

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

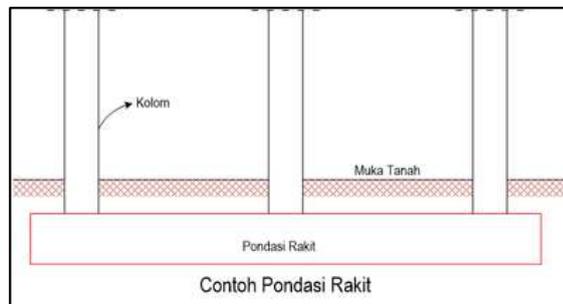
2.1. Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal adalah struktur bawah yang berfungsi meneruskan (mendistribusikan) beban bangunan yang berada di atas ke tanah keras yang relatif dekat dengan permukaan tanah dan tidak terlalu dalam yakni kedalaman fondasi (D_f) harus kurang dari atau sama dengan lebar fondasi (B) atau ($D_f < B$). Fondasi dangkal dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain :

- a. Fondasi setempat (*Single footing*).
- b. Fondasi menerus (*Continuous footing*).
- c. Fondasi pelat (*Raft foundation*).
- d. Fondasi cakar ayam.
- e. Fondasi sarang laba-laba.

2.1.1. Fondasi Rakit

Fondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk mengantarai permukaan (*interface*) dari satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis atau jalur dengan tanah dasar (*Surjandari, 2007*). Fondasi rakit (*raft foundation*) juga merupakan salah satu jenis fondasi dangkal dengan pelat beton yang berbentuk rakit melebar keseluruhan bagian dasar bangunan, yang digunakan untuk meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah dasar atau batu-batuan di bawahnya yang mendukung beban struktur di atasnya.

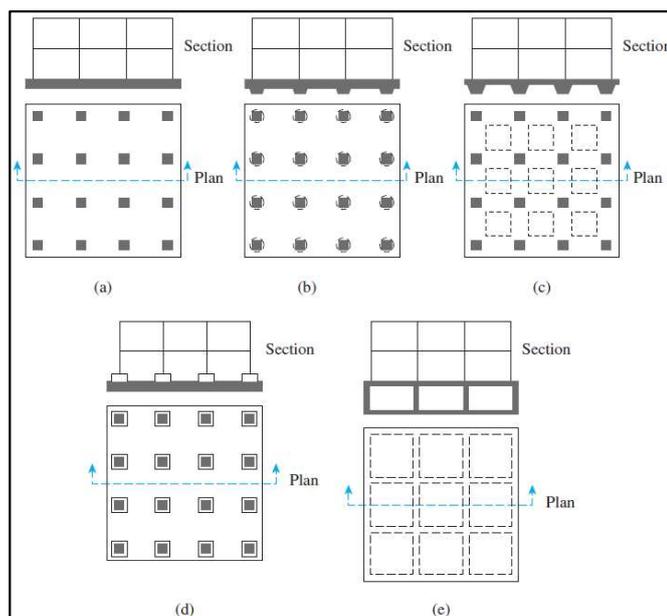


Gambar 2.1. Fondasi Rakit.
Sumber : digilib.unila.ac.id, 2017

Sebuah fondasi rakit bisa digunakan dimana tanah dasar mempunyai daya dukung yang rendah dan/atau beban kolom yang begitu besar. Fondasi rakit juga dapat ditopang oleh tiang pancang jika berada dalam kondisi muka air yang sangat tinggi untuk mengontrol gaya apung atau dimana tanah dasar mudah terpengaruh oleh penurunan yang besar. Fondasi rakit terbagi menjadi beberapa jenis yang lazim (Bowles, 1998) :

- a. Pelat rata.
- b. Pelat yang ditebalkan di bawah kolom.
- c. Balok dan pelat.
- d. Pelat dengan kaki tiang.
- e. Dinding ruangan bawah tanah sebagai bagian fondasi telapak.

Perancangan fondasi rakit yang lazim terdiri dari sebuah pelat beton rata dengan tebal 0,75-2 m, dan dengan alas serta dengan penulangan dua arah yaitu atas dan bawah dan bersifat menerus.



Gambar 2.2. Jenis Fondasi Rakit.

Sumber : digilib.unila.ac.id, 2017

2.2. Fondasi Dalam

Fondasi dalam adalah jenis fondasi yang meneruskan beban pada struktur atas ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan tanah. Fondasi dapat digolongkan fondasi dalam apabila perbandingan antara (D_f) dengan

lebar (B) lebih dari sepuluh ($Df/B > 10$). Fondasi dalam dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

- a. Fondasi tiang pancang.
- b. Fondasi tiang bor.

2.2.1. Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor adalah fondasi dalam yang dibangun di dalam permukaan tanah sampai kedalaman tertentu dengan cara membuat lubang dengan cara pengeboran tanah. Setelah elevasi kedalaman / *toe level* pengeboran tercapai kemudian fondasi *pile* dilakukan dengan pengecoran beton bertulang terhadap lubang yang sudah di bor. Sistem pengeboran dapat dilakukan dalam berbagai jenis baik sistem manual maupun sistem hidrolik. Besar diameter dan kedalaman galian dan juga sistem penulangan beton bertulang didesain berdasarkan daya dukung tanah dan beban rencana/ desain *load* yang akan dipikul. Fungsi fondasi ini juga ditujukan untuk menahan beban struktur melawan gaya angkat dan juga membantu struktur dalam melawan kekuatan gaya lateral dan gaya guling.

2.3. Daya Dukung Tanah Fondasi Dangkal

Daya dukung untuk fondasi dangkal memiliki beberapa teori yang dapat digunakan, seperti contohnya Terzaghi dan Meyerhoff. Berikut adalah uraian dan rumus dari beberapa teori yang dapat digunakan untuk menentukan daya dukung tanah pada fondasi dangkal :

- a. Teori Terzaghi

Menghitung daya dukung ultimit fondasi dangkal

$$q_u = c' N_c \times q N_q \times \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad (2.1)$$

Persamaan diatas merupakan rumus dasar daya dukung menurut teori Terzaghi, namun persamaan tersebut dapat diturunkan lagi menurut bentuk fondasinya, berikut adalah penurunan rumus daya dukung berdasarkan bentuk fondasi dangkal menurut Terzaghi :

(*Square foundation*)

$$q_u = 1,3c' N_c \times q N_q \times 0,4\gamma B N_\gamma \quad (2.2)$$

(Circular foundation)

$$q_u = 1,3c' N_c + q N_q + 0,3\gamma B N_\gamma \quad (2.3)$$

Keterangan :

c' : Kohesi.

N_c : $\tan \phi' (K_c + 1)$.

N_q : $K_q \tan \phi'$.

N_γ : $\frac{1}{2} \tan \phi' (K_q \tan \phi' - 1)$.

q : γD_f .

γ : Massa jenis tanah.

B : Lebar fondasi.

Untuk nilai N_c , N_q dan N_γ dapat juga ditentukan melalui tabel faktor daya dukung Terzaghi, yang memerlukan data sudut geser.

Tabel 2.1. Faktor Daya Dukung Terzaghi.

Sumber : Terzaghi, 1943.

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0	26	27,09	14,21	9,84
1	6	1,1	0,01	27	29,24	15,9	11,6
2	6,3	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,7
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,1	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,2	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,6	2,21	0,35	34	52,64	36,5	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,8	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,5	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,3
15	12,86	4,45	1,52	41	106,8	93,85	140,5
16	13,68	4,92	1,82	42	119,7	108,8	172
17	14,6	5,45	2,18	43	134,6	126,5	211,6
18	15,12	6,04	2,59	44	152	147,7	261,6
19	16,56	6,7	3,07	45	172,3	173,3	325,3
20	17,69	7,44	3,64	46	196,2	204,2	407,1
21	18,92	8,26	4,31	47	224,6	241,8	512,8

22	20,27	9,19	5,09	48	258,3	287,9	650,7
23	21,75	10,23	6	49	298,7	344,6	832
24	23,36	11,4	7,08	50	347,5	415,1	1073
25	25,13	12,72	8,34				

Untuk menghitung kapasitas daya dukung izin (*gross*) :

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} \quad (2.4)$$

q_u : daya dukung ultimit

FS : *Safety Factor*

Untuk menghitung kapasitas daya dukung izin (*netto*) :

$$q_{all} = \frac{(q_u - q)}{FS} \quad (2.5)$$

b. Teori Meyerhoff

Menghitung daya dukung fondasi dangkal ultimit :

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.6)$$

c' : Kohesi

q : Tegangan efektif pada bawah fondasi

γ : berat jenis tanah

B : lebar fondasi (diameter jika di fondasi circular)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: *shape factors*

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: *depth factors*

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: *load inclination factors*

N_c, N_q, N_γ : *bearing capacity factors*

Untuk menghitung faktor kapasitas daya dukung, dapat kita gunakan rumus berikut :

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) e^{\pi \tan \phi'} \quad (2.7)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \quad (2.8)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi' \quad (2.9)$$

Tabel 2.2. Faktor Daya Dukung Meyerhoff.

Sumber : Meyerhoff, 1963.

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1	0	26	22,25	11,85	12,54
1	5,38	1,09	0,07	27	23,94	13,2	14,47
2	5,63	1,2	0,15	28	25,8	14,72	16,72

3	5,9	1,31	0,24	29	27,86	16,44	19,34
4	6,19	1,43	0,34	30	30,14	18,4	22,4
5	6,49	1,57	0,45	31	32,67	20,63	25,99
6	6,81	1,72	0,57	32	35,49	23,18	30,22
7	7,16	1,88	0,71	33	38,64	26,09	35,19
8	7,53	2,06	0,86	34	42,16	29,44	41,06
9	7,92	2,25	1,03	35	46,12	33,3	48,03
10	8,35	2,47	1,22	36	50,59	37,75	56,31
11	8,8	2,71	1,44	37	55,63	42,92	66,19
12	9,28	2,97	1,69	38	61,35	48,93	78,03
13	9,81	3,26	1,97	39	67,87	55,96	92,25
14	10,37	3,59	2,29	40	75,31	64,2	109,4
15	10,98	3,94	2,65	41	83,86	73,9	130,2
16	11,63	4,34	3,06	42	93,71	85,38	155,6
17	12,34	4,77	3,53	43	105,1	99,02	186,5
18	13,1	5,26	4,07	44	118,4	115,3	224,6
19	13,93	5,8	4,68	45	133,9	134,9	271,8
20	14,83	6,4	5,39	46	152,1	158,5	330,4
21	15,82	7,07	6,2	47	173,6	187,2	403,7
22	16,88	7,82	7,13	48	199,3	222,3	496
23	18,05	8,66	8,2	49	229,9	265,51	613,2
24	19,32	9,6	9,44	50	266,9	319,1	762,9
25	20,72	10,66	10,88				

Berikut adalah rumus untuk menentukan *shape factor* menurut DeBeer (1970) :

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{Nq}{Nc}\right) \quad (2.10)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \varphi' \quad (2.11)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right) \quad (2.12)$$

Berikut adalah rumus untuk menentukan *depth factor* menurut Hansen (1970) :

$$\left(\frac{D_f}{B}\right) \leq 1 \quad (2.13)$$

For $\varphi' = 0$:

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.14)$$

$$F_{qd} = 1 \quad (2.15)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.16)$$

For $\varphi' > 0$:

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c \tan \varphi'} \quad (2.17)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi' (1-\sin \varphi')^2 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.18)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.19)$$

$$\left(\frac{D_f}{B}\right) > 1 \quad (2.20)$$

For $\varphi' = 0$:

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.21)$$

$$F_{qd} = 1 \quad (2.22)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.23)$$

For $\varphi' > 0$:

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c \tan \varphi'} \quad (2.24)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi' (1-\sin \varphi')^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right) \quad (2.25)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.26)$$

2.3.1. Daya Dukung Tanah Fondasi Rakit

Fondasi rakit merupakan fondasi yang termasuk kedalam fondasi dangkal. Dikarenakan fondasi rakit termasuk jenis fondasi dangkal, alhasil rumus yang digunakan untuk fondasi rakit adalah penurunan dari rumus fondasi dangkal. Untuk rumus yang digunakan pada fondasi rakit adalah turunan dari teori Meyerhoff :

$$q_u : c_u N_c F_{cs} F_{cd} + q. \quad (2.27)$$

rumus diatas untuk kondisi *saturated clay* ($\varphi' = 0$), dimana c_u merupakan kohesi *undrained*. Untuk ($\varphi' = 0$) maka $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, dan $N_{\gamma} = 0$ (dari gambar 2.4). Jika persamaan (2.10) kita masukkan N_c dan N_q , maka rumus akan menjadi :

$$F_{cs} = 1 + 0,195 \left(\frac{B}{L}\right). \quad (2.28)$$

Maka dengan adanya rumus F_{cs} untuk fondasi rakit dan F_{cd} pada persamaan (2.21) dapat ditulis rumus daya dukung fondasi sebagai berikut :

$$q_u = 5,14 c_u (1 + 0,195(\frac{B}{L})) (1 + 0,4 (\frac{D_f}{B})) + q. \quad (2.29)$$

Untuk menghitung kapasitas daya dukung (*netto*) adalah :

$$q_u (\text{net}) = q_u - q = 5,14 c_u (1 + 0,195(\frac{B}{L})) (1 + 0,4 (\frac{D_f}{B})). \quad (2.30)$$

Jika data yang disediakan adalah data N-SPT, maka rumus yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$q(\text{net}) (\text{Kn/m}^2) = N_{60} / 0,08 ((\frac{B+0,3}{B})^2 F_d (\frac{S_e}{25})). \quad (2.31)$$

N_{60} : Jumlah pukulan terkoreksi

B : *Width* (m)

F_d : $1 + 0,33 (D_f/B) < 1,33$

S_e : *Settlement*

Ketika kondisi lebar fondasi sangat besar, maka rumus yang digunakan adalah :

$$q(\text{net}) (\text{Kn/m}^2) = 0,25N_{60} ((1+0,33 \frac{D_f}{B})^2 S_e \leq 0,33 N_{60}(S_e)). \quad (2.32)$$

2.4. Daya Dukung Tanah Fondasi Dalam

Dalam fondasi dalam, kapasitas daya dukung ultimit adalah penjumlahan dari daya dukung ujung dan daya dukung friksi, berikut adalah persamaannya :

$$Q_u = Q_p + Q_s. \quad (2.33)$$

Keterangan :

Q_p : Kapasitas daya dukung ujung

Q_s : Kapasitas daya dukung friksi

Daya dukung ujung adalah daya dukung yang berada tepat di ujung */spoon pile* yang mana dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p \times (c' \times N_{c'} + q' \times N_{q'}). \quad (2.34)$$

Keterangan :

A_p : *Area of pile tip*

c' : *Cohesion of the soil supporting the pile tip*

Q_p : *Unit point resistance*

q' : *Effective vertical stress at the level of the pile tip*

$N_{c'}N_{q'}$: *Bearing capacity factor*

Daya dukung friksi adalah daya dukung yang berada tepat di selimut / *spoon pile* yang bergesekan dengan tanah. Daya dukung friksi dapat dicari dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$Q_s = \sum p \times \Delta L_f. \quad (2.35)$$

Keterangan :

p : keliling / *spoon pile*

L : panjang / *spoon pile* per kedalaman yang ditinjau

f : unit friksi di setiap kedalaman

untuk menghitung Q_{all} / daya dukung yang diizinkan, dapat menggunakan persamaan :

$$Q_{all} = Q_{ult} / FS. \quad (2.36)$$

Keterangan :

FS : *Safety Factor*

Q_{ult} : daya dukung ultimit

Safety factor biasa digunakan berkisar antara 2,5 – 4

2.4.1. Daya Dukung Tanah Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor merupakan jenis fondasi yang termasuk ke jenis fondasi dalam. Rumus yang digunakan untuk mengetahui kapasitas daya dukung izin merupakan rumus turunan dari fondasi dalam itu sendiri, namun ada suatu hal yang harus diperhatikan, yaitu jenis tanah. Jenis tanah dapat dibagi menjadi 2 yaitu tanah kohesif (lempung) dan tanah berpasir (non kohesif). Dengan perbedaan jenis tanah ini, pada akhirnya rumus yang digunakan pun berbeda. Untuk menghitung daya dukung ujung pada fondasi tiang bor untuk tanah *clay* ($\phi' = 0$) menurut Meyerhoff, menggunakan rumus :

$$Q_p = 9 c_u A_p \quad (2.37)$$

Untuk menghitung daya dukung friksi pada fondasi tiang bor untuk tanah pasiran menurut Reese & Wright (1977) ($c = 0$), menggunakan rumus :

$$Q_p = 7 N (T/m^2) \quad (2.38)$$

Keterangan :

N : $N_1 + N_2$

N_1 : Nilai N-SPT dengan jangkauan keatas 10D dari ujung tiang bor

N₂ : Nilai N-SPT dengan nilai jangkauan 4D kebawah dari ujung
 Untuk nilai daya dukung friksi / Q_s pada tanah lempung ($\phi' = 0$), dapat
 dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = \alpha c \quad (2.39)$$

Keterangan :

α : 0,55 (Reese & Wright 1977)

Q_s : daya dukung friksi

c : kohesi

untuk daya dukung friksi dengan jenis tanah pasiran, maka persamaan yang
 digunakan berbeda dengan data yang dibutuhkan adalah data N-SPT, berikut
 persamaan yang digunakan menurut (rata rata antara Meyerhoff 1976 dan
 Reese & Wright 1977) :

$$Q_s = 0,2 N \text{ (T/m}^2\text{)} \quad (2.40)$$

2.5. Kelompok Tiang

Pada bagian fondasi, perlu diperhatikan apakah jumlah tiang/*pile* yang
 digunakan cukup untuk menahan beban struktural yang ada. Maka jumlah
 tiang yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$N = Q_u / Q_{all} \quad (2.41)$$

Keterangan :

N : jumlah tiang fondasi

Q_u : daya dukung tiang aksial (kN)

Q_{all} : daya dukung izin = Q_u/SF (kN)

Nilai SF berada di antara 2,5-4.

Penentuan jumlah fondasi aksial diatas berlaku pada kedua daya dukung
 aksial tarik dan daya dukung aksial tekan. Jumlah fondasi juga perlu
 diperhatikan akibat beban lateral yang diterima fondasi, penentuan jumlah
 fondasi didapat dari perhitungan sebagai berikut :

$$N : H_u / H_{all} \quad (2.42)$$

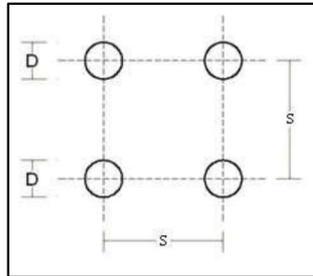
Keterangan :

N : Jumlah tiang fondasi

H_u : daya dukung tiang lateral

Hall : daya dukung izin = H_u/SF

Untuk memudahkan dalam membedakan berapa banyak jumlah fondasi pada suatu kolom, dibuatlah tipe *pilecap* atau konfigurasi kelompok tiang.



Gambar 2.3. Contoh Konfigurasi Tiang 2x2.

Sumber : Braja. M das, 2014.

2.6. Efisiensi Kelompok Tiang Aksial

Di beberapa kasus, *pile* selalu digunakan dalam bentuk grup untuk mendistribusikan beban struktural ke tanah. Sebuah *pilecap* dibangun diatas gabungan *pile* / grup *pile*. *Pilecap* juga bisa dibangun dengan berbagai kondisi seperti di permukaan dan diatas permukaan tanah. Namun ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk membuat daya dukung grup terdistribusi secara baik seperti spasi antar *pile*. Untuk spasi antar *pile*, minimum spasi antar titik tengah *pile* ke titik tengah *pile* adalah $2 - 2,5 D$ (Teng,1962). Efisiensi daya dukung kelompok tiang didefinisikan dengan persamaan :

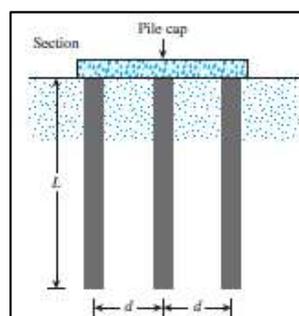
$$E_g : Q_g / \sum Q_u \quad (2.43)$$

Keterangan :

E_g : Effisiensi grup

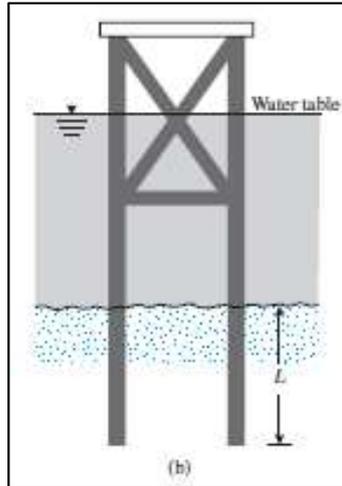
Q_g : Kapasitas daya dukung ultimit kelompok tiang

$\sum Q_u$: Kapasitas daya dukung ultimit kelompok tiang tanpa efek kelompok

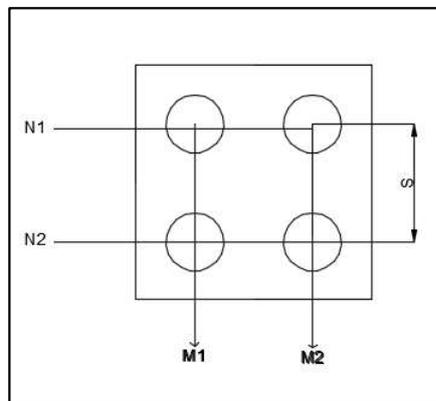


Gambar 2.4. *Pilecap* di Permukaan Tanah.

Sumber : Braja. M das, 2014



Gambar 2.5. Pilecap diatas Permukaan Tanah.
Sumber : Braja. M das, 2014



Gambar 2.6. Konfigurasi Tiang.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan persamaan *Converse-Labarre Equation*, *Los Angeles* dan *Seiler - Keeney*. Berikut adalah persamaan yang akan digunakan :

Converse-Labarre Equation

$$E_g = 1 - \left(\frac{(N-1)M + (M-1)N}{90NM} \right) \Theta \quad (2.44)$$

Los Angeles

$$E_g = 1 - \left[\frac{D}{L\pi d n_1 n_2} \right] (n_1(n_2-1) + n_2(n_1-1) + \sqrt{2}(n_1-1)(n_2-1)) \quad (2.45)$$

Seiler - Keeney

$$E_g = \left(1 - \left[\frac{11D}{7(d^2-1)} \right] \left[\frac{n_1+n_2-2}{n_1+n_2-1} \right] \right) + \left[\frac{0,3}{n_1+n_2} \right] \quad (2.46)$$

Keterangan :

Θ : $\tan^{-1}(D/d)$

M : jumlah tiang arah Y

N : jumlah tiang arah X

Untuk mengetahui apakah daya dukung tanah dapat menahan beban struktural yang didistribusikan ke tanah, dapat dihitung dengan mengetahui terlebih dahulu nilai Pmin dan Pmaks. Untuk menghitung nilai Pmin dan Pmaks dapat menggunakan rumus sebagai berikut

$$P_i = \frac{P}{n} \pm \frac{\sum M_x dy}{\sum dy^2} \pm \frac{M_y dx}{\sum dx^2} \quad (2.47)$$

Keterangan :

Pi : Beban normal maksimum

n : Jumlah tiang dalam kelompok tiang

My : Momen terhadap sumbu y

dy : Jarak searah sumbu y dari pusat berat kelompok tiang

Mx : Momen terhadap sumbu x

dx : Jarak searah sumbu x dari pusat berat kelompok tiang

Untuk mengetahui nilai Pmin, dapat memakai rumus tersebut dan memakai simbol -, untuk mengetahui nilai Pmaks memakai simbol +. Setelah didapat nilai Pmin dan Pmaks lalu bandingkanlah nilai Qall yang sudah dikalikan dengan nilai efisiensi, seperti persamaan berikut

$$P_{maks} < Q_{all} \times E_g \quad (2.48)$$

$$P_{min} > 0 \quad (2.49)$$

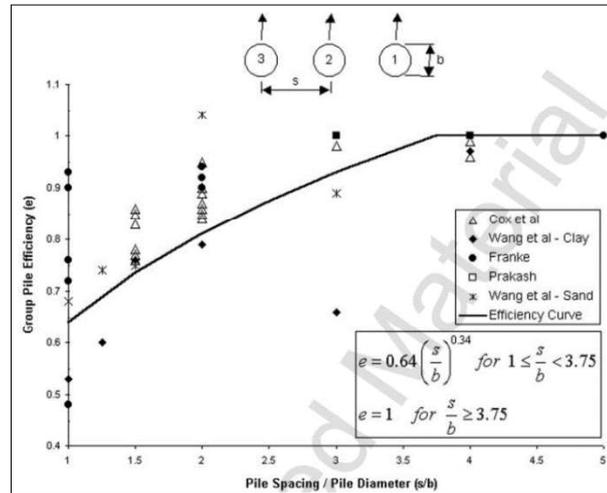
2.7. Efisiensi Kelompok Tiang Lateral

Daya dukung lateral kelompok tiang akan mengalami reduksi yang disebabkan karena konfigurasi beberapa tiang yang berdekatan. Nilai reduksi yang dimaksud disebut faktor modifikasi (f_m), f_m merupakan tanda terjadinya reduksi reaksi tiang terhadap gaya lateral yang terjadi. Konfigurasi tiang (jarak antar tiang dan jumlah tiang) memberikan pengaruh terhadap nilai f_m . Selanjutnya nilai f_m digunakan sebagai konstanta pengali untuk mengubah kurva p-y dari tiang tunggal. Terdapat empat faktor nilai reduksi, yaitu adalah *side-by-side effect*, *leading effect*, *trailing effect*, dan *skewed effect*. Ilustrasi keempat faktor reduksi tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

a. *Side by Side Effect*

Faktor reduksi *side by side effect* merupakan fungsi dari jarak antar tiang

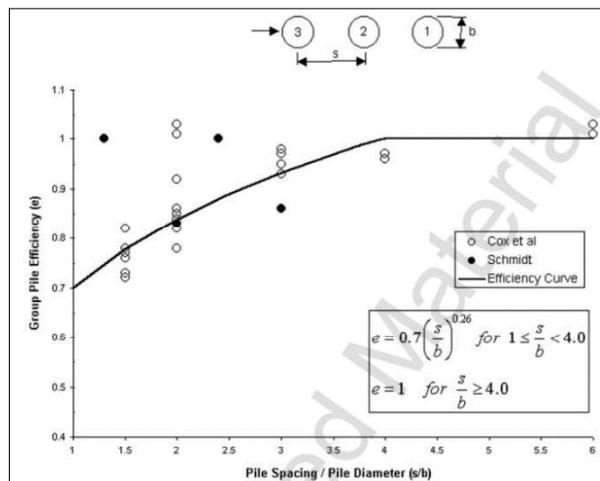
dibagi dengan diameter tiang yang dipengaruhi gaya lateral yang bekerja serta kedudukan tiang yang ditinjau terhadap tiang-tiang disekitarnya. Faktor reduksi ini disebut dengan nilai β .



Gambar 2.7. Faktor *Side by Side Effect*.
Sumber : Bogard and Matlock (1993)

b. *Leading Effect*

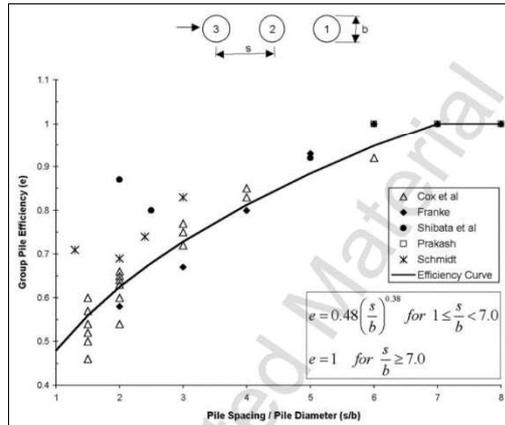
Faktor *Leading Effect* juga dipengaruhi oleh rasio antara jarak antar tiang dan diameter yang dipengaruhi gaya lateral yang bekerja dan konfigurasi tiang terhadap tiang-tiang disekitarnya.



Gambar 2.8. Faktor *Leading Effect*.
Sumber : Bogard and Matlock (1993)

c. *Trailing Effect*

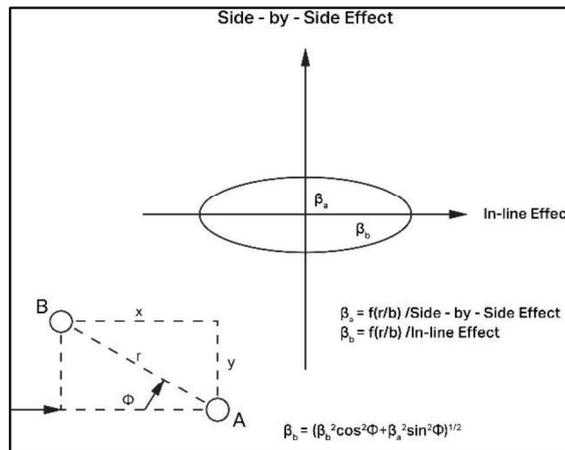
Faktor *Trailing Effect* juga dipengaruhi oleh rasio antara jarak antar tiang dan diameter yang dipengaruhi gaya lateral yang bekerja dan konfigurasi tiang terhadap tiang-tiang disekitarnya.



Gambar 2.9. Faktor *Trailing Effect*.
Sumber : Bogard and Matlock (1993)

d. *Skewed Effect*

Faktor reduksi ini dipengaruhi oleh bentuk tiang terhadap arah yang tidak sejajar. Faktor reduksi ini berhubungan dengan faktor reduksi yang lain tetapi dipengaruhi oleh kemiringan atau sudut yang terjadi akibat bentuk tiang.



Gambar 2.10. Faktor *Skeewed Effect*.
Sumber : Bogard and Matlock (1993)

2.8. Penurunan

Pada dasarnya penurunan tanah terbagi menjadi 3 tahap yaitu :

1. *Elastic settlement (Se)*
2. *Consolidation settlement (Sc)*
3. *Secondary settlement (Ss)*

Jadi, untuk mengetahui total penurunan yang akan terjadi pada suatu bangunan adalah :

$$S_t = S_e + S_c + S_s \quad (2.50)$$

Pada tahap pertama (*Elastic settlement*) adalah pemampatan awal dimana pada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*) dan hanya terjadi pada lapisan tanah pasiran.

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_0 B}{E_s} \quad (2.51)$$

Penurunan lalu dilanjutkan oleh tahap kedua (konsolidasi primer) yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah. Tahap ketiga (*Secondary settlement*) merupakan tahap terakhir pada penurunan yaitu penurunan yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi di sini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Pada konsolidasi primer terbagi menjadi 2 kondisi yaitu :

a. *Normally Consolidated* (NC)

Normally Consolidated terjadi apabila tekanan *overburden* yang diterima oleh tanah saat ini merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut. Pada saat NC rumus konsolidasi primer yang akan dipakai adalah sebagai berikut :

$$S = H \frac{C_c \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}}{1 + e_0} \quad (2.52)$$

b. *Over Consolidated* (OC)

Over Consolidated terjadi apabila tekanan *overburden* yang diterima oleh tanah saat ini lebih kecil dari tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut (tekanan prakonsolidasi). Namun rumus pada konsolidasi primer terbagi menjadi 3 kondisi yaitu pada saat NC, OC dan OC-NC.

Pada saat OC ($P_0 + \Delta P \leq P_c$), maka persamaan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

$$S = H \frac{C_s \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}}{1 + e_0} \quad (2.53)$$

c. *Over Consolidated - Normally Consolidated* (OC - NC)

Pada saat OC-NC ($P_0 + \Delta P > P_c$), maka persamaan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

$$S = H \frac{C_s \log \frac{P_c}{P_0}}{1+e_0} + H \frac{C_c \log \frac{P_c + \Delta p}{P_c}}{1+e_0} \quad (2,54)$$

2.8.1. Konsolidasi Pada Fondasi Rakit

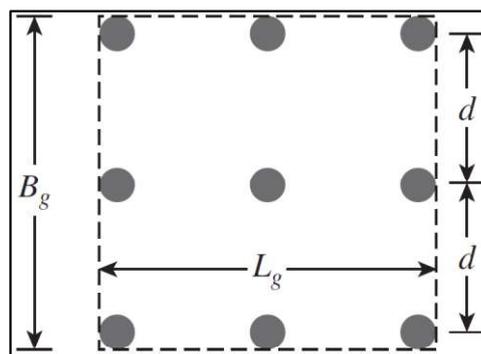
Untuk mengetahui konsolidasi pada fondasi rakit, rumus yang digunakan pada dasarnya adalah sama seperti konsolidasi pada fondasi lain, namun ada beberapa hal yang membedakan dalam penggunaan data. Pada fondasi rakit, untuk mencari perubahan tegangan rata rata, digunakan persamaan seperti berikut :

$$\Delta \sigma' I = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)} \quad (2.55)$$

2.8.2. Konsolidasi Pada Tiang Grup

Untuk konsolidasi pada tiang grup secara umum sama dengan konsolidasi pada fondasi rakit, hanya saja ada sedikit perbedaan yaitu pada pendistribusian beban yang menghasilkan tegangan efektif. Pada fondasi tiang grup, beban akan didistribusikan ke tanah berawal pada kedalaman $2/3 L$ ($2/3$ panjang fondasi dalam). Berikut adalah rumus tegangan efektif yang akan digunakan pada konsolidasi fondasi dalam.

$$\Delta \sigma' I = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)} \quad (2.56)$$



Gambar 2.11. Posisi L_g dan B_g .

Sumber : Braja. M das, 2014.

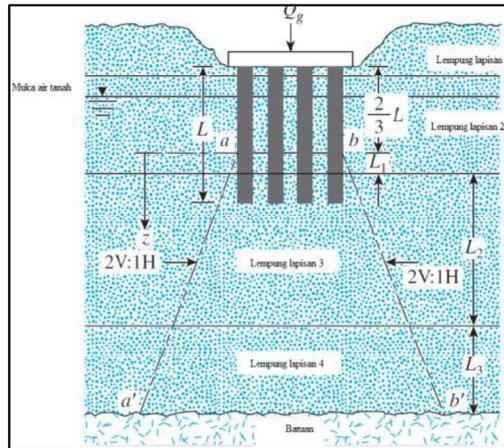
Keterangan :

L_g, B_g : Panjang dan lebar dari perencanaan tiang grup

z_i : Jarak antara posisi atas setiap lapisan ke tengah lapisan itu sendiri

untuk rumus konsolidasi yang digunakan adalah sama seperti konsolidasi

pada fondasi dangkal.



Gambar 2.12. Konsolidasi Pada Tiang Bor.
Sumber : Braja. M das, 2014.

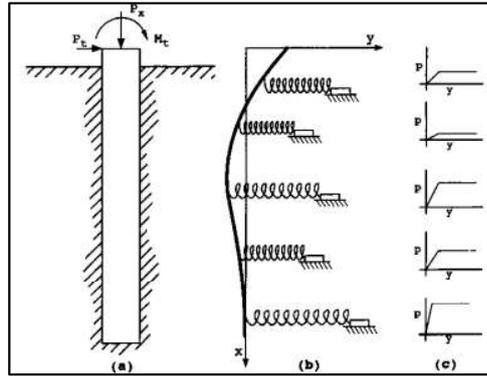
2.9. Metode p-y

Metode p-y merupakan salah satu metode penyelesaian untuk menganalisis defleksi lateral dan aksial pada tiang . Metode ini mendefinisikan hubungan beban lateral dan defleksi antara tanah dan tiang yang digambarkan dalam p-y. Sumbu-p adalah tahanan lateral tanah persatuan panjang tiang dan sumbu-y adalah defleksi lateral tiang. Rumus dasar dalam penyelesaian menggunakan metode p-y adalah sebagai berikut :

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(E_p I_p \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + Q \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) - P + w = 0 \quad (2.57)$$

Keterangan :

- Q : Beban aksial
- y : Defleksi lateral yang terjadi di kedalaman x pada panjang tiang L
- p : *Soil resistance*
- W : Beban lateral yang terdistribusi disepanjang tiang
- Ep : Modulus elastisitas tiang
- Ip : Momen inersia tiang



Gambar 2.13. Ilustrasi Pembebanan Lateral Pada Tiang.

Sumber : Braja. M das, 2014.

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Beban yang memiliki arah horizontal contohnya adalah beban angin, beban gempa, tekanan tanah lateral, beban hempasan ombak atau kapal pada sisi struktur bangunan, dan lain-lain. Beban lateral yang diterima oleh fondasi tiang akan bergantung pada struktur bangunan yang akan meneruskan gaya lateral yang diterima ke kolom bagian paling bawah dari upper structure dan diteruskan kepada kelompok tiang fondasi. Dalam analisis gaya lateral, tiang dibedakan menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang yaitu tiang ujung jepit (*fixed end pile*) dan tiang ujung bebas (*free end pile*). Model ikatan tersebut sangat mempengaruhi kelakuan tiang dalam mendukung beban lateral. McNulty (1956) mendefinisikan tiang ujung jepit (*fixed end pile*) sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm (24 inch) dan sebaliknya tiang ujung bebas (*free end pile*) adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup tetapi kurang dari 60 cm.

Model tanah yang digunakan pada metode p-y terdapat beberapa jenis yaitu :

- a. *Soft Clay (Matlock)*
- b. *Stiff Clay with Free Water (Reese)*
- c. *Stiff Clay without Free Water (Reese)*
- d. *Modified Stiff Clay without Free Water*
- e. *Sand (Reese)*
- f. *API Sand (O'Neill)*
- g. *Liquefied Sand (Rollins)*
- h. *Weak Rock (Reese)*

- i. *Strong Rock (Vuggy Limestone)*
- j. *Piedmont Residual*
- k. *Silt (cemented c - ϕ)*
- l. *Loess*
- m. *Elastic Subgrade*
- n. *User-input p-ycurves*
- o. *API soft clay with J*
- p. *Massive rock.*

Pada setiap model tanah yang berada diatas memiliki sifat sifat yang berbeda. Untuk menentukan jenis model tanah yang akan digunakan adalah dengan melihat data tanah yang akan di analisis sesuai dengan keadaan tanah pada lapangan. Selain itu, parameter yang akan di input juga akan berbeda beda sesuai dengan model tanah yang akan digunakan.

Tabel 2.3. Parameter k Tanah Lempung Pada Aplikasi Lpile.

Sumber : Lpile Manual Users, 2016.

<i>Soil Modulus Parameter k for Clays</i>		
<i>Average Undrained Shear Strength</i>		<i>Static</i>
<i>Soft Clay</i>	c = 12 - 24 kPa	8140 kPa /m
<i>Medium Clay</i>	c = 24 - 48 kPa	27150 kPa /m
<i>Stiff Clay</i>	c = 48 - 96 kPa	136000 kPa /m
<i>Very Stiff Clay</i>	c = 96 - 192 kPa	271000 kPa /m

Tabel 2.4. Parameter k Tanah Pasir Pada Aplikasi Lpile.

Sumber : Lpile Manual Users, 2016.

<i>Soil Modulus Parameter k for Sands</i>			
<i>Relative Density</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>
<i>Submerged Sand</i>	5430 kPa /m	16300 kPa /m	33900 kPa /m
<i>Sand Above WT</i>	6790 kPa /m	24430 kPa /m	61000 kPa /m

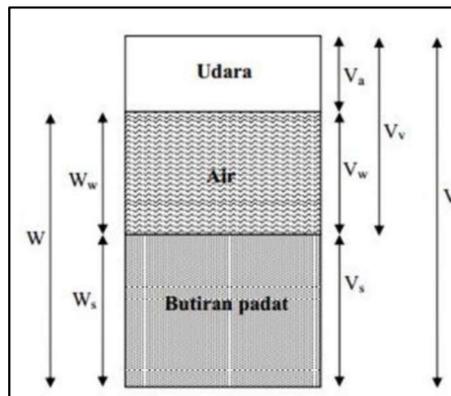
Tabel 2.5. Parameter E50 Pada Aplikasi Lpile

Sumber : Lpile Manual Users, 2016.

<i>Soil Strain Parameter E50</i>		
<i>Soft Clay</i>	c = 12 - 24 kPa	E50 = 0.02
<i>Medium Clay</i>	c = 24 - 48 kPa	E50 = 0.01
<i>Stiff Clay</i>	c = 48 - 96 kPa	E50 = 0.007
<i>Very Stiff Clay</i>	c = 96 - 192 kPa	E50 = 0.005
<i>Hard Clay</i>	c = 192 - 283 kPa	E50 = 0.004
<i>Limestone</i>		E50 = 0.001

2.10. Korelasi Parameter Tanah

Dalam merencanakan suatu sub struktur tentunya membutuhkan data-data tentang parameter tanah yang didapat dari hasil penyelidikan tanah baik di lapangan maupun di laboratorium. Namun ada kalanya data tidak cukup dan tidak memungkinkan dilakukan pengujian lagi, sehingga interpretasi dan korelasi parameter melalui grafik-grafik yang sudah ada akan sangat membantu. Oleh karena itu sampai saat ini, grafik-grafik maupun tabel korelasi parameter masih sangat diperlukan. Korelasi tanah juga digunakan oleh para praktisi dalam memberikan gambaran umum mengenai sifat-sifat tanah, berikut pertimbangan awal dalam melakukan rencana pendahuluan desain fondasi. Tanah terdiri dari tiga fase elemen, yaitu butiran padat (*solid*), air dan udara, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.14. 3 Fase Elemen Tanah.
Sumber : Repository.usu.ac.id, 2014.

2.10.1. Korelasi Berat Isi Tanah

Salah satu parameter fisik yang penting untuk diketahui adalah berat volume tanah. Informasi mengenai nilai tipikal dari berat volume tanah untuk berbagai jenis tanah akan sangat berguna untuk memperkirakan tekanan *overburden* pada kedalaman yang berbeda (Ameratunga, 2016). Salah satu tabel yang digunakan untuk mengetahui berat jenis tanah pada non kohesif dan kohesif adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6. Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Non Kohesif dan Kohesif.

Sumber : (Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman ,Robert V., 1962)

	Non kohesi				
N	0-10	11 - 30	31 - 50	> 50	
Berat Jenis γ , KN/m ³	12 - 16	14 - 18	18 - 23		
Sudut Geser ϕ	25 - 32	28 - 36	> 35		
Sifat	Lepas	Medium	padat	sangat padat	
	kohesi				
N	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
Berat Jenis γ , KN/m ³	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
Sudut Geser ϕ	<25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Sifat	Sangat halus	Halus	Medium	Keras	Sangat keras

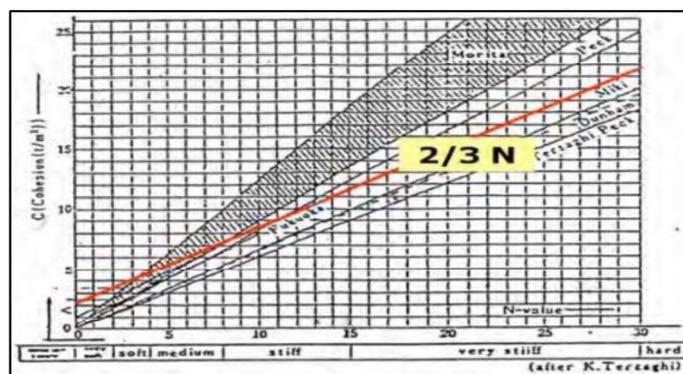
Untuk nilai tipikal berat volume menurut jenis tanah adalah sebagai berikut

Tabel 2.7. Nilai Tipikal Berat Volume.

Sumber : (Soil Mechanics and Foundation, John Wiley & Sons, 2000)

Jenis Tanah	γ_{sat} (KN/m ³)	γ_{dry} (KN/m ³)
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

Untuk menentukan korelasi nilai N-SPT dengan nilai kohesi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada grafik berikut.



Grafik 2.1. Hubungan Antara Kohesi dan Nilai N-SPT Tanah Kohesif.

Sumber : (Rekayasa Fondasi, Mahsyur Irsyam, 2012.)

Untuk menentukan korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) untuk tanah kohesif dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

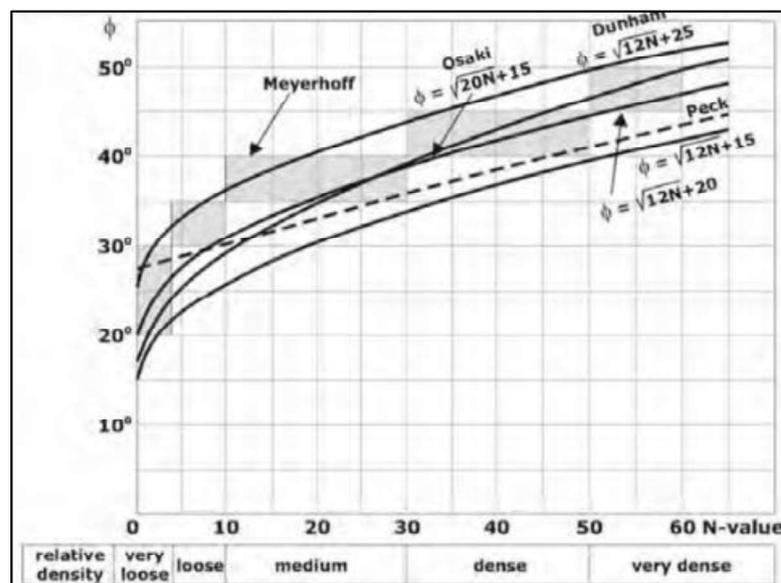
Tabel 2.8. Korelasi Empiris Antara Nilai N-SPT dengan q_u dan (γ_{sat}).
Sumber : (Soil Mechanics, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948, Internasional Edition 1969)

N-SPT (Pukulan/ft)	Konsistensi	q_u ton/ft ²	γ_{sat} (Kn/m ³)
<2	Sangat lembut	<0,25	16-19
2-4	lembut	0,25-0,5	16-19
4-8	medium	0,5-1	17-20
8-15	kaku	1-2	19-22
15-30	sangat kaku	2-4	19-23
>30	keras	>4	19-24

Korelasi nilai N-SPT dengan sudut geser pada tanah pasir dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 2.6 untuk mengetahui nilai konsistensi tanah pasir dapat diketahui dengan mengacu pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.9. Korelasi N-Spt dengan *Relative Density* Tanah Non Kohesif.
Sumber : (Soil Mechanics, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948)

N-SPT (blows/ft)	Kepadatan
0 – 4	Sangat lepas
4 – 10	Lepas
10 – 30	Medium
30 – 50	Padat
> 50	Sangat padat



Grafik 2.2. Hubungan Antara Sudut Geser (ϕ) dan N-SPT Tanah Pasir.
Sumber : (Rekayasa Fondasi, Mahsyur Irsyam, 2012.)

2.10.2. Korelasi Kekakuan Tanah

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus Elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.10. Hubungan Antara E_s dengan q_c .

Sumber : (Mekanika Tanah 2, Hary Christady Hardiyatmo, 2008.)

Jenis Tanah	CPT (Kg/cm^2)
Pasir terkonsolidasi normal	$E_s = (2-4) q_c$
Pasir over konsolidasi	$E_s = (6-30) q_c$
Pasir berlempung	$E_s = (3-6) q_c$
Pasir berlanau	$E_s = (1-2) q_c$
Lempung lunak	$E_s = (3-8) q_c$

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada tabel berikut yang akan ditampilkan pada halaman selanjutnya:

Tabel 2.11. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah.

Sumber : (Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2, 2014.)

Jenis Tanah	E_s (mPa)
Lempung	
Sangat lunak	2-15
Lunak	5-25
Sedang	15-40
Keras	50-100
Berpasir	25-250
Pasir	
Berlanau	5-20
Tidak padat	10-25
padat	50-80
Pasir dan kerikil	
Padat	100-200
Tidak padat	50-150
Lanau	2-20
Loses	15-60
Cadas	140-1400

Dengan menggunakan data sondir, boring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai yang

dibutuhkan adalah nilai q_c atau *cone resistance*. Yaitu dengan menggunakan rumus (Mekanika Tanah 2, Hary Christady Hardiyatmo) :

$$E = 2 q_c \text{ kg/cm}^2 \quad (2.56)$$

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (2.57)$$

$$E = 2 q_c - 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk lempung)} \quad (2.58)$$

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N . Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus (Mekanika Tanah 2, Hardy Christady Hardiyatmo) :

$$E = 6 (N + 5) \text{ kg/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \quad (2.59)$$

$$E = 10 (N + 15) \text{ kg/ft}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (2.60)$$

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasar kan jenis tanah seperti yang ditampilkan pada halaman selanjutnya.

Tabel 2.12. Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*.

Sumber : (Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2, 2014.)

Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν')
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

2.10.3. Korelasi Kekuatan Tanah

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah berupa *Triaxial Test dan Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada berikut.

Tabel 2.13. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah.

Sumber : (Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2, 2014.)

Jenis Tanah	Sudut geser dalam
Kerikil Kepasiran	35-40
Kerikil kerakal	35-40
Pasir padat	35-40
Pasir lepas	30
Lempung kelanauan	25-30
Lempung kelanauan	20-25

Tabel 2.14. Hubungan Sudut Geser Dalam, Plastisitas dan Jenis Tanah.

Sumber : Bjerrum, 1973.

Menurut Bjerrum		
Jenis tanah	Tingkat plastisitas	ϕ
Lanau	rendah	35-37
Lanau berlempung	sedang	31-35
Lempung	tinggi	<31

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah.

Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan antara kohesi, N-SPT dan sudut geser dalam ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.15. Hubungan Kohesi, N-SPT dan Sudut Geser Tanah Lempung.

Sumber : (Article Stream Stabilitation Project, 2007)

N-SPT	c'	ϕ
0-2	12,5	0
2-4	12,5-25	0
4-8	25-50	0
8-15	50-100	0
15-30	100-200	0
>30	>200	0

2.11. Interaksi Tanah Pada Fondasi Rakit

Pada desain metode konvensional, fondasi rakit di asumsikan sebagai kaku penuh dan tekanan tanah terdistribusi secara garis lurus (linear). Pada desain metode elastis (*approximate flexible method of design*) tanah diasumsikan sebagai gabungan dari pegas yang elastis tak hingga.

Modulus reaksi *subgrade* adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1996). Nilai modulus reaksi *subgrade* dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$K : \text{Tekanan} / \text{Deformasi} : q / \Delta \quad (2.61)$$

Pada pengaplikasiannya tekanan merupakan daya dukung yang telah diizinkan, dan deformasi adalah penurunan tanah yang telah diizinkan. Persamaan 2.73 merupakan penurunan yang didapatkan dari Hukum Hooke yang memiliki persamaan berikut.

$$F = k x \quad (2.62)$$

K pada persamaan diatas merupakan kekakuan sedangkan k merupakan bentuk gaya/tekanan dan x adalah perubahan dimensi (panjang). Modulus reaksi *subgrade* pada tanah dapat dijelaskan seperti rumus Hukum Hooke disaat kondisi pertemuan beban dan tanah dianggap sebagai *spring* (elastis) / tidak kaku (*rigid*). Nilai k selalu berbeda di setiap kondisi tanah, berikut adalah perbedaan nilai k pada setiap jenis tanah :

1. Fondasi pada tanah berpasir

$$K = k_{0,3} \left(\frac{B+0,3}{2B} \right)^2 \quad (2.63)$$

2. Fondasi pada tanah lempung

$$K \text{ (kn/m}^3\text{)} = k_{0,3} \left(\frac{0,3}{B} \right) \quad (2.64)$$

3. Fondasi persegi yang memiliki dimensi berbeda (B X L)

$$K = \frac{k \text{ (bxb)} \left(1 + 0,5 \frac{B}{L} \right)}{1,5} \quad (2.65)$$

Berikut adalah tabel untuk mengetahui nilai $k_{0,3}$ (k_1) sesuai dengan jenis tanah.

Tabel 2.16. Nilai $k_{0,3}$ (k_1).

Sumber : (Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2)

<i>Soil type</i>	$k_{0,3}$ (k_1)
	mN/m ³
<i>Dry or moist sand :</i>	
<i>Loose</i>	8-25
<i>Medium</i>	25-125
<i>Dense</i>	125-375
<i>Saturated sand :</i>	
<i>Loose</i>	10-15
<i>Medium</i>	35-40
<i>Dense</i>	130-150
<i>Clay :</i>	
<i>Stiff</i>	10-25
<i>Very stiff</i>	25-50
<i>Hard</i>	>50

2.12. Kriteria Desain Fondasi Rakit

2.12.1. Dimensi Fondasi Rakit

Fondasi rakit merupakan fondasi yang termasuk ke dalam fondasi dangkal. Untuk ketentuan kriteria dimensi pada jenis fondasi rakit, dapat mengikuti ketentuan dimensi fondasi dangkal pada umumnya yaitu kedalaman fondasi (D_f) harus kurang dari atau sama dengan lebar fondasi (B) atau ($D_f < B$). Untuk jarak antar kolom juga perlu diperhatikan, jarak antar kolom harus kurang dari $1,75/\lambda$. Nilai λ dapat kita temukan dengan persamaan berikut.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_b b}{4 E_c I}} \quad (2.66)$$

Keterangan :

K_b : Koefisien *subgrade reaction*

b : Lebar strip antara *center* kolom dengan kolom lain.

E_c : Modulus elastisitas beton.

I : Momen inersia pada strip dengan lebar b .

2.12.2. Batas Penurunan

Penurunan diperhatikan untuk menghindari perbedaan penurunan berlebih.

Untuk batasan/ minimum penurunan, Skempton dan McDonald menyarankan menggunakan nilai nilai minimum penurunan pada jenis jenis tanah, berikut adalah tabel yang digunakan.

Tabel 2.17. Maksimum Penurunan Skempton & McDonald.

Sumber : (Skempton & McDonald, 1956.)

Maksimum Penurunan	
Pasir	32 mm
Lempung	45 mm
Maksimum Perbedaan Penurunan	
Fondasi telapak pada pasir	52 mm
Fondasi telapak pada lempung	76 mm
Rakit pada pasir	51 - 76 mm
Rakit pada lempung	76 - 127 mm

2.12.3. Kontrol Terhadap Geser Pons

Kuat geser 2 arah atau biasa disebut juga dengan geser pons, dimana akibat gaya geser ini fondasi mengalami kerusakan di sekeliling kolom dengan jarak kurang lebih $d/2$. Beban yang bekerja pada fondasi adalah beban dari reaksi tegangan tanah yang bergerak vertikal ke atas akibat adanya gaya aksi vertikal kebawah (P_u) yang disalurkan oleh kolom. Tulangan fondasi dihitung berdasarkan momen maksimal yang terjadi pada fondasi dengan asumsi bahwa fondasi dianggap pelat yang terjepit dibagian tepi- tepi kolom. Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan fondasi telapak berbentuk bujur sangkar harus disebar merata pada seluruh lebar fondasi.

2.13. Kriteria Pemilihan Fondasi Rakit dan Fondasi Tiang Bor

2.13.1. Fondasi Rakit

Fondasi dangkal memiliki beberapa macam jenis fondasi, bukan tanpa alasan penulis memilih fondasi rakit sebagai salah satu jenis fondasi dangkal yang akan dianalisis pada penelitiannya. Pada dasarnya, fondasi dangkal tidak efektif pada gedung gedung yang memiliki beban yang besar. Dengan adanya beban yang besar, membuat fondasi dangkal harus memperbesar dimensi untuk menahan beban yang ada. Dengan adanya dimensi yang besar pada fondasi dangkal, membuat fondasi fondasi yang ada pada setiap kolom akan

saling bersentuhan dan tidak memungkinkan akan dibangun fondasi dangkal. Ada satu jenis fondasi dangkal yang dapat menggabungkan seluruh kolom dalam satu pelat dan memiliki daya dukung yang besar yaitu fondasi rakit. Penulis memilih fondasi rakit karena fondasi rakit lebih efektif dalam hal menahan beban yang ada pada gedung daripada fondasi dangkal yang lainnya.

2.13.2. Fondasi Tiang Bor

Fondasi dalam memiliki beberapa macam jenis fondasi. Penulis memilih fondasi tiang bor sebagai salah satu jenis fondasi dalam yang akan dianalisis pada penelitiannya. Untuk fondasi dalam, penulis memilih fondasi tiang bor dikarenakan beberapa alasan yaitu untuk metode pelaksanaan tiang bor lebih mudah daripada tiang pancang dikarenakan tiang bor dapat menembus batuan / tanah keras sedangkan tiang pancang sangat sulit menembus batuan dan tanah keras dan juga pelaksanaan tiang pancang sangat mengganggu keadaan struktur gedung yang lainnya dan lingkungan sekitar dengan adanya getaran.