

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam proses pengerjaan tinjauan pustaka yang terdiri dari uraian tentang perkembangan keilmuan topik yang berkaitan dengan penelitian, teori-teori yang mendukung penelitian dan perkembangan penelitian-penelitian sebelumnya dibuat. Berdasarkan penelitian terdahulu, maka penelitian-penelitian tersebut akan menjadi acuan bagi penulis untuk memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan.

1. Nama : Wiratna Tri Nugraha, (2020)  
Pokok bahasan : melakukan penelitian tentang analisis pondasi tiang pancang *breasting dolphin* dan *mooring dolphin* pada dermaga *type jetty*.  
Metode penelitian : metode penelitian menggunakan perhitungan gaya benturan, gaya tarikan, gaya angin, gaya arus memperhitungkan jumlah tiang serta efisiensi tiang kelompok dan memperhitungkan kapasitas daya dukung ijin tiang.  
Hasil penelitian : Hasil Gaya-gaya yang bekerja pada struktur *dolphin (breasting dolphin dan mooring dolphin)*, seperti gaya-gaya di bawah ini, diantaranya yaitu:
  - a. Gaya yang timbul akibat berat sendiri struktur yaitu sebesar 72,9 ton (berat *dolphin*).
  - b. Gaya sandar (*berthing forces*) yang terjadi pada saat kapal akan merapat yaitu sebesar 12,60 ton.
2. Nama : Sulardi (2017)  
Pokok bahasan : melakukan penelitian tentang pondasi tiang penopang bangunan lepas pantai yang dilengkapi dengan kaki pengaku.  
Metode penelitian : metode percobaan dengan pendekatan kasus kegagalan pondasi tiang struktur *face fender*, bangunan dermaga, bangunan *pipe rack* dan bangunan *breasting dolphin* PT. Pertamina RU V Balikpapan. Metode percobaan dalam rangka menemukan bentuk

dan konfigurasi pondasi tiang yang paling cocok dan paling sesuai digunakan sebagai pondasi tiang bangunan dermaga dan bangunan lepas pantai yang tahan terhadap pengaruh destruksi gelombang, gaya pasang surut dan benturan kapal saat bersandar yaitu bentuk dan konfigurasi pondasi tiang dengan mengadopsi akar bakau.

Hasil penelitian : Hasil Metode pembuatan dan pemasangan pondasi tiang penopang bangunan kepas pantai yang dilengkapi dengan kaki pengaku telah memiliki prosedur baku yang teregister di Pertamina RU V dengan No. TKI No.C-046/E15143/2014-S0

3. Nama : Cornelis (2016)  
Pokok bahasan : melakukan penelitian tentang Analisis *Fixed Mooring Dolphin* Akibat Beban Lateral, Studi Kasus Fuel Jetty PT. Petro Storindo Energi, Sangatta Kalimantan Timur.  
Metode penelitian : metode yang digunakan yaitu mengidentifikasi gaya tumbukan terhadap fender, gaya angin, gaya arus dan analisis daya dukung tanah. Pada penelitian ini yang akan dilakukan pemodelan adalah *Berthing Dolphin, Mooring Dolphin* dimana akan dilakukan variasi kemiringan dan diameter yang berbeda.  
Hasil penelitian : hasil Pemodelan tiang dengan kemiringan yang berbeda berdasarkan studi kasus *Fixed mooring dolphin*, dilakukan untuk mengetahui desain mana yang paling stabil. Kemiringan 4V:1H diameter 914.4 mm dengan nilai  $P = 1340.328\text{kN}$ ,  $V = 63.72\text{kN}$   $M = 821.427\text{kN}$  dan diameter 1016 mm dengan nilai  $P = 4620.918\text{kN}$ ,  $V = 71.148\text{kN}$ ,  $M = 956.7095\text{kN}$  adalah yang paling stabil dan memenuhi kriteria desain. Faktor yang mempengaruhi momen ultimate pada tiang, semakin banyak tiang, semakin kecil momen yang terjadi dan apabila tiang lebih sedikit maka momen yang terjadi akan semakin besar.

4. Nama : Fatih Azmi, (2016)  
Pokok bahasan : melakukan penelitian tentang Analisa Resiko Keruntuhan Struktur *Breasting Dolphin* Akibat Bertambahnya DWT Kapal Tanker.  
Metode penelitian : dengan menggunakan metode perhitungan kapasitas ultimate struktur dapat ditentukan dengan menggunakan analisis *pushover*. Pendekatan ini melibatkan *live load* dan *dead load* yang dikombinasikan terhadap beban lingkungan, dengan melakukan simulasi pembebanan pada *platform* secara bertahap sampai terjadi kegagalan struktur.  
Hasil penelitian : Hasil Besar *impact load* kapal tanker yang bersandar sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi adalah 2761,60 kN. Sedangkan struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi tidak mengalami kegagalan member ketika dikenai *impact load* maksimum sebesar 3.029,23 kN
5. Nama : Tika Andani Setupu (2014)  
Pokok bahasan : melakukan penelitian tentang analisis konfigurasi pondasi tiang pancang kernel jetty terhadap gaya lateral pada pembangunan jetty pulau laut.  
Metode penelitian : metode permodelan konfigurasi tiang pancang dengan menggunakan SAP2000 perbandingan gaya-gaya dalam dan defleksi yang terjadi pada tiap tipe konfigurasi tiang pancang yang diperoleh dari hasil *running* program SAP2000 tersebut dan juga pembahasan mengenai beban lateral tiang pancang.  
Hasil penelitian : Hasil Konfigurasi tiang tipe 3 memiliki defleksi lateral dan gaya lateral yang paling kecil diantara dua tipe konfigurasi lainnya karena pada konfigurasi tiang tipe ke-3 ini paling banyak menggunakan tiang miring yaitu sebanyak 40 tiang miring dibandingkan dengan tipe lainnya.

## **2.2. Latar Belakang Teori**

Tiang pancang adalah elemen struktur yang terbuat dari kombinasi beberapa material yang dipasang di bawah tanah untuk menahan beban. Tiang pancang dipasang dengan cara di pukul, ditekan, di getar, di bor, atau kombinasi dari cara tersebut. Tiang pancang spun pile terbuat dari beton pratekan yaitu kombinasi beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi. Beton berkekuatan tinggi diberi tekanan dengan cara menarik baja dan menahannya ke beton. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Baja adalah bahan yang liat dan kuat terhadap gaya tarik sedangkan beton bahan yang getas tidak tahan terhadap gaya tarik. Gaya prategang yang diberikan pada penampang beton akan merubah beton menjadi material yang elastis karena tidak ada gaya tarik pada penampang beton yang menyebabkan keretakan beton.

Balok sloof adalah balok yang mengikat pondasi satu dengan pondasi yang lain, berfungsi sebagai pengikat dan juga untuk mengantisipasi penurunan pada pondasi agar tidak terjadi secara berlebihan.

Pondasi adalah bagian struktur paling bawah dari suatu konstruksi (gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, dinding penahan, menara, tanggul,dll) yang berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal di atasnya (kolom) maupun beban horizontal ke tanah pendukung.

Ali Asroni (2010) menjelaskan bahwa secara garis besar, struktur bangunan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu struktur bangunan di dalam tanah dan struktur bangunan di atas tanah. Struktur bangunan di dalam tanah sering disebut struktur bawah, sedangkan struktur bangunan di atas tanah disebut struktur atas. Struktur bawah dari bangunan disebut fondasi, yang bertugas untuk memikul bangunan di atasnya. Seluruh beban dari bangunan, termasuk beban-beban yang bekerja pada bangunan dan berat fondasi sendiri, harus dipindahkan atau diteruskan oleh fondasi ke tanah dasar dengan sebaik-baiknya.

Pamungkas dan Harianti (2013) menjelaskan bahwa struktur bawah merupakan bagian bawah dari suatu struktur bangunan/gedung yang menahan beban dari struktur atas. Struktur bawah ini meliputi balok sloof dan pondasi.

Balok sloof adalah balok yang mengikat pondasi satu dengan pondasi yang lain, berfungsi juga sebagai pengikat dan juga untuk mengantisipasi penurunan pada pondasi agar tidak terjadi secara berlebihan.

### **2.3. Jenis-jenis Pondasi Dalam**

Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan permukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah. Pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 m di bawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang, dinding pancang dan caissons atau pondasi kompensasi. Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban kelapisan yang lebih dalam untuk mencapai kedalaman yang tertentu sampai didapat jenis tanah yang mendukung daya beban struktur bangunan sehingga jenis tanah yang tidak cocok di dekat permukaan tanah dapat dihindari.

Berikut ini akan diuraikan jenis-jenis pondasi dalam yaitu :

**a. Pondasi TiangPancang**

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman lebih dari 8 meter.

Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) kelapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam. Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja, Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga dimana terdapat tekanan kesamping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya. Tiang Pancang umumnya digunakan :

- a) Untuk mengangkat beban-beban konstruksi diatas tanah kedalam atau melalui sebuah stratum/lapisan tanah. Didalam hal ini beban vertikal dan beban lateral boleh jadi terlibat.
- b) Untuk menentang gaya desakan keatas, gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah dibawah bidang batas air jenuh atau untuk menopang kaki-kaki menara terhadap guling.
- c) Memampatkan endapan-endapan tak berkohesi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan getaran dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
- d) Mengontrol lendutan/penurunan apabila kaki-kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah tepi atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
- e) Membuat tanah dibawah pondasi mesin menjadi kaku untuk mengontrol amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari system tersebut.

- f) Sebagai faktor keamanan tambahan dibawah tumpuan jembatan dan atau pir, khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
- g) Dalam konstruksi lepas pantai untuk meneruskan beban-beban diatas permukaan air melalui air dan kedalam tanah yang mendasari air tersebut. Hal seperti ini adalah mengenai tiang pancang yang ditanamkan sebagian dan yang terpengaruh oleh baik beban vertikal (dan tekuk) maupun beban lateral.

## **2.4. Tiang Pancang Baja**

Pondasi tiang pancang baja biasanya berbentuk profil H ataupun berbentuk pipa atau kotak baja. Pada tiang pancang baja pipa, dapat dipilih dengan ujung terbuka ataupun tertutup. Jika tiang pancang yang digunakan pipa atau maka harus diisi dengan beton, dengan mutu beton minimal K250.

Berdasarkan kondisi tanah, ada 2 jenis pipa pancang baja, yakni pipa dengan ujung terbuka (*open-ended piles*) dan pipa dengan ujung tertutup (*close-ended piles*).

### **2.5.1. Pipa dengan ujung terbuka**

#### *a. Unplugged Open-Ended*

Pipa pancang baja ini memiliki dua sisi yang terbuka, yakni di kedua ujungnya. Saat dipancangkan, pipa ini hanya perlu didorong ke bawah atau ke dalam tanah hingga posisi tanah di dalam dan di luar pipa sama.

#### *b. Plugged Open-Ended*

Jenis pipa ini juga memiliki sisi yang terbuka di kedua ujungnya. Pipa ini cocok digunakan pada jenis tanah yang cukup padat. Saat dipancangkan, posisi tanah yang berada di dalam pipa lebih rendah dari pada yang berada di luar pipa.

### **2.5.2. Pipa dengan ujung tertutup**

#### *a. Bottom Plate*

Pipa yang terbuat dari baja difungsikan sebagai poros tiang pancang. Sementara itu, pelat (*bottom plate*) diletakkan diujung bawah tiang dengan cara dilas. Setelah itu, pipa dengan pelat tersebut dipancangkan kedalam hingga mencapai lapisan dalam tanah yang keras. Keberadaan pelat berfungsi untuk menghindarkan pipa agar tidak bertumpu pada batuan. Dengan demikian, pipa dapat

terpancang dengan kokoh dan tidak mudah goyah.

b. *Steel Pipe with Rock Shoe*

Penggunaan sepatu batu (*rock shoe*) diharapkan mampu mencegah tergelincirnya pipa pancang baja yang mengenai landasan batu sedimen. Selain itu, keberadaan sepatu tiang pancang tersebut juga difungsikan untuk memusatkan beban pada titik penyangga. Selain itu, sepatu pancang tersebut juga kerap digunakan pada kasus tertentu, misalnya ketika titik tumpuan berada di atas. Keberadaannya dapat didorong sehingga posisi titik tumpu bisa berpindah. Namun apabila permukaan batu tersebut curam, bagian sepatu pancang bisa dibor terlebih dahulu agar posisinya sesuai dengan titik tumpu.

c. *Franki Pipe Pile*

Pipa pancang franki digunakan sebagai sebuah konstruksi tiang pancang permanen. Pipa ini dipancangkan bersama dengan beton. Oleh karena itu, pipa ini membutuhkan tenaga penggerak yang besar yang mampu memancangkan pipa kedalam tanah tanpa perlu mengubah kapasitas struktur pipa pancang baja.

Tiang pancang baja mempunyai potensi rawan terhadap korosi. Berkaitan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian sebelumnya pada bagian mana yang mungkin terjadi korosi Tingkat pada tiang pancang baja sangat berbeda-beda terhadap teksture (susunan butir) dari komposisi tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah (moisture contact).



**Gambar 2.1 Tiang pancang pipa baja**

(Sumber : *Recky Sigar, 2016*)



## 2.5. Fungsi Perhitungan *Berthing Dolphin*

Gaya – gaya yang bekerja pada *Berthing Dolphin* dapat dibedakan menjadi gaya vertikal dan gaya horizontal. Gaya vertikal meliputi berat sendiri bangunan dermaga, beban hidup, beban peralatan bongkar muat. Gaya horizontal meliputi gaya benturan kapal, gaya tambat, dan gaya arus pada tiang pancang.

### 2.5.1. Gaya Horizontal

#### 1. Gaya Benturan Kapal

Dalam perencanaan, diasumsikan bahwa benturan maksimum terjadi apabila kapal bermuatan penuh menghantam dermaga dengan sudut 10° terhadap sisi depan dermaga seperti **Gambar 2.2**.

$$E = \frac{W \times V^2}{2g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c \quad (2.1)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

Dimana :

E = energi benturan kapal (ton/m)

V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)

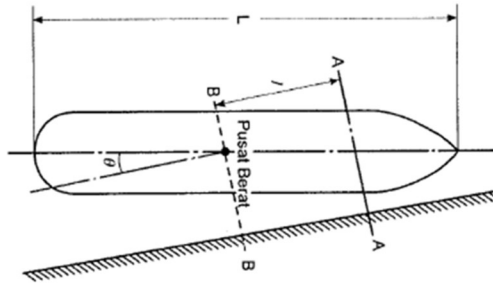
W = berat kapal yang diambil dari *displacement tonnage* kapal

C<sub>m</sub> = koefisien massa

C<sub>e</sub> = koefisien eksentrisitas

C<sub>s</sub> = koefisien kekerasan

C<sub>c</sub> = koefisien bentuk dari tambatan



**Gambar 2.2** Jarak pusat berat kapal  
(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_m = 1 + \frac{\pi d}{2 C_b B} \quad (2.2)$$

$$C_b = 1 + \frac{Vol}{L_{pp} B d \gamma} \quad (2.3)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

**Tabel 2.1** kecepatan merapat kapal

Ukuran Kapal (DWT)	Kecepatan Merapat	
	Pelabuhan (m/d)	Laut Terbuka (m/d)
Sampai 500	0,25	0,3
500 – 1000	0,15	0,2
10000 – 30000	0,15	0,15
dias 30000	0,12	0,15

(Sumber : *Bambang Triatmodjo 2010*)

Dimana :

$C_b$  = koefisien blok kapal

$d$  = draft kapal (m)

$B$  = lebar kapal (m)

$L_{pp}$  = panjang garis air (m)

$\gamma$  = berat jenis air ( $t/m^3$ )

Koefisien eksentrisitas adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat, dan dapat dihitung dengan rumus:

$$C_e = \frac{1}{1+(l/r)^2} \quad (2.4)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

Dimana :

$l$  = jarak sepanjang permukaan air dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal (m)

$r$  = jari – jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air (m)

Nilai  $l$  dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Dermaga: } l = \frac{1}{4} \text{ LOA} \quad (2.5)$$

$$\text{Dolpin : } l = \frac{1}{6} \text{ LOA} \quad (2.6)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

## 2. Gaya Arus Pada Tiang Pancang

Gaya arus pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$C_c \gamma_w A_c \left( \frac{V_c^2}{2g} \right) \quad (2.7)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

Dimana :

$R$  = gaya akibat arus (kgf)

$A_c$  = luas tampang kapal yang terendam air ( $m^2$ )

$\gamma_w$  = rapat massa air ( $kg/m^3$ )

$V_c$  = kecepatan arus (m/det)

$C_c$  = koefisien tekanan arus

### 3. Gaya angin

Angin yang berhembus kearah badan kapal yang ditambatkan akan menyebabkan gerakan pada kapal yang bias menimbulkan gaya terhadap dermaga. Beban angin dihitung dengan persamaan berikut ini:

- a. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$R_w = 0.42 \times Q_a \times A_w \quad (2.8)$$

- b. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah buritan ( $\alpha = 180^\circ$ )

$$R_w = 0.5 \times Q_a \times A_w \quad (2.9)$$

- c. Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah lebar ( $\alpha = 90^\circ$ )

$$R_w = 1.1 \times Q_a \times A_w \quad (2.10)$$

(Sumber : *Bambang Triatmodjo, 2010*)

Dimana :

$Q_a$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$R_w$  = gaya akibat angin (kg)

$P_a$  = tekanan angin (kg)

$V$  = kecepatan angin (m/det)

$A_w$  = proyeksi bidang yang tertiuip angin ( $\text{m}^2$ )

#### 2.5.2. Gaya Vertikal

##### 1. Beban Mati

Beban mati yang terjadi akibat berat sendiri jetty dan tiang pancang dan berat mati tambahan yang berupa berat bollard dan infil concrete.

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup biasanya terdiri dari beban merata, beban terpusat akibat roda-roda truk atau peralatan yang bekerja untuk melakukan bongkar muat dalam pelabuhan.

#### 2.6. Beban Lateral Ultimit Tiang Tunggal

Untuk menentukan besar tahanan ultimit tiang yang mendukung beban lateral, perlu diketahui faktor kekakuan tiang, R dan T. Faktor ini dipengaruhi oleh kekakuan tiang (EI) dan kompresibilitas tanah (modulus tanah), K.

Jika tanah berupa lempung kaku, Faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan (R) dinyatakan :

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_i I}{K}} \quad (2.11)$$

(Sumber : Bambang Triatmodjo, 2010)

Dimana :

K = modulus tanah =  $k_1/1,5$

$k_1$  = modulus reaksi subgrade dari Terzaghi

$E_i$  = modulus elastis tiang

I = momen inersia tiang

D = diameter tiang

R = modulus tanah konstan

**Tabel 2.2** Nilai-nilai  $k_1$  yang disarankan oleh *Terzaghi (1955)*

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
Kohesi <i>Undrained</i> (Cu), kN/m <sup>2</sup>	100 – 200	200- 400	>400
$k_1$ , MN/m <sup>3</sup>	18 – 36	36 – 72	>72
$k_1$ direkomendasikan, MN/m	27	54	>108

(Sumber : Tomlinson, 1994)

Pada tanah lempung dan tanah granuler. Faktor kekakuan untuk modulus tanah yang tidak konstan (T) ini dinyatakan :

$$\beta = \left( \frac{K d}{4 E_p I_p} \right)^{1/4}$$

$\beta$  = pengkaitan tipe tiang

K = modulus tanah

$E_i$  = modulus elastis tiang

$I_p$  = momen inersia tiang

(Asumsi tiang panjang ujung jepit)  $\beta L \geq 1,5$  cm

$$W = \frac{I_p}{d/2}$$

(Sumber : Bambang Triatmodjo, 2010)

**Tabel 2.3** Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah Granuler

<b>Kerapatan realtif (Dr)</b>	<b>Tidak Padat</b>	<b>Sedang</b>	<b>Padat</b>
Interval Nilai	100 – 300	300 – 1000	1000 - 2000
Nilai dipakai	200	600	1500
$n_h$ , pasir kering atau lembab ( <i>Terzaghi</i> )( $kN/m^3$ )	2425	7275	19400
$n_h$ , pasir terendam air ( $kN/m^3$ ), <i>Terzaghi</i>	1386	4850	11779
<i>Reese Dkk</i>	5300	16300	34000

(Sumber : *Tomlinson, 1994*)

**Tabel 2.4** Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah Kohesif

Tanah	$n_h$ ( $kN/m^3$ )	Referensi
Lempung	166 – 3518	Reese dan Matlock (1956)
Lunak	277 – 554	Davisson – Prakash(1963)
Lempung	111 -277	Peck dan Davisson(1962)
Organik	111 – 831	Davisson (1970)
Gambut	55	Davisson (1970)
	27,7 – 111	Wilson dan Hilts (1967)

(Sumber : *Tomlinson, 1994*)

Kriteria tiang kaku (pendek) dan tiang tidak kaku (panjang) berdasarkan faktor kekakuan diperlihatkan pada Tabel 2.4. di bawah ini:

**Tabel 2.5** Kriteria Tiang

Tipe Tiang	Modulus tanah bertambah dengan kedalaman	Modulus tanah konstan
Kaku	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Tidak Kaku	$L \geq 4T$	$L \geq 3,5R$

(Sumber : Tomlinson, 1994)

### 2.7. Defleksi Tiang Ujung Jepit

Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang panjang, bila  $\beta L > 1,5$  dengan besarnya defleksi.

$$y_0 = \frac{H_{ijin} \beta}{kh d} \quad (2.13)$$

dimana :

kh = koefisien reaksi subgrade untuk pembebanan horizontal

Untuk tanah dengan modulus konstan,

diambil  $kh = k_1$  Untuk tanah dengan modulus bertambah secara linier, kh diambil rata-rata dari  $k_1$  disepanjang kedalaman .