

BAB III

LANDASAN TEORI

1.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengedap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi akibat pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam dan alkali) dan proses-proses kimia lainnya. Jika pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut *tanah residual* dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut *tanah terangkut* (Hardiyatmo, 1992).

Sedangkan pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*),
- b. kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm,

- c. pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm,
- d. lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm,
- e. lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif,
- f. koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

3.1.2 Klasifikasi Jenis Tanah

Berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 pasal 5.3, memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu tanah guna memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Klasifikasi profil tanah berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1. Klasifikasi Profil Tanah

Kelas Situs	\tilde{v}_s (m/detik)	\tilde{N} atau \tilde{N}_a	S_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 – 50	50 – 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah karakteristik sebagai berikut : 1. indek plastisitas, $PI > 20$, 2. kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likufaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersentasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plasititas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI (1726-2012)

1.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya memperoleh informasi bawah tanah untuk perencanaan pondasi bangunan sipil. Agar bangunan dapat berdiri dengan stabil dan tidak menimbulkan turunan (*settlement*) yang terlalu besar, maka pondasi bangunan harus mencapai lapisan tanah yang cukup padat. Untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) yang diizinkan, maka perlu dilakukan penyelidikan mekanika tanah yang mencakup penyelidikan di lapangan (lokasi rencana bangunan baru) dan penelitian di laboratorium (Gunawan,1983).

Data yang diambil berupa data sekunder dimana peneliti tidak langsung terjun ke lapangan, sehingga data tersebut merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait. Penelitian tanah dimaksudkan untuk mendapatkan data keadaan pada titik yang telah ditentukan sebagai gambaran keadaan tanah, mulai dari lapisan tanah, jenis tanah, dan nilai - nilai *properties* tanah pada pekerjaan perencanaan White Sedan Hotel.

1.3 Kapasitas Dukung Pondasi *Bored Pile*

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo,2003) yaitu :

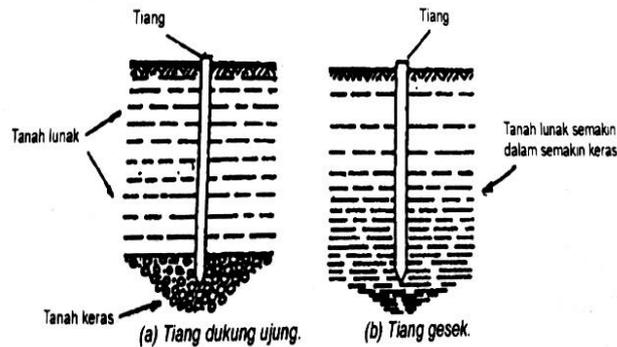
1. tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang

2. tiang geser

Tiang geser adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan geser antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya.

Berikut ini adalah gambaran tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya, dapat dilihat pada Gambar 3. 1 berikut ini.



Gambar 3.1 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Bebannya

(Sumber : Hardiyatmo,2003)

Daya dukung pondasi tiang bor adalah besarnya merupakan penjumlahan dari tahanan ujung dan tahanan selimut tiang (gesekan kulit tiang dengan tanah).

Formula umum daya dukung pondasi tiang seperti Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$Q_{ultimit} = Q_p + Q_s \quad (3.1)$$

keterangan : $Q_{ultimit}$ = daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

1.3.1 Kapasitas Dukung Ujung Metode Reese & Wright (1977)

1. Daya Dukung Ujung (Q_p)

Daya dukung ujung metode Reese & Wright diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut.

$$Q_p = q_p \times A \quad (3.2)$$

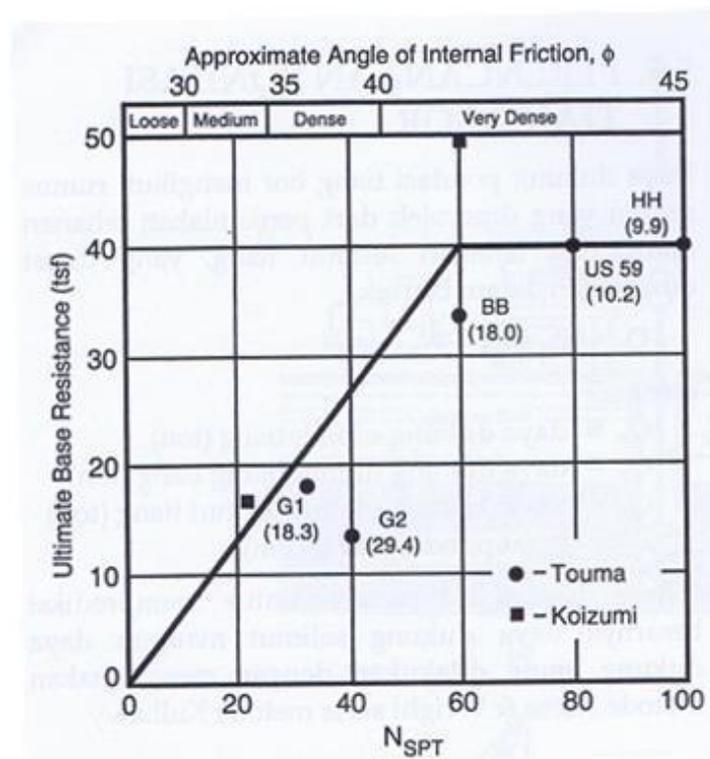
dengan :

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

q_p = tahanan ujung persatuan luas (ton/m^2)

A = luas penampang tiang bor (m^2)

Pada tanah kohesif, besarnya tahanan ujung per satuan luas, dapat diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah ($9.C_u$). pada tanah kohesif, besarnya q_p mengiskusikan hubungan dengan N_{SPT} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Tahanan Ujung Ultimit Pada Tanah Non-Kohesif (Reese & Whight,1977)

(sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Daya Dukung Selimut Tiang

Perhitungan daya dukung selimut tiang pada tanah homogen dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$Q_s = f \times L \times p \quad (3.3)$$

dengan :

Q_s = daya dukung ultimit selimut beton (ton)

f = gesekan selimut tiang persatuan luas (t/m^2)

L = panjang tiang bor (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah.

a. Tanah Kohesif

Gesekan selimut tiang dapat ditentukan dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$F = \alpha \times c_u \quad (3.4)$$

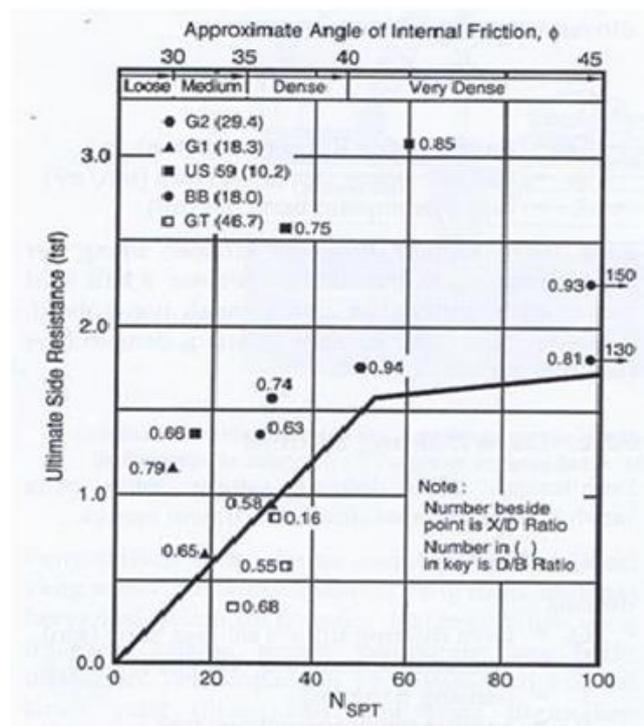
keterangan :

α = faktor adhesi (diambil 0,55)

C_u = kohesi tanah pada kondisi *undrained*

b. Tanah Non-Kohesif

Besarnya nilai f dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{SPT} pada grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Tahanan Selimut Ultimit pada Tanah Non-Kohesif (Reese & wright 1997)

(sumber : Hardiyatmo, 2010)

1.3.2 Kapasitas Dukung Ujung Tiang Metode *Schmertmann dan Nottingham*

Kuat dukung ultimit neto (Q_u), dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5 atau 3.6 berikut ini.

$$Q_u = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s - w_p \quad (3.5)$$

atau

$$Q_u = A_b \cdot \omega \cdot q_{ca} + A_s \cdot K_f \cdot q_f - w_p \quad (3.6)$$

dengan :

A_b = Luas penampang tiang (cm^2),

A_s = Luas selimut tiang (cm^2),

- f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm²),
 f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²),
 q_{ca} = Tahanan konus rata-rata (kg/cm²),
 q_f = Tahanan gesek sisi konus (kg/cm²),
 K_f = Koefisien tak berdimensi, dan
 ω = Koefisien korelasi.

1. Tahanan Ujung Satuan

Dalam metode Schmertmann dan Nottingham (1975) tahanan ujung tiang per satuan luas, diperoleh dari nilai rata-rata q_c di sepanjang $8d$ diatas dasar tiang sampai $0,7d$ atau $4d$ di bawah tiang, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4. Langkah-langkah penentuan q_{ca} adalah sebagai berikut :

- a) perhatikan diagram tahanan kerucut (q_c) per kedalamannya dan pilihlah kedalaman sementara yang dianggap mendekati kapasitas ultimit bahan tiang yang dipakai.
- b) pada kedalaman tiang yang ditinjau, perhatikan tahanan konus rata-rata (q_c) diambil pada jarak $8d$ di atas kedalaman ujung tiang dan $4d$ di bawahnya.
- c) tentukan q_{c1} dengan menghitung nilai rata-rata tahanan kerucut (q_c) di sepanjang garis patah-patah pada zona $8d$ di atas dasar tiang. Lintasan garis patah-patah menunjukkan pengambilan nilai-nilai q_c yang mewakili dan diperkirakan aman.
- d) telusuri lintasan garis patah-patah sedalam $4d$ di bawah tiang. Tentukan q_{c2} dengan menghitung q_c rata-rata di sepanjang garis tersebut.
- e) hitung $q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$
- f) dengan menggunakan nilai-nilai dalam Tabel 3.2, tentukan ω guna memperhatikan pengaruh kadar kerikil atau OCR.
- g) hitung tahanan ujung satuan dengan Persamaan 3.7 :

$$f_b = \omega \cdot q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \text{ (15.000 kN/m}^2 \text{)} \quad (3.7)$$

keterangan :

f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm^2),

ω = Koefisien korelasi yang bergantung pada OCR (tabel 2),

$q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$ (kg/cm^2),

$q_{c1} = q_c$ rata-rata pada zona 0,7d atau 4d di bawah dasar tiang (kg/cm^2),

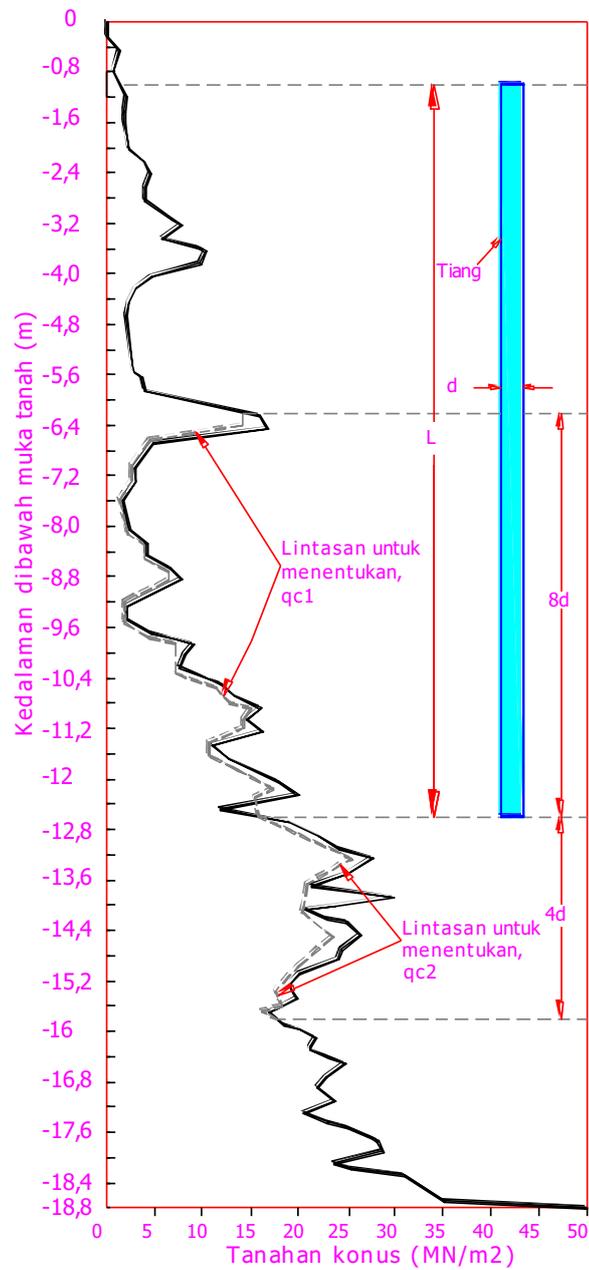
dan

$q_{c2} = q_c$ rata-rata pada zona 8d di atas dasar tiang (kg/cm^2).

Tabel 3.2. Faktor ω

Kondisi Tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar; Pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0,67
Kerikil halus; pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0,5

(Sumber : Bowles, 1996)

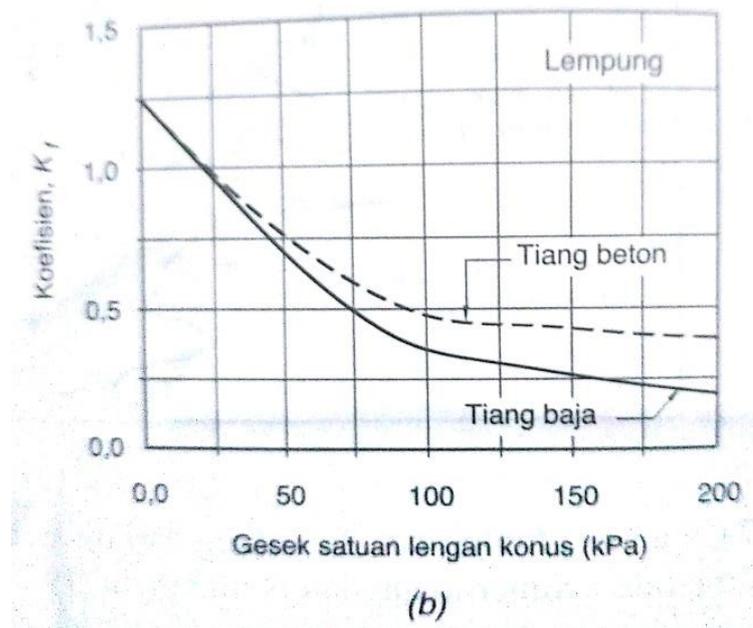
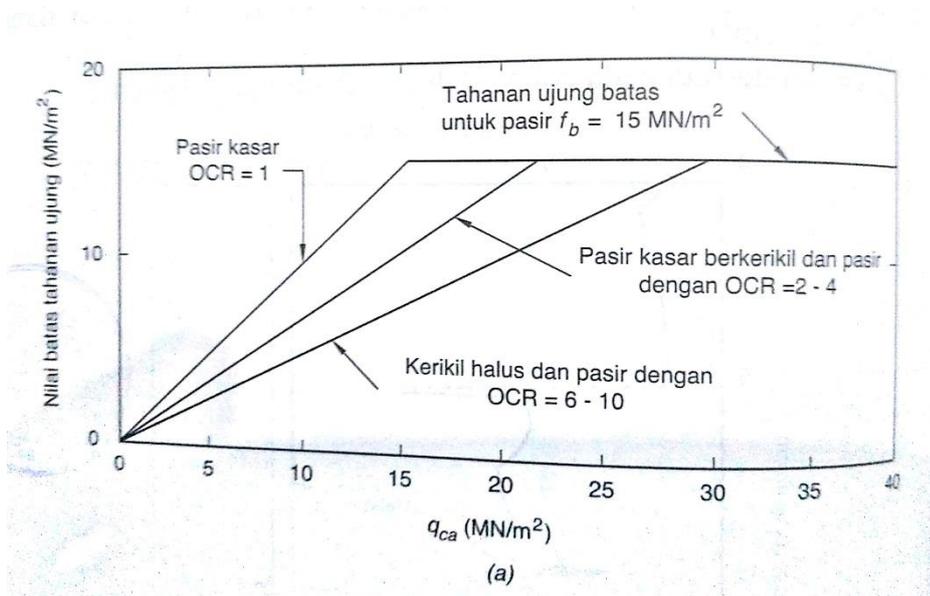


Gambar 3.4 Cara menghitung tahanan ujung dari uji kerucut statis metode Schmertmann dan Nottingham (1975)

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Nilai ω berkisar antara 0,5 sampai 1 bergantung pada rasio konsolidasi berlebihan, OCR (*Overconsolidatin ratio*), seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Hubungan q_{ca} dan tahanan ujung satuan dengan menggunakan ω dari Tabel 3.2

di tunjukkan dalam Gambar 3.5. gambar ini, biasanya juga dapat digunakan untuk ujung tiang yang terletak pada lapisan lempung.



**Gambar 3.5 (a) Penyesuaian koefisien terhadap OCR (pasir)
(b) Koefisien K_f lempung yang digunakan dalam Persamaan 3.8**

(Sumber: Schmertmann dan Nottingham, 1975 (di kutip dari buku Hardiyatmo, 2010))

2. Tahanan Gesek Satuan

Tahanan gesek satuan dapat diperoleh dari Persamaan 3.8 berikut.

$$f_s = K_f \cdot q_f \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.8)$$

keterangan :

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2), nilainya dibatasi sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120 kPa),

K_f = Koefisien tak berdimensi, dan

q_f = Tahanan gesek sisi konus (sleeve friction) (kg/cm^2).

Bila tiang dalam pasir, K_f bergantung pada rasio L/d (L = kedalaman, dan d = diameter tiang). Di dalam kedalaman $8d$ pertama dari permukaan tanah, K_f diinterpolasi dari nol di permukaan tanah sampai $2,5$ di kedalaman $8d$. Lebih bawah dari kedalaman ini, nilai K_f berkurang dari $2,5$ sampai $0,891$ pada kedalaman $20d$, atau, dianggap saja secara keseluruhan $K_f = 0,9$.

Metode yang lain, untuk tiang dalam tanah pasir (tidak berlaku untuk lempung), gesek satuan dapat ditentukan dari tahanan konus q_c dengan Persamaan 3.9 berikut.

$$f_s = K_c \cdot q_c \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.9)$$

dengan :

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2), nilainya dibatasi sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120 kPa),

K_c = Koefisien tak berdimensi yang nilainya bergantung pada tipe tiang,

q_c = Tahanan konus (kg/cm^2),

Tiang baja ujung bawah terbuka,

$K_c = 0,8 \%$

Tiang pipa ujung bawah tertutup,

$K_c = 1,8 \%$

Tiang beton,

$$K_c = 1,2 \%$$

1.3.3 Kapasitas Dukung Ujung Metode *Meyerhoff*

1. Tahanan Ujung

Tahanan ujung metode *Meyerhoff* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.10 berikut.

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} \quad (3.10)$$

dengan :

f_b = Tahanan ujung satuan, untuk tiang bor diambil 70% atau 50%-nya,

q_{ca} = q_c rata-rata (kN/m²) pada zona 1d di bawah ujung tiang dan 4d di atasnya,

$\omega_1 = [(d + 0,5) / 2d]^n$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d > 0,5$ m $\omega_1 = 1$,

$\omega_2 = L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10d$, Jika $L > 10d$, $\omega_2 = 1$,

d = Diameter tiang (m),

L = Kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m), dan

n = Nilai eksponensial [(1 untuk pasir longgar ($q_c < 5$ Mpa), (2 untuk pasir kepadatan sedang ($5 \text{ Mpa} < q_c < 12 \text{ Mpa}$), (3 untuk pasir padat ($q_c > 12 \text{ Mpa}$))].

2. Tahanan Gesek

Untuk tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari Persamaan 3.11 berikut.

$$f_s = K_f \cdot q_f \quad \text{dengan} \quad K_f = 1 \quad (3.11)$$

atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus dapat diperoleh dari **Persamaan 3.12** berikut .

$$f_s = K_c q_c \quad \text{dengan} \quad K_c = 0,005 \quad (3.12)$$

dengan :

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2),

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus, dan

K_c = Koefisien modifikasi tahanan konus.

1.3.4 Kapasitas Dukung Ijin

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud sebagai berikut:

1. memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan,
2. memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah,
3. meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja,
4. meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi, dan
5. meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan pada Persamaan 3.13 berikut.

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.13)$$

dengan :

Q_a = Kapasitas daya dukung ijin pondasi,

Q_u = Kapasitas ultimit pondasi, dan

SF = Angka aman untuk tahanan ujung.

1.3.5 Kapasitas dan Efisiensi Kelompok Tiang

Untuk menghitung nilai dari kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, jarak tiang, jumlah tiang dalam satu kelompok dan efisiensi kelompok tiang. Pada tanah pasir kapasitas kelompok tiang merupakan jumlah kumulatif kapasitas ijin tiang (*bearing capacity*) dan gesekan antar tiang terhadap tanah (*friction*) dari tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang dan dikalikan dengan efisiensi kelompok tiang.

Dalam menghitung kapasitas kelompok tiang ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kapasitas kelompok tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berda dalam kelompoknya. Stabilitas kelompok tiang tergantung 2 (dua) hal, yaitu sebagai berikut ini.

- a. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang untuk mendukung beban total struktur.
- b. Adanya pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang. Jika kelompok tiang dalam tanah lunak, timbunan atau pasir tidak padat, dengan dasar tiang yang bertumou pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak mempunyai resiko mengalami keruntuhan geser umum (*general shear failure*), jika mempunyai faktor aman yang cukup terhadap bahaya keruntuhan tiang tunggalnya. Meskipun begitu, penurunan kelompok tiang masih tetap harus diperhitungkan secara keseluruhan ke dalam tanah lempung lunak (Harsiyatmo,2010).

Kapasitas dukung kelompok tiang dapat dihitung berdasarkan jenis tanah sebagai berikut.

1) Kapasitas Dukung Kelompok Tiang pada Tanah Pasir

Pada tanah pasir yang digunakan pondasi tiang pancang maupun pondasi tiang bor, dapat menggunakan dengan Persamaan 3.14 berikut ini.

$$Q_{ult} = n \cdot (Q_p + Q_s) \cdot Ef \quad (3.14)$$

dengan :

Q_{ult} = kapasitas dukung ultimit tiang kelompok (kN),

n = jumlah tiang dalam kelompok,

Q_p = kapasitas ujung pertiang (kN),

Q_s = kapasitas selimut pertiang (kN), dan

Ef = efisiensi kelompok tiang.

2) Kapasitas Dukung Kelompok Tiang pada Tanah Lempung

Kapasitas dukung tiang kelompok untuk tiang pancang dan tiang bor pada tanah lempung dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut.

- a. Menentukan jumlah total kapasitas kelompok tiang digunakan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$\begin{aligned} \sum Q_u &= m \cdot n (Q_p + Q_s) \\ &= m \cdot n (9 \cdot A_p \cdot C_u + \sum p \cdot \Delta L \cdot \alpha \cdot C_u) \end{aligned} \quad (3.15)$$

- b. Menghitung kapasitas dukung ultimit blok berukuran (L_g , B_g , L_d) dengan **Persamaan 3.16** berikut ini.

$$\sum Q_u = L_g \cdot B_g \cdot N_c' C_u + \sum 2 \cdot (L_g + B_g) \cdot C_u \cdot \Delta L \quad (3.16)$$

dengan :

L_g = panjang blok,

B_g = lebar blok,

L_d = tinggi blok, dan

ΔL = panjang segmen tiang.

2. Efisiensi Kelompok tiang

Efisiensi Kelompok Tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. panjang, diameter, jumlah, susunan dan jarak tiang,

- b. tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung (model transfer beban),
- c. prosedur pelaksanaan pemasangan tiang,
- d. urutan pemasangan tiang,
- e. macam-macam tanah,
- f. waktu setelah pemasangan tiang,
- g. interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah, dan
- h. arah dari bebab yang bekerja.

Formasi tiang sangat menentukan besar kecilnya daya dukung tiang kelompok. Begitu pula efisiensi tiang kelompok juga dipengaruhi oleh bentuk formasi tiang itu sendiri.

Efisiensi tiang menurut *Converse-Labarre Formula* (Hardiyatmo, 2010), dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$E_g = 1 - 0 \frac{(n-1)m + (m-1)n'}{90mn'} \quad (3.17)$$

dengan :

- E_g = efisiensi kelompok tiang,
- m = jumlah baris,
- n' = jumlah baris tiang dalam satu baris,
- θ = arc tg d/s , dalam derajat,
- S = jarak pusat ke pusat tiang (m), dan
- d = diameter tiang (m).

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan melalui Persamaan 3.18 berikut ini.

$$E_g = \frac{Q_g}{nQ_u} \quad (3.18)$$

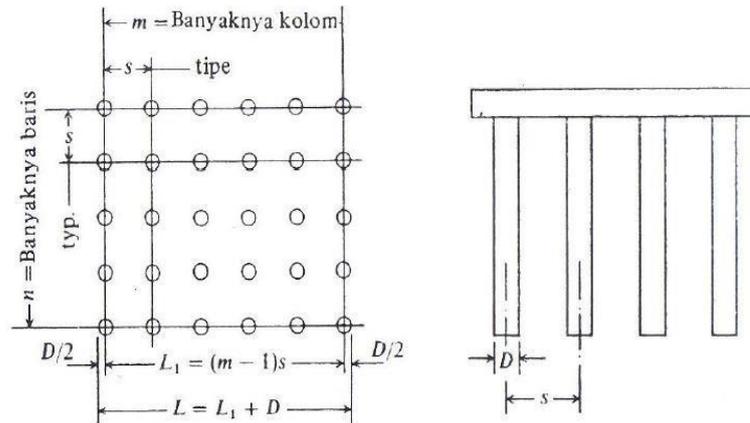
dengan :

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- Q_g = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan

n = jumlah tiang dalam kelompok

Dibawah ini merupakan gambar mengenai efisiensi kelompok tiang pondasi, dapat dilihat sebagai **Gambar 3.4** berikut ini.



Gambar 3.4 Efisiensi Kelompok Tiang

(Sumber : Hardiyatmo , 2010)

1.3.6 Kapasitas Izin Kelompok Tiang

Kapasitas izin kelompok tiang menggunakan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (3.19)$$

dengan :

E_g = efisiensi kelompok tiang,

Q_g = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan reruntuhan,

Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan, dan

n = jumlah tiang dalam kelompok.

1.3.7 Daya Dukung Izin Pondasi

Daya dukung izin pondasi dinyatakan pada Persamaan 3.20

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.20)$$

dengan :

Q_a = kapasitas daya dukung izin pondasi (ton),

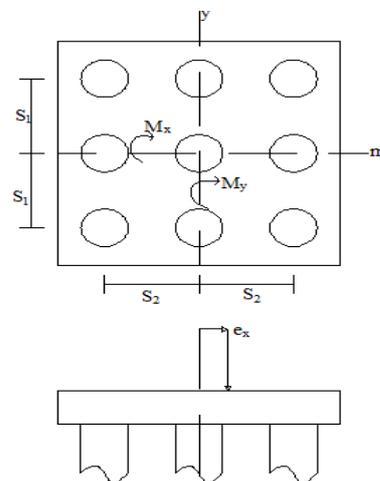
Q_u = kapasitas ultimit pondasi (ton), dan

SF = angka aman untuk tahanan ujung.

1.4 Pembebanan Pondasi Kelompok Tiang

Beban Struktur yang akan bekerja pada gedung White Hotel Sedan, diterima oleh pondasi dibawahnya. Tiang-tiang penyusunan fondasi kelompok tiang inilah yang menyalurkan dan meneruskan beban kerja yang diterima ke tanah keras dibawahnya.

Kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) yang akan mempengaruhi terhadap kapasitas daya dukung pondasi tiang, seperti pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Pembebanan Pondasi dan Momen Kelompok Tiang

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Untuk menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang digunakan Persamaan 3.21 berikut.

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_i}{\sum Y^2} \quad (3.21)$$

dengan :

P_i = Beban aksial pada tiang ke-i,

V = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang,

M_x = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x,

M_y = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y,

n = Banyaknya tiang pancang dalam kelompok tiang pancang (pile group),

x_i, y_i = Absis atau jarak tiang ke pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor-i,

$\sum x^2$ = Jumlah kuadrat absis-absis tiang pancang, dan

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang pancang.

1.5 Distribusi Beban Gempa

1.5.1 Beban Gempa

Gempa sering terjadi dari akibat pergerakan bumi yang besarnya tak dapat diperkirakan dengan pasti dan waktunya tidak bisa diprediksi dengan tepat merupakan salah satu masalah utama dalam rekayasa bangunan teknik sipil. Itulah kenapa diperlunya perencanaan struktur tahan gempa yang terus dikembangkan sampai saat ini. Kondisi tanah pada bawah bangunan sangat mempengaruhi proses perencanaan bangunan struktur tahan gempa. Seperti yang dijelaskan Hukum Newton I, ketika terjadi gempa bumi, maka tanah bergetar dan menggerakkan lantai dan pondasi. Dalam keadaan demikian, sebenarnya struktur bagian atas bangunan seperti atap punya kecenderungan untuk tetap bertahan pada kondisi semula, tetapi karena terikat dengan dinding dan kolom, maka atap tertarik oleh gerakan dinding dan kolom. Kondisi ini sama seperti ketika kita berdiri di atas kendaraan kemudian tiba-tiba kendaraan itu berjalan, maka kaki kita akan ikut bergerak bersama kendaraan, tetapi bagian atas tubuh kita akan cenderung bertahan pada kondisi semula, sehingga menyebabkan kita terlempar jatuh kebelakang. Gaya yang menyebabkan kita jatuh terlempar ke belakang itulah yang disebut dengan *Inertia Force*. Getaran yang disebabkan oleh gempa cenderung membesar pada tanah lunak

dibandingkan pada tanah keras atau batuan. Tanah keras yang bergetar akibat gempa, getaran cenderung mempunyai kandungan frekuensi tinggi. Getaran frekuensi tinggi tersebut akan mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek, intensitas gempa akan beratenuasi lebih cepat atau amplifikasi spektrum semakin besar pada tanah yang lunak.

1.5.2 Analisis Distribusi Beban Gempa

Dalam menganalisis distribusi beban gempa pada struktur bangunan, ada beberapa tahap perhitungan yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Waktu Getar Struktur (T)

Waktu getar struktur pada rangka baja dapat menggunakan Persamaan 3.22.

$$T = 0.085 \times H^{3/4} \quad (3.22)$$

Waktu getar struktur pada rangka beton dapat menggunakan Persamaan 3.23.

$$T = 0.06 \times H^{3/4} \quad (3.23)$$

dengan : H = tinggi struktur bangunan.

2. Faktor Keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI-1726-2012 bagian 4.1.2, untuk berbagai kategori resiko bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.3. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I) menurut Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Berbagai Kategori Resiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
-------------------	-----------------

<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, perkebunan, perternakan dan perikanan :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan b. fasilitas sementara c. gedung penyimpanan d. rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. perumahan b. rumah toko dan rumah kantor c. pasar d. gedung perkantoran e. pusat perbelanjaan/ rumah susun f. pusat perbelanjaan/ mall g. bangunan industri h. fasilitas manufaktur i. pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. bioskop b. gedung pertemuan c. stadion d. fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat dasar e. fasilitas penitipan anak f. penjara g. bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> a. pusat pembangkit listrik biasa b. fasilitas penanganan air c. fasilitas penanganan limbah d. pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia</p>	III

berbahaya, limbah berbahaya dan bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : a. bangunan-bangunan monumental b. gedung sekolah dan fasilitas pendidikan c. rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat d. fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi keadaan darurat e. tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungan darurat lainnya	IV
f. fasilitas persiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat g. pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat h. struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI (1726-2012)

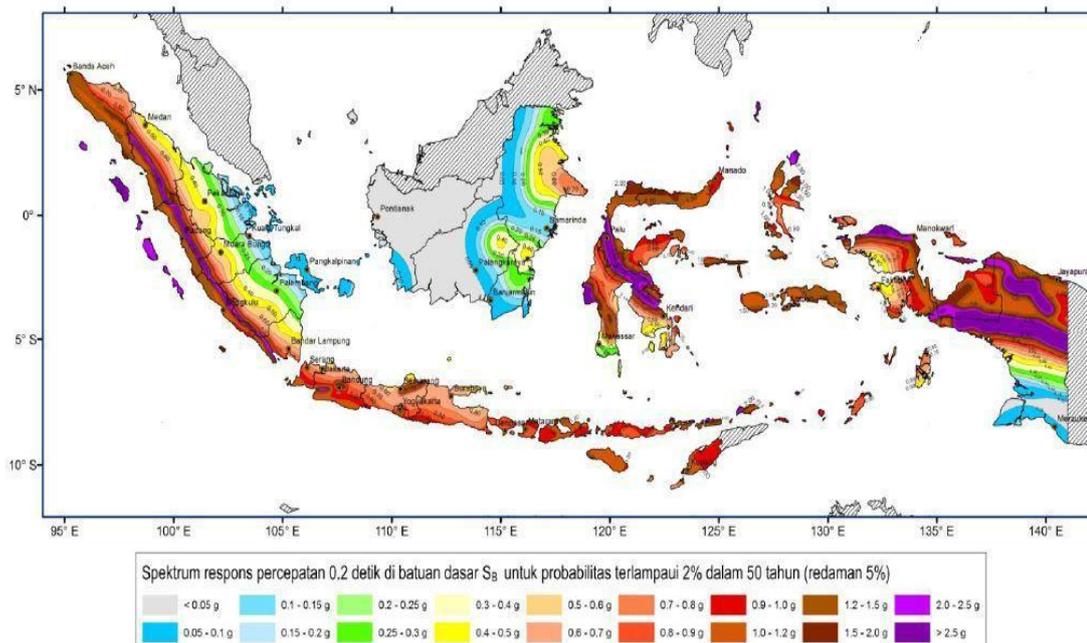
Tabel 3.4 Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Bangunan

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI (1726-2012)

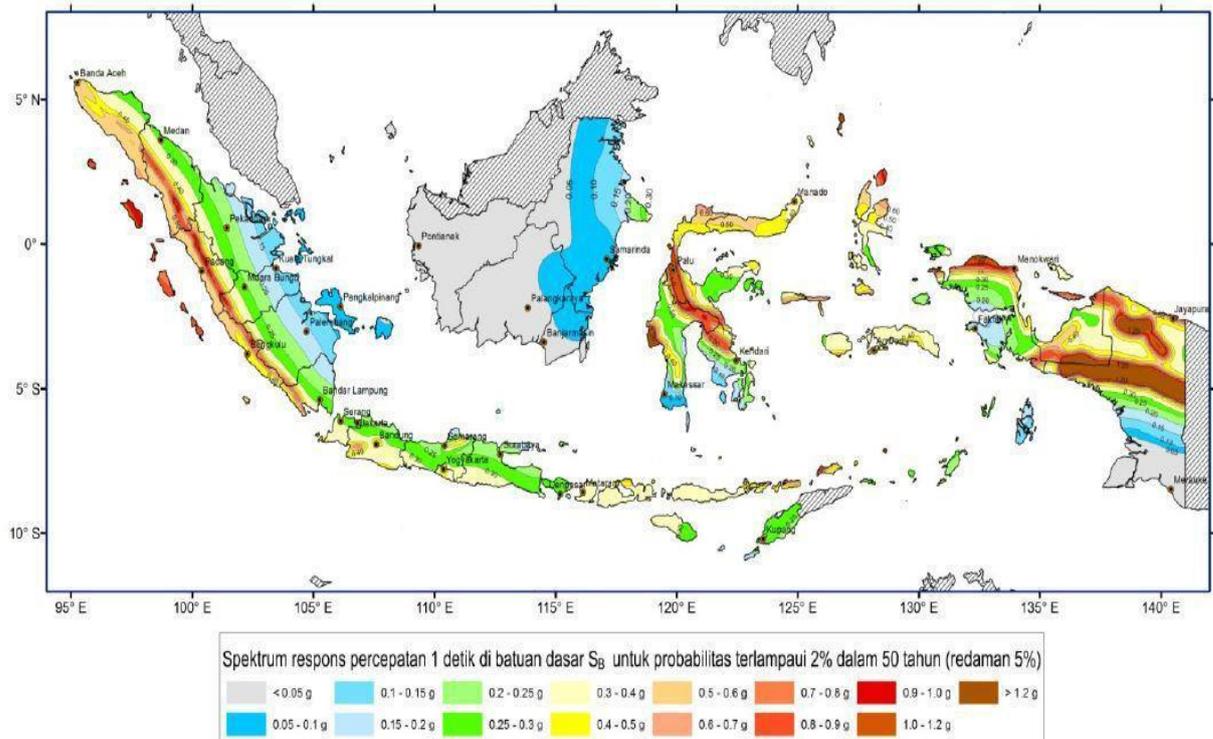
3. Nilai Spectrum Respons Gempa (C)

Berdasarkan SNI-1726-2012, agar diperoleh nilai spectrum respons gempa, maka perlu diketahui terlebih dahulu parameter percepatan terpetakan, meliputi percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.6 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda Pendek (S_s)

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 1726-2013)



Gambar 3.7 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda 1 Detik
(S1)

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 1726-2013)

4. Beban Geser Nominal (V)

Berdasarkan SNI-1726-2012, rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai beban geser nominal gempa (V) dapat dilihat pada Persamaan 3.24.

$$V = C_s \times W_t \quad (3.24)$$

5. Distribusi Gaya Geser Horizontal (F_i)

Distribusi gaya geser horizontal merupakan jumlah dari gaya horizontal akibat gempa yang bekerja pada masing-masing massa atau tingkat bangunan. Gaya geser horizontal diperoleh dari **Persamaan 3.25** berikut ini.

$$F_i = \frac{W_i \times H_i}{\sum W_i \times H_i} \times V \quad (3.25)$$

keterangan :

F_i = Gaya horizontal tingkat ke- i ,

W_i = Berat lantai ke- i ,

H_i = Tinggi lantai ke- i , dan

V = Gaya geser dasar.

1.6 Software SAP2000

SAP2000 merupakan salah satu program analisis struktur lengkap namun sangat mudah untuk dioperasikan. SAP2000 ini adalah versi pertama dari SAP yang secara lengkap terintegrasi dengan Microsoft Windows.

Prinsip utama penggunaan program ini adalah pemodelan struktur, eksekusi analisis dan pemeriksaan atau optimasi desain; yang semuanya dilakukan dalam satu langkah atau satu tampilan. Tampilan berupa model secara real time sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan pemodelan secara menyeluruh dalam waktu singkat namun hasil yang tepat.

Output yang dihasilkan juga dapat ditampilkan sesuai dengan kebutuhan baik berupa model struktur, grafik maupun spreadsheet. Semuanya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk penyusunan laporan analisis dan desain.

Analisis SAP2000 menggunakan finite element metode baik untuk static analysis maupun untuk dynamic analysis (nonlinear analysis). Semuanya terintegrasi dalam satu paket yang dilengkapi dengan beberapa database untuk keperluan analisis dan desain seperti database tampang struktur untuk berbagai bentuk mulai dari yang simetris hingga asimetris.

Beberapa kemampuan yang dimiliki oleh program SAP2000 antara lain :

1. analisis yang cepat dan akurat,
2. model pembebanan yang lebih lengkap baik berupa static loading maupun dynamic loading,
3. pemodelan elemen shell yang lebih akurat,
4. analisis dinamic dengan Ritz dan Eigenvalue, dan
5. sistem koordinat ganda untuk bentuk geometri struktur yang kompleks.

SAP2000 tidak membatasi kapasitas analisis sehingga dapat diaplikasikan untuk bentuk yang paling kompleks sekalipun. Juga dilengkapi dengan analisis struktur jembatandengan pembebanan bergerak dan pilihan analisis dengan time history yang dapat disesuaikan dengan kondisi di daerah tertentu. Efek gerakan tanah dasar juga dapat mempengaruhi struktur yang dimodelkan.

Untuk keperluan desain struktur, SAP2000 dilengkapi dengan fitur yang lengkap baik untuk perencanaan struktur baja maupun beton. Desain struktur baja dilengkapi input dimensi dan bentuk yang disesuaikan dengan database yang berlaku untuk beberapa peraturan perencanaan. Begitu pula dengan desain struktur beton yang dilengkapi dengan perhitungan penulangan yang dibutuhkan. Elemen-elemen tertentu dapat digabung menjadi satu grup yang memudahkan dalam perencanaan. Tampilan data perhitungan untuk masing-masing elemen dapat ditampilkan langsung dengan meng-klik elemen yang dikehendaki.

Langkah awal yang dilakukan dalam pengoprasian program aplikasi SAP2000 adalah pemodelan struktur yang diusahakan mewakili perilaku struktur yang akan dianalisis agar diperoleh hasil analisis yang valid.

Langkah-langkah input data pada program aplikasi SAP2000 adalah sebagai berikut:

1. pengidentifikasian *joint*, *frame*, *restraint*, dan *constraint*,
2. pendefinisian karakteristik material dan *frame section*,
3. pendefinisian beban (*load*), yaitu beban mati (*dead*), beban hidup (*live*), dan beban kombinasi (*combo*),
4. pemberian beban terhadap struktur, meliputi beban mati (qd), beban hidup (ql), dan beban gempa (berupa gaya lateral ekuivalen), dan
5. analisis struktur dengan *run analysis*.

Dari hasil program aplikasi SAP2000 akan diperoleh gaya-gaya dalam akibat beban kombinasi, meliputi gaya normal (P), gaya geser (H), dan momen (M) yang bekerja pada masing-masing kolom dasar. Data hasil SAP2000 tersebut yang akan digunakan dalam analisis kapasitas daya dukung pondasi *bored pile*.

3.7 Penurunan Tiang

Pada waktu tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah di sekitarnya akan mengalami penurunan. Penurunan kepala tiang yang terletak pada tanah homogen dengan modulus elastis dan rasio Poisson yang dapat dihitung dengan persamaan yang disarankan oleh Poulos dan Davis (1980), sebagai berikut.

- a. Untuk tiang apung (*floating pile*) dapat menggunakan Persamaan 3.26 dan Persamaan 3.27 berikut.

$$S = \frac{Ql}{Esd} \quad (3.26)$$

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu \quad (3.27)$$

keterangan :

S = penurunan kepala tiang,

Q = beban yang bekerja,

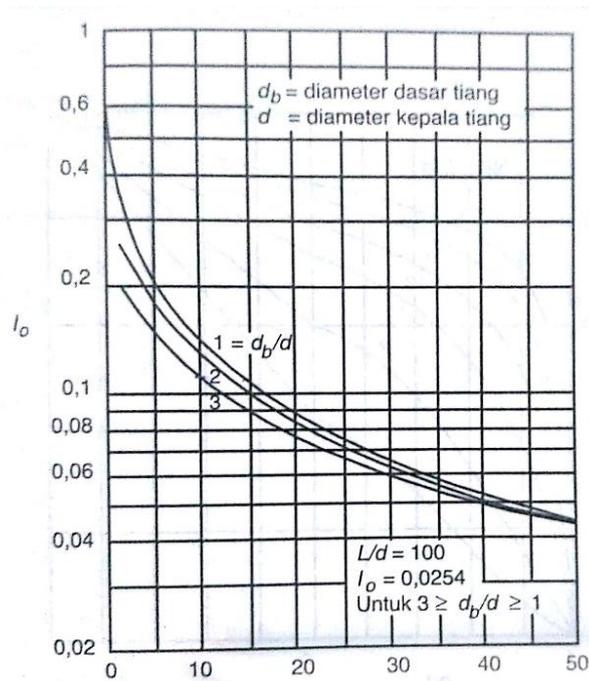
I_o = faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (*incompressible*) dalam massa semi tak terhingga, dapat dilihat pada Gambar 3.9,

R_k = faktor koreksi kemudahan – mampatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$ yang dapat dilihat dari Gambar 3.10,

R_h = faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras, yang dapat dilihat pada Gambar 3.11,

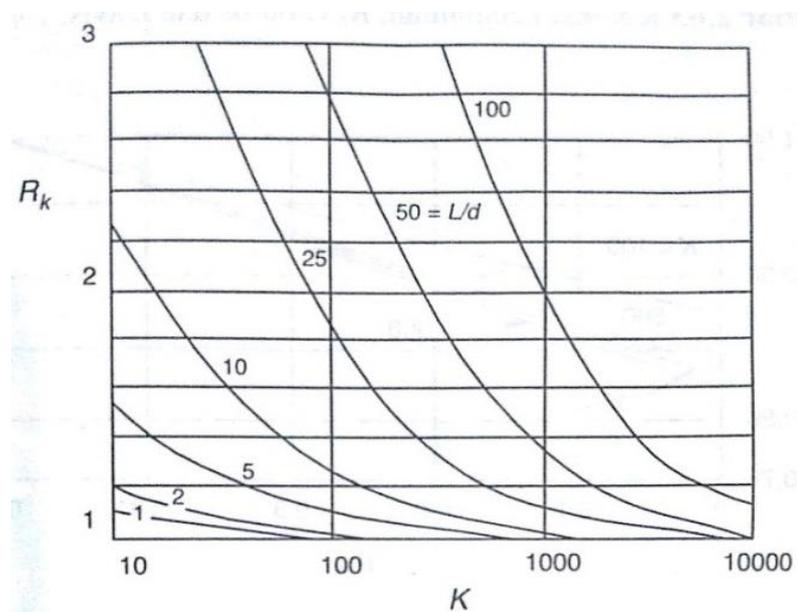
R_μ = faktor koreksi angka *Poissoon* μ , dapat dilihat pada Gambar 3.12, dan

h = kedalaman total lapisan tanah.



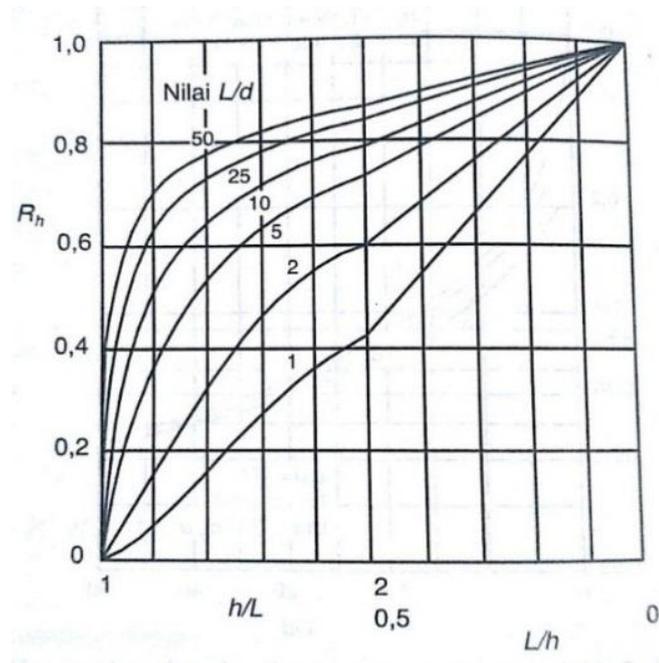
Gambar 3.8 Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980)

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)



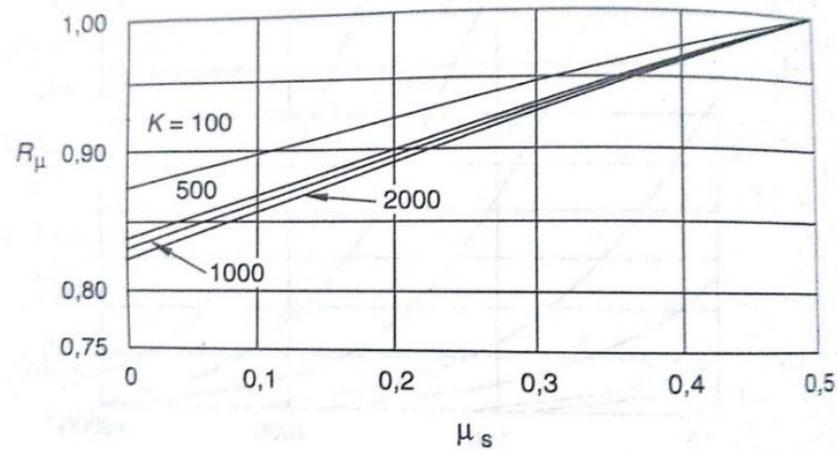
Gambar 3.9 Koreksi kompresi, R_k (Poulos dan Davis, 1980)

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)



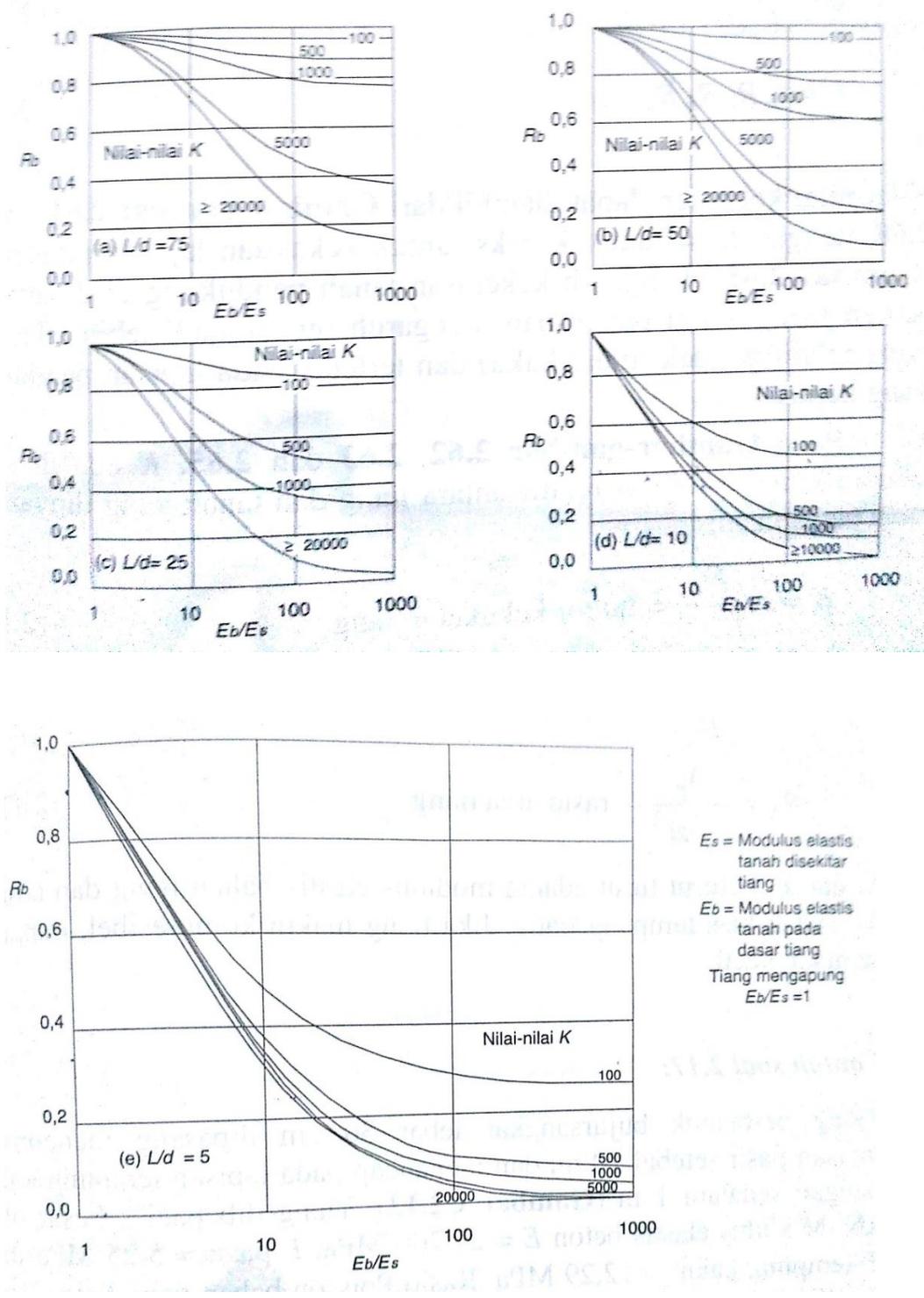
Gambar 3.10 Koreksi kedalaman, R_h (Poulos dan Davis, 1980)

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 3.11 Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980)

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)



Gambar 3.12 Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b (Poulos dan Davis,1980)

(Sumber : Hardiyatmo,2010)

- b. Untuk tiang dukung ujung dapat menggunakan Persamaan 3.28 dan Persamaan 3.29 berikut.

$$S = \frac{QI}{Esd} \quad (3.28)$$

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu \quad (3.29)$$

Nilai nilai koefisien dapat diambil dari Gambar – gambar 3.9 sampai 3.13, dengan R_b = faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung (Gambar 3.13). pengaruh kekerasan tanah pendukung di dasartiang adalah mengurangi penurunan. Pengaruh ini menjadi lebih jelas bila tiang relatif pendek (tiang kaku) dan terletak pada lapisan pendukung yang keras.

Pada Gambar – gambar 3.9, 3.10 dan 3.13, K adalah suatu ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah yang dinyatakan oleh Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31 berikut.

$$K = \frac{E_p \cdot R_A}{E_s} = \text{faktor kekakuan tiang} \quad (3.30)$$

$$R_A = \frac{A_p}{1/4 \pi \cdot d^2} = \text{rasio area tiang} \quad (3.31)$$

E_p dan E_s beturut-turut adalah modulus elastis bahan tiang dan tanah, A_p adalah luas taqmpak tiang. Jika tiang makin kompresibel, maka K semakin kecil.