

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Tinjauan Umum

Tanah merupakan mineral yang terdiri dari agregat dan butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organic.

Sejarahnya tanah pada mulanya berupa bola magma cair yang sangat panas, dengan adanya pendinginan permukaan membeku maka terjadi batuan beku. Proses fisika (panas, dingin, membeku dan mencair) batuan tersebut hancur menjadi butiran-butiran tanah (sifat-sifatnya tetap seperti batu aslinya: pasir, krikil, dan lanau). Terjadinya proses kimia (hidrasi dan oksidasi) batuan menjadi lapuk sehingga menjadi tanah dengan sifat berubah dari batu aslinya. (Sentosa, dkk, 1998).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sebagian besar system klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastis. Ada dua buah sistem klarifikasi tanah yang biasa digunakan, yaitu sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi ASTM. Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.1, sedangkan klasifikasi ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi Umum		Tanah Granuler ¹				
Kelompok	A-1	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2	
	A-1-a				A-2-5	A-2-6
Persen lolos saringan :						
No. 10	50 max		51 min			
No. 40	30 max	50 max				
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max
Batas cair ^a				40 max	41 min	40 max
Indek Plastisitas ^a	6 max		NP	10 max	10 max	11 min
Fraksi tanah	Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir lanau atau lempung		
Kondisi kuat dukung	Sangat baik hingga baik					
Klasifikasi Umum		Tanah Granuler	Tanah Mengandung Lanau-Lempung ²			
Kelompok	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7				A-7-5 ^b	A-7-6 ^c
Persen lolos saringan :						
No. 10						
No. 40						
No. 200	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Batas cair ^a	41 min	40 max	41 min	40 max	40 max	41 min
Indek Plastisitas ^a	11 min	10 min	10 max	10 min	10 min	11 min
Fraksi tanah	Kerikil, pasir lanau/lempung	Lanau			Lempung	
Kondisi kuat dukung	Sangat baik hingga baik		Kurang baik hingga jelek			

Sumber: Das (1988)

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Unifield (menurut ASTM)

Divisi Utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	Kerikil dengan butiran halus		GM Kerikil berlaau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung

Lanjutan Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Unifield (menurut ASTM)

Divisi Utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	SW	Pasir ebergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atausama sekali tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir ebergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atausama sekali tidak mengandung butiran halus
	Pasir dengan butiran halus	SM	Pasar berlaau, campuran pasir-lanau
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, 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 clay)
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organic dengan plastisitas rendah
	Lanau dan Lempung batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clay)
		PT	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organic tinggi

Sumber: Das (1988)

3.1.3 Penyelidikan Tanah Secara Umum

Pemilihan jenis pengujian sangat tergantung kepada jenis konstruksi yang akan dikerjakandi lokasi. Penyelidikan tanah yang dilakukan harus memenuhi standar yang telah diakui secara internasional seperti yang biasa digunakan di Indonesia yaitu ASTM (*American Society for Testing and Material*). Penyelidikan tanah yang dilakukan bertujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui sistem pelapisan tanah di lokasi berdasarkan hasil pengeboran di lapangan hingga mencapai kedalaman tanah keras.

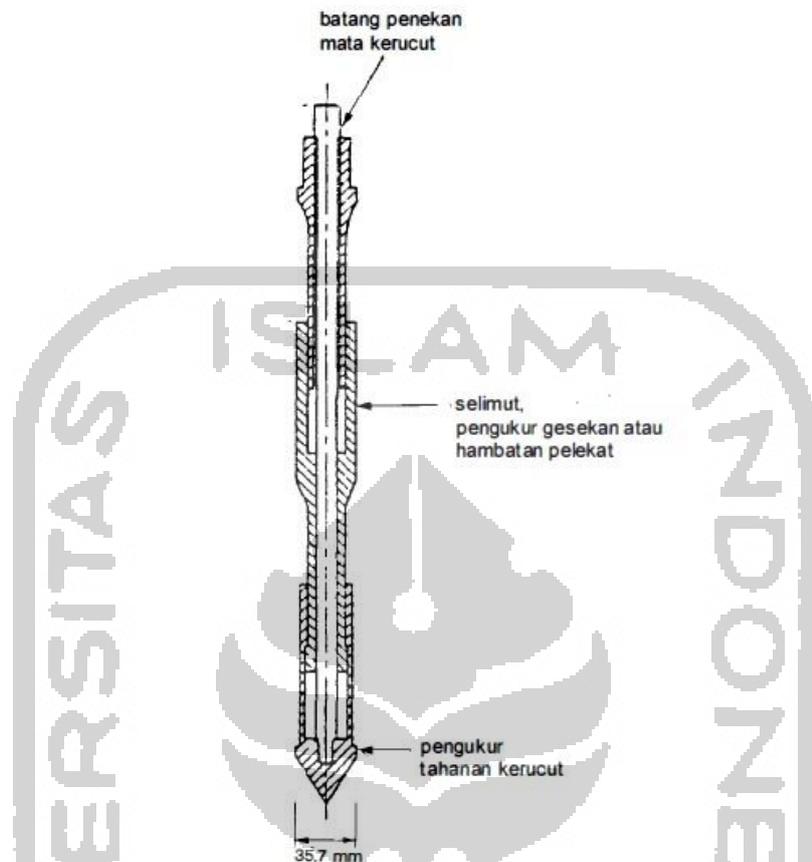
2. Mengetahui kedalaman muka air tanah di lokasi diperoleh dari hasil pengeboran menggunakan mesin.
3. Mengetahui sampel tanah dari lokasi untuk diuji laboratorium.
4. Mengetahui sifat kompressibilitas tanah di lokasi seperti nilai indeks kompressibilitas tanah keras (C_c), konstanta konsolidasi (C_v) parameter ini diperoleh dari hasil *concolidation test*.
5. Mengetahui kekuatan tanah setiap kedalaman tertentu hingga mencapai tanah keras diperoleh dari hasil pengujian *cone penetration test* di lapangan, dan dapat diperoleh juga dari hasil yang dinyatakan dengan jumlah pukulan per 20 cm penetrasi.

Sifat dan karakteristik tanah yang telah diperoleh dapat digunakan sebagai berikut.

1. Menentukan daya dukung fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*).
2. Mengevaluasi besarnya penurunan tanah akibat beban kerja baik penurunan segera (*immediately settlement*), penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), dan penurunan setempat (*differential settlement*).

3.1.4 Penyelidikan Tanah dengan *Cone Penetration Test* (CPT)

CPT atau dikenal dengan uji sondir merupakan penyelidikan tanah di lapangan yang banyak digunakan di Indonesia. Alat ini terdiri dari kerucut baja yang mempunyai sudut kemiringan 60° dan berdiameter 35,7 mm dengan luas penampang 1000 mm^2 . Bentuk alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Bentuk Skematis Alat Sondir

(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

Dilihat dari kapasitasnya, alat sondir dibagi menjadi dua bagian sondir ringan dengan kapasitas 2 ton dan sondir berat kapasitas 10 ton. Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus sampai 150 kg/cm^2 kedalaman maksimal 30 m biasanya untuk penyelidikan tanah pada tanah lempung, lanau dan pasir halus. Sedangkan sondir berat dapat mengukur sampai tekanan konus 500 kg/cm^2 dengan kedalaman maksimal 50 m pada tanah lempung padat, lanau padat dan pasir kasar.

Dari hasil penyelidikan diperoleh grafik tahanan kerucut statis atau grafik yang menyajikan nilai perlawanan penetrasi ujung konus dalam gaya per satuan luas. Selanjutnya berupa hambatan lekat perolehan perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya per satuan panjang.

3.2 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan bagian struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Pada umumnya tiang pancang dipancang tegak lurus kedalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk menahan gaya-gaya *horizontal* maka tiang pancang akan dipancang miring (*batter pile*). Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang pancang tergantung daripada alat tiang pancang yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Tiang pancang pada umumnya digunakan untuk beberapa keperluan antara lain sebagai berikut.

1. Menurunkan beban bangunan di atasnya ke tanah pendukung yang kuat.
2. Menahan bangunan dari gaya angkat ke atas yang diakibatkan tekanan hidrostatis atau momen penggulingan.
3. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah menjadi lebih baik.
4. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

Dalam penggunaan tiang pancang terdapat beberapa keuntungan dan kerugian, adapun keuntungan dari penggunaan fondasi tiang pancang sebagai berikut.

1. Tiang diproduksi pabrik dan dilakukan pemeriksaan kualitas yang ketat, sehingga mendapatkan hasil yang dapat diandalkan.
2. Memiliki persediaan cukup banyak di pabrik.
3. Biaya rendah untuk pekerjaan pemancangan yang kecil.
4. Daya dukung dapat diperkirakan berdasarkan rumus sehingga pekerjaan konstruksinya mudah diawasi.
5. Pemasangan tiang pancang dinilai cocok untuk mempertahankan daya dukung beban vertical.

Adapun kerugian dari penggunaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut.

1. Menimbulkan masalah di daerah dengan tingkat penduduk yang padat, karena pemasangannya menimbulkan getaran dan kegaduhan.
2. Untuk tiang yang panjang, diperlukan persiapan berupa penyambungan menggunakan las (untuk tiang pancang beton yang bagian atas atau bawahnya berkepala baja). Bila pekerjaan penyambungan tidak baik akibatnya akan merugikan.
3. Pekerjaan pemancangan harus berhati-hati karena dapat merusak kepala tiang, apabila kepala tiang rusak maka tidak dapat digunakan sebagai pondasi.
4. Memerlukan mesin pemancang yang besar, karena tiang pancang beton memiliki dimensi yang besar dan berat.

3.3 Kapasitas Dukung Fondasi

Kapasitas dukung tiang yaitu kemampuan tiang dalam mendukung beban. Besarnya kapasitas dukung fondasi tiang pada tanah tergantung pada kapasitas dukung ujung dan kapasitas geser antara struktur fondasi dengan lapisan tanah. Kemampuan geser tanah dipengaruhi oleh panjang tiang sehingga kemampuan geser tanah semakin tinggi dengan bertambahnya kedalaman tiang di dalam tanah.

Kemampuan kapasitas dukung tiang merupakan parameter dari besarnya beban yang dapat dipikul oleh fondasi. Analisis kapasitas dukung pada tiang bor dapat dilakukan dengan sebelumnya telah memperoleh data-data tanah, dimensi tiang dan *pile cap*, jarak antara tiang, kedalaman fondasi, dan data pendukung seperti mutu beton.

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang bor dibagi menjadi tiang dengan dukungan ujung (*end bearing pile*) dan tiang dengan gesekan sepanjang permukaan badan tiang (*friction pile*). Tiang dengan dukungan ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang berada dalam zona tanah yang lunak, yang berada diatas lapisan tanah keras. Tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban, diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan yang berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang. Sedangkan tiang dengan gesekan sepanjang badan

adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

3.3.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dapat berdasarkan dari data hasil pengujian sondir atau *CPT* dan data hasil pengujian *SPT*. Sehingga daya dukung ultimit pondasi tiang berdasarkan data *CPT* dinyatakan dalam persamaan 1.

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p = (qc \times A_p) + (JHL \times K) - W_p \quad (1)$$

Keterangan:

Q_u	: Kapasitas daya dukung ultimit
Q_p	: Kapasitas dukung pada ujung tiang
Q_s	: Kapasitas dukung selimut tiang
qc	: Tahanan ujung sondir
A_p	: Luas penampang tiang
JHL	: Jumlah hambatan lekat
K	: Keliling tiang
W_p	: Berat tiang

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dalam persamaan 2.

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2)$$

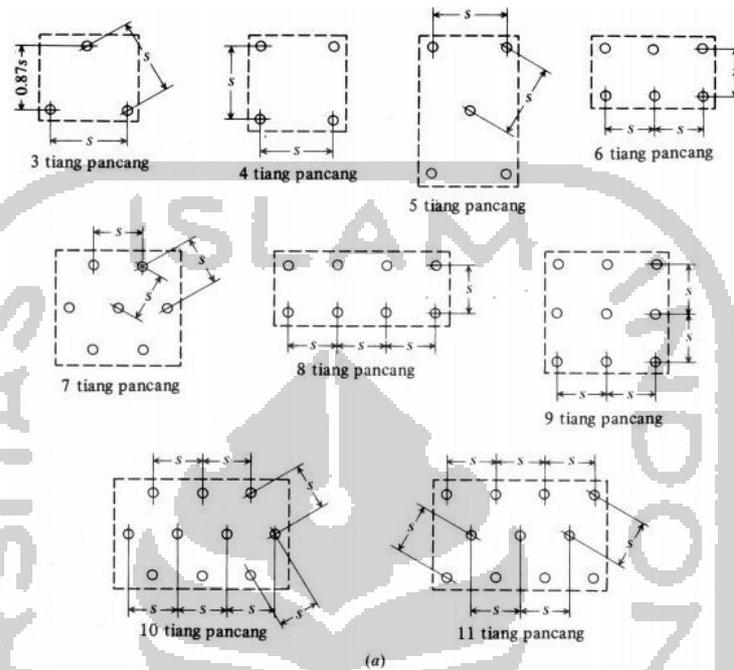
Keterangan :

Q_u	: Kapasitas daya dukung tiang tunggal
SF	: <i>Safety factor</i>

3.3.2 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada umumnya pondasi tiang pancang dipasang secara berkelompok. Disebut berkelompok karena tiang pancang tersebut dipasang “relative” berdekatan

dan biasanya diikat menjadi satu bagian dengan menggunakan *pile cap*. Kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Pola Kelompok Tiang untuk Kaki Tunggal

(Sumber: Bowles, 1991)

1. Jumlah tiang

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan didasarkan beban yang bekerja pada fondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 3 berikut.

$$n = \frac{P}{Q_{ijin}} \quad (3)$$

Keterangan :
 P : Beban yang bekerja
 Q_{ijin} : Kapasitas dukung ijin tunggal

2. Jarak tiang

Jarak antar tiang berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L. diisyaratkan dengan persamaan 4 dan persamaan 5 berikut: (Gulton, 2010).

$$S \geq 2,5D \quad (4)$$

$$S \leq 3D \quad (5)$$

Dengan:

S = Jarak pusat ke pusat tiang

D = Diameter tiang

Jarak antara dua tiang dalam kelompok diisyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m. ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut ini.

a. Bila $S < 2,5D$

1) Kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipancang terlalu berdekatan.

2) Terangkatnya tiang-tiang di sekitarnya yang telah dipancang terlebih dahulu.

b. Bila $S > 3D$

Apabila $S > 3D$ maka tidak ekonomis, karena akan memperbesar uluruan/dimensi dari *pile cap*.

3. Kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah pasir

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus pada persamaan 6 berikut.

$$Q_g = n \times Q_{ijin} \quad (6)$$

Keterangan	:
Q_g	: Beban maksimum kelompok tiang
n	: Jumlah tiang dalam kelompok
Q_{ijin}	: Kapasitas dukung ijin

3.4 Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Pada saat fondasi tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan (Hardiyatmo, 2010). Untuk pencegahan terhadap penurunan fondasi berlebihan perlu dilakukan perhitungan penurunan fondasi agar tidak terjadi kegagalan struktur bangunan.

3.4.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan fondasi tiang dinyatakan dalam persamaan 8 berikut.

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \quad (8)$$

Keterangan	:
S	: Penurunan total di kepala tiang
d	: Diameter tiang
Q	: Beban yang bekerja
A_p	: Luas penampang tiang
L	: Panjang tiang
E_p	: Modulus elastisitas tiang

3.4.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan fondasi kelompok yang akan dinyatakan dalam persamaan 9 berikut.

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{d}} \quad (9)$$

Keterangan	:
S	: Penurunan fondasi tiang tunggal
S_g	: Penurunan fondasi kelompok tiang
B_g	: Lebar kelompok tiang
d	: Diameter tiang tunggal

3.5 ETABS

ETABS dapat membantu menganalisis dan merancang struktur dengan tingkat kesukaran yang tinggi, dalam hal ini struktur bertingkat banyak dan kompleks baik dalam berbentuk tiga dimensi maupun dalam dua dimensi. Untuk bidang geoteknik dengan kemampuan pemodelan material (*linear elastic constitutive equation*) sederhana, dapat menyelesaikan distribusi tegangan dalam timbunan, distribusi tegangan di dekat galian tanah, pemodelan tiang pancang, turap dan lain-lain. *Output* analisis program *ETABS* dapat diketahui gaya geser, momen lentur, momen torsi, simpangan (manual *ETABS*), dan bila dibutuhkan dapat ditampilkan juga berupa grafik maupun *spreadsheet*.

Proses pengoperasian *input* data pada program *ETABS* adalah sebagai berikut ini. (Denny dan Arindra 2003)

1. Blok data *title line*

Title line atau baris judul adalah langkah pertama yang harus dituliskan pada *input*, baris judul ini akan digunakan sebagai label *output* dari hasil program. Baris judul akan selalu dicetak pada setiap halaman dari yang dihasilkan program.

2. Penulisan blok data *SYSTEM*

3. Blok data *joint*

Joint berfungsi untuk mendefinisikan kedudukan dari join-join pada struktur sesuai dengan koordinatnya.

4. Blok data *restraints*

Data *restraints* dari suatu *joint* terdiri dari enam buah konstanta.

5. Blok data *frame*

Frame mendefinisikan sifat-sifat elemen struktur dan pembebanannya. Pada langkah ini disebutkan jumlah jenis elemen dan jumlah jenis beban yang bekerja, kemudian mendefinisikan jenis material pada masing-masing elemen.

6. Blok data *load*

Load atau beban dapat berupa beban merata atau beban titik, dapat diberlakukan setiap join dalam portal.

7. Blok data *combo*

Combo digunakan untuk mendefinisikan kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur.

Hasil dari *output ETABS* didapatkan gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban yaitu gaya normal (P), gaya geser (H) dan momen (M) yang bekerja pada tiap tiap kolom dasar yang akan dipakai sebagai beban rencana pada Analisa pondasi tiang pancang.

