

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar

Tanah merupakan akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu padat (butir debu, pasir, dan bahan organik), cair (air di dalam pori tanah), dan udara (di dalam pori tanah). Tanah selalu mempunyai peranan penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah adalah sebagai dasar pendukung suatu bangunan itu sendiri. Pada umumnya semua bangunan di buat di atas dan di bawah permukaan tanah. Maka diperlukan suatu sistem pondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah.

Setiap pondasi mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada ke dalaman 10 meter di bawah permukaan tanah adalah pondasi tiang. (Bowles, 1988) berpendapat bahwa Pondasi tiang adalah bagian-bagian konstruksi yang dapat dibuat dari kayu, beton, atau baja yang digunakan untuk meneruskan beban-beban permukaan lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang tunggal. Perbedaan pemakaian pondasi tiang-tiang ini semata-mata hanya dari segi kemudahan.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum di mana tanah memiliki kesamaan sifat fisis.

Umumnya klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang di peroleh dari analisis saringan dan uji sedimentasi kemudian juga plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unifield Soil Clasification system* (USCU) dan *American Assocation Of State Highway And Transfortation Officials* (AASHTO).

2.2.1 Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Menurut USCS sifat tanah ditentukan oleh ukuran butir dan gradasi butirannya. Sistem klasifikasi tanah USCS merupakan sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi. Sistem ini pertama-tama dikembangkan oleh *Casagrande* (1984). Sistem ini lalu dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S Buerau of Reclamation* dan *U.S Corp of Engineer* tahun 1952. Kemudian pada tahun 1969 *American Socienty for Testing and Materials* (ASTM) telah menggunakan sistem USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan untuk maksud-maksud rekayasa (ASTM D-2487). Pengelompokan tanah berdasarkan ukuran butir dan sifat plastisitas seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Divisi utama		Simbol Kelompok	Klasifikasi	
Tanah Berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan disaringan nomor 200	Kerikil lebih dari 50% tertahan #40	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW CP	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM GC	Kerikil berlanau atau campuran kerikil – pasir – lanau. Kerikil berlempung campuran kerikil – pasir berlempung.
	Pasir lebih dari 50% lolos #No.40	Pasir bersih hanya pasir	SW SP	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus. Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
		Pasir dengan butiran halus	SM SC	Pasir berlanau campuran pasir lanau Pasir berlempung, campuran pasir lempung.

Divisi utama		Simbol Kelompok	Klasifikasi
Tanah Berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tetapan disaringan nomor 200	Lanau dari lempung batas Cair lebih dari 50% atau kurang	ML	Lanau organic, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung.
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays).
		OL	Lanau – organik atau lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dari lempung batas Cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, lanau yang elastis.
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays).
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.
Tanah dengan kandungan tinggi	PT	Peat "gambut", muck dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi.	

Sumber: Braja M. Das 1985

2.2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi tanah sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Admistrasion Classification System*. Dengan beberapa kali perubahan, sekarang telah digunakan dan dianjurkan oleh *Committe on Classification of Materials for*

Subgrade and Granular Type Roads of the Highway Research Board pada tahun 1945 (ASTM) menggunakan kode D-3282 dan AASTHO dengan metode M 145). Tanah diklasifikasikan ini berdasarkan pada distribusi ukuran butir, *liquid limit* dan plastisitas tanah seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir kasar (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos #200)						
Klasifikasi	A-1		A-3	A-2			
Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (%lolos)	Maks						
No.10	50	Maks	Maks				
No.40	Maks	50	31	Maks	Maks	Maks	Maks
No.100	30	Maks25	Maks	35	35	35	35
	Maks		10				
	15						
Sifat fraksi yang lolos #No.40				Maks	Maks	Maks	Maks
Batas Cair (LL)	Maks 6		NP	40	41	40	41
Batas Plastis (PL)				Maks 10	Maks 10	Min11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau dan berlempung			

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir halus (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos #200)			
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ¹⁴ A-7-6 ⁵
Analisis ayakan (%) No.10 No.40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos #No.40 Batas Cair (LL) Baras Plastis (PL)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian	Biasa Sampai Jelek			

Sumber: Braja M. Das 1985

2.2.3 Tanah Lunak

Tanah lunak dalam konstruksi seringkali menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, sehingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh.

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampatannya besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan

mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah.
2. Bisa kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang.
3. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang.
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah.
6. Memiliki kompresibilitas yang besar.
7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4 ($N\text{-value} < 4$). Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan.

2.3 Pondasi

Pondasi bangunan adalah konstruksi yang paling penting pada suatu bangunan. Karena pondasi berfungsi sebagai penahan seluruh beban yang berada di atasnya dan gaya-gaya dari luar. Pondasi merupakan bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban menuju lapisan tanah pendukung dibawahnya. Dalam struktur apapun, beban yang terjadi baik yang disebabkan oleh berat sendiri ataupun akibat beban rencana harus disalurkan ke dalam suatu lapisan pendukung dalam hal ini tanah yang ada di bawah struktur tersebut.

Beton bertulang adalah material yang paling cocok sebagai pondasi untuk struktur beton bertulang maupun bangunan baja, jembatan, menara dan struktur lainnya. Beban dari kolom yang bekerja pada pondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman. Jika tegangan tekan melebihi tekanan yang diizinkan, maka dapat menggunakan bantuan tiang pancang untuk membantu memikul tegangan tekan pada dinding dan kolom pada struktur.

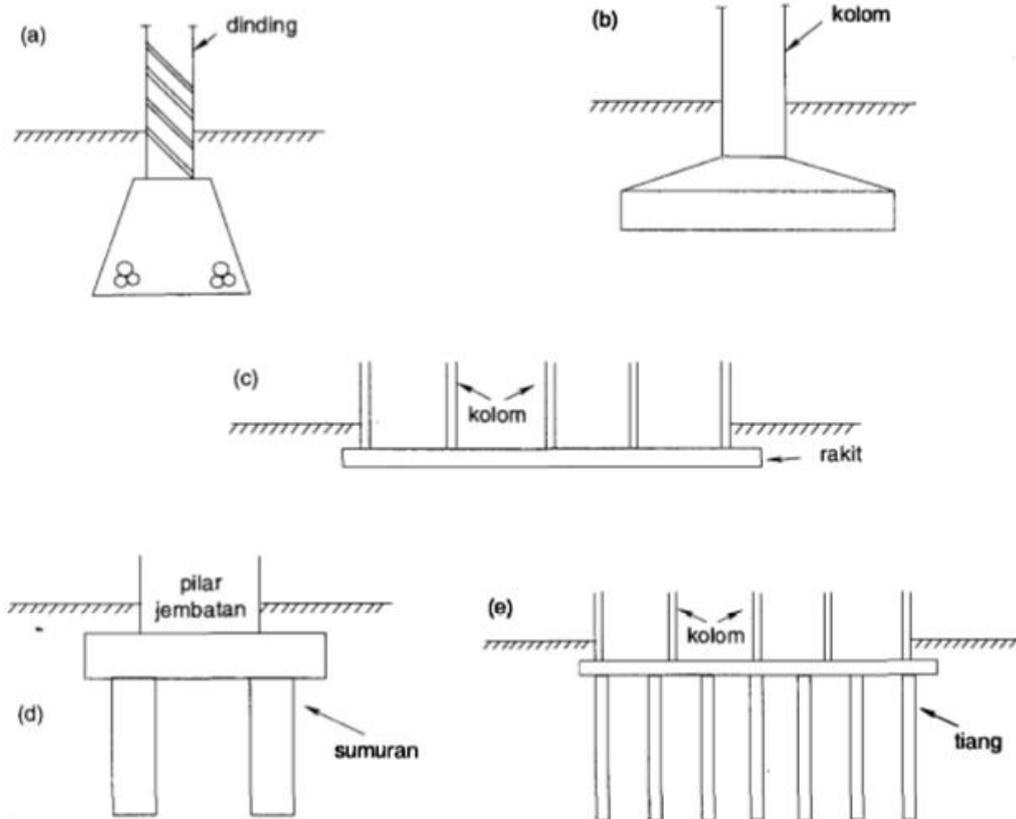
Berdasarkan kedalamannya, pondasi diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang ditetapkan dengan kedalaman (D) dibawah permukaan tanah yang kurang dari lebar minimum pondasi (B), dengan kata lain pondasi dangkal merupakan pondasi yang kedalamannya dekat dengan permukaan tanah ($D/B \leq 1$). Contoh pondasi dangkal antara lain pondasi telapak, pondasi memanjang, dan pondasi rakit. Macam-macam contoh tipe pondasi adalah sebagai berikut:

1. Pondasi telapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom
2. Pondasi memanjang adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.
3. Pondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*) adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau

digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.

4. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yang merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam. Peck, dkk (1953) membedakan pondasi sumuran dengan pondasi dangkal dari nilai kedalaman (D) dibagi lebarnya (B). Untuk pondasi sumuran $D/B > 4$, sedang untuk pondasi dangkal $D/B \leq 1$.

5. Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Demikian pula, bila pondasi bangunan terletak pada tanah timbunan yang cukup tinggi, sehingga bila bangunan diletakkan pada timbunan akan dipengaruhi oleh penurunan yang besar. Bedanya dengan pondasi sumuran adalah pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang.



Sumber : Agustinus Akon, dkk (2018)

Gambar 2.1 Macam-macam tipe pondasi

2.4 Daya Dukung Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. (Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa, 2000) berpendapat bahwa pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Dalam menentukan kapasitas dukung tiang diperlukan klasifikasi tiang dalam mendukung beban yang bekerja. Menurut Terzaghi, klasifikasi tiang didasarkan pada pondasi tiang yaitu:

1. Tiang gesek (*friction pile*) apabila tiang pancang pada tanah berbutir, akibat pemancangan tiang tanah di sekitar tiang menjadi padat. Porositas dan kompresibilitas tanah akibat getaran pada waktu tiang di pancang menjadi berkurang dan angka gesekan antara butir-butir tanah dan permukaan tiang pada arah lateral menjadi bertambah.
2. Tiang lekat (*cohesion pile*) apabila tiang yang di pancang pada tanah lunak (permeabilitas rendah) atau tanah mempunyai kohesi yang tinggi.
3. Tiang mendukung di bagian ujung tiang (*point/end bearing pile*), apabila tiang di pancang dengan ujung tiang mencapai tanah keras sehingga seluruh beban yang di pikul oleh tiang diteruskan ke tanah keras melalui ujung tiang.
4. Tiang tekan apabila tiang telah menumpu pada tanah keras dan mendapatkan tekanan vertikal dari beban mati maupun beban hidup.
5. Tiang tarik apabila tiang pancang pada tanah berbutir mendapat gaya yang bekerja dari lendutan momen yang mengakibatkan tiang mengalami gaya tarik.

Pondasi tiang dipergunakan apabila lapisan-lapisan bagian atas tanah begitu lembek, dan kadang-kadang ditemukan keadaan tanah di mana 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 di sebut juga dengan tiang terapung (*floating piles*). Apabila tiang ini dimasukkan dalam lapisan lempung maka perlawanan ujung akan jauh lebih kecil daripada perlawanan

akibat perlawanan ujung akan jauh lebih kecil dari pada perlawanan akibat perlekatan antara tiang dan tanah.

Tiang pancang di pancang masuk sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan untuk tahanan ujung. Tiang pancang tipe ini di sebut *end bearing piles* atau *point bearing piles*. Yang perlu diperhatikan pada tiang ini adalah ujung tiang harus terletak pada lapisan tanah keras.

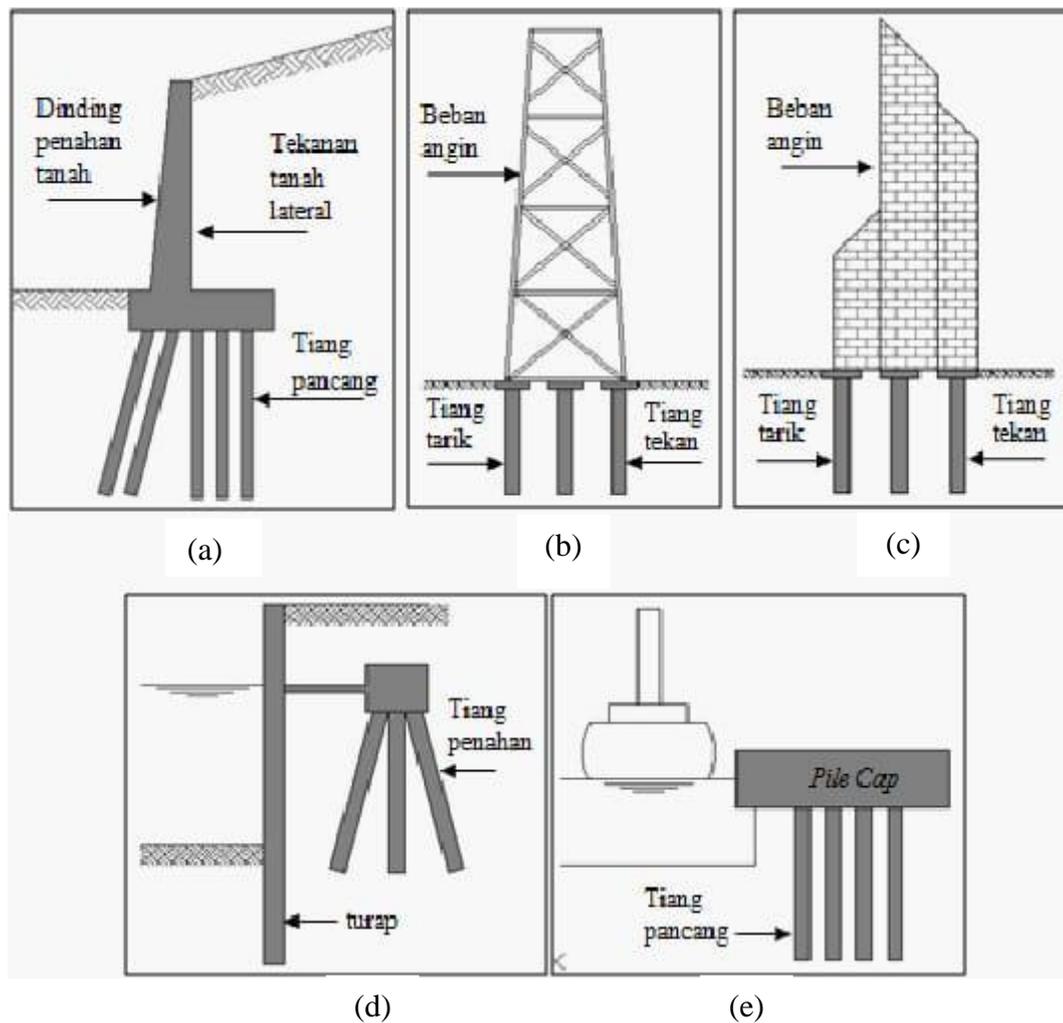
2.5 Beban Lateral

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Besarnya beban lateral yang harus di dukung oleh pondasi bergantung pada rangka bangunan yang mengirimkan gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah dari *upper structure* dan diteruskan kepada pondasi tiang tunggal.

Pada beban horizontal terdapat gaya lateral dan momen yang bekerja pada pondasi tiang diakibatkan oleh gaya gempa, gaya angin pada struktur atas, dan beban statis. Secara umum kriteria tiang dibedakan atas tiang pendek dan tiang panjang. Kondisi kepala tiang bebas (*free head*) dan kondisi kepala tiang terjepit (*fixed head*).

Pondasi tiang memiliki beberapa aplikasi untuk menahan beban lateral pada struktur. Pondasi tiang dapat menahan beban lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah, di mana beban lateral berasal dari tekanan tanah lateral yang mendorongnya seperti pada Gambar (a). Pondasi tiang juga dapat menahan beban lateral seperti beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tingkat tinggi

seperti struktur rangka baja atau gedung pencakar langit seperti yang terlihat pada Gambar (b) dan Gambar (c) sehingga pondasi tiang mengalami gaya tarik dan gaya tekan. Pondasi tiang juga menanggung beban lateral yang disebabkan gaya eksternal seperti hempasan gelombang air laut, angin, dan benturan kapal pada konstruksi lepas pantai seperti Gambar (e).



Sumber : Agustinus Akon, dkk (2018)

Gambar 2.2 Aplikasi pondasi tiang dalam menahan beban lateral

2.5.1 Metode Brom's

Metode perhitungan ini menggunakan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang reaksi atau tanahan tanah mencapai nilai ultimit. Berikut ini adalah keuntungan menggunakan metode Brom's:

1. Dapat digunakan pada tiang panjang maupun tiang pendek.
2. Dapat digunakan pada kondisi kepala tiang terjepit maupun bebas.

Brom's membedakan antara perilaku tiang pendek (kaku) dan tiang panjang (elastis) serta membedakan kondisi kepala tiang dalam kondisi kepala tiang bebas (*free head*) dan kepala tiang terjepit (*fixed head*). Untuk tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan faktor tak berdimensi β menurut Brom's adalah sebagai berikut:

$$K_h = \frac{K_1}{1,5}$$

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

dimana:

K_h = Modulus subgrade lateral (kg/cm^3)

K_1 = Modulus subgrade Terzaghi (kg/cm^3)

β = Koefisien untuk tanah kohesif

d = Diameter tiang (cm)

E_p = Modulus elastis tiang (kg/cm^2)

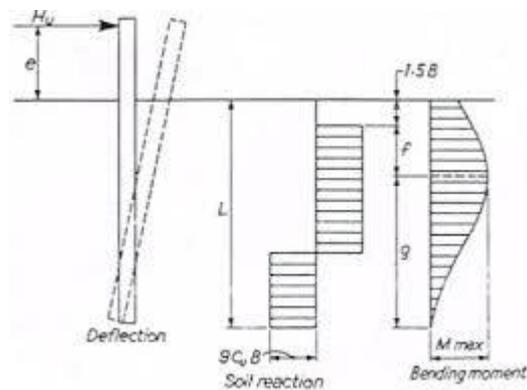
I_p = Inersia penampang tiang (cm^4)

Tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang panjang (kaku) $\beta > 2,5$. Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek $\beta < 0,5$.

1. Kondisi tiang pendek terbagi menjadi 2 yaitu kepala tiang bebas dan kepala tiang terjepit

a. Kepala tiang bebas (*free head*)

untuk tiang pendek ($L/T \leq 2$ atau $R/T \leq 2$) dengan kondisi kepala tiang bebas, pola keruntuhan yang mungkin terjadi ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:

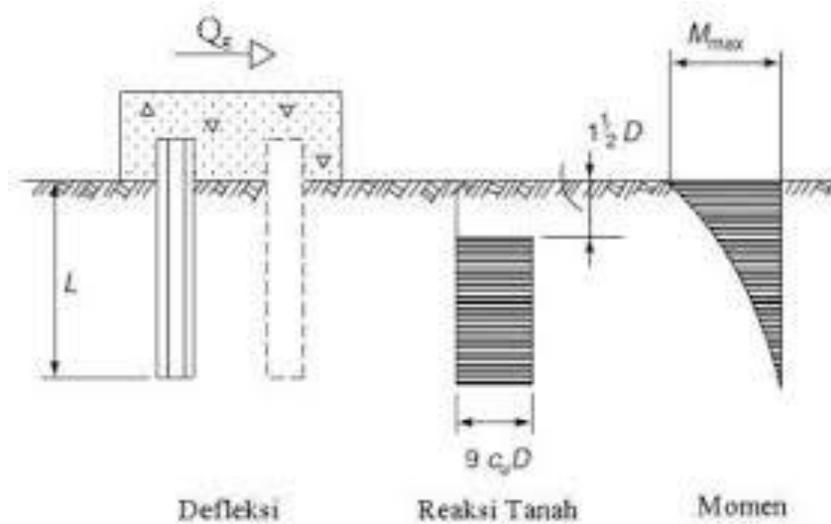


Sumber : Brom's 1964

Gambar 2.3 Defleksi dan mekanisme keruntuhan untuk pondasi tiang pendek dengan kondisi kepala tiang bebas akibat beban lateral pada tanah kohesif

b. Kepala tiang terjepit (*fixed head*)

Mekanisme keruntuhan dan distribusi dari tahanan tanah untuk tiang pendek dengan kondisi kepala tiang terjepit yang mungkin terjadi pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini:

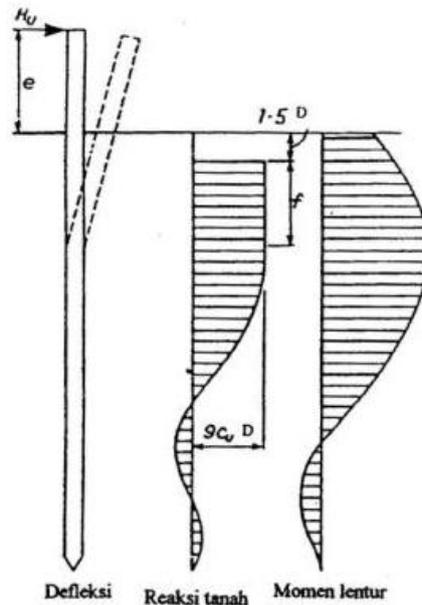


Sumber : Brom's 1964

Gambar 2.4 Defleksi akibat beban lateral untuk pondasi tiang pendek dengan kondisi kepala tiang terjepit pada tanah kohesif

2. Kepala tiang panjang terbagi menjadi 2 yaitu kepala tiang bebas dan kepala tiang terjepit
 - a. Kepala tiang bebas (*free head*)

Untuk pondasi tiang panjang mekanisme keruntuhan tanah distribusi tanah serta momen lentur ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa defleksi tiang terutama berada di daerah dekat permukaan tanah sehingga respon tanah di bagian bawah tiang semakin mengecil, begitu pula besarnya momen dan distribusinya sepanjang tiang.



Sumber : Brom's 1964

Gambar 2.5 Defleksi dan mekanisme keruntuhan untuk pondasi tiang panjang dengan kondisi kepala tiang bebas akibat beban lateral pada tanah kohesif

Untuk tanah kohesif seperti tanah lempung pada tiang panjang dengan kepala tiang bebas berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\text{Tahanan momen} \quad W = \frac{I_p}{\left(\frac{d}{2}\right)}$$

$$M_y = \sigma_{lt} \cdot W$$

$$M_{\max} = H_u \cdot (e + 1,5 \cdot d + 0,5 \cdot f)$$

$$f = \frac{H_u}{9 \cdot C_u \cdot d}$$

dimana :

H_u = Gaya lateral ultimit (kg)

e = Jarak titik bebas kemuka tanah (cm)

f = Letak momen maks di lintang nol (cm)

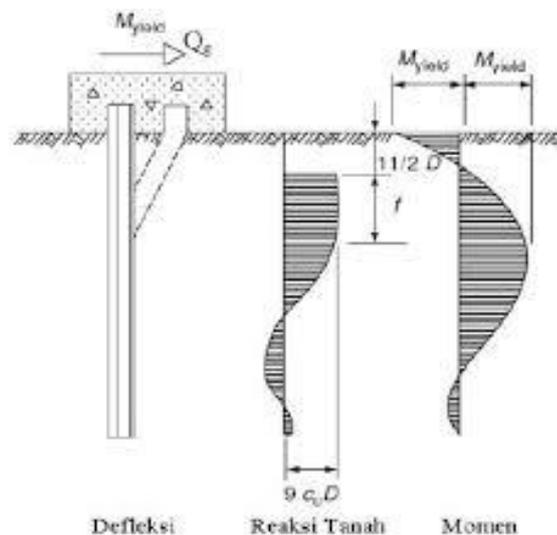
C_u = Kohesi undrained (kg/cm^2)

d = Diameter (cm)

M_{max} = Momen maksimum tiang ($\text{kg}\cdot\text{cm}$)

b. Kepala tiang terjepit (*fixed head*)

Mekanisme keruntuhan, distribusi tahanan ultimit tanah, serta momen lentur sepanjang tiang untuk kondisi kepala tiang terjepit pada tanah kohesif dideskripsikan pada Gambar 2.6 berikut ini:



Sumber : Brom's 1964

Gambar 2.6 Defleksi akibat beban lateral untuk pondasi tiang panjang dengan kondisi kepala tiang terjepit pada tanah kohesif

Momen maksimum dan gaya lateral ultimit untuk tanah kohesif dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_u = \frac{2 \cdot M_u}{1,5 \cdot d + 0,5 \cdot f}$$

$$f = \frac{H_u}{9 \cdot C_u \cdot d}$$

dimana :

H_u = Gaya lateral ultimit (kg)

f = Letak momen maks di lintang nol (cm)

C_u = Kohesi undrained (kg/cm^2)

d = Diameter (cm)

2.5.2 Metode Brinch Hansen

Metode ini berdasarkan teori tekanan tanah dan memiliki keuntungan karena dapat ditetapkan baik pada tanah homogen, tanah dengan c-f dan tanah berlapis, tetapi hanya berlaku untuk tiang pendek dan dalam solusinya membutuhkan cara coba-coba untuk mendapatkan titik rotasi dari tiang.

Tahanan ultimit tanah pada suatu kedalaman dihitung dengan:

$$p_u = p_o \cdot K_q + c \cdot K_c$$

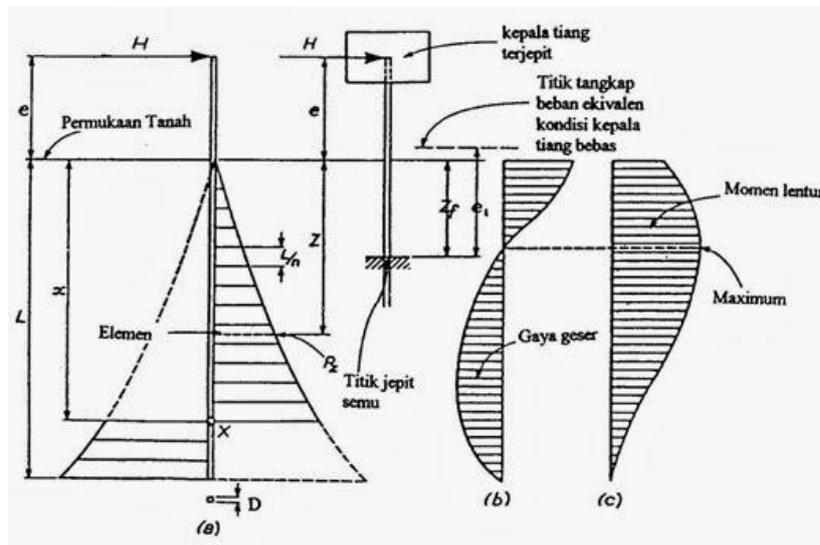
dimana:

p_o = Tekanan *overburden vertical*

c = Kohesi

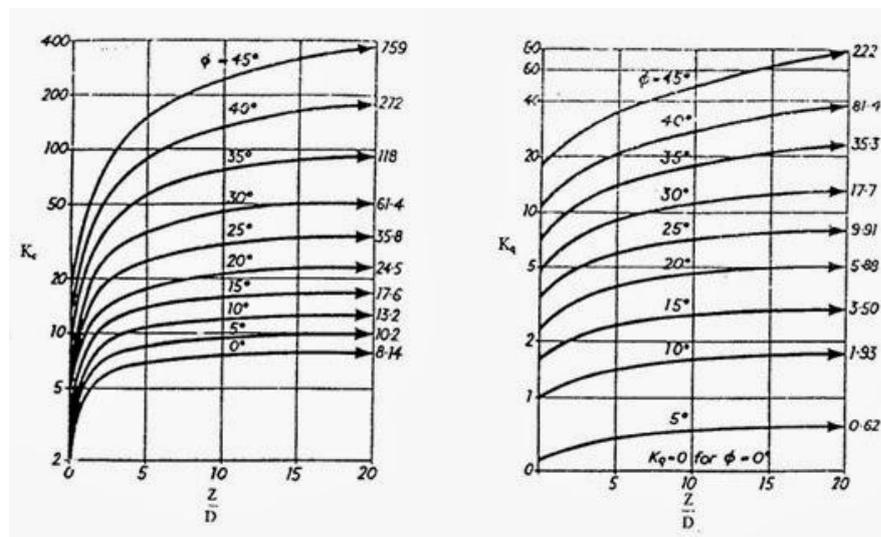
K_c dan K_q = Faktor fungsi ϕ dan z/d

Dimana K_c dan K_q dapat dilihat ketentuannya seperti pada gambat berikut:



Sumber : Brinch Hansen 1961

Gambar 2.7 Reaksi tanah, geser, dan momen lentur pada metode Brinch Hansen



Sumber : Brinch Hansen 1961

Gambar 2.8 Koefisien Kc dan Koefisien Kq

2.6 Defleksi

Defleksi adalah perubahan pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Struktur batang

material juga harus menggunakan defleksi (lendutan) yang berada dalam batas-batas tertentu. Lendutan ini tidak boleh terlalu besar melebihi batas defleksi yang diizinkan.

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu:

1. Kekakuan batang

Batang yang sifatnya semakin kaku maka lendutan yang dihasilkan akan semakin kecil.

2. Besar dan kecilnya gaya yang diberikan

Besar dan kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi semakin besar.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Oleh karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda.

Menurut Mc Nulty dalam perencanaan pondasi tiang tidak dibolehkan mengalami defleksi lateral terlalu besar. Jika kemiringan tiang terlalu besar, maka akan membahayakan stabilitas jangka bangunan yang didukungnya. Bangunan gedung, jembatan dan struktur lainnya, umumnya gerakan lateral yang ditoleransikan hanya berkisar 6 mm sampai 12 mm.

2.7 Program Plaxis

Plaxis merupakan satu program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam rengangan bidang maupun *axisymetris*. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jejaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

2.8 Penelitian-Penelitian Sebelumnya

1. Menurut Agustinus Akon, dkk (2018) dengan judul penelitian Studi Daya Dukung Lateral pada Pondasi Tiang Grub dengan Konfigurasi 2 x 2, dapat dilihat hasil penelitian adalah pengaruh spasi tiang pancang terhadap kapasitas daya dukung lateral memperlihatkan jika spasi tiang semakin kecil maka daya dukungnya semakin kecil dengan begitu pula jika spasi tiang semakin besar daya dukung lateral juga semakin besar.

2. Menurut Rafini Aulia, dkk (2019) dengan judul penelitian Analisis Gaya Lateral pada Pondasi Tiang Pancang *Square* (Studi Kasus : Pembangunan *Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR)* PT.Ultra Jaya Milk Industri Bandung), dapat dilihat hasil penelitian adalah gaya leteral ultimit yang dapat ditahan oleh tiang pancang panjang ujung bebas yaitu $H_u = 4.584$ kg, sedangkan tiang pancang panjang ujung jepit yaitu $H_u = 8.980$ kg.

3. Menurut Andikanoza Pradiptya dan A'isyah Salimah (2019) dengan judul penelitian Pengaruh Diameter Tiang Terhadap Tahanan Gesek Tiang dalam Tanah Lempung, dapat dilihat hasil penelitian adalah tahanan gesek satuan termobilisasi dan perpindahan tiang kritis dari diameter tiang uji 0,02m, 0,03m, sampai 0,04m menunjukkan kecenderungan peningkatan rata-rata sekitar 17,1% dan 7%.

4. Menurut Welman F.F Tambunan dan Roesyanto (2016) dengan judul Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 0,6 meter dengan menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga pada *Interchange Binjai* dari Proyek Jalan Tol Medan-Binjai, dapat di lihat hasil penelitian adalah perbandingan hasil perhitungan kapasitas daya dukung ultimit tiang pancang pada kedalaman yang sama yaitu 22 m, untuk SPT dengan metode Mayerhoff diperoleh 462,38 ton, untuk Kalendering dengan metode Danish 439,82 ton, metode ENR 488,90 ton, dan dengan metode Elemen Hingga diperoleh 255,55 ton.

5. Menurut Sabrina Kawengian, dkk (2018) dengan judul Analisis Daya Dukung Lateral Pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang, dapat dilihat

hasil penelitian adalah beban lateral total sebesar 8,797 ton, dari hasil analisis tiang pancang kelompok yang dianalisis dengan metode Meyerhof hasilnya paling besar diantara metode lainnya, yaitu sebesar 30848,170 kN dengan defleksi 2,21 mm.