

**PERBANDINGAN KUAT DUKUNG PONDASI TIANG  
PANCANG *MINI* BERDASARKAN RUMUS DINAMIS DAN  
ELEMEN HINGGA PADA KONTRUKSI *RELOCATION AIR  
SEPARATION* PT. BAYU CIPTA ARTHA DI PEKANBARU**

**TUGAS AKHIR**

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



**OLEH :**

**MUHAMMAD ARIF**

**163110423**

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

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN KUAT DUKUNG PONDASI TIANG  
PANCANG *MINI* BERDASARKAN RUMUS DINAMIS DAN  
ELEMEN HINGGA PADA KONTRUKSI *RELOCATION AIR  
SEPARATION* PT. BAYU CIPTA ARTHA DI PEKANBARU**

**DISUSUN OLEH :**

**MUHAMMAD ARIF**

**163110423**

**Diperiksa dan Disetujui oleh :**

**Dr. Anas Puri, ST.,MT**

**Pembimbing**



.....  
Tanggal : 4 Agustus 2021

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN KUAT DUKUNG PONDASI TIANG  
PANCANG *MINI* BERDASARKAN RUMUS DINAMIS DAN  
ELEMEN HINGGA PADA KONTRUKSI *RELOCATION AIR  
SEPARATION* PT. BAYU CIPTA ARTHA DI PEKANBARU**

**DISUSUN OLEH :**

**MUHAMMAD ARIF**

**163110423**

**Telah Disetujui Didepan Dewan Penguji Tanggal 4 Agustus 2021 Dan  
Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima**

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

  
**Dr. Anas Puri, S.T., M.T**  
**Dosen Pembimbing**

  
**Mahadi Kurniawan, S.T., M.T**  
**Dosen Penguji I**

  
**Firman Syarif, S.T., M.Eng**  
**Dosen Penguji II**

Pekanbaru, 23 Agustus 2021

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
FAKULTAS TEKNIK**

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah di ajukan untuk mendapatkan gelar akademik (strata satu) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini adalah 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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian 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, 23 Agustus 2021

Muhammad Arif  
163110423

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini mengenai " **PERBANDINGAN KUAT DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG *MINI* BERDASARKAN RUMUS DINAMIS DAN ELEMEN HINGGA PADA KONTRUKSI *RELOCATION AIR SEPARATION* PT. BAYU CIPTA ARTHA DI PEKANBARU** ”

Tugas akhir ini berupa skripsi sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana pada program studi strata 1 (S1) Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Islam Riau. Tugas akhir ini berisi tentang rangkuman dan kesimpulan selama penulis melakukan penelitian dan analisa. Rangkuman dan kesimpulan ini disusun dalam bab-bab, bab tersebut terdiri dari bab I yang berisi tentang latar belakang, bab II berisi tentang tinjauan pustaka, bab III berisi tentang landasan teori, bab IV berisi tentang metodologi penelitian, bab V berisi tentang hasil dan pembahasan, dan bab VI berisi tentang kesimpulan dan saran. Penulis berharap tugas akhir ini bisa bermanfaat mahasiswa/i Teknik Sipil, penulis juga menyadari masih terdapat kekurangan dalam menyusun laporan kerja praktek ini, maka dari itu kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca agar kedepannya bisa lebih baik lagi.

Pekanbaru, 23 Agustus 2021

Muhammad Arif  
NPM. 163110423

## UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahamtullah. Wabarokatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L, Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Mursyidah, S.Si., M.Sc Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dan sebagai Dosen Pembimbing.
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.si Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau
8. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT sebagai Dosen Penguji I
9. Bapak Firman Syarif, ST., M.Eng sebagai Dosen Penguji II
10. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

11. Seluruh karyawan dan karyawan fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Ayahanda dan Ibunda tercinta Juwari dan Ermiyati, sebagai Orang Tua yang selalu memberikan dan mendo'akan yang terbaik serta sangat berperan dalam proses pendewasaan penulis.
13. Adik saya Septian Dwi Sosiawan yang tidak pernah berhenti memberikan motivasi dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
14. Buat teman-teman seperjuangan terkhusus Madian,M.Rasyid Ridho,Muhammad Sukri, Mochammad Yasin, Nurul Trianoviany, Wan nuratika Fatma, teman-teman kelas B angkatan 2016 serta teman dan rekan-rekan lainnya di Teknik Sipil Fakultas Teknik pada umumnya yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dalam bentuk kritikan, saran, dorongan semangat, serta ide-ide, dan juga pihak lain yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
15. Bapak Pimpinan Proyek Pembangunan *Relocation Air Separation* di Provinsi Riau Milik PT. Bumi Cipta Artha, dan CV. Andromeda Arsitektur, dan PT. Pancamulia Mixindo Abadi beserta karyawan yang telah memberikan data-data, serta izin untuk melakukan penelitian.

Terimakasih atas segala bantuanya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah Aza Wa Jalla. Assalamualaikum Warahamtullah. Wabarokatuh.

Pekanbaru, 23 Agustus 2021  
Penulis

Muhammad Arif  
NPM. 163110423

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusah Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Manfaat Penulisan .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum .....	4
2.2 Penelitian Terdahulu.....	4
2.3 Keaslian Penelitian .....	6
<b>BAB III. LANDASAN TEORI</b>	
3.1. Umum .....	8
3.2 Metode Penyelidikan Tanah .....	8
3.3 Tanah .....	10
3.4 Klasifikasi Parameter Tanah .....	10
3.5 Pondasi.....	17
3.6 Pondasi Tiang.....	18
3.6.1 Kategori Pondasi Tiang.....	18
3.6.2 Jenis Pondasi Tiang Menurut Cara Pemindahan Beban.....	19

3.6.3 Jenis Bahan Yang Digunakan Tiang Pancang .....	19
3.6.4 Jenis Pondasi Tiang Pancang Beton Berdasarkan Cara Pembuatannya .....	22
3.6.5 Kategori Tiang Berdasarkan Ukuran .....	23
3.6.6 <i>Quality Control</i> .....	25
3.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Rumus Dinamis .....	26
3.7.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Metode <i>Hiley</i> (1930) .....	29
3.7.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR) .....	32
3.8 Faktor Aman .....	34
3.9 Metode Elemen Hingga .....	36
3.10 Kapasitas Daya Dukung Tiang Menggunakan Program Plaxis 2D V8.6 Permodelan Axisimetri .....	37
3.11 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok .....	42
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b>	
4.1. Lokasi Penelitian .....	45
4.2. Teknik Pengumpulan Data .....	45
4.3. Tahap Pelaksanaan Penelitian .....	46
4.4. Metode Analisis .....	48
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Deskripsi Umum .....	50
5.2 Hasil Pengolahan Data .....	54
5.2.1 Jenis Tanah Berdasarkan Data N-SPT .....	54
5.2.2 Parameter Setiap Lapisan Tanah .....	58
5.2.3 Hasil <i>Kalendering</i> Pondasi Tiang Pancang .....	59
5.3 Hasil Analisa Beban yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang	60
5.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang <i>Mini</i> Dengan Metode <i>Hiley</i> (1930) .....	61

5.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang <i>Mini</i> Dengan Metode <i>Engineering News-Records</i> (ENR) .....	62
5.6 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang <i>Mini</i> Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis 2D V8.6 .....	63
5.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok .....	66
5.8 Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang <i>Mini</i> Dengan Metode <i>Hiley</i> (1930) Dengan Metode <i>Engineering News-Records</i> (ENR) .....	67

**BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan .....	69
6.2 Saran .....	70

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
Tabel 3.1 Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir.....	9
Tabel 3.2 Hubungan kuat tekan bebas (qu) dengan konsistensi .....	12
Tabel 3.3 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Hardiyatmo, 2002).....	13
Tabel 3.4. Nilai-nilai tipikal rasio poisson (Kulhawy), 1983 dalam Hardiyatmo 2015).....	14
Tabel 3.5 Nilai koefisien permaebilitas tanah ( Das, 1995) .....	14
Tabel 3.6 Berat Jenis Tanah (Gs) (Hardiyatmo, 2002) .....	15
Tabel 3.7 Derajat Kejenuhan (Sr) (Hardiyatmo, 2002).....	16
Tabel 3.8 Nilai n, e, $\gamma_m$ , $\gamma_d$ untuk tanah keadaan asli di lapangan (Hardiyatmo, 2002).....	16
Tabel 3.8 Lanjutan .....	17
Tabel 3.9 Nilai – nilai tipikal beban izin tiang beton pracetak (Hardiyatmo, 2010).....	20
Tabel 3.10a Nilai-nilai k1 (Chellis,1961) dalam Hardiyatmo, 2008).....	30
Tabel 3.10a Lanjutan .....	31
Tabel 3.10b Nilai efisiensi $e_h$ (Bowles, 1977) dalam Hardiyatmo, 2008) .....	31
Tabel 3.10c Koefisien restitusi n (Bowles, 1977) dalam Hardiyatmo, 2008)....	31
Tabel 3.10c Lanjutan .....	32

Tabel 3.11	Faktor Aman Yang Disarankan (Reese & O'Neill, 1989) (Hardiyatmo, 2008).....	35
Tabel 4.1	Input parameter tanah pada program Plaxis 2D V8.6.....	49
Tabel 4.2	Input parameter tiang pancang pada program Plaxis 2D V8.6 .....	49
Tabel 5.1	Jenis tanah berdasarkan BH 01 dan BH 02 (CV. Geotek Multi Services Pekanbaru, 2020) .....	55
Tabel 5.2	Klasifikasi parameter tanah BH-01 pada kedalaman 0,00 – 18,50 (CV. Geotek Multi Services Pekanbaru, 2020) .....	55
Tabel 5.3	Data Hasil <i>Kalendering</i> .....	56
Tabel 5.4	Hasil analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang As P7 .....	57
Tabel 5.5	Kapasitas daya dukung tiang dengan metode <i>Hiley</i> (1930).....	58
Tabel 5.6	Kapasitas daya dukung tiang dengan metode <i>Engineering News-Records</i> (ENR).....	59
Tabel 5.6	Parameter tiang pancang .....	61

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 3.1 Hubungan $\phi'$ dengan N-SPT (Peck et al., 1974).....	11
Gambar 3.2 Tiang pancang beton <i>precast concrete pile</i> (Bowles, 1991).....	22
Gambar 3.3 Tiang pancang <i>Precast Prestressed Concrete Pile</i> (Bowles, 1991 .....	19
Gambar 3.4 <i>Mini Pile</i> ( PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI).....	24
Gambar 3.5 <i>Maxi Pile</i> ( PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI).....	25
Gambar 3.6 Hasil <i>Kalendering</i> (Teknikkontruksi.blogspot.com).....	26
Gambar 3.7 Notasi yang digunakan dalam rumus dinamis tiang pancang. (Hardiyatmo ,2008) .....	27
Gambar 3.8 Ilustrasi Pemodelan <i>Plane strain</i> dan <i>Axisymmetric</i> (Brinkgreve,2002) .....	37
Gambar 3.9 Model Pondasi Tiang Pancang.....	38
Gambar 3,10 Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang .....	43
Gambar 3.11 Definisi jarak <i>s</i> dalam hitungan efisiensi tiang .....	44
Gambar 4.1 Denah lokasi PT. Bayu Cipta Artha ( <i>Google Maps</i> ).....	41
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian.....	43
Gambar 5.1 Lokasi titik Bor dalam (BH) ( <i>Geotek Multi Services Pekanbaru,</i> 2020).....	50
Gambar 5.2 Denah Pondasi Tiang Pancang AS P7 (CV. Andromeda Arsitektur, 2020) .....	51

Gambar 5.3 Struktur <i>H.P Lin Storage Tank</i> (1500 GAL) (CV. Andromeda Arsitektur, 2020) .....	52
Gambar 5.4 Rencana pondasi tiang pancang posisi As P7 (CV. Andromeda Arsitektur, 2020) .....	53
Gambar 5.5 Potongan <i>Pile Cap</i> AS P7 (CV. Andromeda Arsitektur, 2020)....	53
Gambar 5.6 Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang pancang <i>mini</i> dari rumus <i>Hiley</i> (1930) dan Beban maksimum dipikul tiang....	58
Gambar 5.7 Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang pancang dari rumus <i>Engineering News-Records</i> (ENR) dan Beban maksimum dipikul tiang. ....	60
Gambar 5.8 Kumpulan data material dan lapisan tanah.....	62
Gambar 5.9 Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang kelompok dan beban maksimum yang dipikul <i>pile cap</i> .....	63
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan kapasitas dukung tiang pancang <i>mini</i> metode dinamis dan elemen hingga 2D dengan beban yang bekerja pada pondasi .....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

### LAMPIRAN A. PERHITUNGAN BEBAN RENCANA PONDASI

- A.1 Analisa Beban Rencana Pada Pondasi Tiang Pancang ..... A-1
- A.2 Rekap Hasil Beban Rencana Pada Pondasi Tiang  
Pancang ..... A-2

### LAMPIRAN B. PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI

- B.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Dengan  
Rumus Dinamis ..... B-1
- B.1.1 Tiang No.64 , Posisi AS P7-1 ..... B-1
- B.1.2 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Hiley* (1930) ..... B-3
- B.1.3 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Engineering News-Record* (ENR) ..... B-5
- B.1.4 Tiang No.65 , Posisi AS P7-2 ..... B-7
- B.1.5 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Hiley* (1930) ..... B-8
- B.1.6 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Engineering News-Record* (ENR) ..... B-9
- B.1.7 Tiang No.66 , Posisi AS P7-3 ..... B-10
- B.1.8 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Hiley* (1930) ..... B-11
- B.1.9 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang  
Metode *Engineering News-Record* (ENR) ..... B-12

B.1.10	Tiang No.67 , Posisi AS P7-4.....	B-13
B.1.11	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-14
B.1.12	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-15
B.1.13	Tiang No.68 , Posisi AS P7-5.....	B-16
B.1.14	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-17
B.1.15	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-18
B.1.16	Tiang No.69 , Posisi AS P7-6.....	B-19
B.1.17	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-20
B.1.18	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-21
B.1.19	Tiang No.70 , Posisi AS P7-7.....	B-22
B.1.20	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-23
B.1.21	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-24
B.1.22	Tiang No.71 , Posisi AS P7-8.....	B-25
B.1.23	Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-26

B.1.24 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-27
B.1.25 Tiang No.72 , Posisi AS P7-9.....	B-28
B.1.26 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Hiley</i> (1930).....	B-29
B.1.27 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Metode <i>Engineering News-Record</i> (ENR).....	B-30
B.2 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Dengan Rumus Elemen Hingga .....	B-32
B.2.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Pancang Posisi AS P7-1 Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis 2D V 8.6 .....	B-36
C.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pancang ( <i>Mini Pile</i> ) Posisi AS P7 .....	B-42
<b>LAMPIRAN C. DATA SEKUNDER</b>	
<b>LAMPIRAN D SURAT-SURAT</b>	

## DAFTAR NOTASI

- A = Tampang melintang tiang ( $m^2$ )
- $E_p$  = Modulus elastis bahan tiang ( $Kg/m^2$ )
- $e_h$  = efisiensi palu (*hammer efficiency*)
- $E_h$  = Energi pemukul dari pabrik per atuan waktu
- g = percepatan gravitasi
- h = tinggi jatuh ram (L)
- I = jumlah impuls menyebabkan kompresi/perubahan momentum (FT)
- $k_1$  = kompresi elastis blok penutup *capblock* dan *pile cap* (m)
- $k_2$  = kompresi elastis tiang, yaitu  $\frac{Q_u \times L}{A \times E}$  (m)
- $k_3$  = kompresi elastis tanah (m)
- L = panjang tiang (m)
- m = massa (berat / gravitasi) ( $kg/m^3$ )
- $M_r$  = *ram momentum* =  $M_{rv}$
- n = koefisien restitusi
- $n_l$  = jumlah impuls yang menyebabkan restitusi
- $Q_u$  = beban yang bekerja (kN)
- $Q_u$  = kapasitas dukung tiang ultimit (kN)
- $Q_{all}$  = kapasitas dukung tiang izin (kN)
- s = penetrasi per pukulan (m)
- $v_{ce}$  = kecepatan tiang dan *ram* pada akhir periode kompresi

$v_i$  = kecepatan *ram* pada saat benturan

$v_p$  = kecepatan tiang pada akhir periode restitusi

$v_r$  = kecepatan *ram* pada akhir periode restitusi

$W_p$  = berat tiang, termasuk *pile cap*, *driving shoe*, dan *cap block* (kN)

$W_r$  = berat *ram* (untuk pemukul aksi dobel termasuk berat *casing*) (kN)

SF = Faktor aman



**PERBANDINGAN KUAT DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG *MINI*  
BERDASARKAN RUMUS DINAMIS DAN ELEMEN HINGGA PADA  
KONTRUKSI *RELOCATION AIR SEPARATION* PT. BAYU CIPTA  
ARTHA DI PEKANBARU**

**MUHAMMAD ARIF**

**163110423**

**ABSTRAK**

Pondasi dalam suatu bangunan merupakan bagian paling bawah dan berhubungan langsung dengan tanah. Pada struktur bangunan, pondasi berfungsi untuk memikul beban bangunan yang ada di atasnya. Untuk menghasilkan bangunan yang kokoh, pondasi juga harus direncanakan dan dikerjakan dengan sangat hati-hati. Pondasi harus diperhitungkan sedemikian rupa baik dari segi dimensi maupun secara analitis mekanis, maka dari itu dilakukan penelitian kapasitas dukung pada Pembangunan *Relocation Air Separation* di Provinsi Riau milik PT. Bayu Cipta Artha yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang pancang.

Pada penelitian ini perhitungan menggunakan data N-SPT yang di keluarkan oleh CV. *Geotek Multi Services* Pekanbaru, data gambar struktur dikeluarkan oleh CV. *Andromeda Arsitektur*, dan kedalaman, nomor serta hasil *kalendering* tiang pancang diperoleh dari PT. *Pancamulia Mixindo Abadi*. Perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang pancang *mini* menggunakan rumus dinamis dan elemen hingga.

Dari hasil analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang *mini* didapatkan pada titik AS P7 sebesar  $Q_u = 861,216$  kN dan beban maksimum dipikul tiang  $Q_u = 245,427$  kN. Hasil perhitungan daya dukung pondasi rumus dinamis metode *Hiley* (1930) sebesar  $\Sigma Q_u = 990,88$  kN, metode *Engineering News-Records* (ENR) sebesar  $\Sigma Q_u = 1.806,39$  kN, rumus Elemen Hingga sebesar  $Q_u = 580,39$  kN dan kelompok tiang sebesar  $Q_g = 1.833,34$  kN. Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi aman karena memenuhi syarat minimum faktor keamanan.

**Kata Kunci :** Tiang Pancang, Kapasitas Dukung, Faktor Keamanan, *Mini Pile*

**COMPARISON OF BEARING CAPACITY OF MINI PILE FOUNDATION  
BASED ON DYNAMIC FORMULA AND FINIT ELEMENT METHOD OF  
THE AIR SEPARTION RELOCATION CONTRUCTION OF PT. BAYU  
CIPTA ARTHA IN PEKANBARU CITY**

**MUHAMMAD ARIF**

**163110423**

**ABSTRACT**

*The foundation in a building is the lowest part and is directly related to the ground. In a building structure, the foundation serves to carry the load of the building above it. To produce a solid building, the foundation must also be planned and worked very carefully. The foundation must be calculated in such a way both in terms of dimensions and mechanically analyses, therefore research on the carrying capacity of the Relocation Air Separation Development in Riau Province Belongs to PT. Bayu Cipta Artha which is aimed to determine the bearing capacity of the pile.*

*In this study, the calculation used the N-SPT data issued by CV. Geotek Multi Services Pekanbaru, structural drawing data issued by CV. Andromeda Architecture, and the depth, number and calendaring results of the piles were obtained from PT. Pancamulia Mixindo Abadi. Calculation of the bearing capacity of the pile foundation (mini pile) used the Dynamic formula and Finite Element Method (FEM).*

*From the analysis of the load acting on the mini pile foundation, it was found that at AS P7 point  $V = 861.216$  kN and the maximum load occured by the pile  $P_{maks} = 245.427$  kN. The results of the calculation of the pile bearing capacity of the dynamic Hiley method (1930) of  $Q_u = 990.88$  kN, the Engineering News-Records (ENR) method of  $Q_u = 1.806.39$  kN, the  $Q_u$  of FEM = 580.39 kN and the pile group bearing capacity  $Q_g = 1,833.34$  kN. From the calculation results above, it can be concluded that it is in a safe condition because it meets the minimum requirements for the safety factor.*

**Keywords:** *Pile Foundation, Supporting Capacity, Safety Factor, Mini Pile*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada pembangunan *Relocation Air Separation* yang difungsikan sebagai Pabrik gas, jenis pondasi yang digunakan pada bangunan ini ialah pondasi dalam tiang pancang *mini*. Metode pemancangan yang digunakan proyek ini ialah pemukul jatuh (*drop hammer*), suatu metode dimana tiang pancang dipukul dengan palu berat yang diletakkan pada ketinggian tertentu diatas tiang, palu tersebut dilepaskan kemudian mengenai tiang. Untuk permasalahan yang ada di lapangan yaitu kondisi tanah lunak, maka dari itu dilakukan penelitian kapasitas kuat dukung pondasi yang merupakan salah satu bagian yang penting dalam suatu bangunan, apabila di perencanaan awal pondasi salah dalam memilih jenis lapisan tanah yang kuat dan tidak memperhitungkan kapasitas dukung pondasi sesuai syarat-syarat yang berlaku maka berpotensi besar terjadinya kegagalan konstruksi.

Adapun metode yang digunakan untuk perbandingan kuat dukung tiang pancang *mini* diantaranya dengan metode Hiley (1930) dan *Engineering News-Record* (ENR) menggunakan data *Kalendering* dan data penyelidikan tanah N-SPT dan program Plaxis 2D V8.6 menggunakan data Laboraturium, serta juga kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* kelompok. Untuk metode yang digunakan rumus dinamis dan elemen Hingga.

Oleh sebab itu penulis mencoba mengkonsentrasikan Tugas Akhir ini, yaitu membandingkan asumsi-asumsi/rumus-rumus tiang pancang *mini* dengan rumus dinamis berdasarkan dari metode/formula yang telah ditemukan oleh para ahli keteknikan. Penulis mencoba membandingkan antara rumus Dinamis dan Elemen Hingga karena kondisi tanah lunak yang berada dilapangan dan juga ketersediaannya data. Yang akhirnya dari perbandingan tersebut kita dapat menentukan daya dukung tiang yang sebenarnya dari 2 rumus ini dan dapat dipercaya sehingga menjadi rekomendasi bagi perencana terlebih dalam pemilihan rumus yang tepat dan benar.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapakah kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* tunggal dengan metode dinamis?
2. Berapakah kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* tunggal dengan metode elemen hingga?
3. Berapakah kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* kelompok?
4. Berapakah hasil perbandingan dari kedua perhitungan terhadap beban maksimum yang bekerja pada pondasi tiang pancang *mini*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan dan pembahasan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* dengan metode Dinamis
2. Menghitung kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* dengan metode Elemen Hingga.
3. Menghitung kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* kelompok.
4. Menghitung hasil perbandingan dari kedua perhitungan terhadap beban maksimum yang bekerja pada pondasi tiang pancang *mini*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat diperoleh gambaran analisis pemancangan tiang pada pembangunan *Relocation Air Separation*.
2. Menambah ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman penulis agar mampu melakukan pekerjaan yang sama saat terjun ke lapangan.
3. Bagi mahasiswa sebagai referensi mengenai perhitungan tiang pancang *mini* menggunakan rumus dinamis dan elemen hingga.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada permasalahan ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung ulang beban struktur yang berkerja dengan kombinasi beban mati, beban hidup, untuk beban angin dan gempa peneliti tidak memasukkan ke dalam hitungan pembebanan struktur.
2. Analisis perencanaan pembebanan mengacu pada ACI 318-02 Sec. C.2.1 yaitu Peraturan Pembebanan Untuk Struktur *Pile Cap* Tanki.
3. Tidak menghitung penurunan tiang pancang tunggal atau pun grup.
4. Metode perhitungan yang digunakan untuk kapasitas dukung tiang pancang yakni metode Hiley (1930), *Engineering News-Record* (ENR) dan metode elemen hingga 2D dengan program Plaxis 2D V8.6, serta kapasitas dukung tiang kelompok dengan *Converse-Labarre Formula*.
5. Perhitungan hanya menggunakan data *Kalendering*, N-SPT, dan Laboraturium.
6. Menghitung kuat dukung tiang tunggal dan kelompok.
7. Tiang pancang yang dihitung di nomor 64,65,66,67,68,69,70,71,72.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Istilah pondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya (Hardiyatmo, 2002).

Untuk itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan, maka dari itu penelitian ini menghitung kuat dukung pondasi tiang pancang *mini* dengan rumus dinamis dan elemen hingga.

Beberapa referensi diantaranya yang melakukan penelitian terkait dengan pondasi adalah Siboro (2009), Simalango (2011), Utama (2013), Pratama (2016), Pratama (2020).

#### 2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian terkait pondasi, yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

**Tabel 2.1** Penelitian Terdahulu

NO	Judul Penelitian	Permasalahan Yang Diangkat	Kesimpulan
1	Siboro (2009)  Dalam penelitiannya mengenai “Perbandingan Perhitungan Kapasitas Tiang Dengan Rumus Dinamis (Studi Literature)”	Menghitung dan membandingkan perhitungan kapasitas tiang dengan menggunakan rumus dinamis, yaitu : rumus Hilley, rumus <i>Engineering News Record</i> (ENR), rumus Danish, rumus Eytelwein, rumus Gates, rumus Janbu, rumus Navy-Mc. Kay, Rumus PCUBC, dan Rumus Michigan.	Nilai kapasitas kuat dukung yang didapat,yaitu : Rumus Hilley $Q_u = 1128,07$ kN, rumus <i>Engineering News Record</i> (ENR) $Q_u = 664,75$ kN, rumus Danish $Q_u = 1783,28$ kN, rumus Eytelwein $Q_u = 328,06$ kN, rumus Gates $Q_u = 1601,40$

**Tabel 2.1** Lanjutan

NO	Judul Penelitian	Permasalahan Yang Diangkat	Kesimpulan
		<p>Penyelidikan yang terjadi pada tiang tunggal.</p>	<p>kN, rumus Janbu <math>Q_u = 1950,76</math> kN, rumus Navy-Mc. Kay <math>Q_u = 1664,67</math> kN, rumus PCUBC <math>= 880,06</math> kN, rumus Michigan <math>Q_u = 1500,06</math> kN.</p>
2	<p>Simalango (2011)</p> <p>Dalam penelitiannya tentang “Analisa Dan Perencanaan <i>Pile Cap</i> Dengan Metode <i>Strut And Tie</i> Model Berdasarkan <i>ACI Building Code 318-2002</i>”</p>	<p>Pada umumnya keruntuhan yang terjadi pada <i>pile cap</i> adalah keruntuhan geser. Beban geser yang melebihi kapasitas penampang <i>pile cap</i> tersebut akan mengakibatkan retakan-retakan diagonal di sepanjang penampang <i>pile cap</i> tersebut. Ada beberapa cara yang digunakan untuk mendesain <i>pile cap</i>. Salah satu cara baru yang mulai dikembangkan yaitu model penunjang dan pengikat (<i>strut and tie model</i>). Metode ini sudah mulai dipakai dalam beberapa peraturan di berbagai negara, sehingga metode ini perlu dipelajari lebih lanjut.</p>	<p>Nilai beban yang bekerja pada pondasi yang didapat, yaitu :</p> <p>Beban maksimum yang dipikul <i>Pile Cap</i> <math>Q_{all} = 5442,19</math> kN.</p> <p>Beban maksimum yang dipikul tiang <math>Q_{all} = 1088,44</math> kN.</p>
3	<p>Utama (2013)</p> <p>Dalam penelitiannya tentang " Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada</p>	<p>Menghitung daya dukung tiang dari hasil Sondir, <i>Standart Penetration Test</i> (SPT), <i>Kalendering</i> dan <i>Loading Test</i>, serta membandingkan hasil daya dukung tiang dari beberapa metode</p>	<p>Nilai kapasitas kuat dukung yang didapat,yaitu :</p> <p>Dari data sondir rumus Aoki dan De Alencar <math>Q_u = 115,640</math> ton, rumus Meyerhof <math>Q_u = 280,339</math> ton</p>

**Tabel 2.1** Lanjutan

NO	Judul Penelitian	Permasalahan Yang Diangkat	Kesimpulan
	Proyek Pembangunan <i>Swicthyard</i> Di Kawasan PLTU Pangkalan Susu - Sumatra Utara "		Dari data <i>Kalendering</i> rumus ENR $Q_u = 133,131$ ton. Dari bacaan loading test rumus Davisson $Q_u = 124,0$ dan rumus Mazurkiewicz $Q_u = 216,0$ ton
4	Pratama (2016) Dalam jurnalnya tentang "Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Data <i>Kalendering</i> Pada Proyek <i>Icon City Delta Mas</i> , Cikarang Pusat, Bekasi"	Menghitung kapasitas daya dukung aksial tiang pada saat akhir pemancangan ( <i>kalendering</i> ) dan tujuannya membandingkan daya dukung hasil data <i>kalendering</i> di atas dengan kapasitas daya dukung aksial tiang pancang pada saat perencanaan. Perhitungan daya dukung hasil data <i>kalendering</i> dengan metode <i>Hiley</i> , metode <i>Engineering News Record</i> , metode <i>Canandian National Building Code</i> dan metode <i>Wika</i>	Nilai kapasitas kuat dukung yang didapat,yaitu : Rumus <i>Hiley</i> $Q_u = 37.266$ kg , rumus <i>Engineering News Record</i> $Q_u = 44.880$ kg, rumus <i>Canandian National Building Code</i> $Q_u = 57.797$ kg dan rumus <i>Wika</i> $Q_u = 76.676$ kg.
5	Pratama (2020) Dalam penelitiannya tentang "Analisis Kapasitas Dukung Statis Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir (CPT) Pada Gedung Kuliah Kampus Pelita	Perencanaan awal pondasi salah dalam memperhitungkan kapasitas dukung, maka berpotensi besar terjadinya kegagalan konstruksi. Maka dari itu, dilakukan penelitian kapasitas dukung dan penurunan tiang pada Gedung Kuliah Kampus Pelita Indonesia di Pekanbaru yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung, penurunan,	Hasil analisa perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang pancang menggunakan metode statis dan metode elemen hingga 2D pada pondasi tiang pancang As 6-C No.122 dengan mengunakan metode Mayerhoff + deRuiiter dan Beringen $Q_u = 2.729,97$ kN,

**Tabel 2.1** Lanjutan

NO	Judul Penelitian	Permasalahan Yang Diangkat	Kesimpulan
	Indonesia”.	Faktor aman tiang pancang, dan membandingkan kapasitas dukung dan penurunan dengan <i>PDA test</i> .	Untuk pancang tekan $Q_u = 2.434,01$ kN dan <i>PDA test</i> $Q_u = 1.637,71$ kN.
6	Arif (2021) Dalam penelitiannya tentang “Perbandingan Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang <i>Mini</i> Berdasarkan Rumus Dinamis Dan Elemen Hingga Pada Kontruksi <i>Relocation Air Separation</i> PT. Bayu Cipta Artha Di Pekanbaru”	Pondasi harus diperhitungkan sedemikian rupa baik dari segi dimensi maupun secara analitis mekanis, karena permasalahan yang ada dilapangan yaitu kondisi tanah lunak. Maka dari itu dilakukan penelitian kapasitas dukung pada Pembangunan <i>Relocation Air Separation</i> Di Provinsi Riau Milik PT. Bayu Cipta Artha yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang pancang menggunakan rumus dinamis, elemen hingga dan juga kelompok.	Hasil analisa perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang pancang menggunakan rumus dinamis, elemen hingga 2D dan kelompok pada pondasi tiang pancang As P7 dengan menggunakan metode Hiley (1930) $\Sigma Q_u = 990,88$ kN, metode <i>Engineering News-Records</i> (ENR) sebesar $\Sigma Q_u = 1.806,39$ kN, rumus Elemen Hingga sebesar $Q_u = 580,39$ kN dan kelompok tiang sebesar $Q_g = 1.833,34$ kN

### 2.3 Keaslian Penelitian

Judul yang diajukan oleh peneliti dalam penelitian Tugas Akhir ini memang terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu akan tetapi juga terdapat perbedaan seperti lokasi penelitian, metode perhitungan yang digunakan, jenis tanah, kondisi tanah dan fungsi bangunan. Maka dari itu seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan penelitian ini belum pernah diteliti sebelumnya sebagai objek penelitian tugas akhir.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak di bawahnya. Perancangan yang baik diperlukan agar beban pondasi tidak mengakibatkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah di bawahnya karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan (Hardiyatmo, 1996).

Untuk berbagai keadaan lapangan perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut cocok atau apakah pondasi tersebut dapat diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Maka ada hal-hal yang perlu dipertimbangkan yaitu keadaan tanah pondasi, batasan-batasan akibat konstruksi atasnya, batasan-batasan dari sekelilingnya, waktu dan biaya pekerjaan (Sasrodarsono dkk, 2005).

#### 3.2 Metode Penyelidikan Tanah

Dalam suatu pembangunan konstruksi perlunya lapisan setiap kedalaman tanah agar bisa merencanakan pondasi yang bisa memikul beban-beban yang beradiah diatas tanah, ada berbagai metode untuk melakukan penyelidikan tanah tersebut baik setiap lapisannya maupun sifat tanah tersebut seperti permeabilitas, konsolidasi, dan tegangan geser, adapun beberapa cara untuk melakukan penyelidikan tanah guna mengetahui lapisan dan sifatnya seperti *Standart Penetration Test* (N-SPT) dan Sondir (CPT) sebagai berikut.

##### 1. *Standart Penetration Test* (N-SPT)

Uji penetrasi dilakukan pada pondasi dalam seperti tiang pancang guna untuk mengetahui kedalaman tanah keras, SPT dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah, selain itu juga guna mengidentifikasi jenis lapisan tanah setiap kedalamannya sehingga bisa menentukan jenis pondasi yang sesuai dengan sifatsifat tanah tersebut, sifat tanah ditentukan dengan kerapatan relatif tanah,

kerapatan relatif bisa didapatkan dengan menghubungkan dengan nilai N yang diusulkan oleh Terzaghi dan Peck (1948) untuk tanah pasir pada tabel 3.1, sedangkan untuk tanah lempung nilai N dihubungkan dengan kuat tekat bebas.

**Tabel 3.1** Hubungan N dengan kerapatan relative (Dr) tanah pasir (Terzaghi dan Peck, 1948)

Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat tidak padat
4-10	Tidak padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
>50	Sangat padat

Untuk nilai N yang kurang dari 4 kerapatan relatif tidak padat yang berarti angka pori tanah tersebut tinggi, untuk nilai N 4 sampai 10 kepadatan relatif tidak padat, nilai N 10-30 kepadatan sedang, untuk 30-50 kepadatan relatif padat, dan pada untuk nilai N lebih dari 50 sangat padat yang berarti angka pori kecil membuat tanah tersebut merupakan tanah keras.

Nilai N diperoleh dari tabung belah standar yang dimasukan kedalam bore hole, alat dimasukan bersama dengan pipa bor kedasar tanah setelah itu dipukul engan berat 63,5 kg, pukulan pertama dipukul hingga sedalam 15 cm, kemudian dipukul sedalam 30,48 cm, jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar yang diartikan sebagai nilai-N.

Ada beberapa parameter-parameter tanah yang menjadi acuan untuk mendapatkan korelasi data laboratorium berdasarkan observasi di lapangan. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) selain mendapatkan nilai (N-SPT), juga dapat diketahui struktur geologi tanah pada titik lokasi pengujian. Dengan melakukan pendekatan struktur geologi tanah dapat diketahui angka pori ( $e$ ), kadar air dalam keadaan jenuh ( $w$ ), berat volume kering, dan berat jenis tanah ( $G_s$ ) untuk mendapatkan korelasi data yang akan digunakan untuk analisis daya dukung pondasi tiang pancang.

### 3.3 Tanah

Perilaku setiap pondasi sangat tergantung pada karakteristik deposit tanah atau batuan dibawahnya. Istilah batuan dan tanah menunjukkan perbedaan yang sangat jelas antara dua macam material pondasi. Batuan dianggap sebagai suatu agregat alam dari butiran mineral yang dilekatkan oleh gaya kohesif yang kuat dan permanen. Sedangkan tanah dianggap sebagai suatu agregat alam dari butiran mineral, dengan atau tanpa konstituen organik, yang dapat dipisahkan dengan cara mekanis ringan seperti pengadukan dalam air. Walaupun demikian, kenyataan tidak ada perbedaan yang mencolok antara batuan dan tanah. Batuan yang paling kuat dan keraspun dapat dilemahkan melalui proses pelapukan oleh cuaca, dan beberapa tanah yang mengalami pengerasan dapat mempunyai kekuatan setara dengan batuan yang mengalami pelapukan.

Tanah Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, lempung berlanau adalah Tanah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya.

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 atau 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 adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol (Hardiyatmo, 1996).

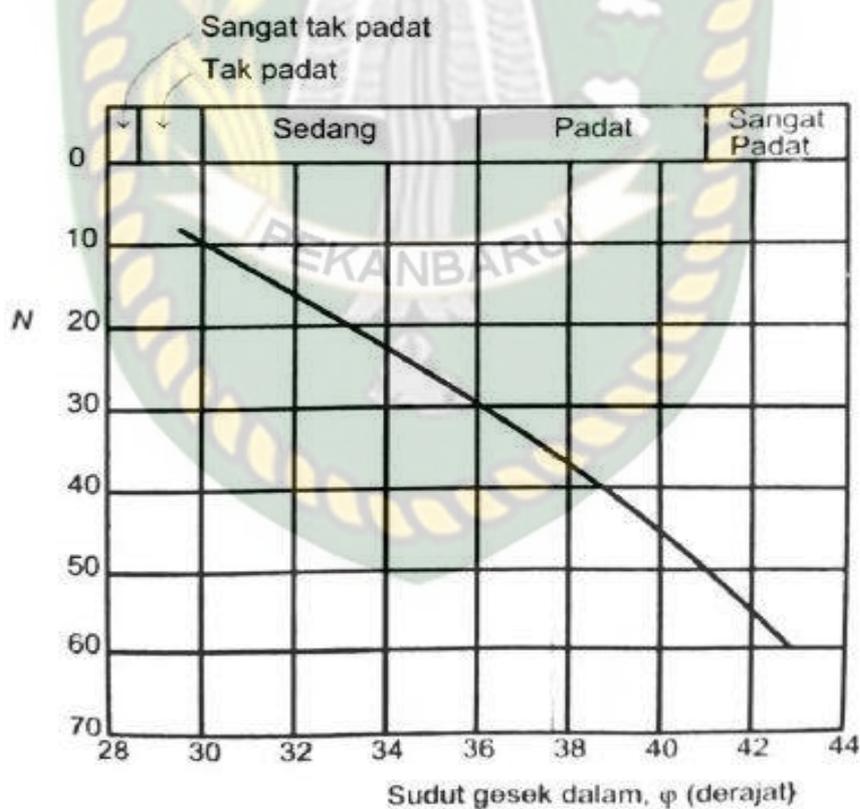
### 3.4 Klasifikasi Parameter Tanah

Dalam jenis tanah yang didapatkan dari SPT, maka selanjutnya dapat mengklasifikasi parameter tanah sesuai dengan jenis tanah dengan cara

pendekatan, pada umumnya jenis tanah ada dua yakni tanah granular dan tanah kohesif, tanah granular tanah yang membulat, atau banyak sisi, tanah jenis ini seperti pasir dan krikil, sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang berbutur halus seperti lempung dan lanau. Adapun parameter tanah yang digunakan dalam *plaxis* antara lain:

1. Sudut gesek dalam

Sudut gesek dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan, Semakin besar sudut gesek dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Sudut gesek dalam biasanya berkaitan dengan N hasil uji SPT, hubungan antara  $\phi'$  dan N disarankan oleh Peck et al pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Hubungan  $\phi'$  dengan N-SPT (Peck et al., 1974)

Gambar 3.1 merupakan hubungan sudut gesek dalam ( $\phi'$ ) dengan N-SPT dimana untuk mendapatkan ( $\phi'$ ) dengan cara dari nilai N yang berada di

sisi kiri ditarik garis hingga ketemu garis kurva yang berda di tengah, kemudian pertemuan garis N dan kurva tadi ditarik lagi garis kebawah sehingga didapatkan sudut gesek dalam ( $\phi'$ ).

## 2. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, saat pengujian kuat geser tanah terdapat air yang dalam tanah maka jenis pengujian, permeabilitas, kadar air menentukan nilai kohesi ( $c$ ), pada pengujian lempung jenuh air sudut gesek dalam mencapai nol yang ada hanyalah nilai kohesinya saja, untuk kohesi tak terdrainase ( $c_u$ ) dapat diperoleh dengan mengetahui kuat tekan bebas ( $q_u$ ), mendapatkan kohesi tak terdrainase ( $c_u$ ) dengan persamaan 3.1:

$$c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Hubungan kuat tekan bebas ( $q_u$ ) tanah lempung dengan konsistensinya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Hubungan kuat tekan bebas ( $q_u$ ) dengan konsistensi (Hardiyatmo, 2003)

Kosistensi	Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lempung Keras	>400
Lempung Kaku	200 - 400
Lempung Sangat Kaku	100 - 200
Lempung Sedang	50 - 100
Lempung Lunak	25 - 50
Lempung Sangat Lunak	<25

Dari Tabel 3.2 nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) dipengaruhi oleh konsistensi tanah lempung, apabila tanah lempung keras maka nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) besar, begitu juga sebaliknya apabila tanah lempung sangat lunak maka nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) kecil.

## 3. Modulus young

Modulus young ialah besarnya elastisitas yang terjadi akibat dari perbandingan tegangan terhadap regangan yang bisa dapat uji *triaxial*.

Nilai modulus young (E) dapat ditentukan dari jenis tanah yang didapatkan dari hasil sondir atau SPT, perkiraan modulus young yang disarankan oleh (Bowles, 1977) ada di Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah (Bowles, 1977 dalam (Hardiyatmo, 2002)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) Kg/cm <sup>2</sup>
Lempung sangat lunak	3 – 30
Lempung lunak	20 – 40
Lempung sedang	45 – 90
Lempung keras	70 – 200
Lempung Berpasir	300 – 425
Pasir berlanau	50 – 200
Pasir tidak padat	100 – 250
Pasir padat	500 – 1000
Pasir dan kerikil padat	800 - 2000
Pasir dan krikil tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Lanau <i>loess</i>	150 – 600
Lanau serpih	1400 - 14000

Nilai modulus young didapatkan pada lempung sangat lunak kecil hal tersebut dikarenakan tegangan pada tanah lempung sangat lunak kecil bila dibandingkan dengan reganagannya begitu juga sebaliknya pada tanah lanau serpih.

#### 4. Poisson rasio

Sebuah benda yang diberi gaya akan mengalami perubahan bentuk, perubahan bentuk terjadi ke arah tegak lurus dengan arah gaya, Poisson ratio ialah perbandingan antara berubahnya arah aksial dengan arah lateral. Pada tanah poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti Tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.4** Nilai-nilai tipikal rasio poisson (Kulhawy), 1983 dalam Hardiyatmo 2015)

Tanah dan Batu	Rasio Poisson ( $\mu$ )
Lempung jenuh, Kondisi Undrained	0,50
Lempung tidak jenuh	0,30 - 0,40
Pasir padat kondisi terdrainase	0,30 - 0,40
Pasir longgar kondisi terdrainase	0,1 - 0,3
Batu pasir	0,25 - 0,30
Granit	0,23 - 0,27

Pada nilai rasio poisson didapatkan lempung jenuh 0,50, hal tersebut dikarenakan apabila perubahan terjadi ke arah tegak lurus dengan arah gaya besar, maka besar pula rasio poissonnya.

#### 5. Permeabilitas

Permeabilitas tergantung dari butiran tanah tersebut, apabila butiran tanah kecil maka meloloskan air juga kecil seperti tanah lempung, beda dengan tanah yang granular seperti pasir yang permeabilitasnya relatif besar. Koefisien permeabilitas dinyatakan dalam ( $k$ ), nilai ( $k$ ) bisa didapatkan melalui pendekatan jenis tanah yang tertera pada Tabel 3.5 dibawah ini.

**Tabel 3.5** Nilai koefisien permeabilitas tanah ( Das, 1995)

Jenis Tanah	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

Permeabilitas yang besa terjadi pada kerikil bersih dikarenakan air mudah lolos disebabkan karena butiran pada kerikil besar maka diperoleh

permaebilitas besar pula berbda dengan lempung dengan butiran yang kecil, maka permaebilitas juga kecil.

#### 6. Berat Jenis Tanah ( $G_s$ )

Berat jenis tanah adalah perbandingan berat satuan bahan dengan berat satuan air. Nilai  $G_s$  juga bisa didapatkan dari jenis tanah, adapun nilai  $G_s$  berdasarkan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6** Berat Jenis Tanah ( $G_s$ ) (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	Berat Jenis Tanah ( $G_s$ )
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lempung anorganik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung anorganik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Berat jenis tanah seperti Tabel 3.6 tentunya diperoleh dengan melakukan pengujian, lalu didapatkan hasil dari pengujian tersebut dimana berat jenis tanah berkisar 2,65 sampai 2,75, untuk tanah kohesif tak organik berkisar antara 2,68 sampai 2,72.

#### 7. Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan volume air dengan volume total rongga pori yang dinyatakan dalam persen (%). Dalam menentukan derajat kejenuhan bisa dilakukan dengan mengetahui keadaan tanah berdasarkan N-SPT, didalam data N-SPT juga dijelaskan apakah tanah tersebut jenuh air, kering atau basah, apabila keadaan tanah tersebut dapat diketahui, maka nilai derajat kejenuhan bisa didapatkan melalui melalui Tabel 3.7.

**Tabel 3.7** Derajat Kejenuhan (Sr) (Hardiyatmo, 2002)

Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (Sr)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	> 0 - 0,25
Tanah lembab	0,26 - 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 - 0,75
Tanah basah	0,76 - 0,99
Tanah jenuh air	1

Dari Tabel 3.7 diperoleh derajat kejenuhan dengan keadaan tanah, apabila tanah mengalami jenuh air atau bisa dikatakan dibawah muka air tanah, maka tanah drajat kejenuhannya 1, apabila tanah diatas muka air tanah bisa dikatakan tanah tersebut agak lembab atau bisa kering, dimana nilai tanah kering drajat kejenuhannya 0.

8. Porositas, Kadar Air, Angka Pori, Berat Volume Basah ( $\gamma_m$ ), Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ )

Porositas (n) merupakan perbandingan antara volume rongga ( $V_v$ ) dan volume total (V), para meter ini berguna untuk mencari angka pori, porositas dinyatakan dalam persen (%) dan untuk kadar air adalah perbandingan berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) yang juga dinyatakan dalam persen (%). Mendapatkan berat volume basah harus diketahui berat butiran air tanah dan udara (W) yang dibagi dengan volume total tanah (V) dan berat volume kering bisa didapatkan dengan berat butiran ( $W_s$ ) dibagi dengan volume total tanah (V). Berat volume basah dan berat volume kering guna menganalisa kapasitas dukung tiang pancang yang mana kedua parameter tersebut dinyatakan dalam  $kN/m^3$ , nilai - nilai parameter tersebut bisa juga ada pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8** Nilai n, e,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_d$  untuk tanah keadan asli di lapangan (Hardiyatmo, 2002)

Macam Tanah	n	e	w	$\gamma_d$	$\gamma_m$
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	14,3	18,9

**Tabel 3.8** Lanjutan

Macam Tanah	n	e	w	$\gamma_d$	$\gamma_m$
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	17,5	20,9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	15,9	19,9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	18,6	21,6
Lempung lunak sedikit organik	66	1,90	70	-	15,8
Lempung lunak sangat organik	75	3,00	110	-	14,3

Parameter tersebut bisa didapatkan atas saran yang dilakukan oleh (Terzaghi, 1947) dengan mengetahui dari jenis tanah di lapangan. Angka pori ( $e$ ) berguna untuk mencari berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) yang mana berat volume jenuh dimasukkan dalam analisa kapasitas dukung tiang pancang di metode elemen hingga 2D, berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + 1)\gamma_w}{1 + e} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana,

$e$  = Angka pori

$\gamma_{sat}$  = Berat volume jenuh

$G_s$  = Berat jenis tanah

$\gamma_w$  = Berat volume air (9,81 kN/m<sup>3</sup>)

### 3.5 Pondasi

Berdasarkan kondisi tanah pondasi, beberapa pondasi dapat digunakan. Jika tanah di dekat permukaan mampu mendukung beban strukturnya secara langsung, maka pondasi dangkal seperti pondasi telapak, pondasi memanjang, pondasi rakit (*raft foundation*) dapat digunakan. Pondasi telapak adalah bagian terbawah dari dinding atau pelebaran alas kolom dengan tujuan untuk meneruskan beban pada tanah dasar pada suatu tekanan yang sesuai dengan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Pondasi rakit (*raft foundation*) adalah pondasi yang terdiri dari pelat tunggal yang meluas, yang mendukung beban struktur secara keseluruhan.

Jika tanah di permukaan tidak mampu mendukung beban struktur di atasnya atau beban perlu dipindahkan ke material yang lebih kuat di tanah yang paling dalam, pondasi dalam seperti pondasi tiang (*pile foundation*) atau pondasi sumuran (*pier foundation*) dapat digunakan.

Pondasi tiang dapat mendukung beban struktur yang sangat besar karena kedalamannya sedemikian rupa dengan penampang melintang yang kecil dibanding tingginya dan biasanya dipancang dengan *hammer* atau *vibrator*. Pondasi sumuran lebih pendek dari pondasi tiang dan umumnya berpenampang melintang yang diameternya lebih besar.

### 3.6 Pondasi Tiang

Pondasi tiang merupakan salah satu pondasi yang memikul beban yang besar dimana pada dasar tanah tidak bisa memikul beban tersebut, lalu beban tersebut mampu dipikul oleh lapisan tanah yang keras dengan kedalaman tertentu yang disalurkan melalui tiang tersebut. Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah daras bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan atau beban yang bekerja (Sardjono HS, 1988).

#### 3.6.1 Kategori Pondasi Tiang

Pondasi tiang dapat dikategorikan dalam tiga kategori (Hardiyatmo, 2008) sebagai berikut:

1. Tiang perpindahan besar (*Large displacement pile*).

Tiang padat atau berlubang dengan ujung tertutup direncanakan di dalam tanah sehingga ada volume transmisi tanah yang relatif besar. Tiang perpindahan besar yaitu tiang kayu, tiang beton padat, tiang beton prategang (padat atau berlubang), tiang baja bulat (ditutup di ujungnya).

2. Tiang perpindahan kecil (*Small displacement pile*).

Sama seperti kategori tiang pertama, hanya volume tanah yang diturunkan ketika pemancangan relatif kecil, misalnya: tiang beton ujung terbuka, tiang beton pracetak ujung terbuka, tiang baja H, tiang

baja bulat ujung terbuka, Tiang berulir.

3. Tiang tanpa perpindahan (*Non displacement pile*).

Terdiri dari tiang yang dipasang di tanah dengan menggali atau mengebor tanah. Termasuk dalam tiang tanpa perpindahan adalah tiang bor, yang merupakan tiang yang pengecoran langsung di lubang yang dihasilkan dari pengeboran tanah (pipa baja diletakkan di lubang dan cor beton).

### 3.6.2 Jenis Pondasi Tiang Menurut Cara Pemindahan Beban

Menurut metode pemindahan beban, tiang pancang (Sardjono, 1991) dibagi menjadi dua:

1. *End bearing pile* atau tiang pancang dengan resistansi ujung. Tiang ini melewati beban melalui resistansi ujung ke lapisan tanah yang keras yang mampu menerima beban yang diperoleh oleh tiang. Lapisan tanah yang keras bisa dari tanah liat yang keras hingga batu yang sangat keras.
2. *Friction pile* yaitu tiang pancang yang bertahan pada pelekatan antaran tiang dan tanah dibagi menjadi dua:
  - a. *Friction pile* di tanah dengan butiran tanah kasar dan mudah melewati air. Tiang ini menempatkan ketegangan di tanah melalui kulit (gesekan kulit). Proses pemilihan pemancangan tiang dilakukan dalam kelompok (grup), dimana tanah antara tiang menjadi kuat.
  - b. *Friction pile* di tanah dengan butiran tanah halus dan sangat sulit melewati air. Tiang ini juga membawa beban melintasi tanah (gesekan kulit). Namun, dalam proses pemasangan tiang ini, tanah diantara tiang tidak semakin padat.

### 3.6.3 Jenis Bahan Yang Digunakan Tiang Pancang

Menurut bahan yang digunakan, tiang pancang dibagi 6 (Hardiyatmo, 2008) yaitu :

1. Tiang kayu

Tiang kayu adalah tiang kayu, biasanya dengan diameter 10-25 cm.

Tiang kayu cerucuk banyak digunakan di Indonesia untuk meningkatkan kapasitas operasi tanah lunak dengan diameter 8-10 cm dan panjang 4 meter. Tiang kayu lebih murah dan lebih mudah digunakan daripada jenis tiang lainnya. Permukaan tiang mungkin dilindungi atau tidak, tergantung pada kondisi tanah. Tiang kayu ini mudah busuk atau dirusak karena makan serangga dan bisa terjadinya pelapukan. Untuk mencegah kerusakan pada tiang kayu, terutama pada saat pemancangan, ujung tiang dilindungi dengan sepatu besi. Beban maksimum yang dapat dipikul tiang kayu dapat mencapai 270 - 300 KN.

2. Tiang beton pracetak

Tiang beton pracetak adalah tiang beton yang dicetak ke suatu tempat dan diangkut berdasarkan rencana bangunan. Tiang beton umumnya dalam bentuk prisma atau bulat dan diameternya umumnya digunakan untuk tiang tanpa lubang antara 20 - 60 cm. Sedangkan untuk pilar berlubang, diameternya bisa mencapai 140 cm dan panjang tiang beton pra-cetak biasanya berkisar antara 20-40 meter untuk yang tanpa lubang. Untuk tiang tanpa lubang, 60 meter dapat dicapai. Beban maksimum yang dapat dibawa untuk tiang regangan kecil adalah antara 300 - 800 kN.

Nilai – nilai beban maksimum tiang beton pracetak pada umumnya, yang ditinjau dari segi kekuatan bahan tiangnya dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9** Nilai – nilai tipikal beban izin tiang beton pracetak (Hardiyatmo, 2010)

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.

Tiang betong cetak ditempat ada dua jenis yaitu :

a. Tiang berselubung pipa

Pada tiang yang diselubungi pipa, pipa baja pertama kali dimasukkan ke tanah dan kemudian ke dalam lubang mortar beton dimasukkan dan pipa tetap di tanah.

b. Tiang tanpa berselubung pipa

Dalam pipa yang tidak ditutupi oleh pipa, pipa baja berlubang dipancang terlebih dahulu ke dalam tanah, kemudian ke dalam lubangnya dimasukkan beton dan pipa ditarik keluar sesudah atau ketika pengecoran.

4. Tiang bor.

Tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian dimasukkan tulangan yang telah dirangkai dan cor beton. Tiang ini bila dipakai 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. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang.

5. Tiang baja profil

Tiang baja profil mengandung tiang pancang dengan bahan baja profil. Tiang-tiang ini mudah dirawat dan dapat mendukung beban dampak tinggi ketika dipancang pada lapisan keras. Profil tiang baja berbentuk profil H, segi empat, segi enam dan lain - lain.

6. Tiang komposit

Beberapa kombinasi bahan tiang pancang atau tiang bor dengan tiang pancang dapat digunakan untuk mengatasi masalah – 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.

### 3.6.4 Jenis Pondasi Tiang Pancang Beton Berdasarkan Cara Pembuatan

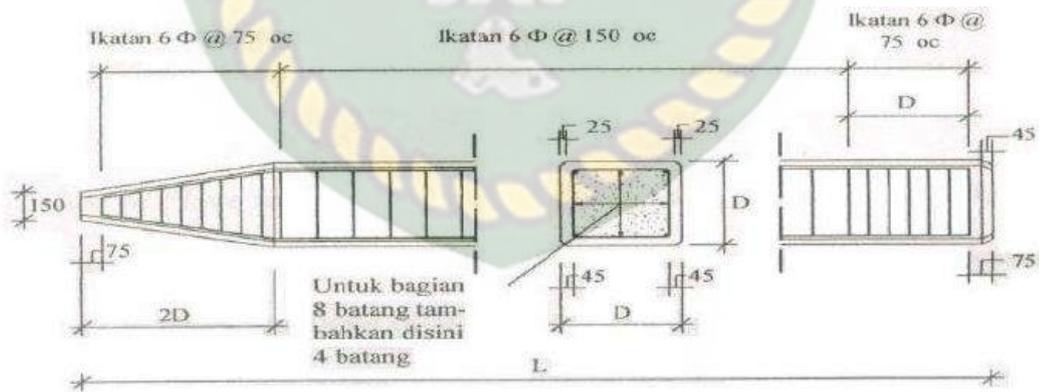
Tiang pancang jenis ini terbuat dari beton. Tiang pancang ini dapat dibagi dalam 3 macam berdasarkan cara pembuatannya (Bowles, 1991) yaitu:

#### 1. *Precast Reinforced Concrete*

*Pile Precast Reinforced Concrete Pile* adalah tiang pancang beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (*bekisting*) yang setelah cukup keras kemudian diangkat dan dipancangkan. Karena tegangan tarik beton kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri beton besar, maka tiang pancang ini harus diberikan penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan.

Tiang pancang ini dapat memikul beban yang lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiang, hal ini tergantung pada jenis beton dan dimensinya.

*Precast Reinforced Concrete Pile* penampangnya dapat berupa lingkaran, segi empat, segi delapan dapat dilihat pada (Gambar 3.1)

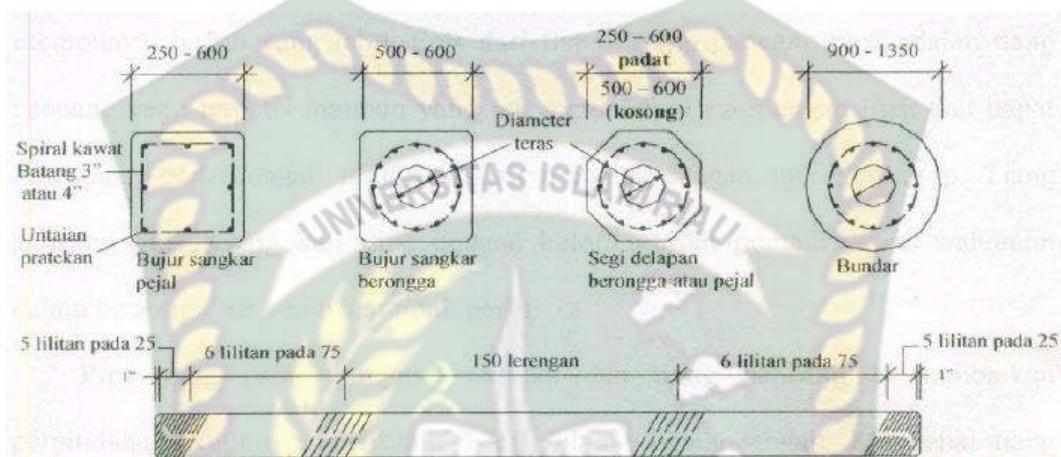


**Gambar 3.2** Tiang pancang beton *precast concrete pile* (Bowles, 1991)

#### 2. *Precast Prestressed Concrete Pile*

*Precast Prestressed Concrete Pile* adalah tiang pancang beton yang dalam pelaksanaan pencetakannya sama seperti pembuatan beton *prestess*, yaitu dengan menarik besi tulangnya ketika dicor dan

dilepaskan setelah beton mengeras seperti dalam (Gambar 3.2). Untuk tiang pancang jenis ini biasanya dibuat oleh pabrik yang khusus membuat tiang pancang, untuk ukuran dan panjangnya dapat dipesan langsung sesuai dengan yang diperlukan.



**Gambar 3.3** Tiang pancang *Precast Prestressed Concrete Pile* (Bowles, 1991)

### 3. *Cast in Place*

*Cast in Place* merupakan tiang pancang yang dicor ditempat dengan cara membuat lubang dit tanah terlebih dahulu dengan cara melakukan pengeboran.

Pada *Cast in Place* ini dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

- a. Dengan pipa baja yang dipancang ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumbuk sambil pipa baja tersebut ditarik keatas.
- b. Dengan pipa baja yang dipancang ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton sedangkan pipa baja tersebut tetap tinggal di dalam tanah.

#### 3.6.5 Kategori Tiang Pancang Berdasarkan Ukuran

Berdasarkan ukurannya, pondasi bangunan berjenis tiang pancang dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu *mini pile* dan *maxi pile*. Tiang pancang *mini pile* merupakan tiang yang berukuran kecil dan umumnya digunakan dalam pondasi bangunan rendah serta tanah yang kokoh. Sedangkan tiang pancang *maxi pile* adalah tiang pancang yang bisa diandalkan untuk pondasi bangunan

bertingkat dan tanah yang agak labil. Berbagai ukuran tiang pancang dapat dibagi dua kelompok, yaitu :

1. *Mini pile* (Ukuran Kecil)

Tiang pancang berukuran kecil ini digunakan untuk bangunan-bangunan bertingkat rendah dan tanah relative baik. Ukuran dan kekuatan yang ditawarkan adalah:

- a. Berbentuk penampang segitiga dengan ukuran 28 dan 32.

Tiang penampang segitiga berukuran 28 mampu menopang beban 25 – 30 ton. Dan Tiang penampang segitiga berukuran 32 mampu menopang beban 35 – 40 ton.

- b. Berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 20x20 dan 25x25.

Tiang bujur sangkar berukuran 20x20 mampu menopang tekanan 30 – 35 ton. 4. Dan Tiang bujur sangkar berukuran 25 x 25 mampu menopang tekanan 40 – 50 ton.



**Gambar 3.4** *Mini Pile* ( PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI)

2. *Maxi pile* (Ukuran Besar)

Tiang pancang ini berbentuk bulat (*spun pile*) atau kotak (*square pile*). Tiang pancang ini digunakan untuk menopang beban yang besar pada bangunan bertingkat tinggi. Bahkan untuk ukuran 50x50 dapat menopang beban sampai 500 ton.



**Gambar 3.5** *Maxi Pile* ( PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI)

### 3.6.6 *Quality Control*

1. Kondisi fisik tiang
  - a. Seluruh permukaan tiang tidak rusak atau retak
  - b. Umur beton telah memenuhi syarat
  - c. Kepala tiang tidak boleh mengalami keretakan selama pemancangan
2. Penetrasi

Tiang sebelum dipancang harus diberi tanda pada setiap setengah meter di sepanjang tiang untuk mendeteksi penetrasi per setengah meter. Dicatat jumlah pukulan untuk penetrasi setiap setengah meter.
3. *Kalendering*

Hasil *kalendering* digunakan pada pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat yang digunakan pada saat pelaksanaan *kalendering* adalah: spidol, kertas milimeter, selotip dan kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya. Pengambilan data *kalendering* dilakukan pada saat tiang mencapai

tanah keras. Pamancangan baru dapat dihentikan apabila telah dicapai *final set* sesuai perhitungan.

Besarnya penetrasi atau penurunan diambil untuk 10 x pukulan seperti pada (Gambar 3.5).



**Gambar 3.6** Hasil *Kalendering* (Teknikkontruksi.blogspot.com)

### 3.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Rumus Dinamis

Rumus dinamis digunakan untuk pendekatan perhitungan kekuatan/kapasitas dukung pondasi tiang pancang tunggal, dengan data dari :

1. Tipe dan spesifikasi alat pancang
2. Jenis dan spesifikasi tiang pancang
3. Data pemancangan (tinggi jatuh/*ram stroke*, panjang tiang tertanam, *final set* dan *rebound*, dsb)
4. Koefisien empiris yang berbeda untuk tiap rumusan dinamik

Seluruh rumus dinamik merupakan rumus-rumus empiris, yang berarti mengandung konstanta-konstanta empiris yang nilainya bergantung pada asumsi dan kondisi pada saat rumus tersebut dibuat dan dikembangkan dari hasil pemantauan perhitungan dan percobaan yang dilakukan dalam rentang waktu tertentu (Hardiyatmo, 2008).

Rumus pancang dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut ini (lihat Gambar 3.7).

Saat pemukul membentur kepala tiang, momentum dari *ram* awal :

$$MR = \frac{Wr \times vi}{g} \dots\dots\dots (3.3)$$

Pada akhir periode kompresi:

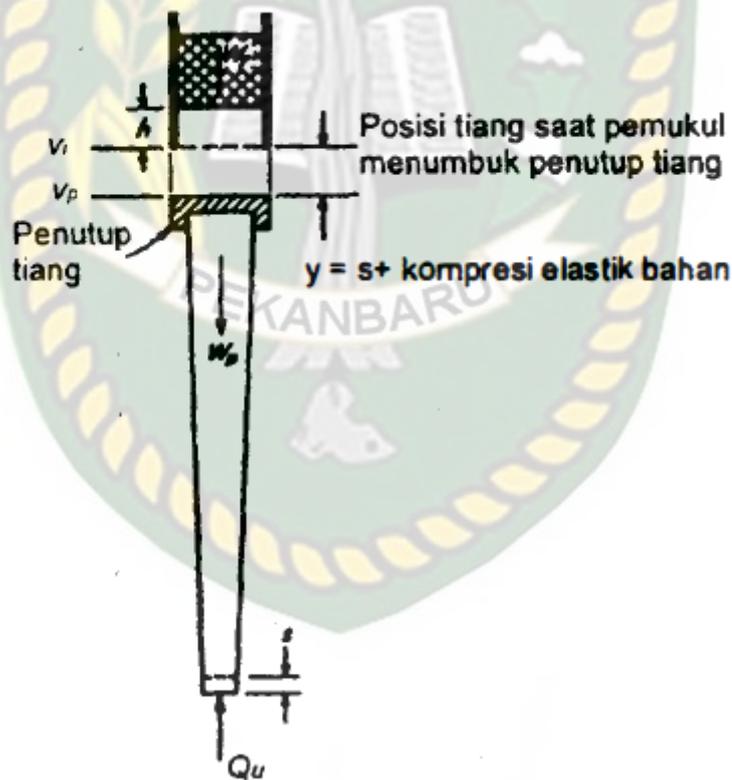
$$MR = \frac{Wr \times vi}{g} I \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan kecepatan :

$$V_{ce} = \left[ \frac{Wr \times vi}{g} - I \right] \left[ \frac{g}{Wr} \right] \dots\dots\dots (3.5a)$$

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

$$V_{ce} = (g/Wp)I \dots\dots\dots (3.5b)$$



**Gambar 3.7** Notasi yang digunakan dalam rumus dinamis tiang pancang.  
 (Hardiyatmo ,2008)

Selain itu, bila dianggap tiang dan *ram* belum terpisah saat periode akhir kompresi, kecepatan sesaat tiang dan *ram* sama, karena itu kombinasi **Persamaan (3.5a) dan (3.5b)**,

$$I = v_i \frac{Wr \times Wp}{g (Wr \times Wp)} \dots\dots\dots(3.5c)$$

Pada akhir periode restitusi, momentum tiang:

$$I + nl = \left(\frac{Wp}{g}\right)v_p \dots\dots\dots (3.5d)$$

Substitusi Persamaan (3.3c) ke (3.3d), diperoleh

$$v_p = v_i \frac{Wr \times Wp}{g (Wr \times Wp)} Wr \dots\dots\dots (3.5e)$$

Pada akhir periode restitusi, momentum ram :

$$\frac{Wr \times v_i}{g} - I - nl = \frac{Wr \times v_r}{g} \dots\dots\dots (3.5f)$$

Substitusi I,

$$v_r = \frac{Wr - n Wp}{Wr \times Wp} v_i \dots\dots\dots (3.5g)$$

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

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

Substitusi Persamaan (3.5e) dan (3.5g), dengan beberapa penyederhanaan dapat diperoleh :

$$\frac{Wr}{2g} v_r^2 + \frac{Wp}{2g} v_p^2 = e_h Wr h \frac{Wr + n^2 Wp}{Wr \times Wp} \dots\dots\dots (3.5h)$$

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

$$Q_u s = e_h Wr h$$

Perpindahan puncak tiang sesaat adalah  $s + k1 + k2 + k3$ , dimana hanya s yang permanen. Energi input aktual pada tiang:

$$e_h Wr h = Q_u (s + k1 + k2 + k3) = Q_u C$$

Penggantian suku persamaan energi ekivalen dengan ekivalen dari Persamaan (3.3h), diperoleh :

$$Q_u = \frac{e_h Wr h}{C} \frac{Wr + n^2 Wp}{Wr + Wp} \dots\dots\dots (3.5i)$$

Suku  $k_2$  dapat diambil sebagai kompresi elastis dari tiang  $\frac{Qu \times L}{AE}$  sehubungan dengan energi regangan  $\frac{Qu^2 \times L}{2AE}$ . Bila **Persamaan (3.5i)** diberikan faktor  $\frac{1}{2}$  untuk  $k$  (untuk energi regangan), diperoleh persamaan *Hiley* (1930),

Dalam penjabaran rumus pancang, terlebih dahulu perlu ditunjukkan notasi-notasi dan satuan yang akan dipakai :

- A = Tampang melintang tiang ( $L^2$ )
- E = Modulus elastis bahan tiang ( $FL^{-2}$ )
- eh = efisiensi palu (*hammer efficiency*)
- Eh = Energi pemukul dari pabrik per atuan waktu (LF)
- g = percepatan gravitasi ( $LT^{-2}$ )
- h = tinggi jatuh ram (L)
- I = jumlah impuls menyebabkan kompresi/perubahan momentum (FT)
- k1 = kompresi elastis blok penutup *capblock* dan *pile cap* (L)
- k2 = kompresi elastis tiang, yaitu  $\frac{Qu \times L}{A \times E}$
- k3 = kompresi elastis tanah (L)
- L = panjang tiang (L)
- m = massa (berat / gravitasi) ( $FT^2L^{-1}$ )
- Mr = ram momentum =  $M_{rv}$  (FT)
- n = koefisien restitusi
- nl = jumlah impuls yang menyebabkan restitusi (FT)
- Qu = kapasitas tiang ultimit
- s = penetrasi per pukulan (L)
- v<sub>ce</sub> = kecepatan tiang dan ram pada akhir periode kompresi ( $LT^{-1}$ )
- v<sub>i</sub> = kecepatan ram pada saat benturan ( $LT^{-1}$ )
- v<sub>p</sub> = kecepatan tiang pada akhir periode restitusi ( $LT^{-1}$ )
- v<sub>r</sub> = kecepatan ram pada akhir periode restitusi ( $LT^{-1}$ )
- Wp = berat tiang, termasuk *pile cap*, *driving shoe*, dan *cap block* (F)
- Wr = berat ram (untuk pemukul aksi dobel termasuk berat *casing*) (F)

### 3.7.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Metode Hiley (1930)

Kapasitas daya dukung Hiley (1930) ditentukan sebagai berikut :

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{S + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \dots\dots\dots (3.6)$$

Untuk pemukul aksi double atau *diferensial*, Chellis ( 1941 , 1961 ) menyarankan penyesuaian persamaan Hiley:

$$Q_u = \frac{e_h E h}{S + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \dots\dots\dots (3.7)$$

Kapasitas ijin tiang ( $Q_{all}$ ) pada final set :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana :

- $Q_u$  = kapasitas tiang ultimit (Kg)
- $e_h$  = efisiensi palu (*hammer efficiency*)
- $W_r$  = berat *ram* (untuk pemukul aksi double termasuk berat *casing*) (Kg)
- $h$  = tinggi jatuh *ram* (m)
- $n$  = koefisien restitusi
- $s$  = penetrasi per pukulan (m)
- $k_1$  = kompresi elastis blok penutup *capblock* dan *pile cap* (m)
- $k_2$  = kompresi elastis tiang (m), yaitu  $\frac{Q_u \times L}{A \times E}$
- $k_3$  = kompresi elastis tanah (m),.
- $W_p$  = berat tiang, termasuk *pile cap*, *driving shoe*, dan *cap block* (Kg)
- $SF = 4$

Untuk Koefisien  $k_1$  dihitung dengan :

$$\frac{Q_u}{As} \dots\dots\dots (3.9)$$

Untuk mencari nilai-nilai  $k_1$  dapat dilihat pada **Tabel 3.3a** Nilai-nilai  $k_1$  (Chellis,1961) sebagai berikut :

**Tabel 3.10a** Nilai-nilai  $k_1$  (Chellis,1961) dalam Hardiyatmo, 2008)

Bahan Tiang	Nilai-nilai $k_1$ (mm), untuk tegangan akibat pukulan pemancangan dikepala tiang			
	3,5 Mpa	7 Mpa	10,5 Mpa	14 Mpa
Tiang baja atau pipa langsung pada kepala tiang	0	0	0	0
Tiang kayu langsung pada kepala tiang	1,3	2,5	3,8	5
Tiang beton pracetak dengan 75 – 100 mm bantalan didalam <i>cap</i>	3	6	9	12,5
Baja tertutup <i>cap</i> yang berisi bantalan kayu untuk tiang baja $H$ atau tiang pipa	1	2	3	4
Piringan fiber 5 mm diantara 2 pelat baja 10 mm	0,5	1	1,5	2

Untuk mencari nilai efisiensi  $e_h$  dapat dilihat pada **Tabel 3.10b** Nilai efisiensi  $e_h$  (Bowles, 1977) sebagai berikut :

**Tabel 3.10b** Nilai efisiensi  $e_h$  (Bowles, 1977) dalam Hardiyatmo, 2008)

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

Untuk mencari Koefisien restitusi  $n$  dapat dilihat pada **Tabel 3.10c** Koefisien restitusi  $n$  (Bowles, 1977) sebagai berikut :

**Tabel 3.10c** Koefisien restitusi  $n$  (Bowles, 1977) dalam Hardiyatmo, 2008)

Material	$n$
<i>Broomed wood</i>	0
Tiang kayu (ujung tidak rusak)	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang baja	0,32
Bantalan kayu padat di atas tiang baja	0,40
Landasan baja pada baja ( <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

Untuk Koefisien  $k_2$  dihitung sama dengan

$$\frac{Q_u \times L}{A \times E_p} \dots\dots\dots (3.10)$$

Untuk nilai  $k_3$  dapat diambil (Bowles, 1982):

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

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

**3.7.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Metode *Engineering News-Records (ENR)***

Energi yang masuk = energi digunakan + energi hilang

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

$$E = Q_u s + \Delta E \dots\dots\dots (3.11a)$$

Jika  $\Delta E = Q_u C$  dan  $E = W_r h$ , dengan  $C =$  konstanta empiris untuk energi hilang sewaktu pemancangan,  $W_r =$  berat pemukul,  $h =$  tinggi jatuh pemukul, maka **Persamaan 3.9a** menjadi:

$$\begin{aligned}
 W_r h &= Q_u s + Q_u C \\
 &= Q_u (s + C) \dots\dots\dots(3.11b)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan ini diperoleh,

$$Q_u = \frac{W_r h}{s + C} \dots\dots\dots(3.11c)$$

Nilai  $C$  umumnya diambil 0,1 " (0,25 cm) untuk pemukul dengan mesin tenaga uap dan 1 " (2,5 cm) untuk pemukul yang dijatuhkan. **Persamaan 3.11c** merupakan formula pemancangan tiang yang disarankan oleh Sanders (1851). Pada formula tersebut faktor aman ( $F$ ) diambil kira-kira 8.

Rumus *ENR* didasarkan pada penggunaan satu faktor kehilangan energi saja dan dengan mengambil faktor  $e_h = 1$ , sebagai berikut :

1) Pemukul jatuh (*drop hammer*) :

$$Q_u = \frac{W_r h}{s + 2,5} \dots\dots\dots(3.12a)$$

2) Pemukul tenaga uap (*steam hammer*) :

$$Q_u = \frac{W_r h}{s + 0,25} \dots\dots\dots(3.12b)$$

dengan  $Q_u = Q_u / F =$  kapasitas ijin tiang dengan faktor aman untuk rumus *ENR*.  $F = 6$ . Dalam persamaan ini, satuan panjang ( $h$  dan  $s$ ) yang dipakai adalah cm dan satuan berat  $W_r$  dalam kg. Pada tahun-tahun terakhir, rumus *ENR* dimodifikasi menjadi (Bowles, 1988):

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + 0,25} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \dots\dots\dots(3.13)$$

Kapasitas ijin tiang ( $Q_{all}$ ) pada final set terdapat dalam **persamaan 3.12**, yaitu :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(3.14)$$

dengan faktor aman  $F = 6$ ,  $s$  dan  $h$  dalam cm.

### 3.8 Faktor Aman

Untuk memperoleh kapasitas ujung tiang, maka diperlukan suatu angka pembagi kapasitas ultimate yang disebut dengan faktor aman (keamanan) tertentu. Faktor keamanan ini perlu diberikan dengan maksud :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan 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 (d) dari hasil banyak pengujian - pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2, 5.

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang (**Tabel 3.11**), yang dipertimbangkan faktor - faktor sebagai berikut :

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

**Tabel 3.11.** Faktor Aman Yang Disarankan (Reese & O’Neill, 1989) (Hardiyatmo, 2008)

Klasifikasi struktur	Faktor aman (F)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3,0	3,5	4,0
Permanen	2,0	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas tiang ijin ( $Q_a$ ) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit ( $Q_u$ ) dibagi dengan faktor aman ( $F$ ) yang sesuai . Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan fondasi tiang bergantung pada jenis tiang, sebagai berikut :

1. Tiang Pancang

$$Q_u = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots(3.15a)$$

Beberapa peneliti menyarankan faktor keamanan yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas izin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots\dots\dots(3.15b)$$

Penggunaan faktor keamanan 1,5 untuk tahanan gesek dinding ( $Q_s$ ) yang harganya lebih kecil dari faktor keamanan tahanan ujung yang besarnya 3, karena nilai puncak tahanan gesek dinding dicapai bila tiang mengalami penurunan 2 sampai 7 mm, sedang tahanan ujung ( $Q_b$ ) membutuhkan penurunan yang lebih besar agar tahanan ujungnya bekerja secara penuh. Jadi maksud penggunaan faktor keamanan tersebut adalah untuk meyakinkan keamanan tiang terhadap keruntuhan dengan mempertimbangkan penurunan tiang pada beban kerja yang diterapkan.

## 2. Tiang Bor

Kapasitas ijin tiang bor, diperoleh dari jumlah tahanan ujung dan tahanan gesek dinding yang dibagi faktor keamanan tertentu.

- a. Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter  $d < 2$  m

$$Q_s = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (3.16a)$$

- b. Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawah

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots (3.16b)$$

Untuk diameter tiang ( $d$ ) lebih dari 2 m, kapasitas tiang ijin perlu dievaluasi dari pertimbangan penurunan tiang. Selanjutnya, penurunan struktur harus pula dicek terhadap persyaratan besar penurunan toleransi yang masih diijinkan.

### 3.9 Metode Elemen Hingga

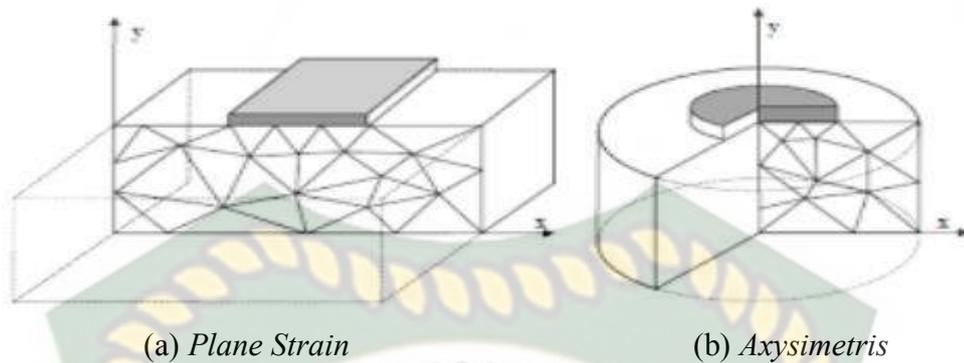
Plaxis merupakan sebuah program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang dikembangkan khusus untuk melakukan analisa deformasi dan stabilitas dalam bidang geoteknik. Akurasi hasil yang didapatkan dari program ini dibandingkan dilapangan tergantung kaahlian pengguna dalam memodelkan permasalahan, parameter yang digunakan, pemahaman terhadap model-model, dan kemampuan menginterpretasikan hasil penggunaan plaxis. Di dalam plaxis terdapat dua pemodelan yaitu:

#### 1. *Axysimetris*

Pemodelan ini digunakan pada struktur yang separuh melingkar dengan potongan melintang sumbu  $x$  dan  $y$ , dimana sumbu  $x$  menggambarkan radius putaran dan sumbu  $y$  adalah sumbu yang mempresentasikan atau meragamkan separuh lingkaran lagi.

#### 2. *Plane Strain*

Pemodelan ini digunakan untuk pemodelan struktur yang menerus, seperti dinding penahan tanah, jalan, dan saluran drainase.



**Gambar 3.8** Ilustrasi Permodelan *Plane strain* dan *Axisymmetric*  
(Brinkgreve,2002)

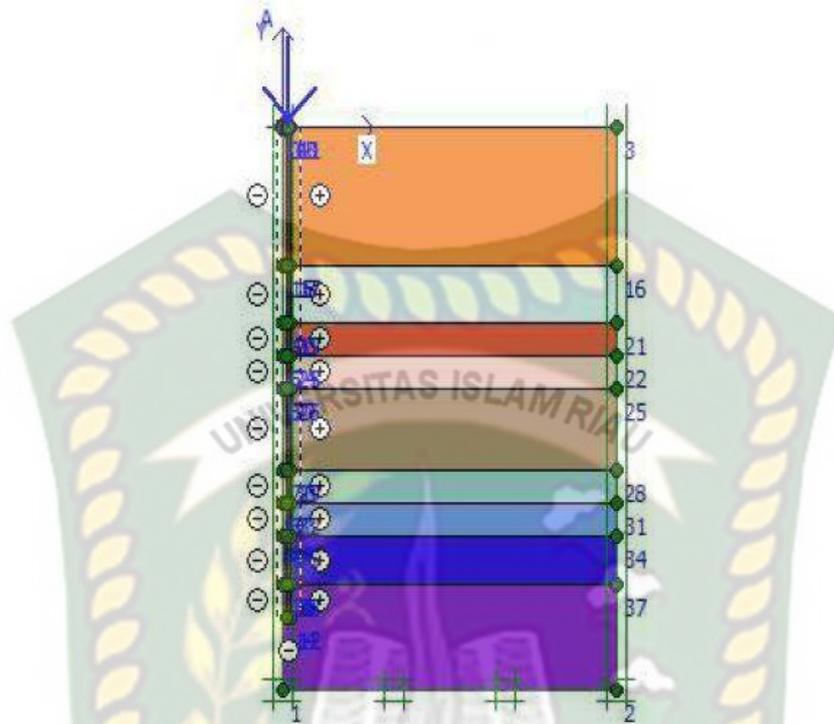
### 3.10 Kapasitas Daya Dukung Tiang Menggunakan Program Plaxis 2D V8.6 Permodelan *Axisymmetric*

Plaxis (*Finite Element Code For Soil and Rock Analyses*) merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan – perencanaan sipil. *Plaxis* dapat digunakan untuk melakukan pemodelan dan analisis semua permasalahan geoteknik seperti *slope stability*, *seepage*, dan konsolidasi. Selain itu *Plaxis* juga dapat memodelkan dan menganalisa struktur geoteknik dan interaksi tanah dengan struktur seperti pondasi dangkal, pondasi dalam, dinding penahan tanah, ankur (*anchor*), dan sebagainya.

Secara garis besar tahapan pemodelan dan analisis menggunakan Plaxis terdiri dari : 1. *General Setting*, 2. *Geometry*, 3. *Material Properties*, 4. *Initial Condition*, 5. *Calculation*.

#### 1. Pemodelan pada program *Plaxis 2D V8.6*

Sebelum melakukan perhitungan secara numerik, maka harus terlebih dahulu dirancang pemodelan dari pondasi tiang pancang yang akan dianalisis seperti pada gambar berikut:



**Gambar 3.9** Model Pondasi Tiang Pancang.

Material yang dipergunakan dalam pemodelan tersebut meliputi material tanah dan pondasi yang mempunyai sifat-sifat teknis dari masing-masing material yang mempengaruhi perilakunya. Dalam program *Plaxis*, sifat-sifat tersebut diwakili oleh parameter dan pemodelan yang spesifik. Tanah dan batuan mempunyai kecenderungan perilaku yang non-linier dalam kondisi pembebanan. Pemodelan dalam program ini sangat terbatas dalam memodelkan perilaku tanah, sehingga lebih umum digunakan untuk struktur yang padat dan kaku di dalam tanah. Input parameter berupa *Modulus Young* (E) dan *rasio Poisson* ( $\nu$ ) dari material yang bersangkutan.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \dots\dots\dots(3.18)$$

Di dalam program *Plaxis* ada beberapa jenis pemodelan tanah diantaranya adalah model *Soft Soil*, dan *Mohr – Coulomb*.

a. Model Tanah *Mohr – Coulomb*

Pemodelan *Mohr – Coulomb* mengasumsikan bahwa perilaku tanah bersifat plastis sempurna (*Linear Elastic Perfectl Plastic Model*), dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas dimana pada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Input parameter meliputi lima parameter, yaitu :

- 1) *Modulus Young* (E), *rasio Poisson* ( $\nu$ ) yang memodelkan keelastisitan tanah.
- 2) Kohesi (c), sudut geser ( $\phi'$ ) memodelkan perilaku plastis dari tanah.
- 3) Sudut dilantasi ( $\psi$ ) memodelkan perilaku dilantasi tanah.

Pada metode *Mohr – Coulomb* umumnya dianggap bahwa nilai E konstan untuk suatu kedalaman pada suatu jenis tanah, namun jika diinginkan adanya peningkatan nilai E per kedalaman tertentu disediakan input tambahan dalam program *Plaxis*.

Nilai *rasio Poisson* ( $\nu$ ) dalam pemodelan *Mohr – Coulomb* didapat dari hubungannya dengan koefisien tekanan.

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\frac{\nu}{1-\nu} = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana :

Secara umum nilai  $\nu$  bervariasi dari 0,30 sampai 0,40 namun untuk kasuskasus pengalihan (*unloading*) nilai  $\nu$  yang lebih kecil masih realistis.

Nilai kohesi c dan sudut geser  $\phi'$  diperoleh dari uji geser *triaxial*, atau diperoleh dari hubungan empiris berdasarkan data uji lapangan. Sementara sudut dilantasi  $\psi$  digunakan untuk memodelkan regangan

volumetrik plastik yang bernilai positif. Pada tanah lempung NC, pada umumnya tidak terjadi dilatasi ( $\psi=0$ ), sementara pada tanah pasir dilatasi tergantung dari kerapatan dan sudut geser  $\varphi'$  dimana  $\psi = \varphi'-30^0$ . Jika  $\varphi' < 30^0$  maka  $\psi = 0$ . Sudut dilatasi  $\psi$  bernilai negatif hanya bersifat realistis jika diaplikasikan pada pasir lepas.

b. Model Tanah Lunak (*Soft Soil*)

Seperti pada pemodelan *Mohr – Coulomb*, batas kekuatan tanah dimodelkan dengan parameter kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\varphi'$ ), dan sudut dilatasi ( $\psi$ ). Sedangkan untuk kekuatan tanah dimodelkan menggunakan parameter  $\lambda^*$  dan  $k^*$ , yang merupakan parameter kekakuan yang didapatkan dari uji triaksial maupun oedometer.

$$\lambda^* = \frac{Cc}{2.3 (1+e)} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$k^* = \frac{2Cs}{2.3 (1+e)} \dots\dots\dots(3.22)$$

Model *Soft Soil* ini dapat memodelkan hal-hal sebagai berikut :

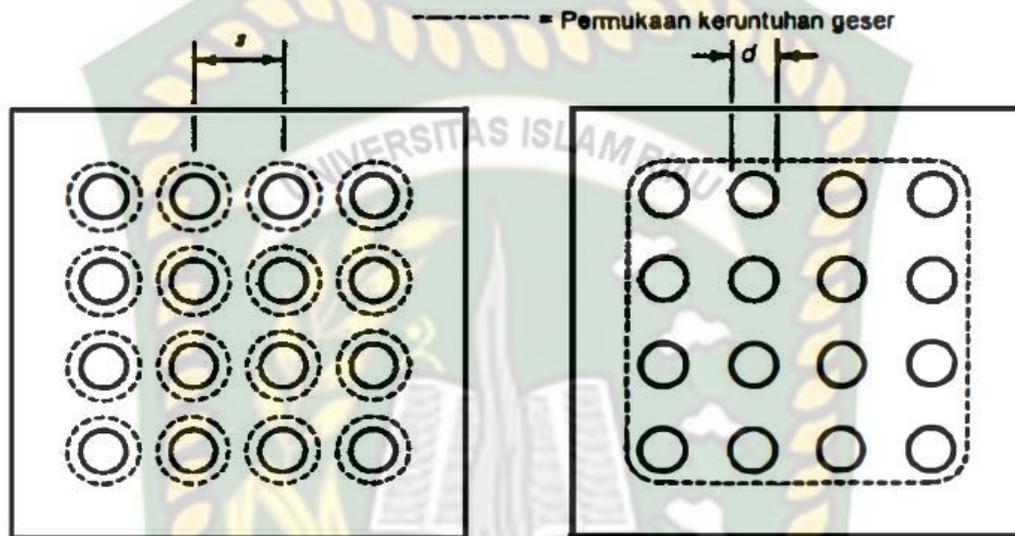
- 1) Kekakuan yang berubah bersama dengan tegangan (*Stress Dependent Stiffness*)
- 2) Membedakan pembebanan primer (*Primary loading*) terhadap *unloading-reloading*.
- 3) Mengingat tegangan per-konsolidasi.

**3.11 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok**

Pada kelompok tiang yang dasarnya bertumpu pada lapisan lempung lunak, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan. Terutama untuk jarak tiang-tiang yang dekat. Pada tiang yang dipasang pada jarak yang besar, tanah diantara tiang-tiang bergerak sama sekali ketika tiang bergerak kebawah oleh akibat beban yang bekerja. Saat tanah yang mendukung beban kelompok tiang ini mengalami keruntuhan, maka model keruntuhannya disebut

keruntuhan blok.

Jadi, pada keruntuhan blok tanah yang terletak diantara tiang bergerak kebawah bersama - sama dengan tiangnya. Mekanisme keruntuhan yang demikian dapat terjadi pada tipe-tipe tiang pancang maupun tiang bor (Hardiyatmo, 2008).



**Gambar 3.10** Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang :

(a) Tiang tunggal, (b) Kelompok tiang (Hardiyatmo, 2008).

Beberapa persamaan efisiensi tiang telah diusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan-persamaan yang diusulkan didasarkan pada susunan tiang, jarak relatif dan diameter tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Salah satu dari persamaan-persamaan efisiensi tiang tersebut, yang disarankan oleh *Converse-Labarre Formula*, sebagai berikut:

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

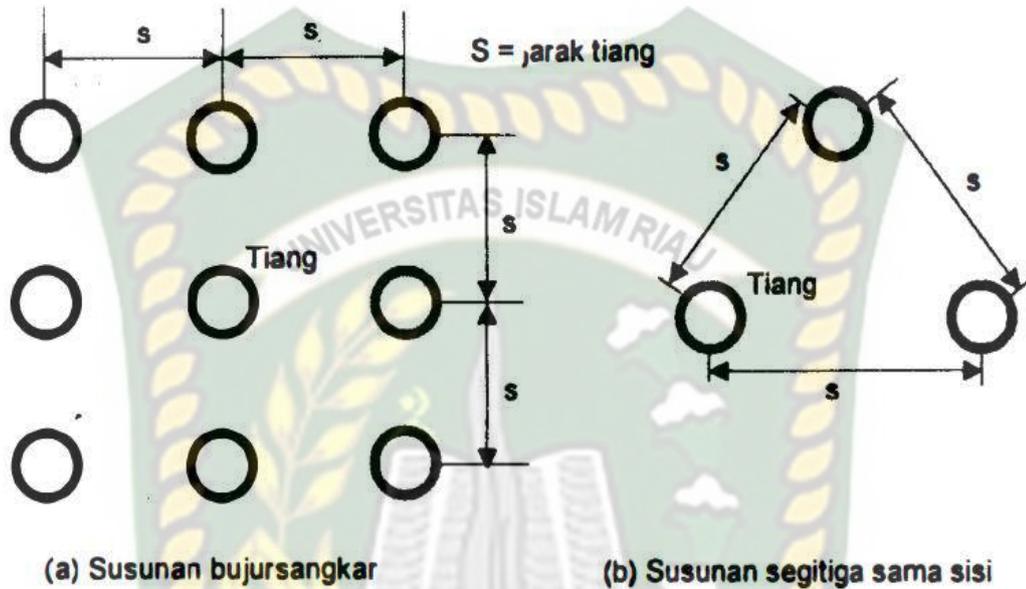
Dimana,

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$m$  = Jumlah baris tiang

$n'$  = Jumlah tiang dalam satu baris

- $\theta$  = arc tg  $A_b/s$ , dalam derajat
- $s$  = Jarak pusat ke pusat tiang (lihat Gambar 3.11)
- $d$  = diameter tiang.



**Gambar 3.11** Definisi jarak  $s$  dalam hitungan efisiensi tiang.

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

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$$

Dimana,

$Q_g$  = Beban maksimum kelompok tiang

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$n$  = Jumlah tiang dalam kelompok

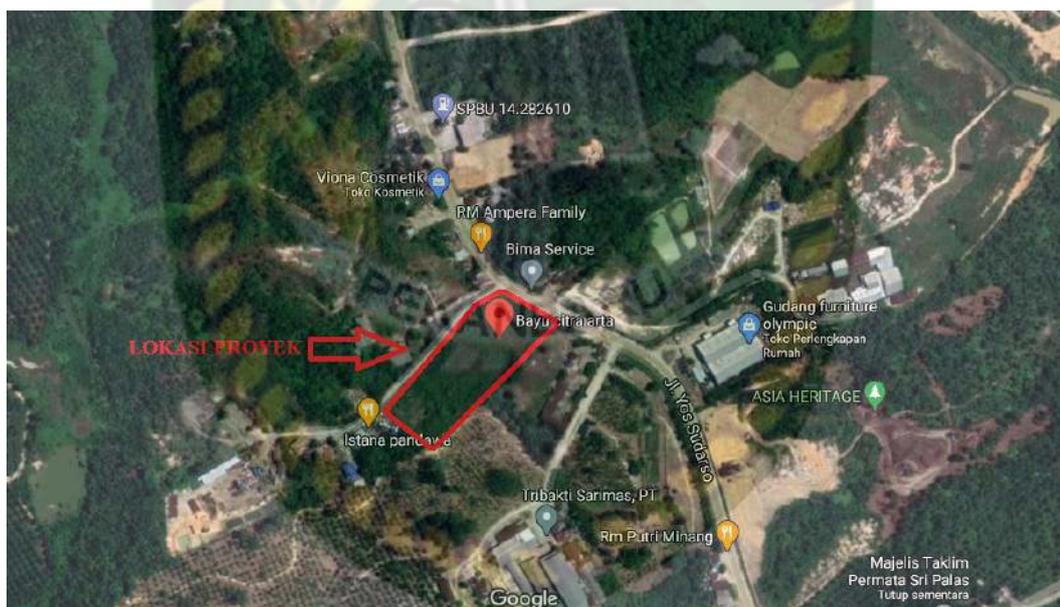
$Q_a$  = Beban maksimum tiang tunggal

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai kapasitas dukung tiang pancang sudah banyak dilakukan diberbagai tempat dengan data dan metode yang berbeda. Untuk lokasi penelitian ini berada di Pembangunan *Relocation Air Separation* Di Provinsi Riau Milik PT. Bayu Cipta Artha yang terletak di Jalan Lintas Muara Fajar, Kota Pekanbaru, Riau. Bangunan ini memiliki Struktur H.P. *Lin Storage tank* (1500 GAL) / Tanki Nitrogen dan *Pile Cap* . Untuk peta lokasi PT. Bayu Cipta Artha bisa dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Denah lokasi PT. Bayu Cipta Artha (Google Maps)

#### 4.2 Teknik Pengumpulan Data

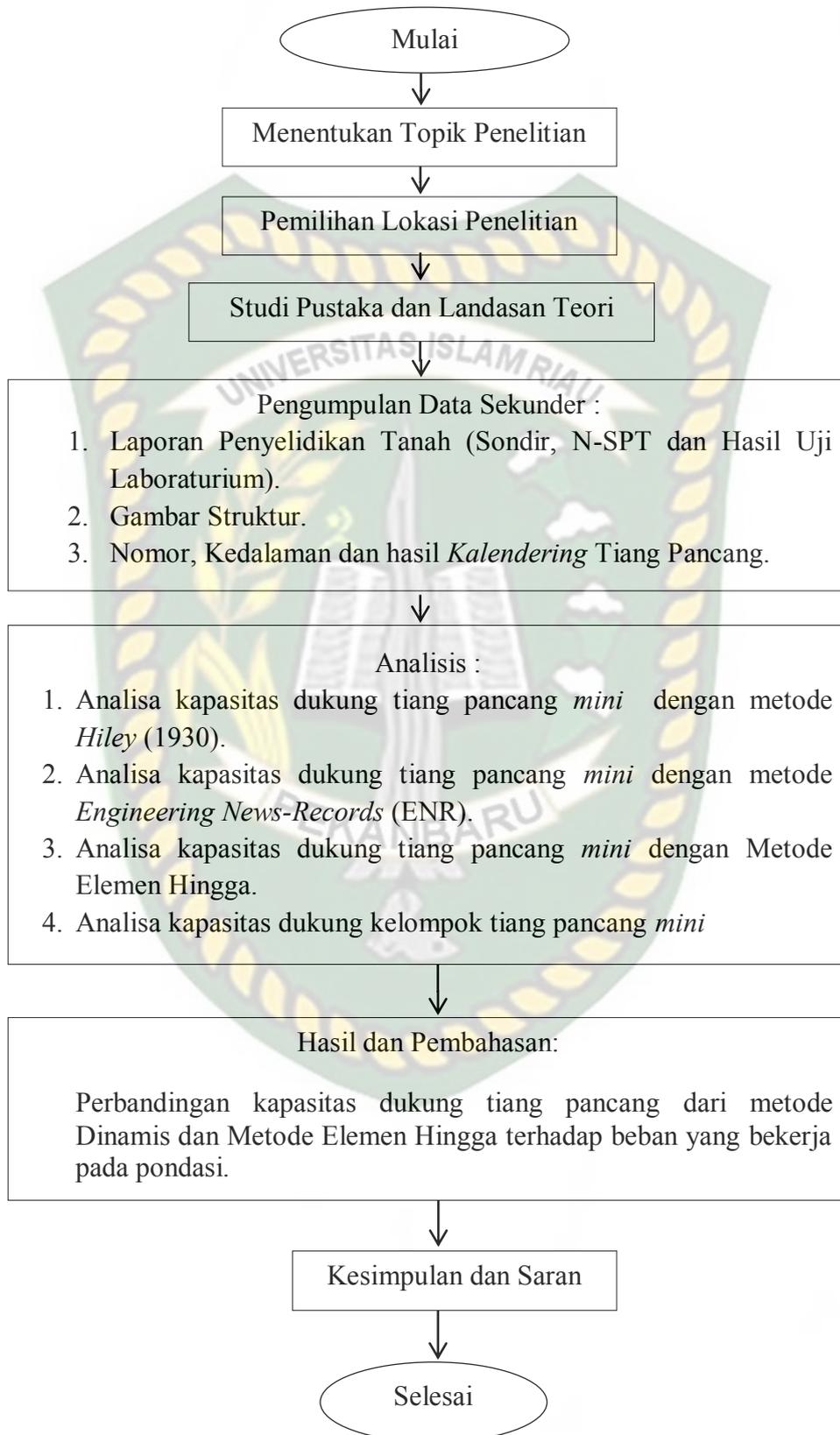
Dalam melakukan analisa memerlukan data-data yang penting untuk dikumpulkan yang berhubungan dengan penelitian, data yang dikumpulkan yakni data sekunder yakni data penyelidikan tanah dikeluarkan oleh CV. *Geotek Multi Services* Pekanbaru, data-data yang didapatkan berupa gambar struktur merupakan

data yang dikeluarkan oleh CV. Andromeda Arsitektur dan data kedalaman tiang beserta hasil *kalendering* dari PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI.

### 4.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian perlunya tahapan-tahapan agar mudah sewaktu mengerjakannya. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini secara umum dapat dilihat pada gambar 4.2 dan detailnya sebagai berikut:

1. Tahapan persiapan dilakukan dengan cara membuat syarat penelitian yang diajukan kepada pimpinan proyek Pembangunan *Relocation Air Separation* Di Provinsi Riau Milik PT. Bayu Cipta Artha, setelah didapat persetujuan untuk melakukan penelitian di sana, maka tahap berikutnya meminta data sesuai dengan keperluan penelitian.
2. Pengumpulan Data Sekunder Pengumpulan data didapatkan dengan cara meminta data sesuai dengan keperluan penelitian, data yang diminta yakni hasil dari penyelidikan tanah yakni data sondir (CPT), N-SPT dan lokasi pengambilan sampel tanah tersebut. Selain itu, perlunya data gambar struktur berupa denah pondasi dan *pile cap* beserta detail gambar tersebut dimana gambar ini digunakan untuk analisa perhitungan struktur. Data yang berikutnya yang diminta adalah data nomor tiang dan kedalaman tiang yang terpancang dan hasil *kalendering* yang digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang.



**Gambar 4.2** Bagan alir penelitian (Hasil Analisa)

### 3. Analisa Data

Data yang telah diperoleh seperti data struktur dianalisa yang akan diperoleh beban rencana pada setiap pondasi, sementara untuk data hasil N-SPT dan kedalaman tiang yang terpancang akan dianalisa untuk mendapatkan kapasitas dukung tiang dengan metode dinamis dan metode elemen hingga serta kelompok.

### 4. Hasil dan pembahasan

Setelah dilakukan analisa, maka didapatkan kapasitas dukung tiang pancang, pada bab Hasil Dan Pembahasan dari data N-SPT dan hasil *Kalendering* untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang *mini* dengan metode *Hiley* (1930) dan kapasitas daya dukung tiang pancang *mini* dengan metode *Engineering News-Records* (ENR) dan kapasitas daya dukung tiang pancang *mini* dengan Metode Elemen Hingga, dan kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok, serta perbandingan antara metode dinamis dan metode elemen hingga terhadap beban maksimum yang bekerja pada pondasi AS P7.

### 5. Kesimpulan dan saran

Setelah dijabarkan hasil analisa, maka tahap terakhir dari penelitian ialah menyimpulkan dan melihat aman atau tidak amannya dari hasil perhitungan yang telah dihitung sebelumnya berdasarkan faktor keamanan yang telah ditentukan.

#### 4.4 Metode Analisis

Dalam menganalisa ada beberapa tahap yang dilakukan antara lain menghitung beban maksimum yang bekerja pada pondasi, maka harus menghitung berat struktur yang terdiri dari *H.P. Lin Storage tank* (1500 GAL) / Tanki nitrogen, berat isi nitrogen ( $\gamma$ ) dan *pile cap*, dari hasil analisa tersebut akan mengeluarkan beban-beban yang bekerja pada pondasi, setelah mengetahui beban terbesar yang bekerja pada tiang, beban tersebut dimasukkan dalam perhitungan.

Perhitungan dilakukan dengan metode dinamis dengan menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang *mini* dari data N-SPT dan data hasil

kalendering dengan metode Hiley (1930) dan metode *Engineering News-Records* (ENR), Perhitungan Metode Elemen Hingga menggunakan program *Plaxis 2D* V8.2, serta kapasitas daya dukung kelompok tiang pancang, untuk inputan program *Plaxis 2D* V.8.2 yaitu :

- a. Parameter tanah setiap kedalaman yang diinput menggunakan permodelan tanah.

**Tabel 4.1** Input parameter tanah pada program *Plaxis 2D* V8.6

Parameter Tanah	Nilai	Satuan
Model material	Mohr – coloumb	
Jenis material	Terdrainase	
Berat isi tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ )		kN/m <sup>3</sup>
Berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ )		kN/m <sup>3</sup>
Permeabilitas ( $K_x$ )		m/hari
Permeabilitas ( $K_y$ )		m/hari
Modulus elastisitas (E)		kN/m <sup>2</sup>
Kohesi (c)		kN/m <sup>2</sup>
Sudut geser ( $\varphi$ )		°
Angka poisson ( $\nu$ )		
$R_{inter}$		

- b. Parameter tiang pancang yang diinput dengan permodelan tanah tetapi menggunakan material beton.

**Tabel 4.2** Input parameter tiang pancang pada program *Plaxis 2D* V8.6

Parameter Tiang Pancang	Nilai	Satuan
Model material	Elastis linier	
Jenis material	Tidak porous	
Berat isi tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ )		kN/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas (E)		kN/m <sup>2</sup>
Angka poisson ( $\nu$ )		
$R_{inter}$		

Keterangan:

1. Berat isi tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ ) dan berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dari Tabel 3.8
2. Permeabilitas ( $k_x$ ) dan ( $k_y$ ) diambil dari Tabel 3.5
3. Modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ) diambil dari Tabel 3.3,
4. Kohesi ( $c$ ) diambil dari Persamaan 3.1 untuk tanah kohesif.
5. Sudut geser ( $\phi$ ) diambil dari Gambar 3.1, untuk tanah lempung nilai Sudut geser ( $\phi$ ) 1
6. Angka poisson ( $\nu$ ) diambil dari Tabel 3.4

Setelah didapatkan hasil kapasitas dukung tiang pancang metode dinamis dengan metode *Hiley* (1930) dan metode *Engineering News-Records* (ENR) dan Metode Elemen Hingga maka hasil tersebut dibandingkan dengan hasil perhitungan beban maksimum yang bekerja pada tiang, dengan membandingkan maka akan diketahui metode kapasitas dukung mana yang hasilnya lebih besar atau lebih kecil dan mengetahui metode mana yang aman atau tidak aman berdasarkan faktor keamanan yang telah ditentukan.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Deskripsi Umum

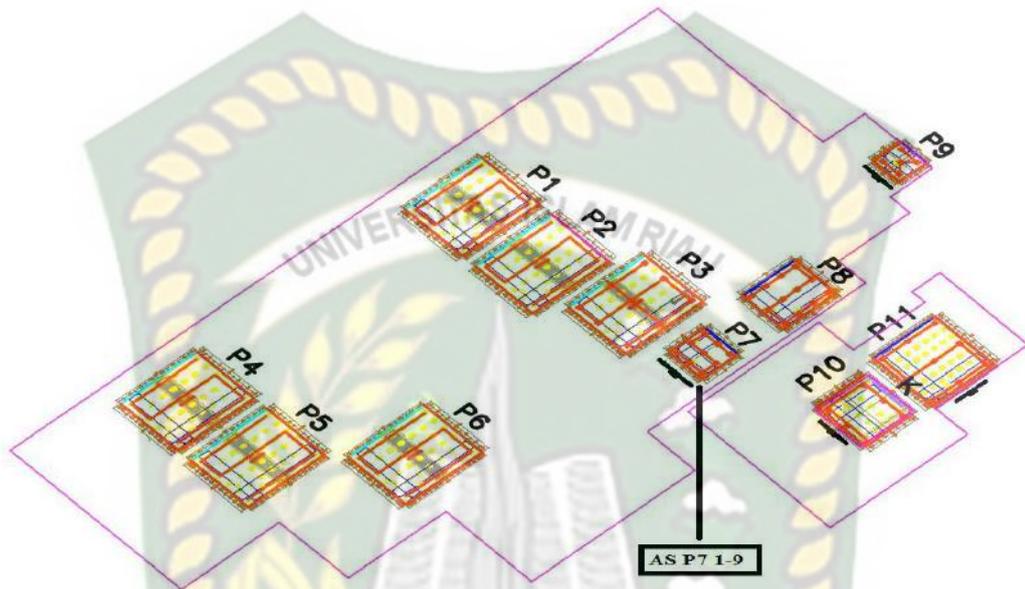
Struktur pondasi pada Pembangunan *Relocation Air Separation* Di Provinsi Riau Milik PT. Bayu Cipta Artha menggunakan pondasi tiang pancang *mini* dengan ukuran 20x20 cm dan untuk mutu beton yang digunakan yakni K-400. Pada penelitian ini meninjau pada titik AS P7 dengan tiang pancang *mini* yang tertanam berjumlah 9 tiang pancang dengan kedalaman masing-masing tiang 12 m.

Penyelidikan tanah yang diterapkan pada pembangunan ini yakni *Cone Penetration Test* (CPT) dan N-SPT. Adapun data untuk melakukan analisa didapatkan dari melakukan N-SPT yang terdiri dari 2 titik pada Pembangunan *Relocation Air Separation* Di Provinsi Riau Milik PT. Bayu Cipta Artha dimana BH-1 dan BH-2 merupakan titik dilakukan pengujian pada tanah, seperti **Gambar 5.1** berikut ini.



**Gambar 5.1** Lokasi titik Bor dalam (BH) (*Geotek Multi Services Pekanbaru, 2020*)

Dari Gambar 5.1 merupakan lokasi Bore Hole - 1, Bore Hole - 2, Bore Hole - 1 pada gambar diatas kedalaman mencapai 40 m, pada lokasi Bore Hole - 2 kedalaman mencapai 40 m.



**Gambar 5.2** Denah pondasi tiang pancang AS P7  
(CV. Andromeda Arsitektur, 2020)

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk menentukan kapasitas dukung tiang pancang *mini* posisi AS P7 yang dapat dilihat pada **Gambar 5.2**, dengan metode dinamis dan metode elemen hingga yang terjadi akibat beban rencana pada struktur atas, untuk menentukan beban rencana di atas berdasarkan data struktur dan adapun data tersebut sebagai berikut:

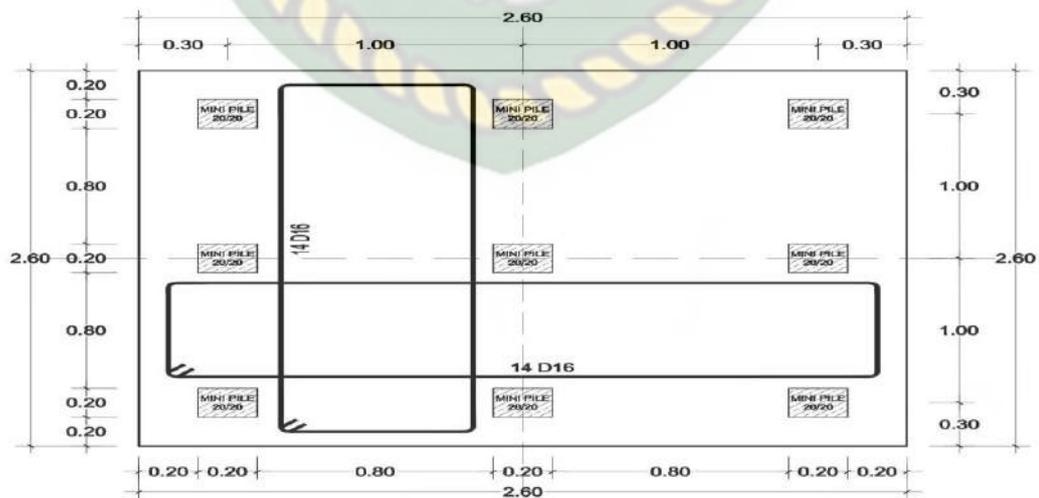
1. Data struktur terdiri dari *H.P. Lin Storage tank* (1500 GAL) / Tanki Nitrogen dengan ketinggian 6 m dan berat kosong 34 ton, bisa dilihat pada **Gambar 5.3**



**Gambar 5.3** Struktur *H.P Lin Storage Tank* (1500 GAL)

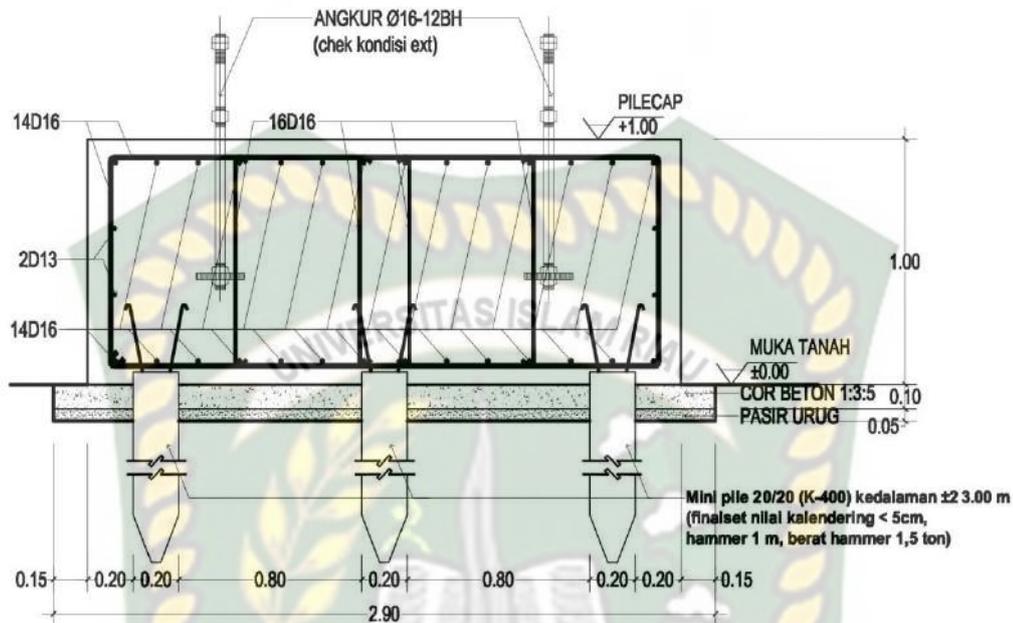
(CV. Andromeda Arsitektur, 2020)

- Nitrogen mempunyai Densitas gas =  $1,2505 \text{ kg/m}^3$  ,sehingga bisa dilakukan perhitungan untuk mendapatkan berat isi ( $\gamma$ ).
- Data struktur berupa gambar struktur tanki , denah dan potongan *Pile cap* AS P7 bisa dilihat pada **Gambar 5.3** ,**Gambar 5.4** dan **Gambar 5.5** untuk detail perhitungan bisa di lihat pada (**Lampiran A**).



**Gambar 5.4** Rencana pondasi tiang pancang posisi As P7

(CV. Andromeda Arsitektur, 2020)



**Gambar 5.5** Potongan *Pile Cap* AS P7 (CV. Andromeda Arsitektur, 2020)

Dari Gambar 5.4 merupakan denah *pile cap* AS P7 dengan ukuran 2,6 m x 2,6 m yang berisi 9 titik pondasi tiang pancang *mini*, dan Gambar 5.5 merupakan potongan *pile cap* AS P7 dengan ketinggian 1 m.

## 5.2 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengelolaan data dan perhitungan yang disajikan meliputi data klasifikasi jenis tanah, hasil *kalendering*, hasil dari analisa beban rencana, hasil perhitungan kapasitas dukung tiang pancang metode dinamis dengan rumus *Hiley* (1930) dan *Engineering News-Records* (ENR) dan metode elemen hingga.

### 5.2.1 Jenis Tanah Berdasarkan Data N-SPT

Titik BH-1 dan BH-2 mengklasifikasikan jenis tanah untuk mengetahui jenis tanah dalam perhitungan kapasitas dukung tiang pancang, hasil klasifikasi tanah lebih kurang dapat dilihat pada Tabel 5.1 :

**Tabel 5.1** Jenis tanah berdasarkan BH 01 dan BH 02 (CV. *Geotek Multi Services* Pekanbaru, 2020)

BH	Depth				Laboratory Summary						Mechanical Properties				
	(m)	G <sub>s</sub>	γ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	e <sub>0</sub>	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Sand (%)	Fines (%)	C <sub>u</sub> (kPa)	φ (°)	p <sub>c</sub> (kPa)	C <sub>c</sub>	Cr
BH01	3,5	2,66	19,15	22,3	0,6	33,1	24,1	9,0	27,1	72,9	49,5	0,0	74,8	0,1	0,01
BH01	8,5	2,69	18,09	33,4	0,9	21,9	15,6	6,2	32,0	68,0	13,8	0,0	60,3	0,1	0,01
BH01	13,5	2,66	18,75	36,7	0,9	46,5	30,6	15,9	0,5	99,5	52,0	0,0	157,5	0,3	0,03
BH01	18,5	2,66	22,11	26,3	0,5	28,2	22,6	5,6	51,6	48,4	35,5	0,0	148,6	0,2	0,02
BH02	3,5	2,66	19,17	20,9	0,6	35,7	24,9	10,8	22,3	77,7	22,8	0,0	102,4	0,1	0,01
BH02	8,5	2,75	20,19	27,1	0,7	34,7	22,8	11,9	0,5	99,5	95,2	0,0	244,8	0,1	0,01
BH02	13,5	2,72	18,39	33,98	0,9	53,5	28,6	25,0	0,2	99,8	76,0	0,0	180,3	0,2	0,01
BH02	18,5	2,66	16,81	48,04	1,3	43,8	36,4	7,3	43,5	56,5	50,4	0,0	188,1	0,8	0,03

### 5.2.2 Parameter Setiap Lapisan Tanah

Klasifikasi jenis tanah untuk input *software Plaxis* dilakukan dengan menggunakan data N-SPT pada titik BH-01, adapun hasil klasifikasi tanah dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut:

**Tabel 5.2** Klasifikasi parameter tanah BH-01 pada kedalaman 0,00 – 18,50 (CV. *Geotek Multi Services* Pekanbaru, 2020)

Parameter Tanah	Kedalaman (m)			
	0,0 – 3,5	3,5 – 8,5	8,5 – 13,5	13,5 – 18,5
Berat Jenis Tanah, G <sub>s</sub>	2,66	2,69	2,66	2,66
Berat Volume Kering, γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	15,7	13,6	13,7	17,5
Berat Isi Jenuh, γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	19,15	18,09	18,75	22,11
Porositas, n (%)	40	49	47	33
Angka Pori, e	0,67	0,95	0,90	0,50
Parameter Kadar Air, W (%)	22,30	33,40	36,72	26,35
Kohesi Tak Terdrainase, C <sub>u</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	49,5	13,8	52,0	35,5

### 5.2.3 Hasil Kalendering Pondasi Tiang Pancang Mini

Perhitungan akan dilakukan sesuai dengan banyaknya tiang pancang yang tertanam, tiang pancang yang tertanam berjumlah 9 tiang pancang dengan kedalaman masing-masing tiang 12 m. Kapasitas dukung tiang pancang berdasarkan data hasil *Kalendering* dihitung dengan menggunakan metode yakni: Hiley (1930) dan *Engineering News-Records* (ENR), data - data untuk analisa bisa dilihat pada **Tabel 5.3** dan perhitungan pada (**Lampiran B**).

**Tabel 5.3** Data Hasil *Kalendering* (PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI, 2020)

No Tiang	Posisi AS	Ukuran Tiang (cm)	Mutu Beton	Kedalaman Tiang (m)	Hasil Kalendering /10 pukulan terakhir (cm)
64	P7 – 1	20 x 20	K - 400	12	0,8
65	P7 – 2	20 x 20	K - 400	12	1,0
66	P7 – 3	20 x 20	K - 400	12	1,3
67	P7 – 4	20 x 20	K - 400	12	0,9
68	P7 – 5	20 x 20	K - 400	12	0,7
69	P7 – 6	20 x 20	K - 400	12	0,7
70	P7 – 7	20 x 20	K - 400	12	0,6
71	P7 – 8	20 x 20	K - 400	12	0,8
72	P7 – 9	20 x 20	K - 400	12	0,8

### 5.3 Hasil Analisa Beban yang Bekerja Pada Pondasi Tiang Pancang

Analisa beban yang bekerja yakni beban aksial terdiri dari beban mati dan beban hidup, beban-beban tersebut didapatkan berdasarkan ACI 318. Dari hasil analisa didapatkan beban maksimum pada struktur *H.P Lin Storage Tank* (1500 GAL) dan *Pile cap P7* yang mana hasil tersebut bisa dilihat pada **Gambar 5.4** struktur *H.P Lin Storage Tank* (1500 GAL) dan analisa perhitungan (**Lampiran A**) dan **Tabel 5.1**

**Tabel 5.4** Hasil analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang As P7

NO	Beban Struktur	Beban yang bekerja
1	Beban Maksimum dipikul <i>pile cap</i> ( $Q_u$ )	861,216 kN
2	Beban Maksimum dipikul tiang ( $Q_u$ )	245,427 kN

Dari hasil **Tabel 5.1** Analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang, digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang pancang.

Dari **Gambar 5.2** dan **Gambar 5.3** menjelaskan posisi titik As P7 yang tiang pancang dititik tersebut berukuran 20x20 cm, dengan jumlah tiang dititik tersebut berjumlah 9 tiang pancang, yang terdiri dari tiang nomor 64 sampai 72 dengan kedalaman tiang yang terpancang 12 m.

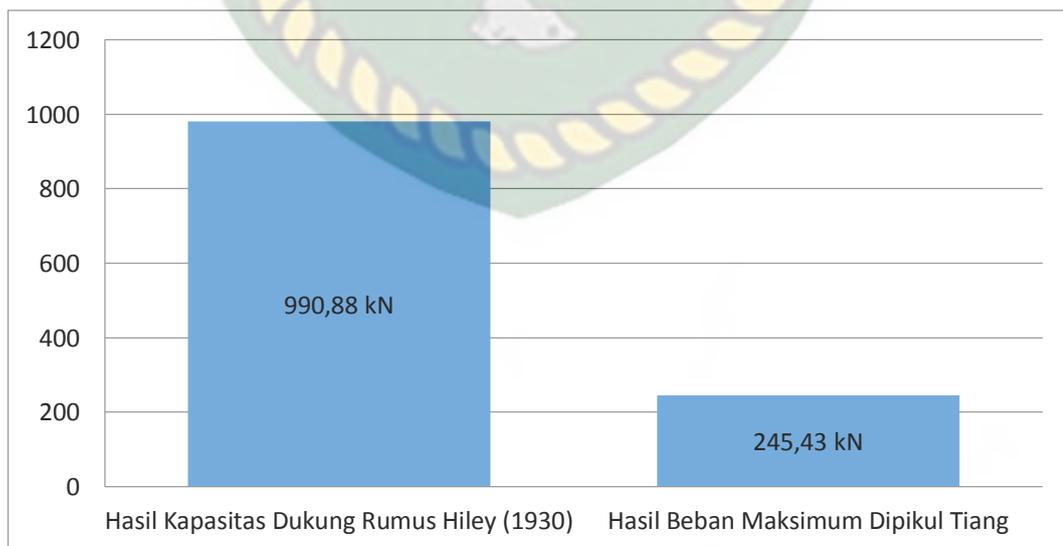
### 5.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang *Mini* Dengan Metode *Hiley* (1930)

Dalam menghitung kapasitas dukung tiang pancang *mini* metode dinamis dengan rumus *Hiley* (1930) untuk *safety factor* = 4, data yang digunakan adalah parameter tanah SPT dan  $Q_u$  sebesar 861,216 kN, adapun hasil perhitungan dengan metode *Hiley* (1930) bisa dilihat pada **Tabel 5.5** sebagai berikut :

**Tabel 5.5** Kapasitas daya dukung tiang dengan metode *Hiley* (1930)

No Tiang	Posisi AS	Beban Maksimum Pada <i>Pile Cap</i> ( $Q_u$ ) (kN)	Beban Maksimum Pada Tiang ( $Q_i$ ) (kN)	Daya Dukung Tiang ( $Q_u$ ) (kN)	Safety Factor (SF)	Aman / Tidak Aman (SF Minimum = 4)
64	P7-1	861,216	245,427	997,27	4,06	Aman
65	P7-2		245,427	965,22	3,93	Aman
66	P7-3		245,427	920,94	3,75	Aman
67	P7-4		245,427	980,95	4,00	Aman
68	P7-5		245,427	1.013,98	4,13	Aman
69	P7-6		245,427	1.013,98	4,13	Aman
70	P7-7		245,427	1.031,35	4,20	Aman
71	P7-8		245,427	997,19	4,06	Aman
72	P7-9		245,427	997,19	4,06	Aman
$\Sigma Q_u$				245,427	990,88	4,04

Dari **Tabel 5.5** didapatkan perbandingan kapasitas dukung tiang pancang dari rumus *Hiley* (1930) dan Beban maksimum dipikul tiang yang dapat dilihat pada **Gambar 5.6**



**Gambar 5.6** Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* dari rumus *Hiley* (1930) dan Beban maksimum dipikul tiang

Dari **Gambar 5.6** didapat bahwa nilai kapasitas dukung tiang pancang *mini* lebih besar dari beban maksimum dipikul tiang yaitu  $990,88 \text{ kN} > 245,43 \text{ kN}$ , dapat disimpulkan analisa yang dilakukan pada metode *Hiley* (1930) dalam kondisi aman berdasarkan syarat minimum faktor keamanan yang telah ditentukan yaitu  $SF_{\text{minimum}} = 4$ .

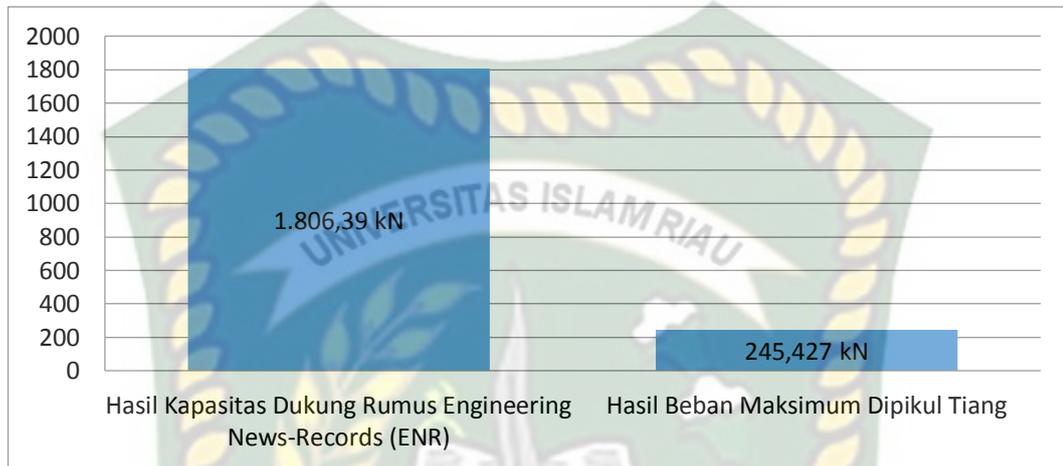
### 5.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang *Mini* Dengan Metode *Engineering News-Records* (ENR)

Dalam menghitung kapasitas dukung tiang pancang *mini* metode dinamis dengan rumus *Engineering News-Records* (ENR) untuk *safety factor* = 6, data yang digunakan adalah hasil *kalendering* pada pemancangan dilapangan dan  $Q_u$  sebesar  $861,216 \text{ kN}$ , adapun hasil perhitungan dengan metode *Engineering News-Records* (ENR) bisa dilihat pada **Tabel 5.6** sebagai berikut :

**Tabel 5.6** Kapasitas daya dukung tiang dengan metode *Engineering News-Records* (ENR)

No Tiang	Posisi AS	Beban Maksimum Pada <i>Pile Cap</i> ( $Q_u$ ) (kN)	Beban Maksimum Pada Tiang ( $Q_u$ ) (kN)	Daya Dukung Tiang ( $Q_u$ ) (kN)	Safety Factor (SF)	Aman / Tidak Aman (SF Minimum = 6)
64	P7-1	861,216	245,427	1.824,86	7,44	Aman
65	P7-2		245,427	1.720,58	7,01	Aman
66	P7-3		245,427	1.584,75	6,46	Aman
67	P7-4		245,427	1.771,19	7,22	Aman
68	P7-5		245,427	1.881,89	7,67	Aman
69	P7-6		245,427	1.881,89	7,67	Aman
70	P7-7		245,427	1.942,59	7,92	Aman
71	P7-8		245,427	1.824,86	7,44	Aman
72	P7-9			245,427	1.824,86	7,44
$\Sigma Q_u$			245,427	1.806,39	7,36	Aman

Dari **Tabel 5.6** didapatkan perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* dari rumus *Engineering News-Record* (ENR) dan Beban maksimum dipikul tiang yang dapat dilihat pada **Gambar 5.7**



**Gambar 5.7** Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* dari rumus *Engineering News-Records* (ENR) dan Beban maksimum dipikul tiang

Dari **Gambar 5.7** didapat bahwa nilai kapasitas dukung tiang pancang *mini* lebih besar dari beban maksimum dipikul tiang yaitu  $1.806,39 \text{ kN} > 245,43 \text{ kN}$ , dapat disimpulkan analisa yang dilakukan pada metode *Engineering News-Records* (ENR) dalam kondisi aman berdasarkan syarat minimum faktor keamanan yang telah ditentukan yaitu SF minimum = 6.

### 5.6 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang *Mini* Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis 2D V8.6

Metode elemen hingga lebih didasarkan pada pemrograman PLAXIS 2D yaitu merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis dalam perencanaan sipil. Berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari data penyelidikan tanah pada penelitian ini dan juga dari metode pendekatan terhadap parameter tanah, data yang digunakan parameter tanah N-SPT dan dengan  $Q_u$  sebesar 861,216 kN dan  $Q_{all}$  sebesar 245,427 kN, adapun parameter tanah yang diinput dapat dilihat pada

**Tabel 5.2**, setelah parameter tanah didapat maka dapat dicari parameter tiang pancang yang dapat dilihat pada Lampiran B-42

**Tabel 5.7** Parameter tiang pancang.

Parameter Tiang Pancang	Nilai	Satuan
Model material	Elastis linier	
Jenis material	Tidak porous	
Berat isi tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ )	24	kN/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas (E)	27081137	kN/m <sup>2</sup>
Angka poisson ( $\nu$ )	0,3	
R <sub>inter</sub>	1,0	

Parameter tiang pancang yang diinput dengan permodelan tanah tetapi menggunakan material beton.

Keterangan:

1. Berat isi tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ ) dan berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dari Tabel 3.8
2. Permaebilitas ( $k_x$ ) dan ( $k_y$ ) diambil dari Tabel 3.5
3. Modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ) diambil dari Tabel 3.3, untuk tiang menggunakan perhitungan berikut:
 
$$E = 400 \times 0,083 = 33,2 \text{ Mpa}$$

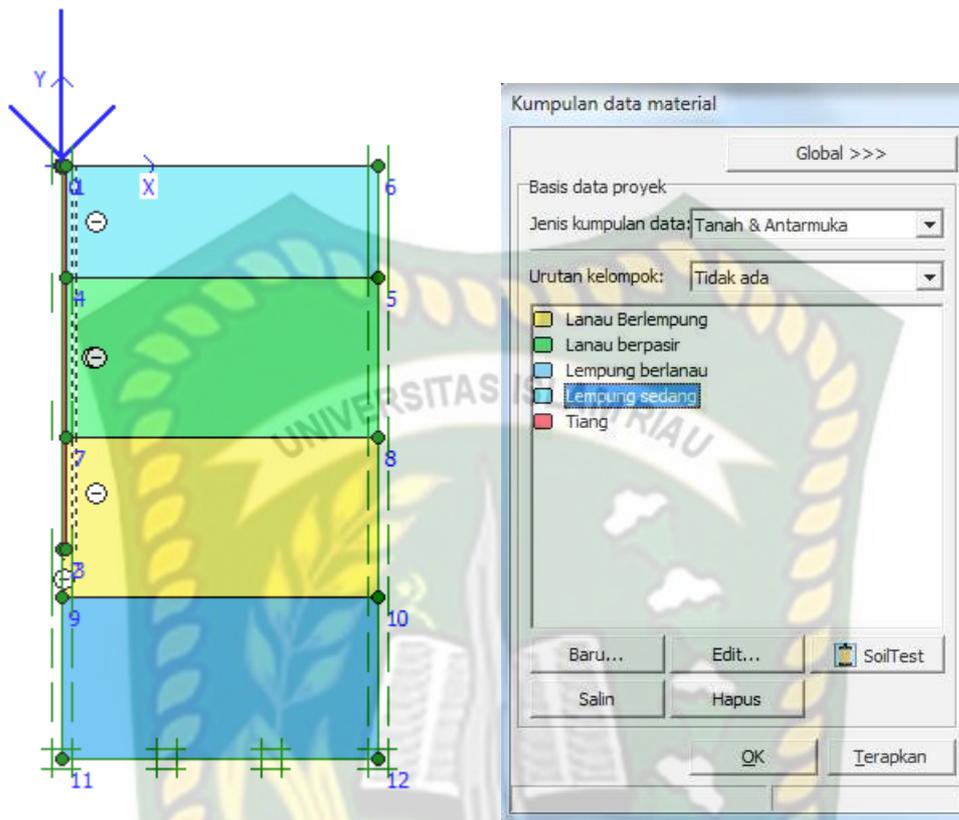
$$E = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{33,2}$$

$$= 27081,14 \text{ n/mm}^2$$

$$= 27081137 \text{ kN/m}^2$$
4. Kohesi (c) diambil dari Persamaan 3.1 untuk tanah kohesif.
5. Sudut geser ( $\phi$ ) diambil dari Gambar 3.1, untuk tanah lempung nilai Sudut geser ( $\phi$ ) 1
6. Angka poisson ( $\nu$ ) diambil dari Tabel 3.4

Dari parameter diatas yang diinput kedalam plaxis sesuai kedalaman juga dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut:



**Gambar 5.8** Kumpulan data material dan lapisan tanah.

Pada **Gambar 5.8** merupakan gambar setiap lapisan yang telah diinput kedalam *software* plaxis sesuai dengan kedalamannya yang ditandai dengan warna dan untuk input semua parameter. Dari analisa yang dilakukan oleh program plaxis didapatkan  $\Sigma$  -Msf dengan *interface* sebesar 2,2018. Jadi kapasitas dukung tiang pancang dengan *interface* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_u &= \Sigma \text{-Msf} \times Q \\ &= 2,2018 \times 245,43 \\ &= 580,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk faktor keamanan tiang pancang tunggal SF dengan *interface* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SF &= \frac{Q_u}{q_i} \\ &= \frac{580,39}{245,43} \\ &= 2,2 \end{aligned}$$

### 5.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

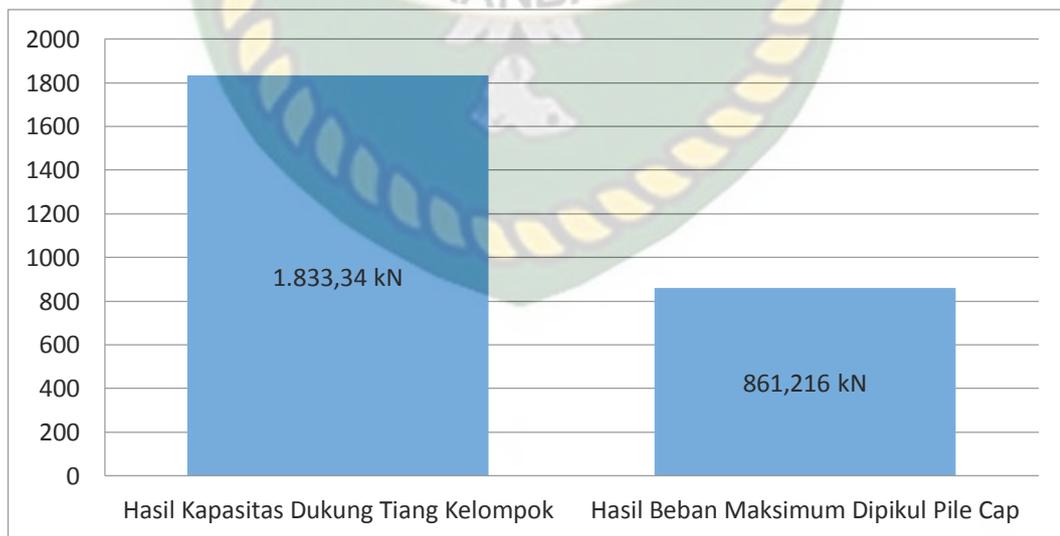
Dalam menghitung kapasitas kuat dukung tiang pancang kelompok data yang digunakan adalah data struktur *pile cap* AS P7 dan beban maksimum yang dipikul oleh tiang  $Q_u$  sebesar 245,427 kN, adapun hasil perhitungan kapasitas kuat dukung tiang pancang kelompok sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_g &= E_g \cdot n \cdot Q_a \\
 Q_g &= 0,83 \cdot 9 \cdot 245,427 \\
 &= 1.833,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk faktor keamanan tiang kelompok, yaitu :

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{Q_g}{Q_u} \\
 &= \frac{1.833,34}{861,216} \\
 &= 2,13
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan perbandingan kapasitas dukung tiang kelompok dan beban maksimum dipikul *pile cap* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.9**

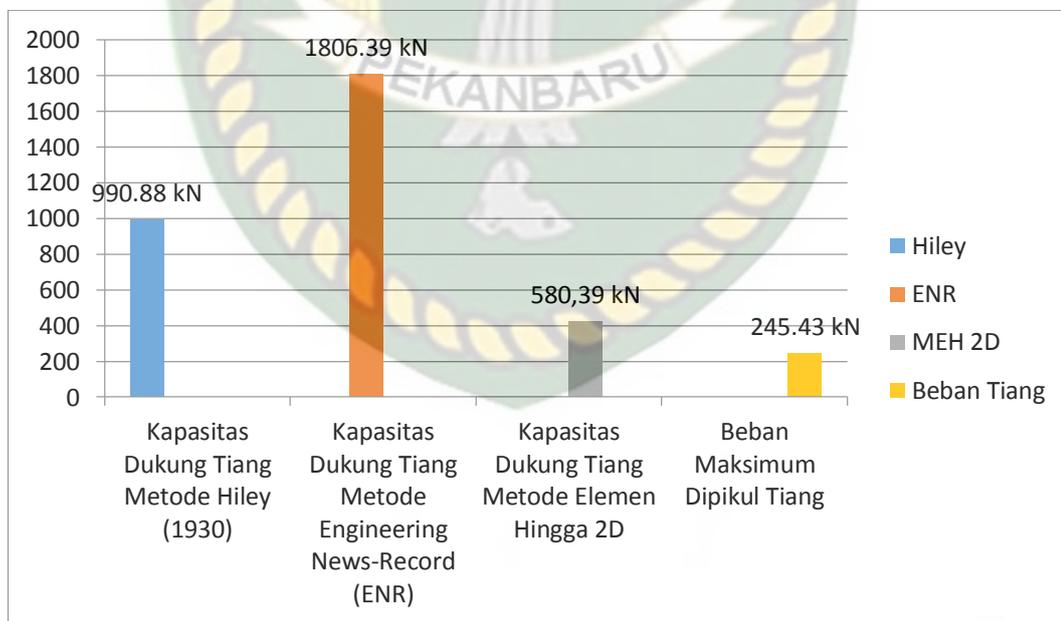


**Gambar 5.9** Grafik perbandingan kapasitas dukung tiang kelompok dan beban maksimum yang dipikul *pile cap*

Jadi, dari hasil kapasitas dukung tiang kelompok pada *Pile cap* AS P7 didapat sebesar 1.833,34 kN > 861,216 kN dapat dikatakan aman berdasarkan syarat minimum pada faktor keamanan yang telah ditentukan.

### 5.8 Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang *Mini* Dengan Metode Dinamis Dan Metode Elemen Hingga Dengan Beban Yang Bekerja

Perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* menggunakan metode – metode yang telah dikerjakan dengan data dari lapangan perlu dilakukan guna mengetahui perbedaan dari hasil yang didapatkan, baik itu menggunakan metode dinamis dan metode elemen hingga. Dari semua hasil yang dilakukan, maka kapasitas dukung tiang pancang dengan metode dinamis dan metode elemen hingga 2D dibandingkan dengan beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang AS, data yang didapatkan dari hasil pemancangan dari semua tiang pancang. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut :



**Gambar 5.10** Grafik Perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* metode dinamis dan metode elemen hingga 2D dengan beban yang bekerja pada pondasi

Dari Gambar 5.10 didapatkan perbandingan kapasitas dukung tiang pancang *mini* dari metode dinamis dan metode elemen hingga 2D dengan beban yang bekerja pada pondasi.

Jadi, Hasil kapasitas dukung tiang pancang *mini* yang telah dilakukan didapat hasil dari metode *Engineering News-Record* (ENR) dengan nilai terbesar yaitu 1806,39 kN dikarenakan untuk faktor keamanan minimumnya sebesar 6, dan dari beberapa metode yang digunakan terhadap data yang didapatkan di lapangan dapat dikatakan dalam kondisi aman berdasarkan syarat minimum faktor keamanan yang telah ditentukan.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dijelaskan pada bab hasil dan pembahasan dapat disimpulkan dari judul Perbandingan Kuat Dukung Pondasi Tiang Pancang *Mini* Berdasarkan Rumus Dinamis Dan Elemen Hingga Pada Kontruksi *Relocation Air Separation* PT. Bayu Cipta Artha Di Pekanbaru sebagai berikut:

1. Dari perhitungan hasil analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang dimana didapatkan beban maksimum pada struktur *H.P Lin Storage Tank* (1500 GAL) dan *Pile cap P7* yaitu sebesar 861,216 kN dan beban maksimum yang dipikul tiang sebesar 245,427 kN.
2. Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang maka dapat digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang pancang metode dinamis,pada rumus *Hiley* (1930) didapatkan kapasitas dukung tiang AS P7 lebih besar dari beban maksimum dipikul tiang yaitu sebesar 990,88 kN > 245,43 kN maka dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa kapasitas dukung tiang pancang *mini* AS P7 menggunakan rumus *Hiley* (1930) dalam kondisi aman berdasarkan pada *Safety Factor* yang disyaratkan.
3. Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang maka dapat digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang pancang metode dinamis,pada rumus *Engineering News-Records* (ENR) didapatkan kapasitas dukung tiang pancang *mini* AS P7 lebih besar dari beban maksimum dipikul tiang yaitu sebesar 1.806,39 kN > 245,43 kN maka dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa kapasitas dukung tiang pancang *mini* AS P7 menggunakan rumus *Engineering News-*

*Records* (ENR) juga dalam kondisi aman berdasarkan pada *Safety Factor* yang disyaratkan.

4. Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang maka dapat digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang pancang metode elemen hingga dengan menggunakan Plaxis 2D V8.6 didapatkan kapasitas dukung tiang pancang AS P7 lebih besar dari beban maksimum dipikul tiang yaitu sebesar  $580,39 \text{ kN} > 245,43 \text{ kN}$  maka dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa kapasitas dukung tiang pancang *mini* AS P7 metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D V8.6 juga dalam kondisi aman berdasarkan pada *Safety Factor* yang disyaratkan.
5. Dari hasil perhitungan analisa beban yang bekerja pada pondasi tiang pancang maka dapat digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok didapatkan kapasitas dukung tiang kelompok AS P7 lebih besar dari beban maksimum dipikul *pile cap* yaitu sebesar  $1.833,34 \text{ kN} > 861,216 \text{ kN}$  maka dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa kapasitas dukung tiang kelompok AS P7 juga dalam kondisi aman berdasarkan pada *Safety Factor* yang disyaratkan.

## 6.2 Saran

Dari hasil kesimpulan penelitian, peneliti memberikan berupa beberapa saran:

1. Perhitungan beban yang bekerja pada pondasi sebaiknya menggunakan program ETABS ataupun SAP 2000, sehingga untuk membandingkan hasil dari kedua perhitungan yang didapat.
2. Hasil perhitungan kapasitas dukung tiang pancang *mini* yang didapat dari beberapa metode yang dilakukan didapat dari hasil rumus elemen hingga mendekati hasil beban yang bekerja pada pondasi sehingga disarankan untuk menggunakan rumus elemen hingga.

3. Perhitungan kapasitas dukung tiang pancang *mini* untuk rumus dinamis sebaiknya menggunakan metode selain diatas, sehingga untuk membandingkan hasil kapasitas dukung dari semua metode.
4. Perhitungan kapasitas dukung tiang pancang *mini* untuk rumus metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D V8.6 sebaiknya juga dilakukan perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok, sehingga untuk membandingkan hasil kapasitas dukung tiang pancang kelompok dari semua metode.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2005, 430 pp.*
- Bowlesh, J. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi, Edisi keempat Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Brinkgreve, R. B. J., et al. "PLAXIS 2D 2010." *User manual, Plaxis bv* (2010).
- CV. Andromeda Arsitektur. Data-data gambar struktur pada "Pembangunan *Relocation Air Separation* di Provinsi Riau milik PT. Bumi Cipta Artha", Pekanbaru.
- CV. *Geotek Multi Services*. Data-data penyelidikan tanah *Cone penetration tes* (CPT) dan N-SPT pada "Pembangunan *Relocation Air Separation* di Provinsi Riau milik PT. Bumi Cipta Artha", Pekanbaru.
- Hardiyatmo, H.C., 1996, *Teknik Pondasi 1*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Teknik Pondasi 2 Edisi Kedua*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H.C., 2008, *Teknik Pondasi 2 Edisi Keempat*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H.C., 2010. *Analisa Dan Perancangan Fondasi Bagian I Edisi Kedua*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.
- Hardiyatmo, H.C., 2011. *Analisa Dan Perancangan Fondasi Bagian II Edisi Ketiga*, Yogyakarta, Gadjah Mada University press.

- Pratama, Y., 2020, *Analisis Kapasitas Dukung Statis Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir (CPT) Pada Gedung Kuliah Kampus Pelita Indonesia*, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- PT. PANCAMULIA MIXINDO ABADI. Data-data hasil *kalendering* dari pemancangan tiang pada “Pembangunan *Relocation Air Separation* di Provinsi Riau milik PT. Bumi Cipta Artha”, Pekanbaru.
- Sardjono, H.S, 1988, *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*, Penerbit Sinar Jaya Wijaya, Surabaya.
- Sardjono, H.S, 1991, *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2*, Penerbit Sinar Jaya Wijaya, Surabaya.
- Siboro, N.C., 2009, *Perbandingan Perhitungan Kapasitas Tiang Dengan Rumus Dinamis (Studi Literature)*, Tugas Akhir, Universitas Sumatra Utara.
- Simalango, R., 2011, *Analisa Dan Perencanaan Pile Cap Dengan Metode Strut And Tie Model Berdasarkan ACI Building Code 318-2002*, Tugas Akhir, Universitas Sumatra Utara.
- Sosrodarsono Suyono, Ir, 2005, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1948, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York.
- Utama, S.A., 2013, *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Swicthyard Di Kawasan PLTU Pangkalan Susu - Sumatra Utara*, Tugas Akhir, Universitas Sumatra Utara.