

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang sedang dirintis mengenai modifikasi pondasi salah satunya ialah pondasi telasur. Beberapa penelitian sebelumnya yang menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan penelitian ini di antaranya:

Menurut Natasya, Bianca (2011), dalam studi pemakaian pondasi tiang - rakit pada sebuah proyek apartemen di Jakarta dengan menggunakan metode konvensional Poulos dan plaxis dua dimensi menghasilkan desain pondasi tiang - rakit pada sebuah proyek. Konsep utama dari pondasi tiang - rakit adalah untuk menempatkan tiang pada posisi yang tepat agar penurunan dan perbedaan penurunan dapat direduksi. Hasil penelitian dari tahap desain *preliminary* berisi pembahasan bagaimana dimensi dan jumlah dari tiang mempengaruhi kinerja pondasi. Sementara konfigurasi dan penempatan tiang pada lokasi yang tepat menyebabkan penurunan yang optimal bagi desain.

Menurut Sulisty, Wahyu Ady, dkk. (2012), dalam studi pengaruh pembebanan statis dan dinamis terhadap pondasi dangkal dengan perkuatan tiang buis didapatkan hasil bahwa semakin luas penampang pondasi, semakin kecil penurunan yang terjadi dan penambahan buis beton pada pondasi telapak dapat mengurangi risiko penurunan. Penelitian ini memadukan pondasi dangkal (*foot plat*) dan buis beton sebagai “pondasi tiang”. Selanjutnya dilakukan uji pembebanan statis dan dinamis yang mana menghasilkan grafik penurunan pondasi gabungan. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan variasi bentuk telapak (persegi dan segitiga) dan jumlah buis beton (tanpa buis beton, dua buis beton, dan tiga buis beton).

Majid, Rensia Erlyana (2014) melakukan penelitian tentang simulasi perilaku pondasi gabungan telapak dan sumuran dengan variasi kedalaman telapak dan panjang sumuran pada tanah lempung. Perilaku pondasi yang berupa penurunan, kapasitas daya dukung, dan tegangan kontak dimodelkan dengan bantuan *software* analisis elemen hingga (Plaxis 3D Foundation v1.6). Kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

- a. Persentase tahanan telapak naik seiring dengan penambahan beban, sebaliknya persentase tahanan sumuran menurun.
- b. Semakin besar kedalaman *footplat* dan panjang sumuran persentase tahanan *footplat* semakin kecil, hal ini diikuti dengan semakin besarnya tahanan sumuran.

Sulistyanto, Budhi (2014) melakukan simulasi perilaku pondasi gabungan telapak dan sumuran dengan variasi dimensi telapak dan diameter sumuran pada tanah lempung dengan Plaxis 3D Foundation v1.6. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- a. Daya dukung pondasi gabungan tidak semata-mata merupakan gabungan dari daya dukung telapak dan sumuran.
- b. Perubahan dimensi telapak memberikan nilai penurunan yang lebih besar daripada perubahan diameter sumuran pada pondasi gabungan.
- c. Telapak memberikan nilai persentase kontribusi tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan sumuran pada pondasi gabungan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Majid, Rensia Erlyana dan Sulistyanto, Budhi (2014) menggunakan tanah lempung dan tegangan pada selimut dalam sumuran tidak diperhitungkan. Sedangkan pada penelitian ini tegangan selimut dalam sumuran dianalisis sehingga terdapat perbedaan. Selanjutnya untuk mengetahui sifat pondasi telasur pada pelbagai kondisi tanah, maka penelitian ini dilakukan pada tanah pasir homogen. Selain itu, terdapat keterkaitan antara penelitian ini dengan penelitian Majid, Rensia Erlyana (2014) yaitu menggunakan

bantuan Plaxis 3D Foundation v1.6 dalam memodelkan dan menganalisis pondasi telasur. Variasi yang digunakan pun sama yaitu dengan memvariasikan kedalaman telapak dan panjang sumuran.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Tanah Pasir

Menurut Bowles, J.E., (1984), tanah merupakan campuran partikel yang tersusun dari salah satu atau beberapa diameter butiran yaitu batu kerakal (*cobbles*): 150 - 250 mm, kerikil (*gravel*): 5 - 150 mm, pasir (*sand*): 0,074 - 5 mm, lanau (*silt*): 0,002 - 0,075 mm, lempung (*clay*): < 0,002 mm, dan koloid: < 0,001 mm.

Secara garis besar tanah dapat dibedakan menjadi tanah kohesif dan non-kohesif. Tanah kohesif adalah tanah yang mengandung banyak butiran halus dan memiliki komponen kohesi ($c \neq 0$), tanah kohesif juga biasa disebut sebagai tanah berbutir halus. Sedangkan tanah non-kohesif atau tanah granuler adalah tanah yang tidak memiliki komponen kohesi ($c = 0$), sehingga kuat gesernya hanya bergantung pada gesekan antar butir tanah. Tanah-tanah granuler, seperti: pasir, kerikil, batuan, dan campurannya, mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat-sifat tersebut antara lain (Hardyatmo, Hary Christady, 2010):

- a. Pada keadaan padat, mempunyai kapasitas dukung tinggi dan penurunan kecil.
- b. Memiliki nilai permeabilitas yang tinggi (lolos air).
- c. Mudah dipadatkan dan mempunyai nilai kuat geser tinggi. Semakin besar dan kasar permukaan butiran, semakin tinggi nilai kuat gesernya.

Pasir homogen merupakan jenis tanah pasir yang mempunyai karakteristik parameter tanah yang sama secara keseluruhan. Dalam penelitian ini digunakan jenis pasir yang homogen dengan kedalaman diasumsikan tak hingga.

2.2.2 Pondasi

Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke tanah di bawahnya (Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, 1967). Apabila beban struktur tidak terlalu besar dan letak kedalaman tanah kerasnya cukup dangkal dapat menggunakan pondasi telapak. Sedangkan apabila beban struktur cukup besar dan letak tanah keras cukup dalam dapat menggunakan pondasi tiang. Setiap pondasi memiliki kedalaman pondasi (D_f) yakni jarak vertikal muka tanah dengan ujung pondasi.

Terdapat 2 klasifikasi pondasi yakni pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang, dan pondasi rakit, panjangnya berkisar 1 m – 2 m atau $D_f/B \leq 1$. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang, panjangnya berkisar 6 m – 10 m atau $D_f/B \geq 4$. (Hardyatmo, Hary Christady, 2006).

Perancangan pondasi harus mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu, perlu dipenuhi dua kriteria, yaitu kriteria stabilitas dan kriteria penurunan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi adalah (Hardyatmo, Hary Christady, 2006):

- a. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah harus dipenuhi. Faktor aman (*safety factor*) yang biasa digunakan untuk perencanaan adalah 3.
- b. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Terutama pada kasus penurunan tak seragam (*differential displacement*).

Sedangkan segi stabilitas terkait dengan kekuatan jenis tanah dasar yakni kaitannya pada peletakan dasar pondasi. Pondasi yang baik harus sampai pada tanah keras. Tanah keras adalah tanah yang memiliki nilai *SPT* (*Standart penetration Test*) ≥ 30 pukulan (Terzaghi and Peck, 1967 dalam Hardyatmo, Hary Christady, 2006). Nilai *SPT* adalah banyaknya pukulan yang digunakan untuk memasukkan *split spoon sampler* ke dalam tanah sedalam 45 cm.

2.2.3 Pondasi Telapak

Pondasi telapak umumnya digunakan untuk mendukung kolom (Hardyatmo, Hary Christady, 2006). Pondasi ini berupa tiang yang bersambung dengan kolom dan sebuah plat di bawahnya yang fungsinya untuk menyalurkan beban struktur ke tanah. Pondasi ini banyak dipakai karena ekonomis dan dinilai efektif untuk menahan beban struktur hingga 2 lantai. Pondasi telapak termasuk pondasi dangkal karena perbandingan kedalaman dan lebar pondasinya ($D_f/B \leq 1$) (Hardyatmo, Hary Christady, 2006).

Salah satu hal penting dalam perencanaan pondasi telapak adalah perhitungan tegangan kontak maksimum yang dapat ditahan oleh tanah di bawah pondasi tanpa menyebabkan keruntuhan dan penurunan yang berlebihan pada pondasi (Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, 1967). Pada kasus pondasi telapak, besarnya gaya dari struktur atas ditahan oleh pondasi dan juga tanah di atas telapak pondasi. Namun beban oleh tanah di atas pondasi juga memberikan tekanan tambahan pada telapak pondasi sebagai tekanan *overburden*.

Tahap desain pondasi telapak diawali dengan menentukan besarnya gaya kontak yang diterima tanah tiap satuan luas akibat beban luar. Beban luar yang dimaksud adalah beban akibat gaya tekan kolom dan juga momen di sekitar area kolom. Setelah itu ditentukan kapasitas daya dukung tanah di bawah pondasi. Kemudian dibandingkan antara tegangan kontak dengan daya dukung tanah.

2.2.4 Pondasi Sumuran atau Kaison (*Caisson*)

Pondasi sumuran/kaison terdiri dari dua tipe, yaitu kaison bor (*drilled caisson*) dan kaison (*caisson*). Di Indonesia, pondasi kaison sering dibuat dalam bentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran karena bentuknya menyerupai sumur. Pondasi kaison merupakan jenis peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam.

(Hardyatmo, Hary Christady, 2006). Peck, dkk. (1953) membedakan pondasi kaison dengan pondasi dangkal dari nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B). Jadi syarat penggunaan untuk pondasi kaison adalah dengan nilai $D_f/B > 4$.

Keuntungan pemakaian pondasi kaison bor, antara lain (Hardyatmo, Hary Christady, 2006):

1. Pembangunannya tidak menyebabkan getaran dan penggembungan tanah, seperti pada pemancangan pondasi tiang.
2. Penggalian tidak mengganggu tanah sekitar.
3. Alat gali tidak banyak menimbulkan suara.
4. Biaya pelaksanaan umumnya relatif rendah, berhubung alat yang dipakai adalah alat ringan.
5. Kondisi-kondisi tanah atau batu pada dasar sumuran sering dapat diperiksa dan diuji secara fisik.

Disebabkan oleh biaya pembuatan pondasi yang relatif murah, pondasi kaison telah banyak dipakai untuk mendukung bangunan-bangunan gedung, jembatan, pilar jembatan layang dan lain - lain.

Kapasitas dukung pondasi kaison adalah jumlah dari tahanan gesek dinding dan tahanan dasar, sama seperti pondasi tiang. Pondasi kaison mendukung beban vertikal dengan mengandalkan (Hardyatmo, Hary Christady, 2006):

1. Tahanan gesek dinding.
2. Tahanan dukung ujung bila tanah dasar berupa pasir padat, pasir berkerikil atau batu.
3. Kombinasi dari keduanya.

2.2.5 Penurunan Terhadap Beban

Secara garis besar, pengujian kapasitas daya dukung pondasi di lapangan akan menghasilkan grafik penurunan terhadap beban. Sesuai dengan namanya, grafik ini menyatakan hubungan antara pembebanan yang diberikan pada pondasi dengan penurunan segera pondasi. Pembebanan yang baik harus diberikan hingga pondasi *collapse* agar dapat ditentukan besar daya dukung ultimit neto (Q_{un}). Pada beberapa kondisi, pembebanan hingga pondasi *collapse* tidak dapat dilakukan, oleh karena itu diperlukan beberapa kriteria untuk memperkirakan besarnya daya dukung ultimit neto (Q_{un}) dari grafik penurunan terhadap beban.

Dalam kondisi ekstrem, tanah terbagi menjadi 2 jenis yakni tanah lempung dan tanah pasir. Berdasar pada teori yang ada, pasir dan lempung memiliki perilaku yang jauh berbeda, termasuk pada karakteristik grafik penurunannya. Perbedaan ini berkaitan erat dengan perilaku kedua tanah yang berbeda ketika dikenai beban. Karakteristik bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2.

Tanah pasir ketika dikenai beban cenderung memiliki penurunan segera yang besar, sedangkan penurunan segera pada tanah lempung kecil. Penurunan segera adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan (S_r) < 90%. Dalam perhitungan penurunan seketika/*immediately settlement* diperlukan faktor pengaruh angka *poisson ratio* (v), dan sifat elastisitas tanah (E).

Rumus yang digunakan untuk mencari penurunan segera :

$$S_i = \frac{2q_n}{E} (1 - v^2) \quad (2.1)$$

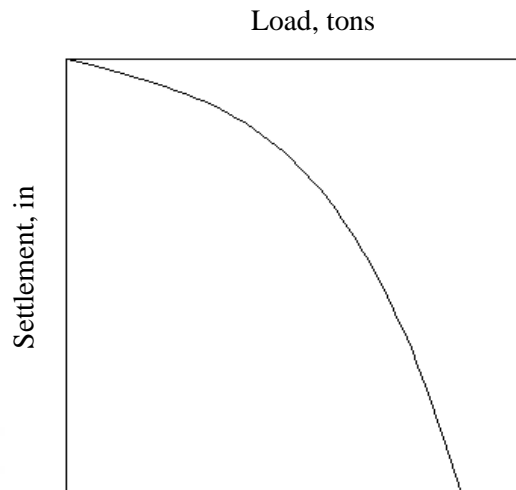
Dengan:

S_i = penurunan segera (m)

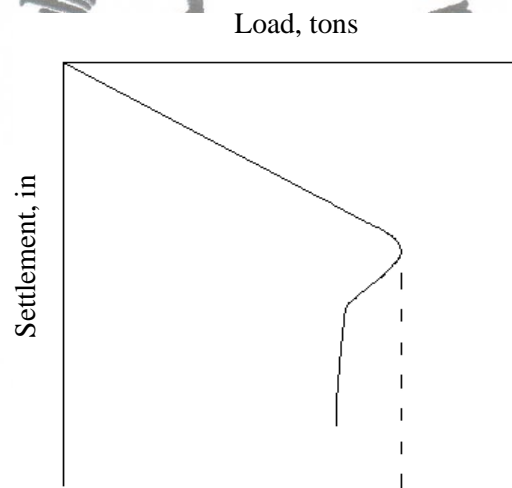
q_n = tambahan tegangan atau tekanan pondasi netto (kN/m²)

E = modulus elastisitas tanah (kN/m²)

v = *poisson ratio*



Gambar 2.1. Karakteristik Grafik Penurunan Terhadap Beban Tanah Pasir
(Prakash, Shamsher, Hari D. Sharma, 1989)



Gambar 2.2. Karakteristik Grafik Penurunan Terhadap Beban Tanah Lempung
(Prakash, Shamsher, Hari D. Sharma, 1989)

2.2.6 Nilai Daya Dukung Ultimit Neto (Q_{un})

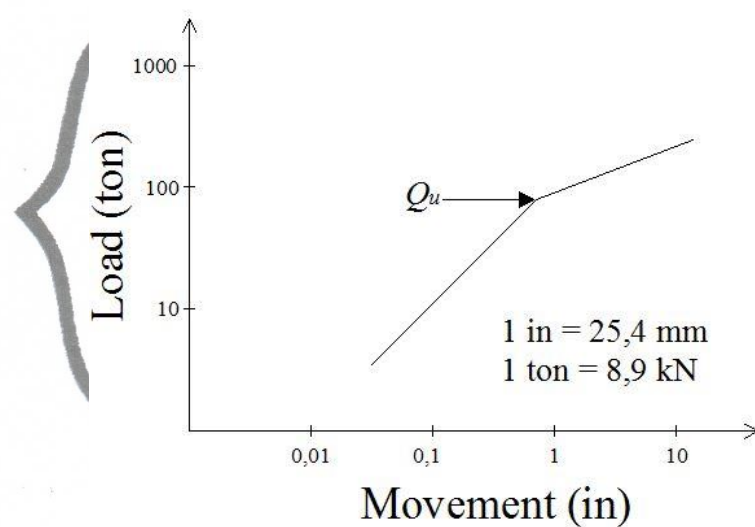
Setelah mendapatkan data nilai penurunan dari program plaxis 3D foundation, maka data tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai Q_{un} pada pondasi telapak, pondasi sumuran dan pondasi telasur.

Menurut Shaarawi et.al (2003), disimpulkan bahwa metode yang dapat digunakan pada semua tes di dalam penelitiannya adalah metode Chin, Mazurkiewicz, dan Decourt. Setiap metode tersebut memiliki kriteria uji yang berbeda-beda pula. Namun, dalam penelitian ini menggunakan metode De Beer dan Mazurkiewicz.

1. Metode De Beer (1967)

Langkah untuk mendefinisikan Q_u dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut:

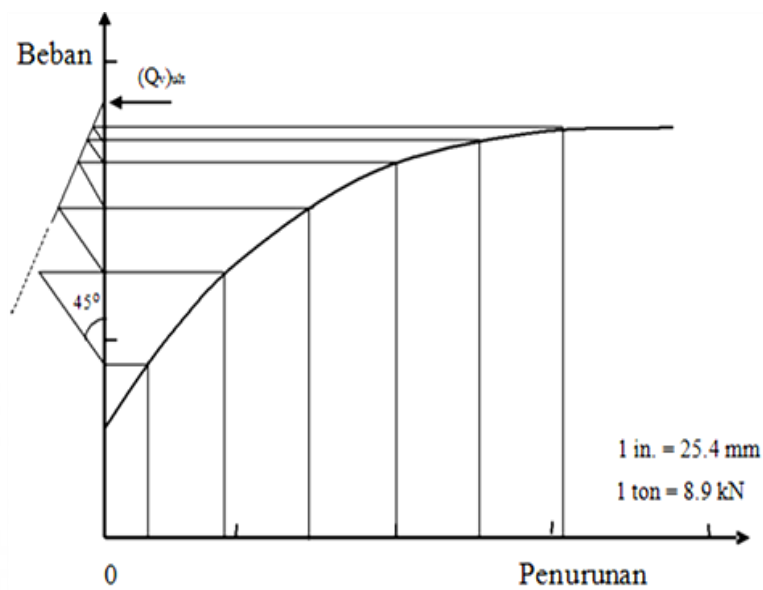
- Gambarkan grafik penurunan terhadap beban dalam skala logaritma.
- Buat dua garis lurus yang mendekati sebaran data yang ada.
- Q_u adalah beban pada pertemuan dua garis lurus yang sudah dibuat.



Gambar 2.3 Interpretasi Q_{un} dengan Metode De Beer (1967)

2. Metode Mazurkiewicz (1972)

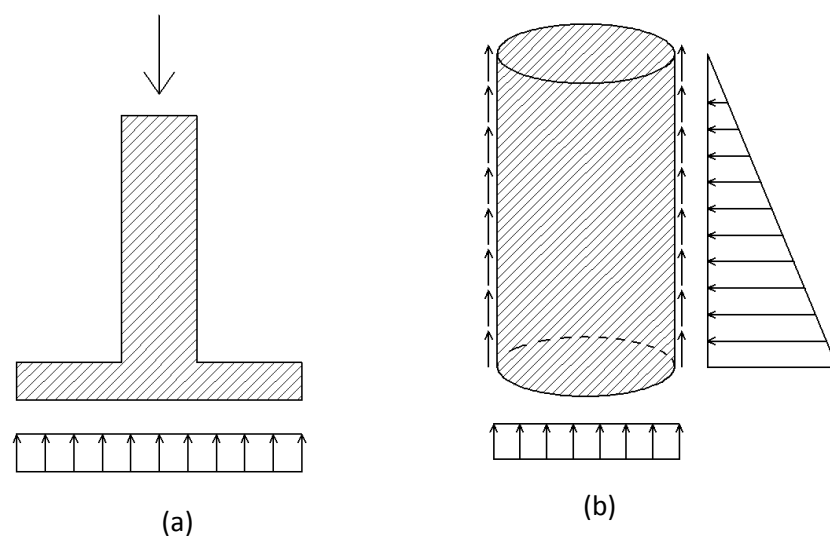
Metode ini diasumsikan bahwa dengan kapasitas tahanan terbesar (*ultimate*) akan didapatkan dari beban yang berpotongan, di antaranya beban yang searah sumbu tiang untuk dihubungkan beban dengan titik-titik dari posisi garis terhadap sudut 45° pada beban sumbu yang berbatasan dengan beban seperti Gambar 2.4



Gambar 2.4 Interpretasi Q_{un} dengan Metode Mazurkiewicz (1972)

2.2.7 Tegangan Kontak Pondasi

Tegangan kontak adalah tegangan reaksi tanah atas beban yang diterima pondasi. Pada pondasi telapak tegangan kontak terdistribusi merata pada dasar pondasi. Distribusi tegangan di bawah pondasi telapak dipengaruhi oleh eksentrisitas beban dan momen di sekitar pondasi. Tegangan kontak pondasi telapak dan sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tegangan Kontak pada (a) pondasi telapak (b) pondasi sumuran

Besarnya tegangan kontak pada pondasi telapak dapat ditentukan dengan Persamaan 2.2. (Hardyatmo, Hary Christady, 2006).

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x y_0}{I_x} \pm \frac{M_y x_0}{I_y} \quad (2.2)$$

Dengan:

q = tegangan kontak yaitu tekanan yang terjadi pada kontak antara dasar pondasi dan tanah dasar pada titik (x_0, y_0)

P = jumlah beban vertikal

A = luas dasar pondasi

M_x, M_y = momen terhadap sumbu x dan sumbu y

I_x, I_y = momen inersia terhadap sumbu x dan sumbu y

Berdasarkan Persamaan 2.2. dapat juga kita simpulkan bahwa tahanan yang dapat diterima oleh pondasi telapak sama dengan perkalian antara tegangan kontak (q) dan luas dasar pondasi (A). Tahanan ini merupakan gabungan antara beban dan momen yang diterima pondasi.

Serupa dengan pondasi tiang bor, tahanan pada pondasi sumuran terletak pada selimut dan ujung pondasi. Tahanan pada pondasi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.6 (b). Menurut Terzaghi besarnya tahanan total pondasi sumuran seperti pada Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2.3)$$

$$Q_u = q_u A_p + \pi D f_s D_f \quad (2.4)$$

Dimana :

Q_u = tahanan total (*ultimate*)

Q_b = tahanan ujung pondasi

Q_s = tahanan gesek pada selimut pondasi

q_u = $1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$

A_p = luas dasar pondasi

D = diameter pondasi

f_s = faktor gesekan di selimut pondasi (Tabel 2.1)

D_f = kedalaman pondasi

N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung *Terzaghi* (Tabel 2.2)

Tabel 2.1 Nilai Faktor Gesek Selimut (*Terzaghi*, 1943) dalam *Hardiyatmo* (2006)

Jenis Tanah	f_s (kg/cm ²)
Lempung dan lempung lunak	0,07 – 0,30
Lempung sangat kaku	0,49 – 1,95
Pasir tidak padat	0,12 – 0,37
Pasir padat	0,14 – 0,68
Kerikil padat	0,49 – 0,98

Tabel 2.2 Nilai Faktor Daya Dukung (*Terzaghi*, 1943) dalam *Hardiyatmo* (2006)

φ (°)	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,1	81,3	65,6	87,1

Tegangan kontak yang dimiliki oleh pondasi telapak berbeda dengan tegangan kontak yang dimiliki oleh pondasi sumuran, begitu juga dengan pondasi gabungan. Pondasi gabungan yang telah banyak diteliti berupa pondasi gabungan antara pondasi rakit dan pondasi tiang atau sering disebut *Combined Pile Raft Foundation* (CPRF). Pondasi ini merupakan bentuk pondasi gabungan yang menjadi dasar dalam penelitian pondasi telasur.

Dalam suatu *study* yang telah dilaksanakan (Briaud, 2013), dikatakan bahwa tahanan pondasi gabungan ini adalah sumbangan antara tahanan bawah pondasi rakit dan tahanan *pile*. Dalam potongan, diagram tegangan CPRF dapat dilihat pada Gambar 2.6. Karena pondasi rakit dan *pile* bukan pondasi dengan panjang tak hingga, sehingga besarnya tahanan pondasi didekati dengan pendekatan volume, yakni sebagai berikut:

$$R_{raft,k}(s) = \iint \sigma(s, x, y) dx dy \quad (2.5)$$

$$R_{pile,k,j}(s) = R_{b,j,k}(s) + R_{s,k,j}(s) \quad (2.6)$$

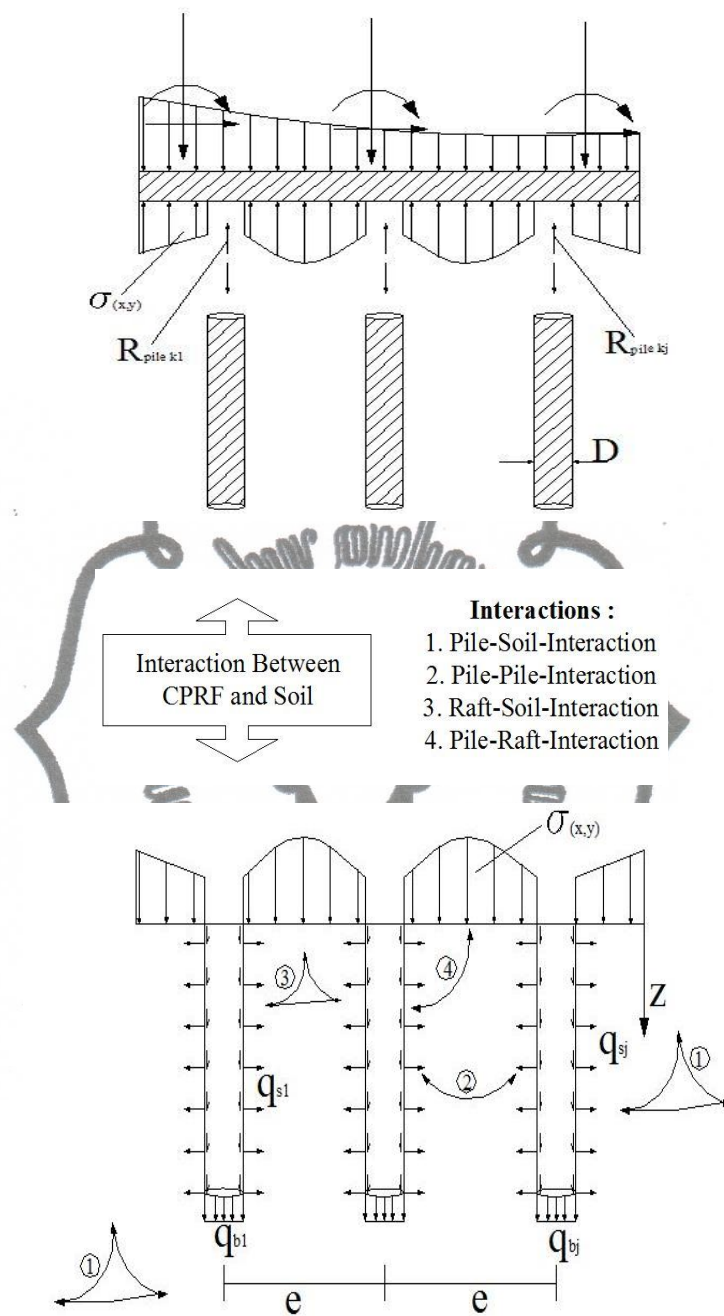
$$R_{tot,k}(s) = R_{pile,j,k}(s) + R_{raft,k}(s) \quad (2.7)$$

Dimana :

$R_{raft,k}(s)$ = tahanan di bawah pondasi rakit

$R_{b,j,k}(s)$ = tahanan di ujung tiang

$R_{s,k,j}(s)$ = tahanan di selimut tiang



Gambar 2.6 Diagram Tegangan *Combined Pile Raft Foundation* (CPRF)

(Sumber : Internasional CPRF Guideline, 2013)