

BAB II

DASAR TEORI

Struktur bawah merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam perencanaan sebuah bangunan. Pondasi merupakan salah satu tinjauan struktur bawah yang harus didesain efisien dan ekonomis namun mampu mengakomodir beban rencana dari struktur atas. Kriteria efisien dan ekonomis didesain melalui penerapan penggunaan komponen berupa tipe pondasi yang digunakan, metode pelaksanaan, penulangan pondasi, dan banyak hal lainnya. Sebelum melakukan desain terhadap komponen-komponen tersebut, terlebih dahulu dilakukan penggunaan parameter yang tepat. Hal tersebut didasari oleh hubungan antara struktur bawah dengan kondisi tanah sekitar dimana keadaan representatif tanah memberikan kontribusi terhadap ketahanan pemikulan beban bangunan.

Dalam dunia geoteknik, sebagian besar ketersediaan data didasarkan oleh percobaan secara empiris dengan kaitan sebuah teori sehingga diperlukan pemilihan dasar persamaan yang tepat. Pada tugas akhir ini digunakan beberapa persamaan korelasi dengan teori tertentu yang didasarkan oleh pengujian lapangan ataupun laboratorium seperti penentuan parameter tanah terhadap korelasi dengan nilai uji standard penetration test, perhitungan daya dukung tiang dan grup tiang, perhitungan penurunan yang terjadi pada tiang dan grup tiang, perencanaan penulangan pondasi tiang bor, perhitungan desain dinding penahan tanah beserta perkuatannya, dan perencanaan penulangan dinding penahan tanah.

II.1. Penentuan Parameter Tanah

Karakteristik tanah tiap lapisan berbeda – beda, hal ini disebabkan oleh parameter tanah yang juga berbeda, oleh karena itu penentuan parameter tanah sangat penting dalam mendesain suatu pondasi bangunan. Kesalahan pada penentuan parameter tanah dapat mengakibatkan kestabilan yang buruk pada bangunan ataupun mengakibatkan keruntuhan (failure) pada tanah. Parameter tanah yang digunakan harus menggambarkan karakteristik lapisan tanah di daerah yang akan dibangun.

Parameter tanah tersebut didapat melalui penyelidikan lapangan misalnya, SPT (Standard Penetration Test), CPT (Cone Penetration Test), Vane Shear, serta pengujian laboratorium.

Hasil penyelidikan tanah dilapangan ataupun laboratorium ini terkadang tidak lengkap atau tidak memenuhi data yang dibutuhkan pada perencanaan desain bangunan dan tidak memungkinkan untuk dilakukan penyelidikan ulang. Sehingga perlu suatu interpretasi atau korelasi parameter terhadap data yang ada, melalui suatu persamaan ataupun grafik yang dapat menggambarkan sifat atau perilaku dari tanah tersebut secara umum. Sifat atau perilaku tanah dapat dilihat dari nilai parameter tanah itu sendiri. Parameter tanah yang digunakan dalam desain pondasi suatu bangunan antara lain, berat volume, kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, koefisien konsolidasi, permeabilitas, kadar air, atterberg limit, dan lainnya.

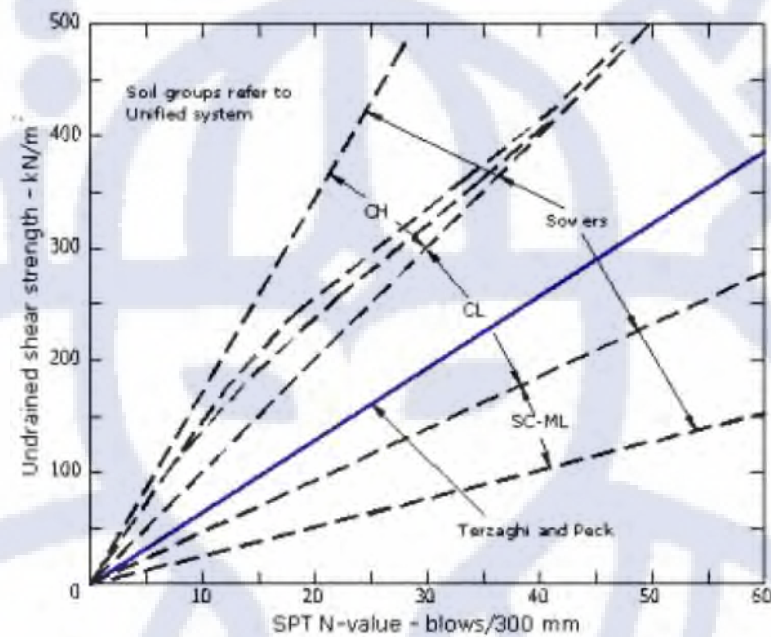
Salah satu penyelidikan tanah di lapangan yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah SPT (Standard Penetration Test). Hasil penyelidikan tanah pada SPT ini berupa jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan split spoon sedalam 30 cm ke dalam tanah (N-SPT). Berikut merupakan beberapa korelasi nilai N-SPT untuk penentuan parameter tanah.

II.1.1. Nilai N-SPT terhadap *Undrained Shear Strength* (C_u)

Undrained Shear Strength (C_u) merupakan nilai parameter kuat geser tanah berupa kohesi pada kondisi *undrained*. Pada tanah pasir umumnya bernilai sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Nilai parameter C_u ditentukan melalui beberapa persamaan sebagai berikut:

- a. Persamaan *Terzaghi and Peck* (1967)

$$C_u = \frac{2}{3} \times N_{SPT} \times g \left(\frac{kN}{m^2} \right) \quad (II.1.1)$$



Gambar 2. 1. Korelasi N-SPT dengan undrained shear strength (Terzaghi, 1943)

b. Persamaan Stroud (1974)

$$C_u = (3.5 - 6.5) \times N_{SPT} \left(\frac{kN}{m^2} \right) \quad (II.1.2)$$

c. Persamaan Bowles

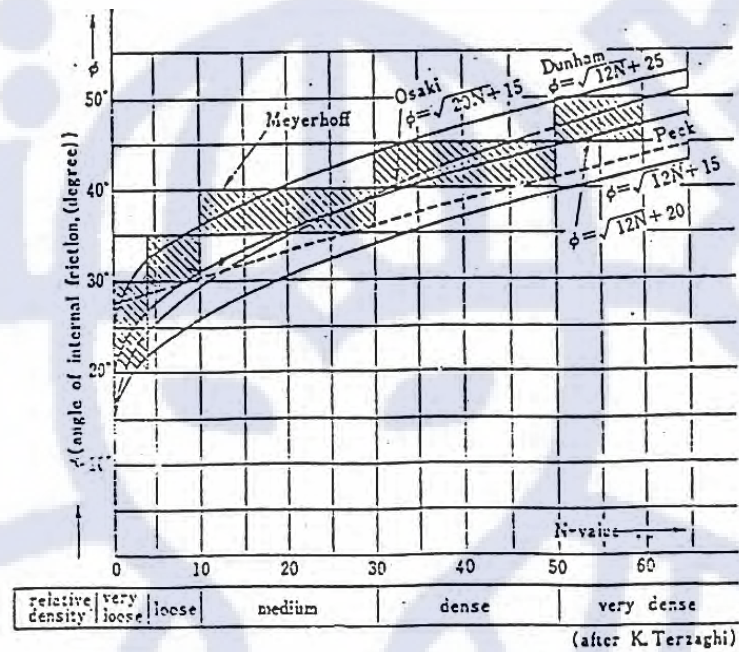
$$C_u = 98 \times N_{SPT} \times 0.06 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \quad (II.1.3)$$

II.1.2. Nilai Sudut Geser Dalam

Parameter sudut geser dalam untuk tanah pasir (*sand*) ditentukan dengan menggunakan beberapa persamaan atau dapat dilihat pada tabel berikut:

a. Persamaan *Terzaghi and Peck* (1967)

$$\phi = \sqrt{12(N_{SPT})} + 20^\circ (^\circ) \quad (II.1.4)$$



Gambar 2. 2. Korelasi N-SPT dengan ϕ (K. Terzaghi)

b. Korelasi N-SPT *Meyerhoff* (1965)

Tabel 2. 1. Korelasi antara N-SPT dan sudut geser tanah pasir (Meyerhoff, 1956)

Compactness	N-SPT (blows per ft)	Angel of Internal Friction (°)
Very Loose	0 – 4	<28
Loose	5 – 10	28 – 30
Medium	11 – 30	31 – 36
Dense	31 – 50	37 – 41
Very Dense	>51	>41

Parameter sudut geser dalam untuk tanah lempung (*clay*) ditentukan dengan menggunakan persamaan Persamaan Sorensen & Okkels (2013)

$$4 < PI < 50 \quad \phi'_{oc} = 45 - 14 \log(PI) \text{ (°)} \quad (\text{II.1.5})$$

$$50 < PI < 150 \quad \phi'_{oc} = 26 - 3 \log(PI) \text{ (°)} \quad (\text{II.1.6})$$

II.1.3. Berat Volume Tanah

Klasifikasi untuk konsistensi tanah beserta rentang nilai berat volume tanah kohesif dan nonkohesif dapat ditentukan melalui korelasi empiris berikut :

Tabel 2. 2. Korelasi N-SPT dan berat volume tanah lempung (Bowles, 1997)

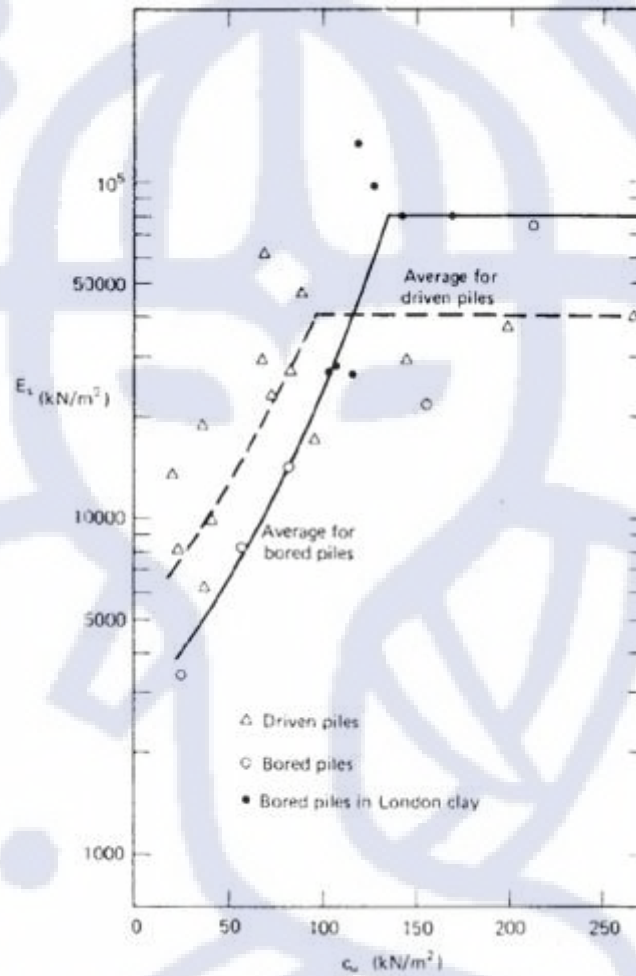
N-SPT (pukulan/30cm)	γ (kN/m ³)
0 - 4	15.7 – 18.9
4 - 8	17.3 – 20.4
8 - 32	18.9 – 22.0

Tabel 2. 3. Korelasi Empiris γ untuk Pasir (Bowles, 1997)

N-SPT (pukulan/30cm)	γ (kN/m ³)
0 - 4	11 – 15.71
4 – 10	14.1 – 18.07
10 - 30	17.3 – 20.42
30 – 50	17.3 – 21.99
>50	20.4 – 23.56

II.1.4. Nilai N-SPT terhadap Modulus Elastisitas Tanah (Es)

Nilai modulus elastisitas tanah (Es) dapat ditentukan melalui korelasi empiris oleh Poulos dan Davis terhadap nilai densitas untuk tanah pasir, nilai Cu untuk tanah lempung dan korelasi empiris berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian SPT sebagai berikut :



Gambar 2. 3 Korelasi modulus elastisitas tanah lempung terhadap nilai C_u (Poulos dan Davis, 1980)

Tabel 2. 4. Korelasi modulus elastisitas tanah terhadap N-SPT (Poulos and Davis, 1980)

Soil	SPT (kPa)
Sand(NC)	$E_s = 500 (N+15)$
	$E_s = 7000N^{0.5}$
	$E_s = 6000N$
Sand(OC)	$E_s = 40000 + 1050N$
Sand(saturated)	$E_s = 250 (N+15)$
Gravelly sand	$E_s = 1200 (N+6)$
	$E_s = 600 (N+6); N \leq 15$
	$E_s = 600 (N+6) + 2000; N > 15$
Clayey Sand	$E_s = 320 (N+15)$
Silty Sand	$E_s = 320 (N+15)$
Silty Clay	$E_s = 300 (N+6)$

II.1.5. Nilai Modulus Kekakuan (Subgrade Modulus) (k) terhadap konsistensi tanah

Nilai modulus kekakuan (k) masing-masing untuk tanah lempung dan pasir ditentukan berdasarkan korelasi empiris sebagai berikut :

Tabel 2. 5. Korelasi nilai k untuk tanah lempung (Reese et al, 2013)

Clay Type	Avg. Undrained Shear Strength (c_u) (kPa)	Static (kPa/m)	Cyclic (kPa/m)
Soft	12 – 24	8140	
Medium	24 - 48	27150	
Stiff	48 – 96	136000	54300
Very Stiff	96 – 192	271000	108500
Hard	192 – 383	543000	217000

Tabel 2. 6. Korelasi nilai k untuk tanah pasir (Reese et al, 2013)

Relative Density	Loose	Medium	Dense
Submerged Sand	5430 kN/m ³	16300 kN/m ³	33900 kN/m ³
Sand Above WT	6790 kN/m ³	24430 kN/m ³	61000 kN/m ³

II.1.6. Nilai E_{50} terhadap konsistensi tanah

Nilai E_{50} merupakan nilai regangan tanah saat tegangan yang ada senilai dengan 50% tegangan ultimit, dimana didapatkan melalui korelasi empiris oleh Reese (2013) sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Korelasi nilai ϵ_{50} untuk tanah lempung (Reese et al, 2013)

Soil Strain Parameter ϵ_{50}		
Soft Clay	$c = 12 \text{ to } 24 \text{ kPa}$	$\epsilon_{50} = 0.02$
Medium Clay	$c = 24 \text{ to } 48 \text{ kPa}$	$\epsilon_{50} = 0.01$
Stiff Clay	$c = 48 \text{ to } 96 \text{ kPa}$	$\epsilon_{50} = 0.007$
Very Stiff Clay	$c = 96 \text{ to } 192 \text{ kPa}$	$\epsilon_{50} = 0.005$
Hard Clay	$c = 192 \text{ to } 383 \text{ kPa}$	$\epsilon_{50} = 0.004$
Limestone		$\epsilon_{50} = 0.001$

II.2. Daya Dukung Pondasi

Pondasi merupakan bagian struktur dasar yang memiliki fungsi untuk mentransfer beban dari struktur atas menuju lapisan tanah yang berada dibawahnya. Pada tugas akhir ini, desain pondasi yang digunakan berjenis pondasi dalam. Pondasi dalam merupakan kategori pondasi bangunan dengan kedalaman tiang cukup dalam. Hal ini didasarkan dalam rangka untuk mengakomodir kondisi tanah yang terlalu lemah dalam memikul beban bangunan, beban lateral bangunan, gaya uplift yang terbentuk oleh keadaan muka air, dan beberapa pertimbangan lainnya. Pondasi dalam digunakan untuk bangunan yang memiliki jumlah tingkat banyak ataupun memiliki cakupan yang luas, dimana umumnya proyek-proyek yang berskala besar.

Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan pondasi dalam dengan jenis tiang bor (bored pile). Tiang bor menggunakan metode *cast in situ* dimana sebelumnya dilakukan terlebih dahulu pengeboran tanah sesuai dengan kedalaman desain tiang. Penulangan dan pengecoran dilakukan setelah pengeboran tanah selesai dilakukan. Diameter dan kedalaman tiang didesain sesuai dengan perhitungan daya dukung tiang dalam memikul pembebanan yang terjadi.

II.2.1. Desain Tiang Bor

Perencanaan desain yang akan digunakan sebagai pondasi bangunan adalah tiang bor. Tiang ini didesain dengan metode *cast in place*, dimana sebelumnya dilakukan terlebih dahulu pengeboran tanah. *Case* sebagai bentukan tiang bor akan ditanam pada lubang bor. Penulangan tiang dilakukan setelah pengeboran dan peletakan *case* lalu dilanjutkan pengecoran material beton dengan $f_c' = 20$ MPa (K-250). Berat tiang bor (W_p) yang didesain dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_p = 0.25 \times \pi \times D^2 \times L_{bi} \times \gamma_{beton}$$

Keterangan :

D = diameter tiang

L_{bi} = panjang tiang

γ_{beton} = berat volume beton

II.2.2. Daya Dukung Aksial Tekan Tiang Tunggal

Kapasitas daya dukung aksial tekan tiang tunggal terdiri dari tahanan ujung tiang dan tahanan geser selimut tiang. Kapasitas *ultimate* pada tiang, Q_{ult} , didapat dari penjumlahan kapasitas *ultimate* tahanan ujung tiang (*end bearing*), Q_b , dan kapasitas *ultimate* tahanan geser selimut tiang (*skin friction*), Q_s . Sedangkan kapasitas daya dukung ijin tiang, Q_{all} , didapat setelah memperhitungkan *factor of safety*, FS. Hal tersebut dapat dilihat lebih jelas pada persamaan berikut ini.

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (II.2.1)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{FS} \quad (II.2.2)$$

Keterangan :

Q_{ult} = kapasitas daya dukung *ultimate*

Q_b = daya dukung ujung tiang (*end bearing*)

Q_s = tahanan geser selimut tiang (*skin friction*)

Q_{all} = daya dukung aksial ijin

FS = *factor of safety* (2 – 3)

II.2.2.1. Daya Dukung Ujung Tiang (*End Bearing Capacity*)

Daya dukung untuk pondasi dalam jenis tiang bor (*bored pile*) untuk tanah kohesif

a. Luciano De Court (1995)

$$q_b = K_b \times N_b \text{ (kPa)} \quad (\text{II.2.3})$$

Keterangan :

q_b = nilai daya dukung ujung tiang (*end bearing*)

K_b = faktor daya dukung tanah

N_b = nilai N-SPT ujung tiang

Soil Type	Displacement Piles	Non-Displacement Piles
Sand	325	165
Sandy silt	205	115
Clayey silt	165	100
Clay	100	80

Gambar 2. 4 Tabel nilai K_b (Reese, et. al, 2006)

b. Meyerhoff (1976)

$$q_b = N_c \times C_u \text{ (kPa)} \quad (\text{II.2.4})$$

Keterangan :

q_b = nilai daya dukung ujung tiang (*end bearing*)

N_c = faktor daya dukung terhadap nilai ϕ

C_u = nilai *undrained shears strength* pada ujung tiang