu sebagai berikut :

1. Tiang kayu

Tiang kayu 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 8 – 10 cm dan panjang 4 meter. Tiang pancang kayu lebih murah dan mudah penggunaannya dari pada tiang jenis lainnya.

## 2. Tiang beton pracetak

Tiang beton pracetak yaitu tiang yang terbuat dari beton yang dicetak disuatu tempat dan diangkut ke lokasi rencana bangunan. Tiang beton pada umumnya berbentuk prisma atau bulat dan ukuran diameternya yang biasa dipakai untuk tiang yang tidak berlubang diantar 20 – 60 cm. Sedangkan untuk tiang yang berlubang diameternya dapat mencapai 140 cm dan panjang tiang beton pracetak biasanya berkisar antara 20 – 40 meter untuk yang tidak berlubang. Untuk tiang yang tidak berlubang bisa mencapai 60 meter.

Keuntungan menggunakan tiang pancang pracetak adalah :

- a. Bahan tiang dapat diuji sebelum pemancangan.
- b. Prosedur pelaksanaan tidak terpengaruh oleh air tanah.
- c. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.
- d. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granular.

Kerugian menggunakan tiang pancang pracetak ialah :

- a. Peggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
- b. Kepala tiang kadang – kadang pecah akibat pemancangan.
- c. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pemancangan dan pengangkutan tiang.
- d. Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan disekitarnya.

Nilai – nilai beban maksimum tiang beton pracetak pada umumnya, yang ditinjau dari segi kekuatan bahan tiangnya dapat dilihat pada tabel 3.8.

**Tabel 3. 8** Nilai – nilai tipikal beban izin beton pracetak (Hardiyatmo, 2015)

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

### 3. Tiang Beton Cetak Ditempat

Ada dua jenis tiang pancang beton cor di tempat, yaitu :

#### a. Tiang yang berselubung pipa

Pada tiang yang berselubung pipa, pipa baja dipancang lebih dulu kedalam tanah kemudian kedalam lubang dimasukkan adukan beton dan pipa tetap tinggal didalam tanah.

#### b. Tiang yang tidak berselubung pipa

Pada tiang yang tidak berselubung pipa, pipa baja yang berlubang dipancang terlebih dahulu kedalam tanah, kemudian kedalam lubangnya dimasukkan beton dan pipa ditarik keluar sesudah atau ketika pengecoran.

### 4. Tiang Bor

Tiang bor dipasang kedalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian masukkan tulangan yang sudah dirakit dan cor beton. Tiang ini bila digunakan pada tanah stabil dan kaku maka dimungkinkan untuk membentuk lubang bor yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air pipa selubung dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik pada waktu pengecoran beton. Untuk tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk meningkatkan tahanan dukung ujung tiang.

#### 5. Tiang Baja Profil

Tiang baja profil termasuk tiang pancang dengan bahan yang terbuat dari baja profil. Tiang ini mudah ditangani dan dapat menahan beban pukulan yang besar pada waktu dipancang pada lapisan yang keras. Tiang baja profil berbentuk profil H, empat persegi, segi enam lainnya.

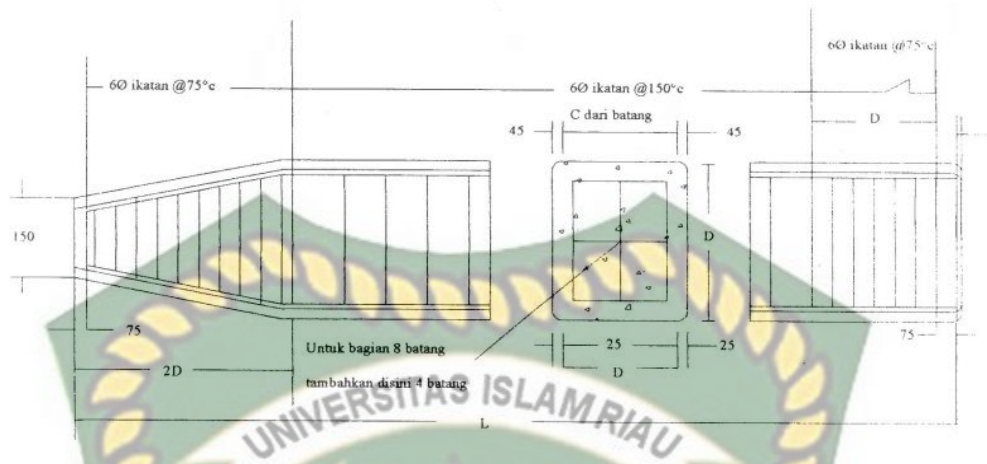
#### 6. Tiang Komposit

Material tiang pancang atau kombinasi tiang pancang dan tiang gali dapat digunakan untuk memecahkan masalah pada kondisi tanah tertentu. Masalah pembusukan tiang kayu diatas muka air tanah misalnya, dapat diatasi dengan memancang tiang komposit yang terdiri dari tiang beton dibagian atas yang disambung dengan tiang kayu dibagian bawah zona muka air tanah.

#### 3.5.4. Jenis Pondasi Tiang Berdasarkan Cara Pembuatan

Tiang pancang beton berdasarkan cara pembuatannya dibedakan menjadi tiga macam (Sardjono, 1988) antara lain :

- a. *Precast reinforced concrete pile* adalah tiang beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting) yang telah cukup keras lalu diangkat dan dipancarkan. Karena tegangan tarik beton kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri beton besar maka tiang pancang beton ini harus di beri tulangan yang cukup kuat agar pada saat pengangkatan dan pemancangan mampu memikul momen lentur. Pada jenis tiang pancang ini dapat memikul beban lebih besar dari pada 50 ton untuk masing – masing tiang.



**Gambar 3. 2** Tiang Pancang Beton *Precast Reinforced Concrete Pile* (Bowles, 1991)

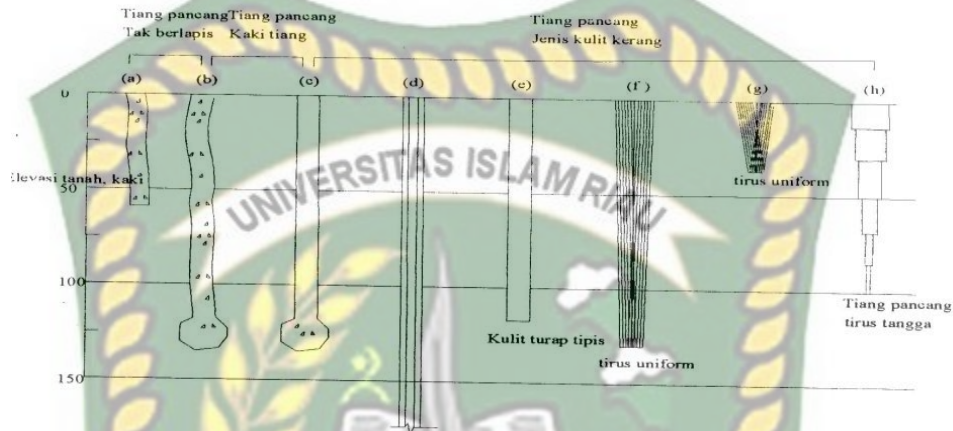
- a. *Precast Prestressed concrete pile* adalah tiang pancang yang dalam pelaksanaannya peretakannya sama seperti pembuatan beton prestress, yaitu menarik besi tulangnya ketika dicor dan dilepaskan setelah mengeras. Untuk jenis tiang pancang ini biasanya di buat di pabrik khusus, mengenai ukuran tiang pancang dapat dipesan langsung sesuai dengan yang diperlukan.



**Gambar 3. 3** Tiang Pancang *Precast Prestressed Concrete Pile* (Bowles, 1991)

- b. *Cast in place* adalah tiang pancang yang dicor beton ditempat dengan jalan membuat lubang tanah terlebih dengan cara pengeboran. Pada *Cast in place* dapat dibedakan menjadi dua cara yaitu :

- 1) Dengan pipa baja yang dipancang kedalam tanah kemudian diisi dengan beton dan ditumbuk sambil pipa baja ditarik keatas.
- 2) Dengan pipa baja yang dipancang kedalam tanah kemudian diisi dengan beton sedangkan pipa baja tersebut tetap tinggal didalam tanah.



**Gambar 3. 4** tiang pancang cast in place (Bowles, 1991)

### 3.5.5. Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

1. Pekerjaan persiapan
  - a. Membubuhi tanda, tiap pancang tiang harus dibubuhi tanda serta tanggal saat tiang tersebut dicor. Titik – titik angkat yang tercantum pada gambar harus dibubuhi tanda dengan jelas pada tiang pancang. Untuk mempermudah perencanaan, maka tiang pancang diberi tanda setiap 1 meter.
  - b. Pengangkatan atau pemindahan, tiang pancang harus dipindahkan atau diangkat dengan hati – hati sekali untuk menghindari keretakan maupun kerusakan lain yang tidak diinginkan.
  - c. Rencanakan final set tiang, untuk menentukan pada kedalaman mana pemancangan tiang dapat dihentikan, berdasarkan data tanah dan data jumlah pukulan terakhir (final set).
  - d. Rencanakan urutan pemancangan, dengan pertimbangan kemudahan manuver alat. Lokasi stock material agar diletakkan dekat lokasi pemancangan.

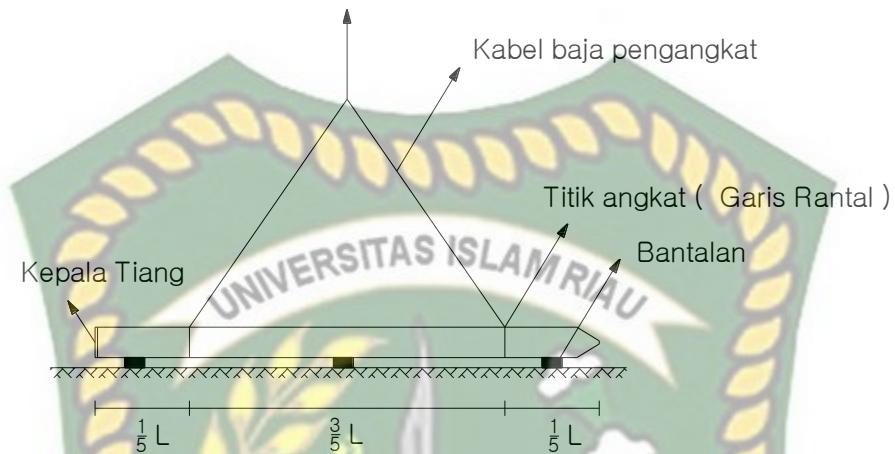
- e. Tentukan titik pancang dengan theodolit dan tandai dengan patok.
- f. Pemancangan dapat dihentikan sementara untuk penyambungan batang berikutnya bila level kepala tiang telah mencapai level muka tanah sedangkan level tanah keras yang diharapkan belum tercapai.

Proses penyambung tiang :

- a) Tiang diangkat dan kepala tiang dipasang pada helmet seperti yang telah dilakukan pada batang pertama.
  - b) Ujung bawah tiang didudukkan diatas kepala tiang yang pertama sedemikian sehingga sisi – sisi pelat sambung kedua tiang telah berhimpit dan menempel menjadi satu.
  - c) Penyambungan sambungan laas dilapisi dengan anti karat.
  - d) Tempat sambungan laas dilapisi dengan anti karat.
  - g. Selesai penyambungan, pemancangan dapat dilanjutkan seperti yang dilakukan pada batang pertama. Penyambungan dapat diulangi sampai mencapai kedalaman tanah keras yang ditentukan.
  - h. Pemancangan tiang dapat dihentikan bila ujung bawah tiang telah mencapai lapisan tanah keras atau final set yang ditentukan.
  - i. Pemotongan tiang pancang pada cut off level yang telah ditentukan.
2. Proses pengangkatan
- a. Pengangkatan tiang untuk disusun dengan dua tumpuan

Metode pengangkatan dengan dua tumpuan ini biasanya dilakukan saat penyusunan tiang beton, baik itu dari pabrik ke trailer ataupun dari trailer ke lokasi persiapan. Persyaratan umum dari metode ini adalah jarak titik angkat dari kepala tiang adalah  $\frac{1}{5} L$ . Untuk mendapatkan jarak harus diperhatikan momen maksimum pada bentangan, haruslah sama dengan momen minimum pada titik angkat tiang sehingga dihasilkan momen yang sama. Pada prinsipnya pengangkatan dengan dua tumpuan untuk tiang beton adalah dalam tanda pengangkatan dimana tiang beton pada titik angkat berupa kawat yang terdapat

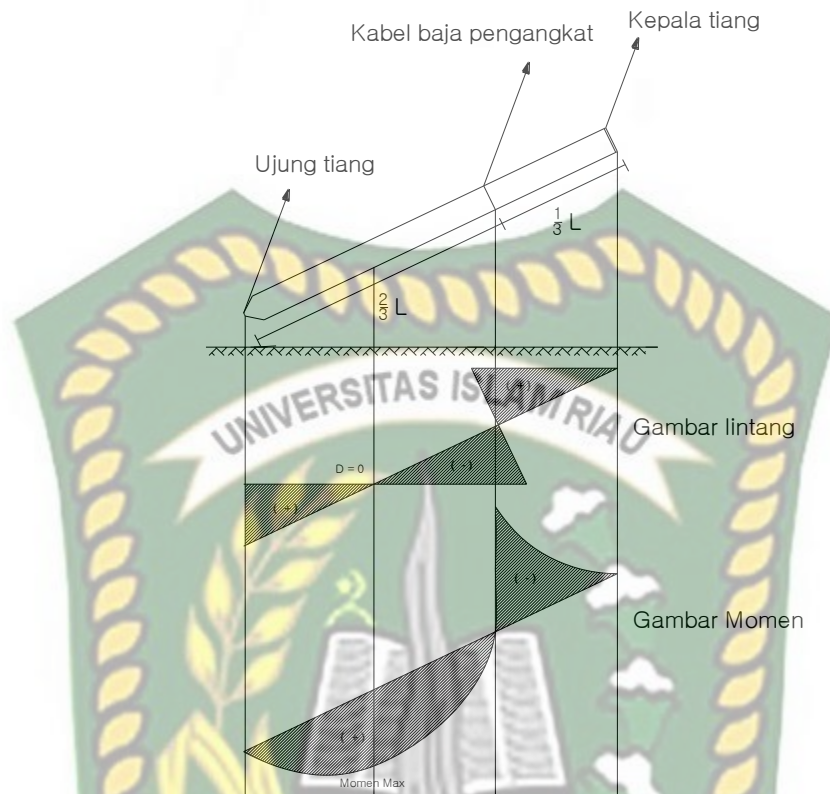
pada tiang beton yang telah ditentukan dan untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.5



**Gambar 3.5** Pengangkatan tiang dengan dua tumpuan

b. Pengangkatan dengan satu tumpuan

Metode pengangkatan ini biasanya digunakan pada saat tiang sudah siap akan dipancang oleh mesin pemancangan sesuai dengan titik tiang yang ditentukan di lokasi. Adapun persyaratan utama dari metode pengangkatan dengan satu tumpuan ini adalah jarak antara kepala tiang dengan titik anker berjarak  $L/3$ . Untuk mendapatkan jarak ini, haruslah diperhatikan bahwa momen maksimum pada tempat pengikatan tiang sehingga dihasilkan nilai momen yang sama.



**Gambar 3. 6** Pengangkatan tiang dengan satu tumpuan

3. Proses Pemancangan
  - a. Alat pancang ditempatkan sedemikian rupa sehingga as hammer jatuh pada titik pancang yang telah ditentukan.
  - b. Tiang diangkat pada titik angkat yang telah disediakan pada setiap lubang,
  - c. Tiang didirikan disamping *driving lead* dan kepala tiang dipasang pada helmet yang telah dilapisi kayu sebagai pelindung dan pegangan kepala tiang.
  - d. Ujung bawah tiang didudukkan secara cermat diatas patok pancang yang telah ditentukan.
  - e. Penyetelan vertikal tiang dilakukan dengan mengatur panjang *backstay* sambil diperiksa dengan waterpass sehingga diperoleh posisi yang betul – betul vertikal. Sebelum pemancangan dimulai, bagian bawah tiang diklem dengan *center gate*

pada dasar *driving lead* agar posisi tiang tidak bergeser selama pemancangan, terutama untuk tiang batang pertama.

- f. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjatuhkan hammer secara kontiniu ke atas helmet yang telah dipasang diatas kepala tiang.

Spesifikasi tiang pancang yang digunakan dalam pelaksanaan pemancangan pembangunan Jembatan *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4 dapat dilihat pada Tabel 3.9 dibawah ini:

**Tabel 3. 9** Spesifikasi tiang pancang spun pile Ø 60 cm type 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

### 3.5.6. Jenis – Jenis Alat Pancang.

Jenis-jenis alat pancang tiang (Hardiyatmo, 2015) adalah sebagai berikut :

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. Karena proses pemancangan yang lambat, sehingga alat ini hanya digunakan pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil.
2. Pemukul aksi tunggal (*Single-acting hammer*)  
Pemukul aksi tunggal memiliki bentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun ram disebabkan karena beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat ram dikalikan tinggi jatuh.
3. Pemukul aksi double (*Double-acting hammer*)

Menggunakan uap atau udara untuk mengangkat ram dan untuk memindahkannya kebawah dengan cepat. Kecepatan pukulan dan energi output umumnya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal.

4. Pemukul Diesel (*Diesel hammer*)

Pemukul diesel terdiri dari silinder, ram, balok anvil dan sistem injeksi bahan bakar. Jenis pemukul 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 adalah unit alat pancang yang bergetar dengan frekuensi tinggi.

Umumnya daya dukung tiang diperkirakan berdasarkan jumlah pukulan yang diperlukan untuk memancang tiang pada penetrasi tertentu. Setiap jatuhnya pemukul akan memberikan energi pada tiang. Jumlah pukulan total adalah energi total untuk menggerakkan tiang dalam penetrasi tertentu. Energi ini mungkin terkait dengan ketahanan tanah dan daya dukung. Namun, pengawasan pemancangan tiang memerlukan tidak hanya jumlah pukulan. Hal ini, karena energy yang telah diberikan oleh pemukul ke kepala 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. Umumnya, spesifikasi energi alat pemukul yang dikeluarkan oleh pabrik alat pancang didasarkan pada kehilangan energi yang minimum. Ketika energi yang hilang besar, maka dibutuhkan jumlah pukulan lebih banyak. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyesatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat daya dukung.

Bagian atas tiang harus dilindungi dengan bantalan yang dibuat dari kayu keras atau plywood. Ketebalan minimum bantalan harus tidak kurang dari 10 cm. Bantalan yang baru harus disediakan untuk setiap tiang (Hardiyatmo, 2015).

Elemen penting dari sistem pemancangan adalah : Lead, anvil, topi (helmet), ram dan untuk tiang beton, bantalan tiang (*pile cushion*). Berikut ini adalah penjelasan – penjelasan dari masing – masing item :

- a. Lead adalah rangka baja dengan dua penampang paralel sebagai bagian penyetel tiang yang arahnya benar saat menggerakkan tiang. Oleh karena itu, lead berguna agar jatuhnya pemukul tetap terpusat pada sistem tiang.
- b. Anvil adalah bagian yang terletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari ram dan mentransfernya ke kepala tiang.
- c. Topi (helmet) atau drive cap (penutup pancang) adalah bahan yang dibuat dari baja cor yang diletakkan diatas tiang yaitu untuk mencegah tiang agar tidak rusak saat pemancangan dan untuk menjaga agar as tiang sama dengan as pemukul.
- d. 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. Bantalan harus dibuat dari material yang kuat, biasanya dispesifikasikan oleh pabrik pemukul. Semua kayu, tali pengikat, dan bantalan pemukul dari asbes tidak diijinkan untuk digunakan. Bahan – bahan yang kurang awet, yang mudah rusak saat pelaksanaan pemancangan akan menyebabkan ketidaknentuan energi pukulan ke tiang. Pada prinsipnya, semakin tebal bantalan, energi yang diterima tiang semakin berkurang.
- e. Ram adalah bagian pemukul yang bergerak ke atas dan ke bawah yang terdiri dari piston dan kepala penggerak (*driving head*).

### 3.6. Pemilihan untuk Pemukul Tiang

Pemilihan tipe alat pemukul dan ukuran bergantung pada banyak faktor, namun umumnya ukuran lebih penting dibandingkan dengan tipenya. Bila tiang besar dan panjang sehingga sangat berat, maka harus dipancang dengan pemukul berat,

sehingga energi pemukul akan besar pula. Umumnya, diambil berat pemukul paling sedikit setengah dari berat total tiang dan energi pemancangan sebaiknya paling sedikit 1 ft-lb untuk setiap pon (lb) berat tiang. Setiap pemukul mempunyai kecocokan dalam kondisi tertentu. Pilihannya akan tergantung pada ketersediaan pemukul, ketersediaan uap, tekanan udara, ruang gerak, kemiringan tiang dan lain-lain.

Pada pekerjaan jembatan *Overpass* STA 58+250 ini digunakan pemukul tiang pancang tipe Diesel Hammer Kobelco K45. Berikut spesifikasi Diesel Hammer Kobelco K45 pada Tabel 3.10.

**Tabel 3. 10** Spesifikasi Hammer Kobelco K45 (Kobelco, 2018)

<b>Description</b>	<b>K45</b>
Overall length (mm)	4925
Total weight of hammer (kg)	10500
Number of blows per minutes	39 to 60
Energy output per blow (max) kg-m	12825
Explosion pressure on pile (lbs)	191

### 3.7. Catatan Pemancangan Tiang (Pile Driving Record)

Dalam suatu proyek kecil maupun besar, informasi tentang pemancangan tiang harus dikerjakan dengan baik. Informasi yang diperlukan antara lain:

- a. Ukuran tiang, lokasi tiang dalam kelompok tiang dan lokasi kelompoknya.
- b. Urutan pemancangan dalam kelompok.
- c. Elevasi akhir dari dasar dan kepala tiang.
- d. Tipe dan energi, peralatan pancang lain termasuk penyemprot air (water jet), bantalan (cushion), penutup tiang dan lain – lain.

- e. Jumlah pukulan per satuan panjang untuk seluruh panjang tiang, dan set untuk 10 pukulan terakhir.
- f. Pemeriksaan kevertikalan posisi tiang.

### 3.8. Pembebanan

Dalam merencanakan beban untuk pembangunan Jembatan *Overpass* diharuskan memperhatikan penggunaan beban-beban yang diizinkan dalam perencanaan.

Dalam buku pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Jembatan yaitu SNI 1725:2016.

#### 3.8.1 Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstructural yang dianggap tetap (SNI 1725:2016). Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.11.

**Tabel 3. 11** Faktor Pembebanan Untuk Berat Sendiri (SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

### 3.8.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan ialah berat dari total beban yang menjadi beban pada jembatan, dan merupakan elemen nonstructural yang besarnya tergantung pada umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 3.12 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini dapat dilakukan jika pihak instansi melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan agar tidak melebihi umur jembatan.

**Tabel 3. 12** Faktor Pembebanan Untuk Beban Mati Tambahan (SNI 1725:2016).

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

### 3.8.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas pada desain jembatan meliputi beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja melintasi lebar jalur dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang terletak di beberapa tempat dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas yang disediakan (SNI 1725:2016).

### 3.9.3.1. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” merupakan kombinasi beban terbagi rata (BTR) dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.13, koefisien digunakan untuk beban truk “D”.

**Tabel 3. 13** faktor beban untuk beban lajur “D” (SNI 172 5:2016)

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{\gamma D}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{S\gamma D}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{u\gamma D}$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  yaitu seperti berikut :

$$\text{Jika } L \leq 30\text{m, } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (\text{Pers 3.5})$$

$$\text{Jika } L > 30\text{m, } q = 9,0 (0,5 + 15/1) \text{ kPa} \quad (\text{Pers 3.6})$$

Keterangan :

$q$  = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

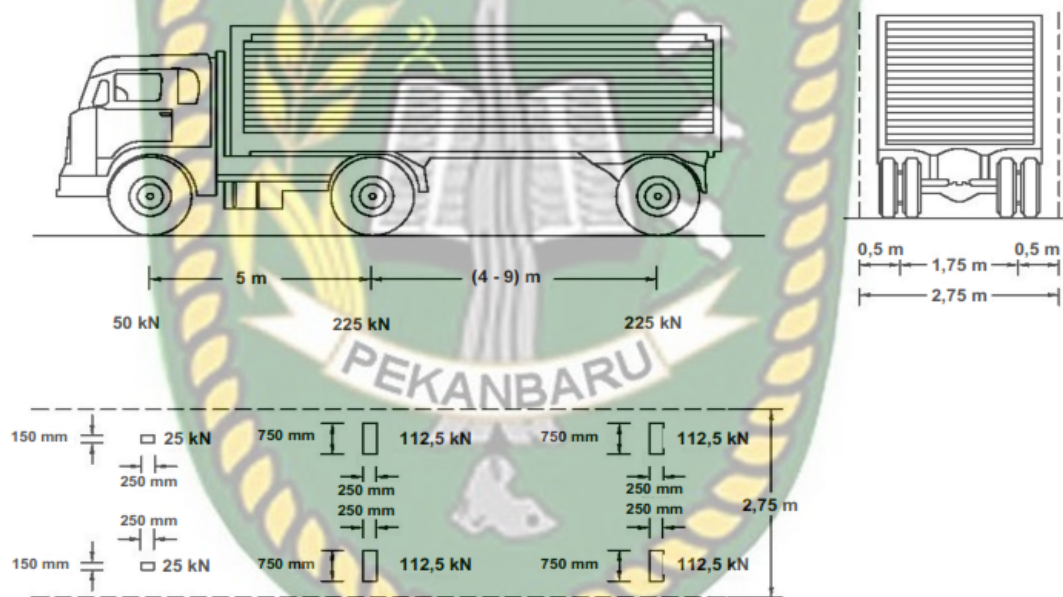
### 3.9.3.2. Beban truk “T” (TT)

Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 3.14.

**Tabel 3. 14** Faktor beban untuk beban “T” (SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^{S_{TT}}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^{U_{TT}}$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Books Girder Baja	1,00	2,00

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti pada Gambar 3.7.

**Gambar 3. 7** Pembebanan Truk “T” 500 kN

(Sumber: SNI 1725:2016)

Berat masing-masing gandar didistribusikan diatas dua beban yang sama, yang merupakan bidang kontak antara roda dan tanah. Efek maksimum dapat dicapai dalam arah vertikal kaki dengan memvariasikan jarak antara kedua sumbu dari 4,0 hingga 9,0 m.

### 3.9.3.3. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

25 % dari berat gandar truk desain atau;

5 % dari berat truk rencana beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem harus ditempatkan di semua lajur rencana termasuk kendaraan yang melaju dalam arah yang sama. Dengan asumsi bahwa gaya ini bekerja dalam arah vertikal dan horizontal dengan jarak 180 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan selanjutnya yang berubah hanya dalam satu arah, semua lajur rencana harus dibebani secara bersamaan saat menghitung besarnya gaya rem.

### 3.9.3.4. Pembebanan Pejalan Kaki (TP)

Setiap komponen trotoar yang melebihi 600 mm harus dirancang untuk menahan beban pejalan kaki sebesar 5 kPa dan harus dipertimbangkan untuk beroperasi secara simultan dengan beban kendaraan per lajur. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika jalur lalu lintas di masa depan kemungkinan akan berubah kendaraan yang sebenarnya harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi bagian dalam parapet. Dalam hal ini, tidak perlu mempertimbangkan faktor beban dinamis.

### 3.9.3.5. Beban Fatik

Beban fatik merupakan satu beban truk dengan tiga gandar dimana jarak gandar tengah dan gandar belakang merupakan jarak yang konstan sebesar 5000 mm. Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspense kendaraan, biasanya antara 2 Hz untuk kendaraan berat , dan frekuensi dan getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

### 3.8.4 Pengaruh Dari Prategang (PR)

Prategang memiliki efek yang merugikan pada bagian yang ditekan dalam struktur statis yang tidak ditentukan. Efek samping ini harus dipertimbangkan dalam hal pemeliharaan atau batas ultimit.

**Tabel 3. 15** Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang (SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor Beban	
	Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Tetap	1,0	1,0

Pengaruh dari prategang ialah sebagai berikut :

- Pada batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja pada sistem pembebanan elemen. Nilai desain dari beban prategang tersebut harus dihitung menggunakan faktor beban daya layan yang mudah digunakan sebesar 1,0.
- Pada batas ultimit, maka pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja.

### 3.8.5 Beban Angin

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata diatas permukaan yang terkena angin, dan area yang perlu dipertimbangkan adalah luas semua komponen, termasuk sistem lantai dan pagar, yang diambil tegak lurus terhadap arah angina. Arah ini harus diubah untuk memiliki efek yang paling merugikan pada struktur atau komponen jembatan. Area yang tidak berkontribusi bisa dikeluarkan dari rencana.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 1000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , harus dihitung menurut rumus :

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \quad (\text{Pers 3.7})$$

Dimana :

$V_{DZ}$  : adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana,  $Z$  (km/jam)

$V_{10}$  : adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  : adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan Pasal 9.6.2.

$Z$  : adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000 \text{ mm}$ )

$V_o$  : adalah kecepatan gesekan angina, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_o$  : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 28 (mm)

$V_{10}$  diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angina dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survey angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90 \text{ s/d } 126 \text{ km/jam}$ .

**Tabel 3. 16** Nilai  $V_o$  dan  $Z_o$  Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu (SNI 1725:2016)

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_o$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_o$ (mm)	70	1000	2500

### 3.9.5.1. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (\text{Pers 3.8})$$

Keterangan:

$P_B$  adalah beban angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 3.17 berikut ini (MPa)

**Tabel 3. 17** Tekanan Angin Dasar (SNI 1725:2016)

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (Mpa)	Angin Hisap (Mpa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 Kn/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

### 3.9.5.2. Beban angin pada kendaraan ( $EW_i$ )

Tekanan angin rencana diasumsikan bekerja pada struktur jembatan dan kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus dirancang untuk menahan gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus dirancang sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas

permukaan jalan. Kecuali ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam tabel 3.18 dimana arah sudut ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 3. 18** Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan (SNI 1725:2016)

<b>Sudut Derajat</b>	<b>Komponen Tegak Lurus N/mm</b>	<b>Komponen Sejajar N/mm</b>
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

### 3.9. Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang

Kuat dukung pondasi tiang pancang adalah kemampuan tiang pancang untuk meneruskan beban yang bekerja terhadap lapisan tanah (Hardiyatmo, 1992).

Dalam menentukan kuat dukung tiang diperlukan klasifikasi tiang dalam mendukung beban yang bekerja.

#### 3.9.1 Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Menurut Rumus Dinamis

Perhitungan kuat dukung ultimit tiang secara dinamis didasarkan pada persamaan dinamis tiang pancang dinamis. Rumus ini hanya berlaku untuk tiang tunggal dan tidak memperhitungkan faktor-faktor berikut:

- Kelakuan tanah yang terletak dibawah dasar kelompok tiang dalam mendukung beban struktur.
- Reduksi tahanan gesek sisi tiang sebagai akibat pengaruh kelompok tiang.
- Perubahan struktur tanah akibat pemancangan.

Oleh karena itu, data hasil pengujian hanya digunakan sebagai salah satu informasi perancangan tiang, dan kondisi lain harus diperhitungkan agar hasilnya lebih meyakinkan.

Pada tanah berpasir tak jenuh, pemancangan tiang meningkatkan tekanan air pori yang tinggi, sehingga tahanan gesek tanah tereduksi. Akibatnya, kuat dukung tiang berkurang dibandingkan dengan kondisi beban statis.

Pada tanah yang plastis, contohnya lempung lunak atau lanau halus, hubungan antara tahanan tiang sementara (selama proses pemancangan) dan tahanan tiang permanen akibat beban yang diterapkan tidak menentu. Ketahanan gesek tiang saat proses pemancangan jauh lebih rendah daripada ketahanan gesek sesudah waktu yang lama. Namun, tahanan tiang terhadap pukulan dinamik jauh lebih besar daripada tahanan beban statis yang diterapkan pada periode waktu yang lama. Hal ini dapat mengakibatkan kesalahan dalam menggunakan rumus tiang pancang pada tanah – tanah yang bersifat plastis.

### 3.9.2 Menghitung Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal Dengan Data Kalendering:

1. Metode *Engineering News Record* (ENR)

$$Q_u = \frac{eh.W_r.h(W_r+n^2.W_p)}{s+0,25(W_r+W_p)} \quad (\text{Pers 3.9})$$

Dimana :

$Q_u$  = kapasitas tiang ultimit (kN)

$eh$  = efisiensi hammer

$W_r$  = berat hammer (kN)

$W_p$  = berat tiang pancang (kN)

$h$  = tinggi jatuh hammer (m)

$n$  = koefisien restitusi

$s$  = penetrasi tiang pancang 10 pukulan terakhir (m)

SF = 3 – 6

Nilai efisiensi hammer pemukul ( $e_h$ ) bergantung pada kondisi pemukul dan block penutup (*capblock*) dan kondisi tanah (khususnya untuk pemukul tenaga uap). Jika belum ada data yang tepat, nilai-nilai  $e_h$  dalam Tabel 3.19 dapat dipakai sebagai acuan.

**Tabel 3. 19** Nilai-nilai efisiensi hammer  $e_h$  (Hardiyatmo, 2015)

Tipe pemukul (Hammer)	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 ganda ( <i>double acting hammer</i> )	0,85
Pemukul diesel ( <i>diesel hammer</i> )	0,85 – 1

Nilai-nilai koefisien restitusi  $n$  ditunjukkan dalam Tabel 3.20, dimana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblock* dan bantalan kepala tiang.

**Tabel 3. 20** Koefisien Restitusi  $n$  (ASCE,1941 dalam Hardiyatmo 2015)

Material	N
Broomed wood	0
Tiang kayu (ujung tidak rusak)	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang baja	0,32
Bantalan kayu padat diatas tiang baja	0,40
Landasan baja pada baja ( <i>steel on steel anvil</i> ), pada tiang baja atau beton	0,50
Pemukul besi cor pada tiang beton tanpa penutup ( <i>cap</i> )	0,40

## 2. Metode *Eytelwein*

Rumus yang disarankan oleh metode *Eytelwein* adalah sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{eh \cdot Eh}{s + 0,1 \left(\frac{W_r}{W_p}\right)} \quad (\text{Pers 3.10})$$

Dimana :

$Q_u$  = kapasitas tiang ultimit (kN)

$eh$  = efisiensi hammer

$W_r$  = berat hammer (kN)

$h$  = tinggi jatuh hammer (m)

$s$  = penetrasi tiang pancang 10 pukulan terakhir (m)

SF = 1 – 3

## 3. Formula *Gates*

$$Q_u = \alpha \sqrt{eh \cdot Eh} (b - \log s) \quad (\text{Per 3.11})$$

Dimana :

$Q_u$  = kapasitas tiang ultimit (kN)

$eh$  = efisiensi hammer

$Eh$  = energi palu (kN)

$s$  = penetrasi tiang pancang 10 pukulan terakhir (m)

SF = 1 – 3

$a$  = 27

$b$  = 1

### 3.10. Kuat Dukung Pondasi Metode Elemen Hingga

Plaxis adalah program berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk aplikasi geoteknik yang mensimulasikan perilaku tanah. Dasar teori yang digunakan : teori deformasi, teori aliran air tanah, teori konsolidasi, teori elemen hingga yang sesuai dengan geoteknik. Sedangkan metode numeric yang menjadi dasar pemrograman Plaxis, adalah integrasi numerik elemen – elemen garis dan integrasi numerik elemen – elemen berbentuk segitiga. Keakuratan hasil (*output*) yang diperoleh dari Plaxis tergantung pada keahlian pengguna dalam memodelkan masalah, memahami model, menentukan parameter yang akan digunakan, dan menginterpretasi hasil analisis yang akan dibandingkan. Program Plaxis memiliki beberapa jenis model tanah, antara lain model tanah Mohr – Coulomb dan Model tanah lunak (*Soft Soil*) (Darma, 2015).

Kuat dukung adalah kemampuan tanah untuk menopang beban permukaan tanah atau kedalaman dibawah permukaan, seperti pada pondasi tiang pancang. Metode analisis kuat dukung pondasi tiang pancang pada metode elemen hingga analisis aksisimetri 2D ialah nilai *phi reduction* dikali dengan beban aksial yang bekerja yaitu dengan persamaan (Wahyudi, 2015).

$$Q_{ult} = \Sigma M_{sf} \times Q \quad (\text{Pers 3.12})$$

Keterangan :

$\Sigma M_{sf}$  = Nilai *phi reduction*

Q = Beban aksial (kN)

#### 3.10.1 Pemodelan Pada Program Plaxis

Dalam menggunakan program plaxis, pengguna harus mengetahui terlebih dahulu konsep pemodelan yang akan dipilih. Sebelum melakukan secara numerik, maka terlebih dahulu model dari pondasi yang akan dianalisis.

### 3.10.2 Pemodelan Tanah Mohr-Coulomb

Pemodelan Mohr-Coloumb mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna (*linear elastic perfect plastic model*), dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas dimanapada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Input parameter meliputi tujuh parameter antara lain Sudut Geser Dalam, Poisson Ratio, Modulus Young, Kohesi, Permeabilitas, Berat Isi Tanah.

### 3.11. Faktor Aman Pondasi Tiang

Untuk menentukan kapasitas izin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini harus ditentukan dengan tujuan berikut ini (Hardiyatmo, 2008) :

1. Untuk menghindari ketidakpastian dalam metode perhitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
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 meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang – tiang masih dalam batas – batas toleransi.

Sehubungan dengan alasan butir 4 diatas, berdasarkan hasil banyak pengujian–pengujian beban tiang (tiang pancang maupun tiang bor ukuran kecil hingga sedang (600 mm)), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977).

Reese dan O'Neill (1989) memberikan nilai faktor aman pada Tabel 3.21, yang dipertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut (Hardiyatmo, 2008) :

1. Tipe dan kepentingan 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/control kuantitas lapangan.
7. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Faktor aman (Sf) dalam tinjauan kapasitas ultimit sebagai berikut :

$$SF = \frac{Q_{ult}}{P} \quad (\text{Pers 3.13})$$

Keterangan :

Qult = Kuat dukung ultimit

P = Beban Pondasi Total

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1. Lokasi Penelitian

Lokasi dari objek penelitian ini adalah Jembatan *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru–Dumai Seksi 4 yang berada di Kandis Utara – Duri Selatan dengan tipe Jembatan Prestress. Peta lokasi Jembatan *Overpass* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4. 1** Lokasi Penelitian Jembatan *Overpass* STA 58+250 (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)

### 4.2. Lokasi titik *Pile Driving Analyzer (PDA) Test*

PDA Test adalah uji pembebanan yang dilakukan setelah umur pemancangan 5 hari. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya kuat dukung ultimit tiang pancang tunggal yang dilakukan dilapangan. Adapun uji PDA yang dilakukan pada Jembatan *Overpass* Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4 dilakukan di dua titik yaitu tiang nomor P1-07 dan tiang P1-25 karena untuk pemilihan tiang berdasarkan

konfigurasi tiang pancang yang berpengaruh kepada kedalaman seperti pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Titik Uji Pile Driving Analyzer (PDA) Test (PT.Hutama Karya Infrastruktur, 2018)

#### 4.3. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini hal terpenting yang berhubungan dengan data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Analisa literature yaitu studi yang diperoleh dengan mempelajari atau menganalisa bahan yang sudah ada misalnya : buku – buku, jurnal, artikel – artikel. Adapun buku yang diambil dalam penelitian ini diantaranya Buku Teknik Pondasi dan buku – buku yang berhubungan dengan penelitian ini.
2. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung (didapat dari penelitian lain) atau didapatkan dari Kontraktor berupa gambar *as build drawing*,

terutama gambar detail struktur Jembatan *Overpass* Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai Seksi 4.

#### 4.4. Data Umum Proyek

Adapun data umum Proyek Pembangunan Jembatan *Overpass* Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4 adalah sebagai berikut:

1. Nama proyek : Pembangunan Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai seksi 4
2. Fungsi bangunan : Jembatan *Overpass*
3. Tipe *Overpass* : Beton Prategang
4. Panjang *Overpass* : 86,2 m
5. Lebar *Overpass* : 9,00 m
6. Jumlah *Abutment* : 2
7. Jumlah Pilar : 2
8. Lokasi proyek : Kandis Utara – Duri Selatan
9. Pemilik proyek : Kementerian Pekerjaan Umum
10. Kontraktor : PT.Hutama Karya Infrastruktur
11. Status : Proyek Pemerintah
12. Tipe hammer : Diesel Hammer K-45

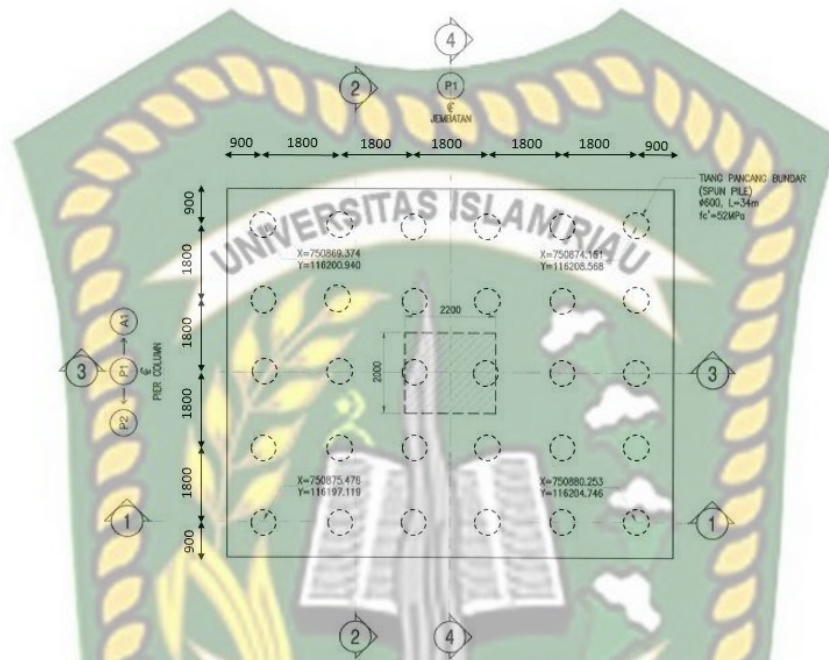
#### 4.5. Data Teknis Tiang Pancang

Dalam proyek ini digunakan pondasi tiang pancang dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Jenis pondasi : Pondasi Tiang Pancang
2. Nomor tiang : P1-07 dan P1-25
3. Diameter tiang pancang :  $\emptyset 60$  cm
4. Panjang tiang pancang : 34 m

5. Mutu Beton  $F_c'$  : 49,8 MPa
6. Jumlah tiang pancang : 30 tiang

Untuk denah pondasi tiang pancang (*Spun Pile*) dapat dilihat pada Gambar 4.3



**Gambar 4. 3** Denah Pondasi (PT.Hutama Karya Infrastruktur, 2018)

#### 4.6. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini, ada beberapa langkah tahapan pelaksanaan untuk mencapai tujuan penelitian ini antara lain :

##### 1. Persiapan

Pada tahap persiapan ini peneliti melakukan beberapa persiapan yaitu mempersiapkan surat – surat administrasi, buku referensi dasar dan membaca beberapa tugas akhir dari penelitian sebelumnya sebagai gambaran dan arahan pada peneliti pondasi tiang pancang.

##### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data – data penyelidikan tanah dari proyek tersebut yang terkait dengan penelitian yang sedang dikerjakan. Data – data tersebut antara lain :

data *Standar Penetration Test*, data *kalendering*, data *Pile Driving Analyzer* dan data gambar struktur bangunan.

### 3. Analisa Data

Analisa data yang dilakukan dalam penelitian ini apabila data yang dibutuhkan sudah mencukupi, maka dilakukan perhitungan pembebanan struktur jembatan yang bekerja pada *Pile Cap* dengan menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019, perhitungan kuat dukung pondasi tiang tunggal cara dinamis dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates*, perhitungan kuat dukung pondasi tiang tunggal menggunakan metode elemen hingga di Plaxis 2D V8.2.

### 4. Hasil dan pembahasan

Hasil dari kuat dukung pondasi tiang tunggal yang telah dianalisa, maka yang akan dilakukan ialah pembahasan terhadap apa yang ingin dicapai, dimana pada penulisan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisa beban yang bekerja, kuat dukung pondasi tiang tunggal, dan faktor aman. Hasil kuat dukung pondasi ini dibandingkan dengan hasil *PDA Test*.

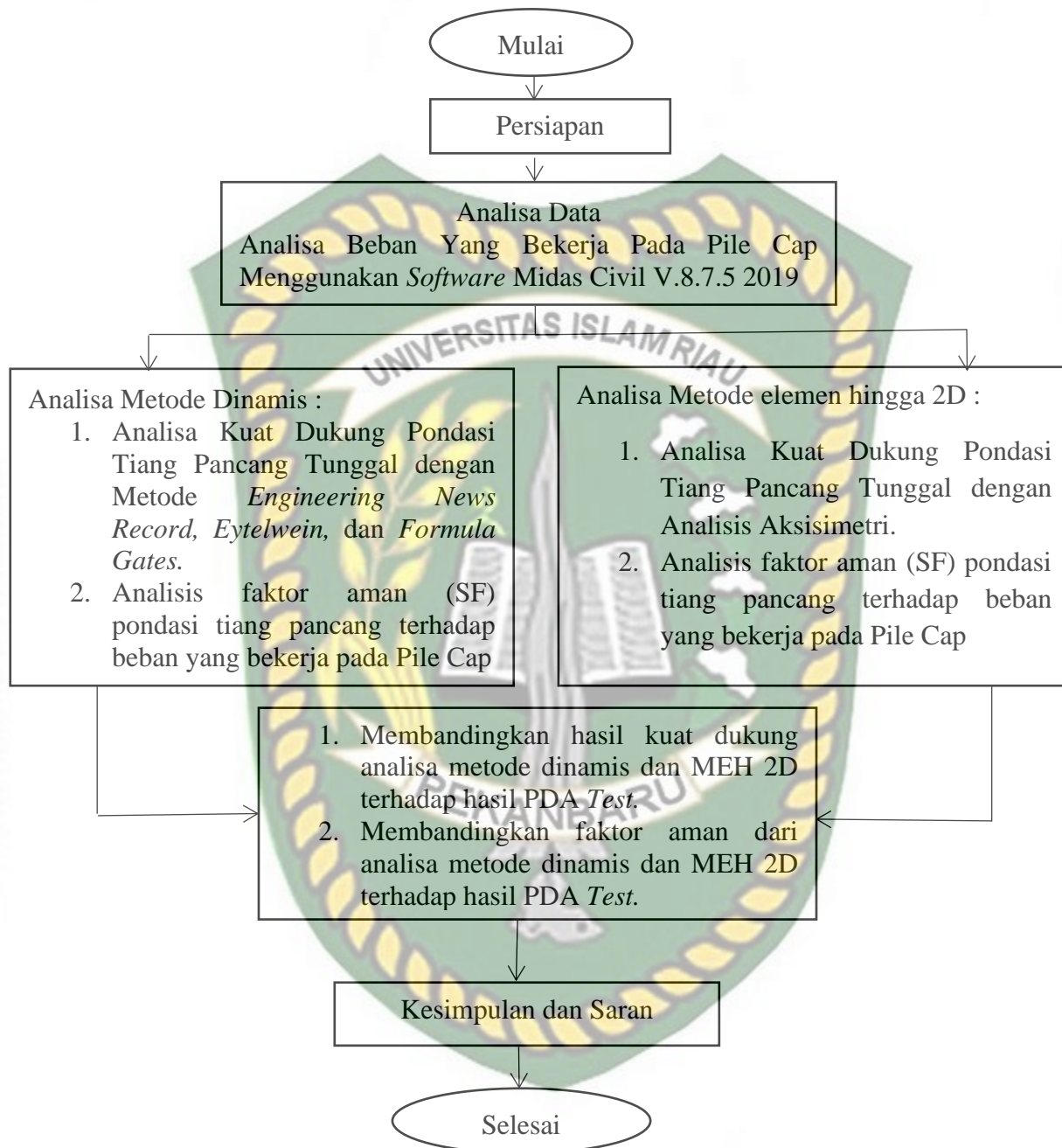
### 5. Kesimpulan dan saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini apakah kuat dukung pondasi aman terhadap beban yang bekerja pada pile cap.

Tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan tahapan dalam menganalisa data dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian



**Gambar 4. 5** Bagan Alir Analisa Data

#### 4.7. Cara Analisis Data

Cara analisis adalah tahapan pelaksanaan penelitian yang ingin dicapai pada sebuah penelitian, adapun cara analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan pembebanan yang bekerja yang didistribusikan ke pondasi dengan menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019. Beban – beban yang bekerja yaitu beban mati, beban hidup, beban lalu lintas, beban gempa dan beban angin berdasarkan pedoman SNI 1725:2016.
2. Perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, dan *Formula Gates*.
3. Perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan Metode Elemen Hingga 2D dengan model tanah Mohr-Coloumb dan model tiang *linear static* dengan analisis aksisimetri.
4. Membandingkan hasil kuat dukung analisa secara dinamis dan MEH 2D terhadap hasil PDA *Test*.
5. Membandingkan hasil faktor aman dari analisa secara dinamis dan MEH 2D terhadap hasil faktor aman *Pile Driving Analyzer (PDA) Test*.

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Deskripsi Umum

Struktur pondasi pada Jembatan *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru–Dumai Seksi 4 menggunakan pondasi tiang pancang berdiameter 60 cm. Penyelidikan tanah ialah menggunakan data uji *Standar Penetration Test*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pembebanan menggunakan *software* Midas Civil dan menghitung kuat dukung pondasi tiang tunggal lalu membandingkan dengan hasil Uji *Pile Driving Analyzer*.



**Gambar 5. 1** Denah *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)

### 5.2. Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Data *SPT*

Pengklasifikasian jenis tanah pada titik *SPT* untuk mengetahui jenis tanah, kedalaman tanah, tebal lapisan dan *N-SPT* tanah dalam perhitungan penentuan kuat dukung tiang pancang. Dapat dilihat pada tabel 5.1.

**Tabel 5. 1** Klasifikasi Jenis Tanah (PT. Utama Karya Infrastruktur, 2018)

<b>Koordinat Titik</b>	<b>Kedalaman (m)</b>	<b>Tebal lapisan (m)</b>	<b><i>N-SPT</i></b>	<b>Jenis Tanah</b>
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 Sedang
	6,00 – 8,00	2	20	Pasir Sedang
	8,00 – 10,00	2	17	Pasir Sedang
	10,00 – 12,00	2	8	Pasir Lepas
	12,00 – 14,00	2	17	Pasir Sedang
	14,00 – 16,00	2	20	Pasir Sedang
	16,00 – 18,00	2	21	Pasir Sedang
	18,00 – 20,00	2	22	Pasir Sedang
	20,00 – 22,00	2	18	Pasir Sedang
	22,00 – 24,00	2	23	Pasir Sedang
	24,00 – 26,00	2	17	Pasir Sedang
	26,00 – 28,00	2	14	Lempung Berlanau
	28,00 – 30,00	2	14	Lempung Berlanau
	30,00 – 32,00	2	16	Lempung Berlanau
	32,00 – 34,00	2	25	Lempung Berlanau
	34,00 – 36,00	2	30	Lempung Berlanau
	36,00 – 38,00	2	35	Lempung Berlanau
	38,00 – 40,00	2	37	Lempung Berlanau
40,00 – 42,0	2	40	Pasir Padat	
42,00 – 45,00	2	45	Pasir Padat	

### 5.3. Data Kalendering

Uji kalendering dilakukan untuk menentukan kuat dukung pondasi yang pelaksanaannya dilakukan bersamaan dengan waktu pemancangan. Berikut ini data kalendering untuk tiang P1-07 dan tiang P1-25 :

**Tabel 5. 2** Data Kalendering (PT. Utama Karya Infrastruktur, 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)
P1	07	23 – 8 – 2018	34	2,5	33,5	2,3 (10 pukulan terakhir)
	25	21 – 8 – 2018	34	2,5	33,5	2,5 (10 pukulan terakhir)

### 5.4. Uji *Pile Driving Analyzer*

*PDA Test* adalah uji pembebanan yang pelaksanaannya dilakukan setelah umur pemancangan 5 hari. Hasil analisa dari CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) pada Pile No.P1-07 dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil total kapasitas daya dukung sebesar  $Q_u = 2696,84$  kN , hasil pembagian tahanan friksi sebesar  $Q_s = 1873,08$  kN, dan tahanan ujung sebesar  $Q_p = 823,76$  kN. Untuk pile No.P1-25 hasil dari CAPWAP menunjukkan total kapasitas daya dukung sbesar  $Q_u = 2726,26$  kN, hasil pembagian tahanan friksi  $Q_s = 1892,69$  kN, dan hasil tahanan ujung  $Q_p = 833,57$  kN.

**Tabel 5. 3** Hasil Uji PDA dengan Progam CAPWAP (PT. Utama Karya Infrastruktur. 2018)

Pile No.	CAPWAP		
	Kapasitas Dukung Total (Qu) (kN)	Kapasitas Dukung Selimut (Qs) (kN)	Kapasitas Dukung Ujung (Qp) (kN)
P1 – 07	2696,84	1873,08	823,76
P1 – 25	2726,26	1892,69	833,57

#### 5.5. Hasil Analisa Beban Yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang Tunggal Menggunakan *Software* Midas Civil V.8.7.5 2019

Hasil analisa beban yang dilakukan pada *software* Midas Civil V.8.7.5 2019 ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.5. Pemodelan jembatan dianalisa menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019 merupakan tipe Jembatan Beton Prategang dengan analisis Frame.

Dalam menentukan output pada Midas Civil V.8.7.5 2019 diperlukan kombinasi pembebanan seperti pada Tabel 5.4 . Kombinasi pembebanan dikelompokkan menjadi satu untuk melihat besarnya beban maksimum yang bekerja pada *Pier 1*, pengelompokkan kombinasi tersebut diistilahkan dengan ENVELOPE.

**Tabel 5. 4** Kombinasi Beban Pada Jembatan (SNI 1725:2016)

KOMBINASI	Beban Mati (Sendiri)		Beban Mati Tambahkan	PR Pretegang	TT Truk	TB Rem	TP Pejalan Kaki	TD Lajur	EQ Gempa	EW (Angin)	
	Beton PRA	Beton Cor								EWS Struktur	EWL Kendaraan
Kuat I	1,2	1,3	2	0,5	1,4	1,8	1,8	1,8	-	-	-
Kuat II	1,2	1,3	2	0,5	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-
Kuat III	1,2	1,3	2	0,5	-	-	-	-	-	1,4	-
Kuat IV	1,2	1,3	2	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Kuat V	1,2	1,3	2	0,5	-	-	-	-	-	0,4	1
Ekstrem I	1,2	1,3	2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	1	-	-
Ekstrem II	1,2	1,3	2	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Layan I	1	1	1	1	1	1	1	1	-	0,3	1
Layan II	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	-	-	-
Layan III	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	-	-	-
Layan IV	1	1	1	1	-	-	-	-	-	0,7	-
Fatik	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-



**Tabel 5. 5** Hasil Analisa Beban Pada Pier 1

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)
314	ENVELOPE(all)	-1656,42	-24,24	2164,13	15,04	-7383,96
316	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	1968,80	0,00	0,00
318	ENVELOPE(all)	-1566,56	-7,26	2210,65	4,59	-7428,35
320	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	2342,52	0,00	0,00
322	ENVELOPE(all)	-1498,14	-7,18	2210,76	4,65	-7384,77
324	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	2407,56	0,00	0,00
326	ENVELOPE(all)	-1438,97	-15,40	2164,88	10,09	-7254,50
328	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	1984,02	0,00	0,00
332	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	1968,70	0,00	0,00
335	ENVELOPE(all)	1655,21	-24,21	2164,30	15,02	7384,63
338	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	2342,11	0,00	0,00
341	ENVELOPE(all)	1566,27	-7,23	2210,82	4,57	7429,48
344	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	2410,52	0,00	0,00
347	ENVELOPE(all)	1498,23	-7,15	2210,93	4,63	7386,35
350	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	1984,61	0,00	0,00
353	ENVELOPE(all)	1439,99	-15,37	2165,05	10,07	7256,53
390	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	9750,09	0,00	0,00
391	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	36672,60	0,00	0,00
392	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	36714,86	0,00	0,00
393	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	9741,22	0,00	0,00
394	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	9750,20	0,00	0,00
395	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	36676,98	0,00	0,00
396	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	36718,42	0,00	0,00
397	ENVELOPE(all)	0,00	0,00	9741,55	0,00	0,00
<b>572</b>	<b>ENVELOPE(all)</b>	<b>-3672,51</b>	<b>-152,25</b>	<b>-60939,82</b>	<b>756,68</b>	<b>-12326,78</b>
574	ENVELOPE(all)	3672,91	-144,25	-60944,89	716,95	12327,86

Dari hasil Tabel 5.5 total gaya-gaya yang bekerja pada node disetiap tumpuan. Untuk analisa pembebanan pada penelitian ini khusus di Pier 1 (P1) yakni pada node 572 dengan nilai  $F_z = 60939,82$  kN,  $M_x = 756,68$  kNm dan  $M_y = 12326,78$  kNm.

## 5.6. Hasil Distribusi Beban

Dari hasil perhitungan beban dengan menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019 pada Pilar 1 didapat nilai total beban pada pile cap berikut ini:

$$F_z = 60939,82 \text{ kN}$$

$$M_y = 12326,78 \text{ kNm}$$

$$M_x = 756,68 \text{ kNm}$$

Maka dilakukan distribusi beban untuk mengetahui besar beban yang diterima masing-masing tiang. Hasil distribusi beban pada tabel 5.6 berikut ini :

**Tabel 5. 6 Hasil Distribusi Beban**

No Tiang	Koordinat		X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	V/n	Mx.Y/Jumlah Y <sup>2</sup>	My.X/Jumlah X <sup>2</sup>	P
	X	Y	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	-4,5	3,6	20,25	12,96	2031,33	13,90	-195,66	1849,57
2	-2,7	3,6	7,29	12,96	2031,33	13,90	-117,40	1927,83
3	-0,9	3,6	0,81	12,96	2031,33	13,90	-39,13	2006,10
4	0,9	3,6	0,81	12,96	2031,33	13,90	39,13	2084,36
5	2,7	3,6	7,29	12,96	2031,33	13,90	117,40	2162,63
6	4,5	3,6	20,25	12,96	2031,33	13,90	195,66	2240,89
7	<b>-4,5</b>	<b>1,8</b>	<b>20,25</b>	<b>3,24</b>	<b>2031,33</b>	<b>6,95</b>	<b>-195,66</b>	<b>1842,61</b>
8	-2,7	1,8	7,29	3,24	2031,33	6,95	-117,40	1920,88
9	-0,9	1,8	0,81	3,24	2031,33	6,95	-39,13	1999,15
10	0,9	1,8	0,81	3,24	2031,33	6,95	39,13	2077,41
11	2,7	1,8	7,29	3,24	2031,33	6,95	117,40	2155,68
12	4,5	1,8	20,25	3,24	2031,33	6,95	195,66	2233,94
13	-4,5	0	20,25	0	2031,33	0,00	-195,66	1835,66
14	-2,7	0	7,29	0	2031,33	0,00	-117,40	1913,93
15	-0,9	0	0,81	0	2031,33	0,00	-39,13	1992,19
16	0,9	0	0,81	0	2031,33	0,00	39,13	2070,46
17	2,7	0	7,29	0	2031,33	0,00	117,40	2148,73
18	4,5	0	20,25	0	2031,33	0,00	195,66	2226,99
19	-4,5	-1,8	20,25	3,24	2031,33	-6,95	-195,66	1828,71
20	-2,7	-1,8	7,29	3,24	2031,33	-6,95	-117,40	1906,98

21	-0,9	-1,8	0,81	3,24	2031,33	-6,95	-39,13	1985,24
22	0,9	-1,8	0,81	3,24	2031,33	-6,95	39,13	2063,51
23	2,7	-1,8	7,29	3,24	2031,33	-6,95	117,40	2141,77
24	4,5	-1,8	20,25	3,24	2031,33	-6,95	195,66	2220,04
<b>25</b>	<b>-4,5</b>	<b>-3,6</b>	<b>20,25</b>	<b>12,96</b>	<b>2031,33</b>	<b>-13,90</b>	<b>-195,66</b>	<b>1821,76</b>
26	-2,7	-3,6	7,29	12,96	2031,33	-13,90	-117,40	1900,03
27	-0,9	-3,6	0,81	12,96	2031,33	-13,90	-39,13	1978,29
28	0,9	3,6	0,81	12,96	2031,33	13,90	39,13	2084,36
29	2,7	3,6	7,29	12,96	2031,33	13,90	117,40	2162,63
30	4,5	3,6	20,25	12,96	2031,33	13,90	195,66	2240,89

Dari hasil tabel 5.6 untuk distribusi pembebanan makan didapat beban terhadap tiang P1-07 sebesar 1842,61 kN dan untuk beban terhadap tiang P1-25 sebesar 1821,76 kN.

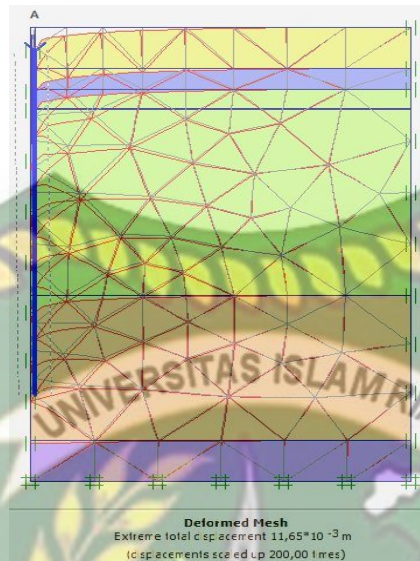
#### 5.7. Hasil Parameter Tanah Input Plaxis V.8.2

Hasil analisa parameter tanah yang dipakai pada Plaxis 2D V.8.2 seperti tabel 5.7. Untuk penjelasan tentang parameter tanah yang dipakai dalam analisa *software* Plaxis 2D V8.2 dapat dilihat pada Lampiran A-1.

Tabel 5. 7 Hasil Parameter Tanah Untuk Input Plaxis 2D V.8.2

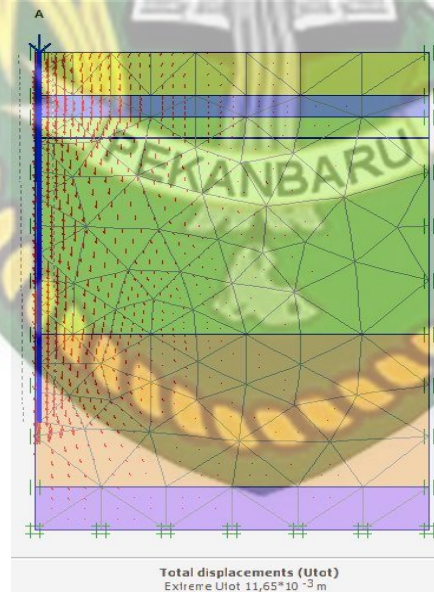
Jenis Tanah	Kepadatan	Parameter Tanah								
		Berat Isi Tanah Jenuh Air $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Berat Isi Tanah Kering $\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson Ratio ( $\mu$ )	Modulus Elastisitas (E)	Permeabilitas Arah X (kx) (m/day)	Permeabilitas Arah Y (ky) (m/day)	Sudut Geser Dalam ( $\Phi$ )	Kohesi (c)	Sudut Dilatasi ( $\psi$ )
Lempung Berpasir	Sedang	17,0	15,8	0,3	30000	0,000864	0,000864	25	25	0
Pasir	Lepas	18,9	14,3	0,3	10000	8,64	8,64	30	0	0
	Padat	20,9	17,5	0,3	20000	8,64	8,64	40	0	10
Lempung Berlanau	Sedang	15,8	14,5	0,3	30000	0,000864	0,000864	30	50	0
Pasir	Padat	20,9	17,5	0,3	20000	8,64	8,64	40	0	10

Berikut adalah output *Deformation Mesh* dari PLAXIS 2D V.8.2 untuk Pondasi tiang P1-07 sebesar 11,65 mm.



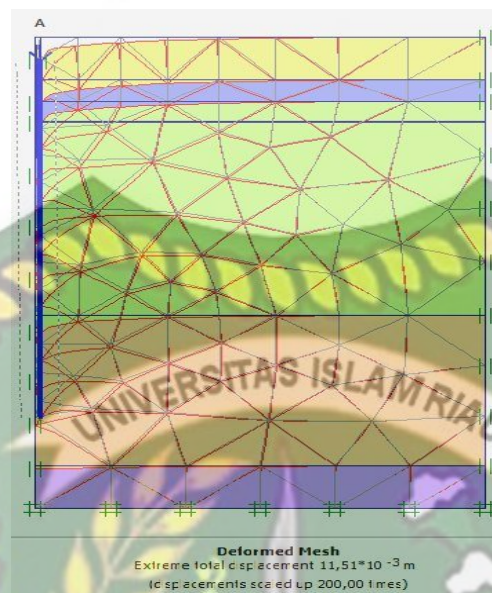
**Gambar 5. 3** Hasil Deformasi Tanah untuk tiang P1-07

Output *Displacement* dari PLAXIS 2D V.8.2 untuk pondasi tiang P1-07 sebesar 11,65 mm.



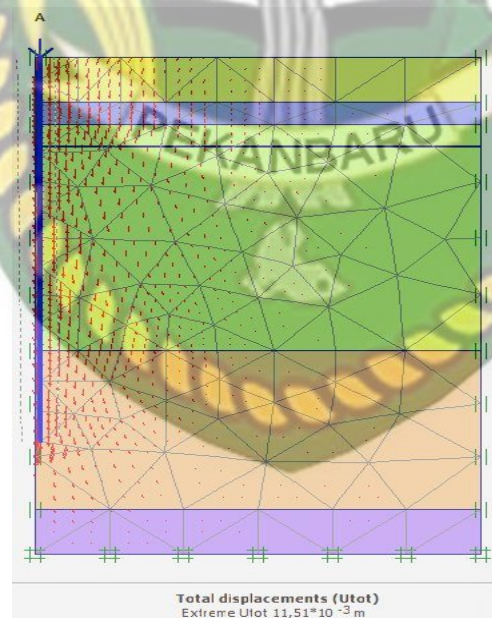
**Gambar 5. 4** Hasil *Displacement* untuk tiang P1-07

Berikut adalah output *Deformation Mesh* dari PLAXIS 2D V.8.2 untuk Pondasi tiang P1-25 sebesar 11,51 mm.



**Gambar 5. 5** Hasil Deformasi Tanah untuk tiang P1-25

Output *Displacement* dari PLAXIS 2D V.8.2 untuk pondasi tiang P1-25 sebesar 11,51 mm.



**Gambar 5. 6** Hasil *Displacement* untuk tiang P1-25

### 5.8. Hasil Analisa Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal

Hasil analisa kuat dukung pondasi tiang pancang tunggal dengan cara Dinamis dan Metode Elemen Hingga pada P1-07 dan P1-25 pada Tabel 5.8 berikut ini:

**Tabel 5. 8** Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal

Titik Pondasi	Kuat Dukung Pondasi (kN)				
	Metode Dinamis			Metode Elemen Hingga 2D (kN)	PDA Test (kN)
	Engineering News Record (kN)	Eytelwein (kN)	Formula Gates (Kn)		
P1 – 07	7482,51	4875,16	4595,08	4899,68	2696,84
P1 – 25	7476,58	4872,98	4549,35	4867,19	2726,26

Dari hasil Tabel 5.8 dapat dilihat uraian perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang secara dinamis pada Lampiran A-33. Kuat dukung ultimit pondasi tiang P1 – 07 dan P1 – 25 pada *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru-dumai Seksi 4 sebagai berikut :

1. Cara Dinamis

Analisa kuat dukung pondasi tiang pancang P1-07 dan P1-25 dengan menggunakan metode *Engineering News Record* didapat P1-07 sebesar 7482,51 kN dan P1-25 sebesar 7476,58 kN, metode *Eytelwein* didapat P1-07 sebesar 4875,16 kN dan P1-25 sebesar 4872,98 kN, *Formula Gates* didapat P1-07 sebesar 4595,08 kN dan P1-25 sebesar 4549,35 kN.

2. Metode Elemen Hingga 2D

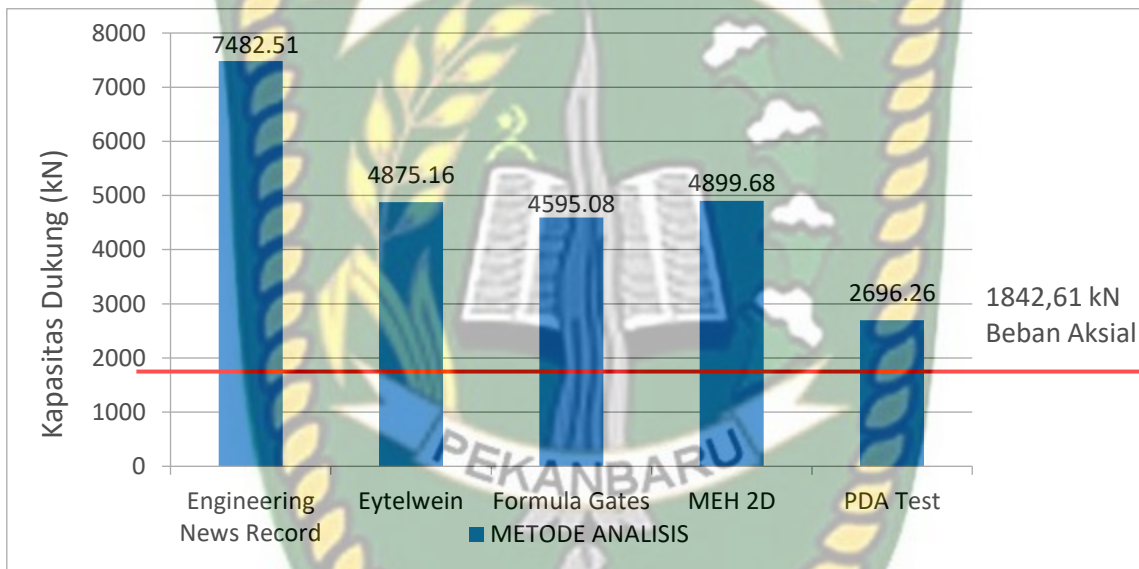
Analisa kuat dukung pondasi tiang pancang P1-07 dan P1-25 dari metode elemen hingga 2D dengan model tanah Mohr-Coloumb dan model tiang

*Linear Static* dengan analisis *Axisymmetry* didapat kuat dukung P1-07 sebesar 4899,84 kN dan P1-25 sebesar 4867,19 kN.

### 3. PDA Test

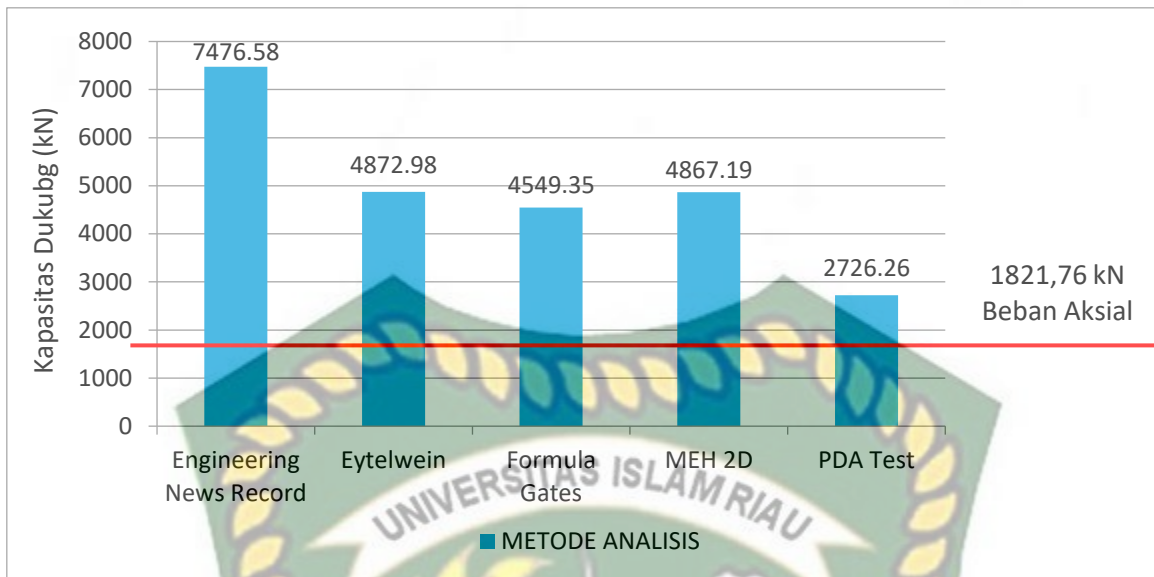
Analisa kuat dukung pondasi tiang P1-07 dan P1-25 dari hasil PDA Test didapatkan kuat dukung P1-07 sebesar 2696,84 kN dan P1-25 sebesar 2726,26 kN.

Berdasarkan hasil tabel 5.8 dapat dilihat dari 4 metode analisis hasil kuat dukung pondasi yang mendekati dengan kuat dukung hasil PDA Test adalah Formula Gates. Berikut ini disajikan dalam bentuk grafik hasil analisa kuat dukung pondasi ( $Q_u$ ) pondasi tiang pancang tunggal seperti pada gambar 5.3 dan gambar 5.4.



**Gambar 5. 7** Grafik Kuat Dukung Pondasi Tiang P1-07

Dari grafik pada gambar 5.3 dapat dilihat bahwa seluruh hasil analisis kuat dukung pondasi terhadap tiang P1-07 secara dinamis dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, *Formula Gates* dan *MEH 2D* memiliki nilai kuat dukung lebih besar dari beban aksial sedangkan metode dengan nilai kuat dukung yang mendekati dengan hasil PDA Test adalah *Formula Gates*.



**Gambar 5. 8** Grafik Kuat Dukung Pondasi Tiang P1-25

Dari grafik pada gambar 5.4 dapat dilihat bahwa seluruh hasil analisis kuat dukung pondasi terhadap tiang P1-25 secara dinamis dengan metode *Engineering News Record*, *Eytelwein*, *Formula Gates* dan MEH 2D memiliki nilai kuat dukung lebih besar dari beban aksial sedangkan metode dengan nilai kuat dukung yang mendekati dengan hasil *PDA Test* adalah *Formula Gates*.

### 5.9. Hasil Analisa Faktor Aman Pondasi Tiang Pancang

Berdasarkan hasil perhitungan kuat dukung pondasi tiang pancang dan analisis pembebanan dengan menggunakan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019 maka diperoleh faktor aman (SF) dengan menggunakan (Pers 3.13) seperti pada Tabel 5.9.

**Tabel 5. 9** Faktor Aman Pondasi Tiang Pancang P1-07 dan P1-25

Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang		Faktor Aman (SF)
Metode	Nomor Tiang	
<i>Engineering News Record</i>	P1-07	4,06
	P1-25	4,10
<i>Eytelwein</i>	P1-07	2,65

	P1-25	2,67
<i>Formula Gates</i>	P1-07	2,49
	P1-25	2,49
MEH 2D	P1-07	2,65
	P1-25	2,67
<i>PDA Test</i>	P1-07	1,46
	P1-25	1,49

Dari Tabel 5.8 dapat dilihat uraian perhitungan faktor aman pondasi tiang pancang pada Lampiran A-33. Faktor aman pondasi taing pancang untuk nomor tiang P1-07 dan P1-25 pada Jembatan *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai seksi 4 adalah sebagai berikut :

1. Cara Dinamis

Faktor aman pondasi tiang pancang P1-07 dan P1-25 dengan menggunakan metode *Engineering News Record* didapat P1-07 sebesar 4,06 dan P1-25 sebesar 4,10, *Eytelwein* didapat P1-07 sebesar 2,65 dan P1-25 sebesar 2,67, *Formula Gates* didapat P1-07 sebesar 2,49 dan P1-25 sebesar 2,49.

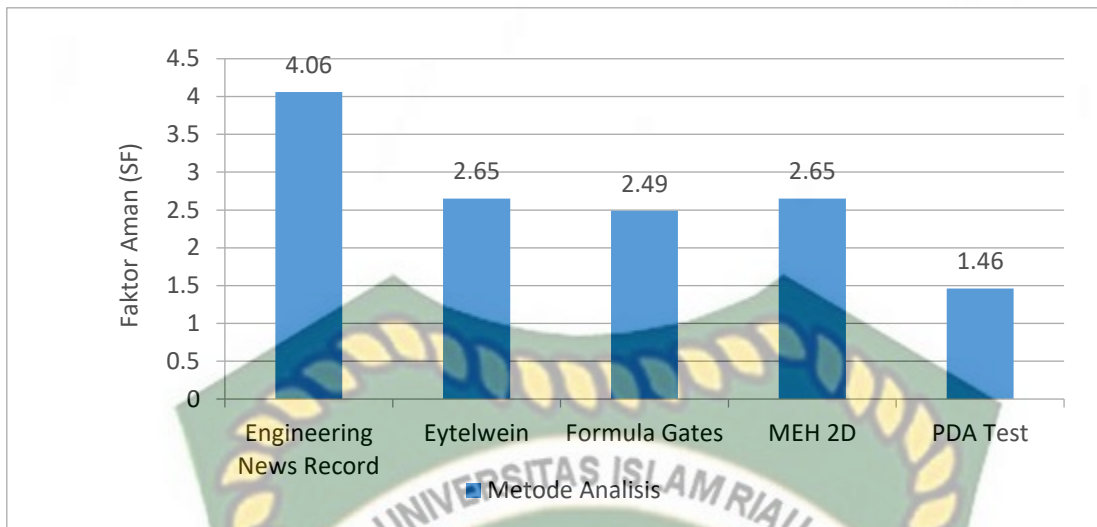
2. Metode Elemen Hingga 2D

Faktor aman pondasi tiang pancang tunggal P1-07 dan P1-25 menggunakan metode elemen hingga 2D didapatkan faktor aman P1-07 sebesar 2,65 dan P1-25 sebesar 2,67.

3. *PDA Test*

Faktor aman pondasi tiang pancang dari hasil *PDA Test (Pile Driving Analyzer)* pada tiang P1-07 sebesar 1,46 dan P1-25 sebesar 1,49.

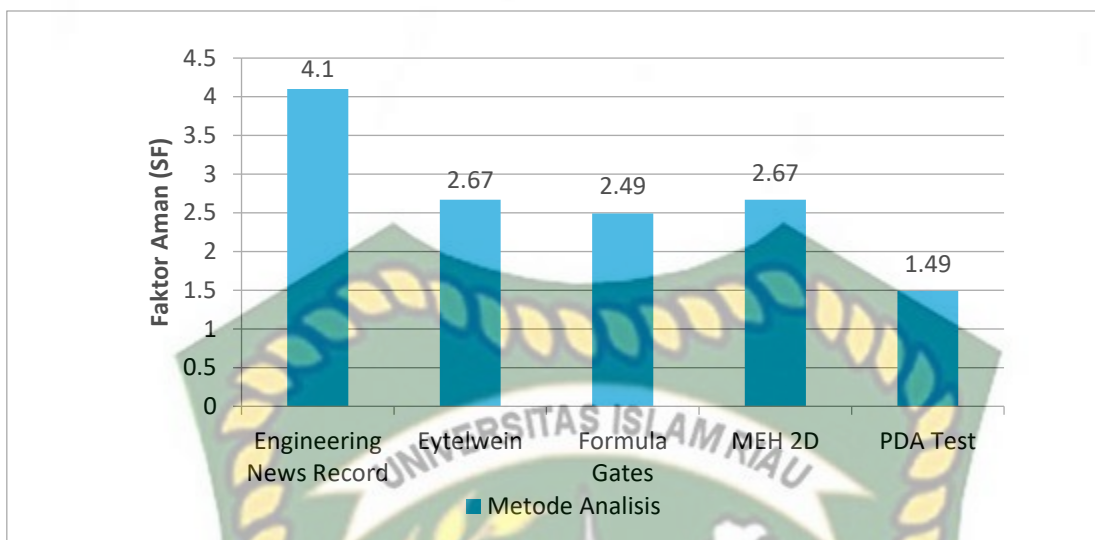
Berdasarkan hasil tabel 5.8 dapat dilihat dari 4 metode analisis faktor aman pondasi mendekati dengan faktor aman *PDA Test* adalah *Gates*. Berikut ini disajikan dalam bentuk grafik hasil faktor aman pondasi tiang pancang tunggal seperti pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



**Gambar 5. 9** Grafik Faktor Aman Pondasi Tiang P1-07

Dari grafik faktor aman pada tiang P1-07 diatas analisis cara dinamis nilai tertinggi pada metode *engineering news record* dengan faktor aman 4,06, metode *Eytelwein* dengan faktor aman 2,65 dan untuk nilai terkecil pada *formula gates* dengan faktor aman 2,49, sedangkan MEH 2D memiliki nilai faktor aman 2,65. Dari ketiga metode dinamis tersebut metode yang memiliki nilai faktor aman mendekati dengan PDA Test yakni *Formula Gates*, sedangkan berdasarkan 4 metode perhitungan dinamis maupun MEH 2D yang mendekati dengan hasil PDA Test sebesar 1,46 yakni *Formula Gates*. Secara keseluruhan metode *Eytelwein*, *Formula Gates*, MEH 2D, PDA Test masih dalam angka faktor aman rencana yaitu sebesar 2,5 - 3. Sedangkan *Engineering news record* melebihi nilai faktor aman rencana.

Berdasarkan hasil perhitungan faktor aman pada tiang P1-07 dengan metode *Engineering News Record* sebesar 4,06 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 3-6. Metode *eytelwein* sebesar 2,65 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 1-3. *Formula gates* sebesar 2,49 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 1-3. Dari ketiga metode analisis perhitungan faktor aman pondasi tiang secara dinamis tersebut memenuhi faktor aman yang disyaratkan pada tiap metode.



**Gambar 5. 10** Grafik Faktor Aman Pondasi Tiang P1-25

Dari grafik faktor aman pada tiang P1-25 diatas analisis cara dinamis nilai tertinggi pada metode *engineering news record* dengan faktor aman 4,1, metode *Eytelwein* dengan faktor aman 2,67 dan untuk nilai terkecil pada *formula gates* dengan faktor aman 2,49, sedangkan MEH 2D memiliki nilai faktor aman 2,67. Dari ketiga metode dinamis tersebut metode yang memiliki nilai faktor aman mendekati dengan PDA Test yakni *Formula Gates*, sedangkan berdasarkan 4 metode perhitungan dinamis maupun MEH 2D yang mendekati dengan hasil PDA Test sebesar 1,49 yakni *Formula Gates*. Secara keseluruhan metode *Eytelwein*, *Formula Gates*, MEH 2D, PDA Test masih dalam angka faktor aman rencana yaitu 2,5 – 3. Sedangkan *Engineering news record* melebihi nilai faktor aman rencana.

Berdasarkan hasil perhitungan faktor aman terhadap tiang P1-25 dengan metode *engineering news record* sebesar 4,1 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 3-6. Metode *eytelwein* sebesar 2,67 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 1-3. *Formula gates* sebesar 2,49 maka memenuhi syarat faktor aman yaitu 1-3. Dari ketiga metode analisis perhitungan faktor aman pondasi tiang secara dinamis tersebut memenuhi faktor aman yang disyaratkan pada tiap metode.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dalam bab hasil dan pembahasan tentang Analisa Kuat dukung dinamis pondasi tiang pancang pada Jembatan *Overpass* STA 58+250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Dumai Seksi 4 maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa kuat dukung ( $Q_u$ ) pondasi tiang P1 – 07 dan P1 – 25 sesuai dengan beban yang bekerja. Hasil kuat dukung pondasi secara dinamis menggunakan metode *Engineering News Record* yaitu P1-07 sebesar 7482,51 kN dan P1-25 sebesar 7476,58 kN, metode *Eytelwein* yaitu P1-07 sebesar 4875,16 kN dan P1-25 4872,98 kN, dan *Formula Gates* yaitu P1-07 sebesar 4595,08 kN dan P1-25 4549,35 kN
2. Hasil analisa dengan Metode Elemen Hingga 2D pada pondasi tiang pancang P1-07 dan P1-25 didapatkan nilai kuat dukung P1-07 sebesar 4899,68 kN dan P1-25 sebesar 4867,19 kN.
3. Berdasarkan dari hasil secara dinamis dan MEH 2D terhadap kuat dukung pondasi tiang pancang dapat disimpulkan bahwa dari empat metode analisis, hasil yang paling mendekati dengan *PDA Test* adalah *Formula Gates*.
4. Faktor aman pondasi tiang pancang secara dinamis untuk P1-07 dan P1-25 dengan metode *Engineering News Record* sebesar 4,06 dan 4,10, metode *Eytelwein* sebesar 2,65 dan 2,67 dan metode *Formula Gates* sebesar 2,49. Analisa dengan menggunakan metode elemen hingga 2D didapatkan nilai faktor aman sebesar 2,65 dan 2,67 sedangkan untuk hasil *PDA Test* didapat faktor aman sebesar 1,46 dan 1,49.

## 6.2. Saran

Berikut beberapa saran yang akan penulis dapatkan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian berikutnya dapat melakukan analisis perhitungan penurunan pada pondasi dengan *software* Midas Civil V.8.7.5 2019.
2. Pada penelitian ini hanya melakukan analisa terhadap struktur bawah atau pondasi. Untuk penelitian selanjutnya bisa melakukan analisa pada struktur jembatannya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aldino, Ridho 2019, *Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal antara Data Kalendering, Data SPT, dan Data PDA Test pada Tiang Pancang No. 07 dan No. 25 Pile Cap No. 1 Overpass STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Bowles, E.J. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Darma, Surya, 2015, *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Tunggal Diameter 100 Cm pada Proyek Pembangunan Hotel Drandika Medan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid I. Erlangga, Jakarta.
- Gunawan, Muhammad 2014, *Rasio Hubungan Nilai Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Sondir, Kalendering Dan Test PDA Pada Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong*, Tugas Akhir, Universitas Tadulako Jl. Soekarno Hatta Km. 8 Palu.
- Hanun, Amirah 2019, *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai Seksi 1 Lokasi Jembatan Sungai Delta STA 1+575*, Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah I Edisi I*, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Hardiyatmo, Hary Christady, 2002, *Mekanika Tanah II Edisi 3*, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2002, *Teknik Pondasi I Edisi Kedua*, Beta Offet, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Kedua*, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2015, *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi Ketiga*, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
- Saptorini, Takdir Rochjati 2015, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Kalendering (Studi Kasus Review Design Pada Overpass Lemah Ireng Sta 20+212 Proyek Jalan Tol Semarang-Bawen Paket V)*, Tugas Akhir, Universitas Undaris Ungaran.
- Sardjono, 1988. *Pondasi Tiang Pancang*, Jilid I, Cetakan Ketiga, Sinar JayabWidjaya, Surabaya.
- Sasrodarsono, Suyono, 1984, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Wihardi, Muhammad, 2015, *Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Diameter 0,8 M Menggunakan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Pembangunan Hotel Sapadia Medan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.