

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 1992).

Tanah menduduki peran yang sangat penting dalam sebuah konstruksi bangunan. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi paling utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah sebagai pendukung pondasi bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga apabila ada sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan harus diperbaiki terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Salah satu jenis tanah yang mempunyai daya dukung rendah adalah jenis tanah lunak.

Tanah lunak mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Indonesia tidak lepas dari tanah lunak karena tanah lunak di Indonesia menempati area >20 juta hektar atau >10% dari tanah daratan di Indonesia. Dan itupun tersebar di daerah kota besar dan pusat pertumbuhan ekonomi negara (panduan Geoteknik 1, 2001).

Bila suatu konstruksi dibangun diatas tanah lunak maka kerusakan-kerusakan yang dapat terjadi antara lain retakan (*cracking*) pada perkerasan jalan dan jembatan, terangkatnya struktur plat, kerusakan jaringan pipa, jembulan tanah (*soil heaving*), longsor, dan sebagainya. Sehingga dalam hal ini perlu untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung tanah terhadap beban dan lain-lain.

1.2 Pengertian Tanah Lunak

Dalam Panduan Geoteknik penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi.

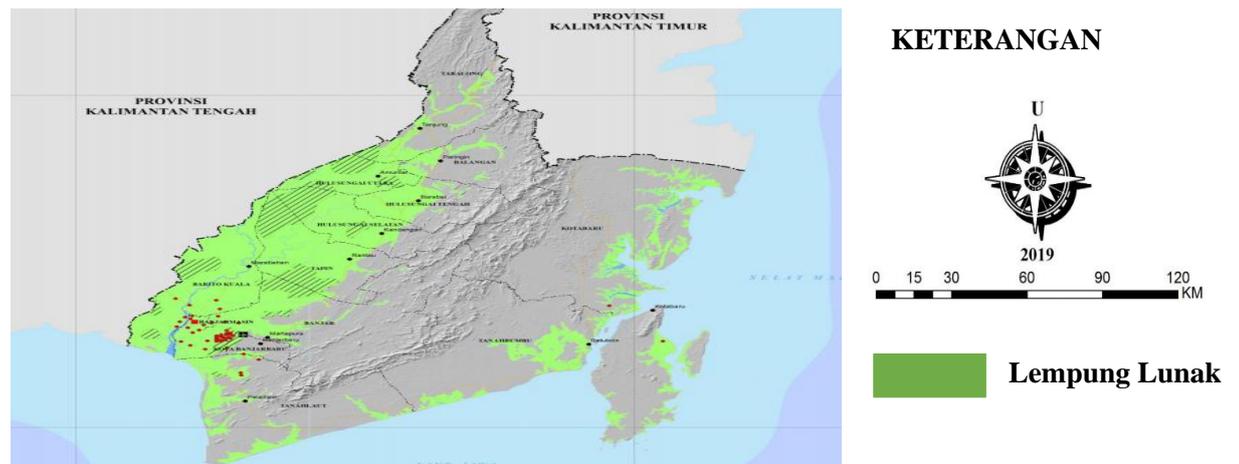
Pengertian tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat *compressible* dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari

minimum sedalam ± 25 mm, atau mempunyai kuat geser 40 kPa berdasarkan uji geser baling lapangan. Sedangkan menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan (2005) dan dua orang peneliti yaitu: Soetjiono (2008) dan Pasaribu (2008) tanah lunak adalah tanah yang bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan aluvial, biasanya terdapat di dataran aluvial, rawa dan danau, dan ditinjau secara mekanisme kejadian adalah tanah deposit yang sangat kompresif dan kuat gesernya rendah, yang mana kuat geser *undrained* lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.

Berbeda pula dengan Holtz dan Kovacs (1981), mereka mendefinisikan tanah lunak adalah sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus atau lolos ayakan No.200. Sedangkan Bina Marga (2010) mendefinisikan tanah lunak dari sisi kekuatan tanah yaitu sebagai setiap jenis tanah yang mempunyai CBR lapangan kurang dari 2%.

Dari pendapat beberapa orang peneliti dan Bina Marga, pada dasarnya yang disebut tanah lunak adalah tanah yang mempunyai karakteristik buruk untuk dijadikan material pondasi. Tanah lunak mempunyai daya dukung yang rendah dan penurunan yang tinggi. Sehingga jika dijadikan sebagai pondasi bangunan atau jalan, maka harus dilakukan terlebih dahulu stabilisasi atau perbaikan tanah lunak tersebut sehingga layak dan memenuhi persyaratan sebagai lapis pondasi atau lapisan tanah dasar untuk pembuatan jalan raya. Tanah lunak juga dapat diartikan sebagai tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga pengujian standar (Standart Penetration Test) yang lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi.

Demikian pula lapisan tanah berpasir dalam keadaan lepas yang mempunyai harga N kurang dari 10, diklasifikasikan sebagai tanah lunak. Tanah lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau.



Gambar 2.1 Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Kalimantan Selatan

Sumber : (Badan Geologi Atlas Sebaran Tanah Lunak)

1.3 Karakteristik Tanah Lunak

Tanah merupakan partikel padat, terdiri dari berbagai ukuran dari kecil hingga besar, yang menurut standart US, berdasarkan besar butirannya dikelompokkan menjadi:

1. Kerikil dengan ukuran diameter 4,750mm–50,00mm
2. Pasir dengan ukuran diameter 0,075mm–4,75mm
3. Lanau dengan ukuran diameter 0,002mm–0,075mm
4. Lempung dengan ukuran diameter <0.002mm

Pada umumnya tipe dan jenis tanah lunak ditentukan oleh sifat dan karakteristik tanah, yang meliputi: perubahan volume, jumlah dan jenis

kandungan mineral, berat isi asli, perubahan kadar air, kepadatan tanah, kondisi pembebanan, struktur tanah dan waktu (Soetjiono, 2008).

Das (1993) menyatakan nilai hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium, akan menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak apabila: Koefisien rembesan (k) sangat rendah ≤ 0.0000001 cm/dt, Batas cair (LL) $\geq 50\%$, Angka pori (e) antara 2,5 – 3,2, Kadar air dalam keadan jenuh antara 90% - 120%, dan Berat spesifik (Gs) berkisar antara 2,6 – 2,9.

1.4 Sifat-sifat Tanah Lunak

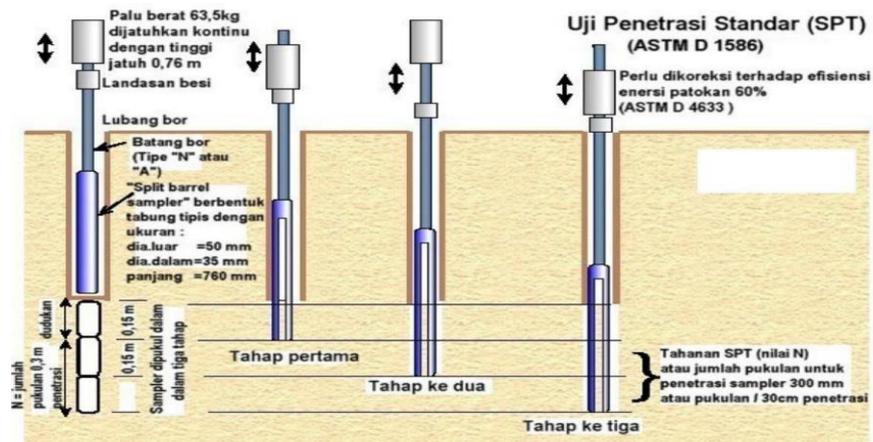
Sifat-sifat tanah lunak kurang menguntungkan untuk dijadikan lapisan tanah dasar. Dimana tanah lunak banyak dipengaruhi oleh air. Semakin rendah kadar air maka daya dukung tanah semakin besar (Sepriawan, 2012). Dengan demikian, salah satu cara untuk menstabilisasi tanah lunak adalah mengeluarkan air pori dari tanah tersebut. Menurut Suyono (1986); Yelvi dan Adibroto (2007), berikut ini beberapa sifat tanah lunak adalah:

1. Gaya gesernya kecil
2. Kemampatan yang besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi.

5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

1.5 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya untuk memperoleh informasi bawah tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi bangunan sipil. Penyelidikan tersebut harus mencapai kedalaman dimana tanah memberikan daya dukungnya terhadap struktur yang akan dibangun. Penyelidikan tanah mencakup antara lain, pengeboran tanah, pengambilan contoh tanah, pengujian lapangan, dan pengujian laboratorium. Dari hasil penyelidikan tanah ini akan dipilih alternatif atau jenis, kedalaman serta dimensi pondasi yang paling ekonomis tetapi masih aman digunakan. Dari hasil penyelidikan tanah ini akan dipilih alternatif atau jenis, kedalaman serta dimensi pondasi yang paling ekonomis tetapi masih aman digunakan. Contoh penyelidikan tanah dilapangan dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Skema Uji *Standart Penetration Test*

Sumber : (Karisma Linggar Karya, 2017)

1.6 Pondasi

Setiap pembangunan suatu struktur bangunan seperti gedung, jembatan, jalan raya, menara, dermaga, pelabuhan, dam/tanggul dan sebagainya harus mempunyai pondasi yang dapat mendukung beban-beban yang ditanggung struktur. Istilah pondasi juga 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. Untuk itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang berkerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Di samping itu, tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang di ijin.

Pembangunan pondasi pada lapisan tanah lunak (*soft clay*) maupun yang sangat lunak (*very soft clay*) dengan lapisan tanah kuat yang sangat dalam, maka harus menggunakan tiang pancang. Pondasi tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Selain itu, tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, dimana pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air (Hardiyatmo, 2010).

1.7 Klasifikasi Pondasi

Pondasi adalah bagian paling bawah dari suatu bangunan yang meneruskan beban bangunan bagian atas kelapisan tanah atau batuan yang berada dibawahnya.

Klasifikasi pondasi dibagi 2 macam, yaitu:

1. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung di atas lapisan tanah seperti:

a. Pondasi Setempat

Biasanya digunakan pada tanah yang mempunyai nilai daya dukung berbeda-beda di satu tempat pada suatu lokasi yang akan dibangun.

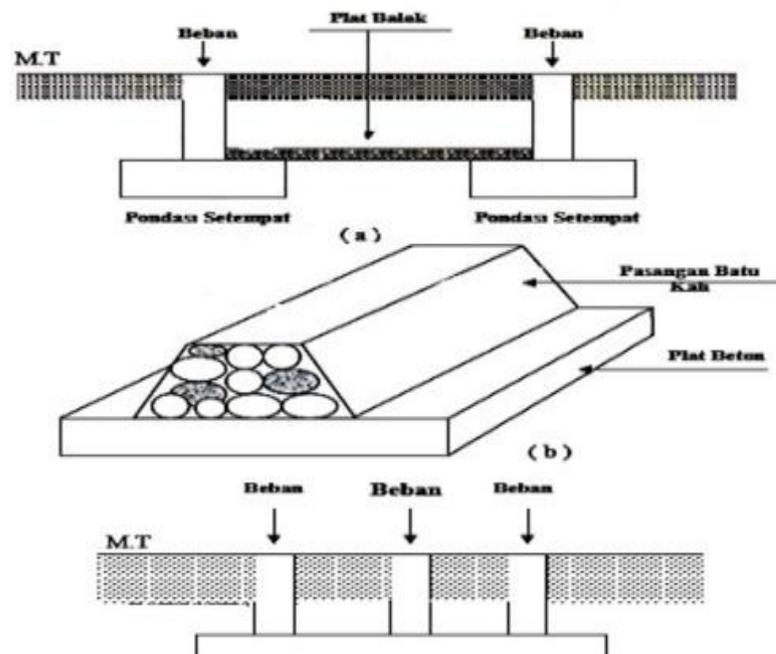
b. Pondasi Menerus

Digunakan pada tanah yang mempunyai nilai daya dukung seragam pada satu lokasi pekerjaan yang akan dibangun. Pemakaian pondasi sangat ekonomis dari segi pelaksanaannya, dan dapat dipakai pasangan batu kali untuk pasangan pondasi bentuk trapesiumnya dan plat beton untuk dasar pondasi tersebut. Kemampuan pondasi ini dalam mentransfer beban kebawah pondasi (tanah) dianggap bisa merata akibat kemampuan daya dukung tanah yang homogen dalam merendam beban yang dipikul oleh pondasi.

c. Pondasi Tikar

Jenis pondasi ini umumnya berlaku untuk tanah yang mempunyai nilai daya dukung tanah yang sangat kecil, dimana jenis tanah tersebut termasuk jenis tanah lunak menurut USCS (*Unified Soil Classification*

System). Nilai daya dukung tanah yang sangat kecil, mengakibatkan kemampuan tanah dalam memberi daya dukung sangat kecil. Untuk mendapatkan nilai daya dukung yang maksimum, biasanya digunakan pondasi seperti ini dengan mengandalkan luasan plat untuk memberikan daya dukung yang maksimum dan dikombinasikan dengan pondasi tiang ke atas, sehingga nilai friksi tambahan dapat diharapkan sepanjang tiang untuk menambah nilai *friction file* antara tiang dan tanah juga nilai daya dukung ujung (*end-bearing file*) dari luasan pondasi. Mengingat konstruksi tersebut dinilai tidak ekonomis dari segi pelaksanaannya untuk gedung sederhana, maka konstruksi tersebut banyak dipakai pada gedung bertingkat.



Sumber : (Bowles, 1991)

Gambar 2.3 (a). Pondasi setempat, (b). Pondasi dangkal dan (c). Pondasi tiang

2. Pondasi Dalam

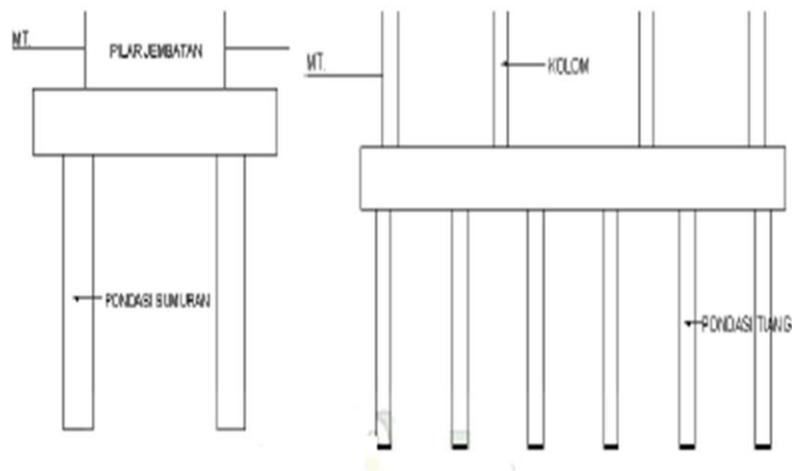
Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, seperti:

a. Pondasi sumuran (*pier foundation*)

Pondasi sumuran, yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang sangat kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar dari 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.

b. Pondasi Tiang (*pile foundation*)

Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibandingkan dengan pondasi sumuran (Bowles, 1991).



Sumber: (Bowles, 1991)

Gambar 2.4 Macam-macam Pondasi Dalam

1.8 Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Hasil CPT

Pondasi tiang adalah pondasi yang mampu menahan gaya *orthogonal* ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (*Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa, 2000*). Pondasi tiang dipergunakan bilamana lapisan-lapisan bagian atas tanah begitu lembek, dan kadang-kadang diketemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan dan pemancangan tiang sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Dalam hal ini mungkin dapat dipergunakan *friction pile* yaitu tiang yang tertahan oleh perlekatan antara tiang dengan tanah, tiang semacam ini disebut juga dengan tiang terapung (*floating piles*). Apabila tiang ini dimasukkan dalam lapisan lempung maka perlawanan ujung akan jauh lebih kecil daripada perlawanan akibat perlekatan antara tiang dan tanah maka perlawanan ujung akan jauh lebih kecil daripada perlawanan akibat perlekatan antara tiang dan tanah.

Alat sondir atau *Cone Penetrometer Test* (CPT) berupa tabung silinder dengan ujung bawahnya berbentuk konus dimasukkan ke dalam tanah dengan bantuan piston berkecepatan lambat dan konstan. Secara terpisah atau bersamaan hambatan lekatan lateral (*Froierment, Friction laterale*) dapat diukur dengan bantuan sebuah mantel dari tabung sondir yang terletak diatas elemen konus diujungnya. Daya dukung pondasi merupakan kemampuan pondasi/tanah dalam menerima beban dari atas yang diwujudkan dalam bentuk daya dukung ultimate atau daya dukung tanah *maximum* pada pondasi:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

Dimana:

Q_{ult} = Daya dukung tanah maximum pada pondasi (daya dukung *ultimate*)
(ton)

Q_p = Resistance ultimate didasar pondasi (ton)

Q_s = Resistance ultimate akibat lekatan lateral (ton)

Daya dukung ujung tiang, dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = \frac{A \cdot q_p}{2}$$

Dimana:

A = Section tiang bagian bawah (m^2)

q_p = Unsur ujung tiang

1.9 Kapasitas Daya Dukung Tiang

Diantara perbedaaan test dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan test tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah- tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga mengklarifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*), data tanah sangat diperluakan dalammerencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari tiang pancang.

Kapasitas daya dukung ultimit di tentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s$$

Dimana:

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang

Q_s = Kapsitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas di ujung tiang

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang pancang

Kapasitas daya dukung ultimit tiang juga ditentukan dengan beberapa persamaan metode, yaitu:

a. Metode Langsung(*Direct Core*)

Metode langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya:

Mayerhorf, Tomlinson dan Begemann.

Perhitungan dengan daya dukung tiang pancang dari data sondir

menggunakan metode langsung, yaitu (dalam jurnal Gunawan, 2014):

$$Q_{ult} = (q_c \cdot A_b) + (JHL \cdot A_s)$$

Kapasitas daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus:

$$Q_{all} = \frac{q_c \cdot A_b}{3} + \frac{JHL \cdot A_s}{5}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot L$$

Dimana:

- Qc = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)
- Ab = Luas penampang tiang (cm²)
- JHL = Jumlah hambatan lekat/total fruction (kg/cm)
- As = Keliling tiang (cm)
- L = Kedalaman tiang (m)
- D = Diameter tiang (m)

Dari hasil uji sondir ditunjukkan bahwa tahanan ujung sondir (harga tekan Konus) bervariasi terhadap kedalaman. Oleh sebab itu pengambilan harga qc untuk daya dukung diujung tiang kurang tepat. Suatu rentang disekitar ujung tiang perlu dipertimbangkan dalam menentukan daya dukungnya.

Menurut Mayerhorf:

$$qp = qc \text{ (untuk keperluan praktis)}$$

$$qp = (2/3 - 3/2) qc$$

Dimana:

- qp = Tahanan ujung *ultimate*
- qc = Harga rata-rata tahanan ujung knus dalam daerah 2D dibawah ujung tiang

b. Metode Mayerhof (1976;1983) dalam Fellenius (1990) CPT

Cara ini digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi pada tanah pasir. Mayerhof (1976;1983) dalam Fellenius (1990) mengusulkan persamaan untuk menentukan kapasitas dukungan tiang pada pasir dengan memperhatikan pengaruh skala dan penetrasi tiang. Untuk menentukan tahanan ujung satuan digunakan persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010):

$$fb = w1 \cdot w2 \cdot qca$$

Dimana:

qca = q_c rata-rata (kn/m^2) pada zona $1d$ dibawah ujung tiang dan $4d$

$w1$ = $\{(d + 0.5) / 2d\}^n$, jika $d < 0.5$ m, $w1 = 1$

$w2$ = $L / 10d$, jika $L > 10d$, $w2 = 1$

d = diameter tiang (m)

L = Kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m)

N = Nilai eksponensial

Untuk tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari persamaan:

$$fs = kf \cdot qf$$

Atau bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus:

$$fs = kc \cdot Qc$$

Dimana:

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_c = Koefisien modifikasi tahanan konus

c. Metode Price & Wardle (1982)

Kontribusi lain dalam pengembangan korelasi langsung untuk memprediksi komponen daya dukung berdasarkan data CPT adalah metode Price dan Wardle (1982), dimaksudkan untuk memprediksi q_b dan f_b tiang dari data q_c dan f_s .

Komponen daya dukung tersebut diperoleh dengan persamaan sebagai berikut ini (dari jurnal Lim. A, 2014):

$$f_b = k_s \cdot f_s$$

$$q_b = k_b \cdot q_{c(\text{tip})}$$

Dimana:

f_b = Tahanan selimut tiang (ton/m²)

f_s = Bacaan gesek selimut konus (ton/m²)

q_b = Tahanan ujung tiang (ton/m²)

$q_{c(\text{tip})}$ = Nilai q_c pada ujung tiang (ton/m²)

K_s dan K_b = Konstanta bergantung pada jenis tiang

Tabel 2.1 Variasi Nilai Ks

Ks	Jenis tiang
0,53	<i>Driven piles</i>
0,62	<i>Jacked piles</i>
0,49	<i>Drilled shaft</i>

Sumber: (Bowles, 1993)

Tabel 2.2 Variasi Nilai Kb

Kb	Jenis tiang
0,35	<i>Driven piles</i>
0,3	<i>Jacked piles</i>

Sumber: (Bowles, 1993)

d. Metode Aoki dan De Alencar

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut (dalam jurnal Gunawan, 2014):

$$q_b = \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b}$$

Dimana:

$Q_{ca}(\text{base})$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang 1,5D dibawah ujung tiang
dan F_b adalah faktor empirik tahanan ujung tiang tergantung pada tipe tiang

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut:

$$fb = qc \frac{\alpha_s}{f_s}$$

Dimana:

Qc (side) = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang

Fs = Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tiang

Fb = Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tiang

Faktor Fb dan Fs diberikan pada Tabel 2.3 dan nilai-nilai faktor empirik α_s diberikan pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.3 Faktor Empirik Fb dan Fs

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber : (Titi & Farsakh, 1999)

Tabel 2.4 Nilai Faktor Empirik untuk Tipe Tanah

Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4

Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir Berlempung	3,0		3,4	Lempung	6,0

Sumber : (Titi & Farsakh, 1999)

Pada umumnya nilai α_s untuk pasir = 1,4 persen, nilai lanau = 3,0 % dan nilai untuk lempung = 1,4 %.

e. Metode Imperial College

Perumusan ini adalah hasil dari ratusan percobaan melalui ratusan rumus yang digunakan untuk perhitungan berdasarkan data sondir sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut (dalam jurnal Ismail, 2014):

$$Q_u = (q_c \cdot (1 - 0,5 \log \frac{D}{D_{cpt}}) + (\frac{\pi \cdot D}{4})) (\pi \cdot D \cdot f_s \cdot Z)$$

Dimana:

D_{cpt} = 0.036 m

Z = Kedalaman (m)

D = Diameter Tiang

1.10 Faktor Keamanan

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, Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang (Tabel II.5), 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

Tabel 2.5 Faktor Keamanan (F)

Klasifikasi struktur	Faktor keamanan (F)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1.4	2	2,3	2,8

Sumber : (Manual Pondasi Tiang II, Paulus P. Rahardjo, Ph.D)

Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang izin dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimate (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut:

1. Tiang pancang

$$Q = \frac{Q_u}{2,5}$$

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

sebagai berikut:

$$Q = \frac{Q_u}{3}, \frac{Q_s}{1,5}$$

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. 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

$$Q = \frac{Q_u}{2,5}$$

b. Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawah

$$Q = \frac{Q_u}{3}$$

Untuk tiang dengan diameter lebih dari 2 m, kapasitas tiang izin perlu dievaluasi dengan pertimbangan terhadap penurunan tiang.

1.11 Studi Literatur

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan daya dukung pondasi tiang yaitu:

- a. Kontribusi Bentuk Penampang Tiang Terhadap Beban Maximum yang Diterima Pondasi untuk Perencanaan Pondasi pada Tanah Lempung dengan Data CPT Surabaya oleh Isnaniati (2017).

“Pada umumnya tanah di Surabaya merupakan tanah yang didominasi dengan tanah lempung. Tanah ini merupakan tanah yang sangat bermasalah karena mempunyai koefisien rembesan yang sangat kecil, kemampuan yang besar dan daya dukung tanah yang sangat rendah. Pondasi tiang merupakan pondasi yang biasanya digunakan di lapangan untuk kondisi tanah lempung yang tanah kerasnya berada jauh di bawah permukaan tanah, serta banyaknya alternatif bentuk dasar penampang tiang yang digunakan di lapangan. Beban maximum yang diterima pondasi perlu diperhitungkan agar beban yang diterima pondasi (Q_{max}) tidak melebihi daya dukung ijin (Q_{ijin}) tanahnya. Dengan cara membandingkan bentuk penampang tiang lingkaran, persegi dan segi-enam dilakukan penyelidikan terhadap perilaku beban max (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (Cone Penetrasi Test) metoda “*Philliponnat*” dengan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m pada titik sondir (S1, S2 & S3) sehingga diperoleh $Q_{max} < Q_{ijin}$. Dari penelitian ini diperoleh beban max (Q_{max}) pada S1, S2 & S3 mulai terbesar sampai dengan terkecil berturut-turut adalah bentuk penampang persegi, bentuk penampang lingkaran, bentuk penampang segi enam. Dengan % Q_{max} terhadap bentuk

persegi pada S1 adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 79.84% , bentuk segi enam 72.01% sedangkan % Q_{max} terhadap bentuk persegi pada S2 adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 74% , bentuk segi enam 70.28% dan % Q_{max} terhadap bentuk persegi pada S3 adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 95.19% , bentuk segi enam 78.82%”.

Perbedaan dan Persamaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Isnaniati adalah sama-sama membandingkan bentuk penampang tiang lingkaran, persegi dan segi-enam dengan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m menyelidiki terhadap perilaku beban *max* (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (*Cone Penetrasi Test*). Perbedaan antara keduanya terletak pada metode penelitian yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Isnaniati menggunakan metode “*Philliponnat*”. Sedangkan penelitian ini menggunakan metode “*Mayerhoff, Aoki & De Alencar* dan *Price & Wardle*”

b. Minimalisasi Jumlah Tiang Dalam Group Pile Melalui Pemilihan Bentuk Dasar Penampang Pondasi Tiang Pada Tanah Lempung oleh Isnaniati (2016)

“Tanah lempung merupakan tanah yang sangat bermasalah karena mempunyai koefisien rembesan yang sangat kecil, kemampumampatannya besar, dan daya dukung tanah yang sangat rendah. Pondasi tiang merupakan pondasi yang biasanya digunakan dilapangan dengan kondisi tanah lempung. Tanah yang dominan lempung umumnya letak tanah kerasnya

berada jauh dibawah permukaan tanah, serta langkanya penggunaan bentuk dasar penampang tiang segienam dilapangan yang selama ini hanya bentuk lingkaran dan persegi yang banyak digunakan. Meminimalkan jumlah tiang dalam *group pile* merupakan salah satu alternatif untuk menurunkan anggaran biaya konstruksi bangunan. Dengan cara membandingkan bentuk dasar penampang tiang yaitu lingkaran , persegi , dan segi enam dengan variasi dimensi (0,3 ; 0,35; 0,4 m) dan data tanah (BH1, BH2, BH3) dilakukan penelitian terhadap jumlah tiang dalam group pile berdasarkan data N-SPT . Daya dukung tanah vertikal dihitung berdasar teori *Luciano Decourt* (1982) dan jumlah tiang yang diteliti berdasar jumlah n hitung. Dari hasil penelitian diperoleh dengan dimensi yang sama maka jumlah tiang (nhitung) dalam grup pile dari yang paling sedikit sampai dengan yang paling banyak berturut-turut adalah urutan pertama bentuk penampang persegi, urutan kedua adalah bentuk lingkaran, dan urutan ketiga adalah segi enam. Dengan % nhitung bentuk persegi terhadap lingkaran adalah 79% dan % nhitung bentuk persegi terhadap segi enam adalah 93%”.

Perbedaan dan Persamaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Isnaniati adalah sama-sama membandingkan bentuk penampang tiang lingkaran, persegi dan segi-enam dengan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m. Perbedaan antara keduanya terletak pada metode penelitian yang digunakan dan penyelidikan yang akan diteliti. Pada penelitian yang dilakukan oleh Isnaniati menggunakan metode teori “*Luciano Decourt*” (1982) dan jumlah tiang yang diteliti berdasar jumlah n hitung dari data N-

SPT. Sedangkan penelitian ini menggunakan metode “*Mayerhoff, Aoki & De Alencar dan Metode Price & Wardle*” dengan penyelidikan terhadap perilaku beban max (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (*Cone Penetrasi Test*).

- c. Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Meyerhoff, Aoki & De Alencar, Dan Luciano Decourt (*Redesign Pile Foundation With Dimensional Variation Using Meyerhoff, Aoki & De Alencar, And Luciano Decourt Method*) oleh Muhammad Fahri Dirgananta (2018)

“Pembangunan Gedung RSA Universitas Islam Indonesia direncanakan menggunakan pondasi tiang bor ukuran 80 cm dan kedalaman 22 m di bawah muka tanah. Dalam perencanaan suatu bangunan gedung tidak lepas dari kriteria aman dan ekonomis. Setiap pondasi dituntut mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah direncanakan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Analisis kapasitas dukung pondasi dilakukan dengan memperhatikan data penyelidikan tanah, beban yang dipikul oleh pondasi, dimensi tiang, jarak antar tiang dan kedalaman tiang. Peneliti ingin melakukan perencanaan ulang pembangunan pondasi tiang bor menggunakan variasi dimensi tiang pancang untuk mengetahui kekuatan tiang pancang dalam menahan beban struktur di atas nya. Perencanaan ulang pondasi tiang pancang direncanakan dengan 3 alternatif variasi diameter, yaitu diameter 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung pondasi tiang pancang dengan pondasi tiang eksisting. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang metode *Meyerhoff* diameter 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m, diperoleh masing-masing sebesar 822,617 Ton, 864,149 Ton, dan 934,279 Ton. Metode Aoki De Alencar masing-masing sebesar 775,975 Ton, 804,466 Ton, dan 819,982 Ton. Metode Luciano Decourt masing-masing sebesar 733,560 Ton, 873,776 Ton, dan 904,250 Ton lebih besar dari $P = 730,553$ Ton, sehingga pondasi tiang pancang dengan diameter 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m, aman digunakan dalam pembangunan gedung RSA Universitas Islam Indonesia. Dengan berbagai variasi diameter yaitu 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m, diambil alternatif ke-3 diameter 0,5 m metode Meyerhoff dengan jumlah 3 tiang dalam suatu kelompok tiang. Hal ini didasarkan dengan jumlah tiang yang lebih sedikit tetapi tetap aman digunakan, sehingga dapat menghemat waktu pekerjaan dan biaya konstruksi yang dikeluarkan”.

Perbedaan dan Persamaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fahri Dirgananta adalah sama-sama membandingkan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m. Perbedaan antara keduanya terletak pada metode penelitian yang digunakan dan penyelidikan yang akan diteliti. Pada penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fahri Dirgananta menggunakan metode “*Meyerhoff, Metode Aoki De Alencar, Luciano Decourt*” untuk mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung pondasi tiang pancang dengan pondasi tiang eksisting. Sedangkan penelitian ini

menggunakan metode “*Mayerhoff, Aoki & De Alencar dan Metode Price & Wardle*” dengan penyelidikan terhadap perilaku beban max (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (*Cone Penetrasi Test*) dengan perkiraan penelitian sebelumnya denganasil penelitian yang akan dilaksanakan.

- d. Perbandingan Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal Berdasarkan Hasil Pengujian Beban Dinamik Dan Statik (*Comparison Of Ultimate Bearing Capacity On Single Pile Based On Dynamic And Static Loading Test*) oleh Hariansyah Putra (2016)

“Penentuan daya dukung rencana untuk fondasi tiang pancang atau tiang bor bisa dilakukan dengan dua cara, yang pertama berdasarkan data hasil pengujian laboratorium dan kedua berdasarkan hasil data uji lapangan. Untuk memverifikasi daya dukung rencana tersebut umumnya digunakan metode pengujian beban statik (*static loading test*) dan metode pengujian beban dinamik (*dynamic loading test*). Pada prinsipnya pengujian dinamik hanya merupakan pendugaan, sehingga pada beberapa pekerjaan konstruksi yang cukup besar pengujian statik harus dilakukan sebagai data pembanding untuk melihat kesesuaian hasil daya dukung yang dihasilkan oleh uji dinamik. Kenyataan di lapangan pengujian dinamik lebih sering digunakan karena pengujian dinamik memiliki beberapa keuntungan, seperti biaya pengujian yang lebih murah, waktu pengerjaan lebih cepat, dan ruang yang diperlukan untuk pengujian yang lebih kecil. Mengingat banyaknya pelaksanaan pengujian dinamik dibandingkan dengan pengujian

statik yang dilakukan di Indonesia, maka pada tulisan ini dilakukan kajian kesesuaian nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan oleh pengujian dinamik dibandingkan dengan hasil pengujian statik. Evaluasi pada 22 titik data pengujian menggunakan analisa korelasi menunjukkan bahwa nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik rata-rata memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil pengujian statik, dan dari interpretasi nilai daya dukung ultimit dari data pengujian statik menggunakan metode “*Davisson, Chin dan Mazurkiewicz*” didapat nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamis mempunyai kesesuaian tertinggi dengan nilai daya dukung ultimit hasil interpretasi menggunakan metode Davisson, dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.92 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8554, kesesuaian terendah apabila dibandingkan dengan metode Chin dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.86 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.7742. Berdasarkan hasil evaluasi nilai daya dukung hasil uji dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai daya dukung hasil uji statik, hal ini bisa dilihat dari nilai rata-rata koefisien korelasi (r) yang didapat sebesar 0,90, sedangkan tingkat kesesuaian yang dihasilkan sebesar 87% atau 13 % lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik”.

Perbedaan dan Persamaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Hariansyah Putra adalah sama-sama membandingkan nilai daya dukung tiang tunggal. Perbedaan antara keduanya terletak pada metode

penelitian yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hariansyah Putra menggunakan metode “*Davisson, Chin dan Mazurkiewicz*” untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamis mempunyai kesesuaian tertinggi dengan nilai daya dukung ultimit. Sedangkan penelitian ini menggunakan metode “*Mayerhoff, Aoki & De Alencar dan Metode Price & Wardle*” dengan penyelidikan terhadap perilaku beban max (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (*Cone Penetrasi Test*) dengan bentuk penampang tiang dengan bentuk dasar penampang pondasi tiang lingkaran, persegi, dan segi enam berdasarkan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m.

- e. Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Elastis Tiang Pancang Beton Jembatan Sungai Penara Jalan Akses Non Tol Kualanamu oleh Rudy Iskandar (2017)

“Setiap Pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung dan membandingkan kapasitas daya dukung, menghitung penurunan pondasi tiang pancang pada Proyek Jembatan Sungai Penara Jalan Akses Non-Tol Kualanamu. Kapasitas daya dukung tiang pancang dengan metode statis dihitung berdasarkan data- data lapangan (SPT), sedangkan metode dinamis dihitung berdasarkan data lapangan yaitu data kalendering dan PDA yang diperoleh saat pemancangan. Metode statis untuk data lapangan (SPT) diperoleh kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal $Q_u = 183,94$ ton, dan

daya dukung ultimit tiang kelompok $Q_u = 2998,75$ ton. Berdasarkan metode dinamis untuk data kalendering (Metode Hilley) diperoleh kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal $Q_u = 216,75$ ton, dan daya dukung ultimit tiang kelompok $Q_u = 3533,45$ ton. Daya dukung horizontal tiang tunggal sebesar 13,196 ton dengan defleksi 0,33 cm. Penurunan elastis tiang kelompok diperoleh 15,6 mm dengan menggunakan Q_g metode Converse-Labarre dan penurunan menggunakan Q_g metode Los Angeles Group diperoleh penurunan sebesar 17,52 mm. nilai kedua penurunan mendekati nilai penurunan pada test PDA yaitu sebesar 16,7 mm.

Perbedaan dan Persamaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Rudy Iskandar adalah sama-sama membandingkan nilai daya dukung tiang tunggal. Perbedaan antara keduanya terletak pada metode dan penyelidikan penelitian yang digunakan. Pada penelitian yang

dilakukan oleh Rudy Iskandar menggunakan metode “*Hilley*”. Sedangkan penelitian ini menggunakan metode “*Mayerhoff, Aoki & De Alencar dan Metode Price & Wardle*” dengan penyelidikan terhadap perilaku beban max (Q_{max}) yang diterima pondasi berdasar hasil CPT (*Cone Penetrasi Test*) dengan bentuk penampang tiang dengan bentuk dasar penampang pondasi tiang lingkaran, persegi, dan segi enam berdasarkan variasi diameter 0,3; 0,4; 0,5m.