

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Substruktur**

Substruktur atau struktur bawah adalah semua bagian dari struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah yang berfungsi untuk menahan beban dari bangunan atas dan meneruskannya kedalam tanah keras. Substruktur meliputi dudukan beton (*pile cap*) dan pondasi.

Struktur bawah memikul beban-beban dari struktur atas sehingga struktur bawah tidak boleh gagal terlebih dahulu dari struktur atas. Beban-beban yang dipikul berupa beban mati (DL), beban hidup (LL), beban gempa (E), dll.

Struktur bawah harus direncanakan dengan teliti, baik dan benar. Kesalahan dalam perencanaan struktur bawah akan sangat fatal dan bisa berakibat runtuhnya bangunan struktur atas.

#### **2.2 Pembebanan**

Dalam semua perencanaan struktur memerlukan perhitungan pembebanan, hal tersebut menjadi salah satu bagian terpenting dalam perencanaan. Perhitungan pembebanan harus dilakukan secara teliti, baik dan benar agar tidak terjadi kesalahan dalam melaksanakannya, karena jika ada kesalahan akan berpengaruh pada desain bangunan.

Pembebanan dibagi menjadi dua bagian menurut arah kerjanya, yaitu beban horisontal dan beban vertikal. Beban Horizontal merupakan beban dinamis yang mempunyai variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Contoh dari beban dinamis yaitu beban gempa dan beban angin. Beban vertikal merupakan beban statis yang perubahan intensitas beban terhadap waktu termasuk konstan atau lambat. Pada struktur bangunan gedung ini direncanakan menggunakan beban dinamis hanya beban gempa saja.

### 2.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektual dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

### 2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang bersifat dinamis atau bisa berpindah - pindah dan tidak tetap, beban akibat pergerakan barang dan penggunaan bangunan tidak termasuk kedalam beban hidup. Beban hidup juga bergantung dengan fungsi dari bangunan yang akan direncanakan, jadi berbeda fungsi bangunan berbeda pula beban hidupnya. Beban hidup yang dihitung berdasar pada aturan-aturan yang ditunjukkan pada tabel 2.1 (SNI 1727, 2013)

**Tabel 2.1** Beban Hidup terdistribusi Merata Minimum, Lo dan Beban Hidup

Hunian atau Penggunaan	Merata, Lo psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang Kantor	100 (4,79)	2000 (8,9)
Ruang Komputer		
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayananan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan		200 (0,89)

Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92)	
Susunan tangga, rel pegangan dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) tidak boleh direduksi	
Rumah sakit Ruang operasi, laboratorium Ruang pasien Koridor di atas lantai pertama	60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor di atas lantai pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Pabrik Ringan Berat	125 (6,00) 250 (11,97)	2000 (8,90) 3000 (13,40)
Gedung perkantoran: Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,90) 2000 (8,90) 2000 (8,90)
Lembaga hukum Blok sel Koridor	40 (1,92) 100 (4,79)	
Tempat rekreasi Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang Sama Bangsal dansa dan Tuang dansa Gimnasium Tempat menonton baik terbuka atau tertutup Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 60 (2,87)	
Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92) 100 (4,79)	
Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap digunakan untuk taman atap Atap yang digunakan untuk tujuan lain  Atap yang digunakan untuk tujuan lainnya Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka	20 (0,96) 100 (4,79) Sama seperti hunian dilayani  5 (0,24) tidak	200 (0,89)

kaku ringan	boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan Lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1000 (4,45)
Penghalang Kendaraan	Lihat Pasal 4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

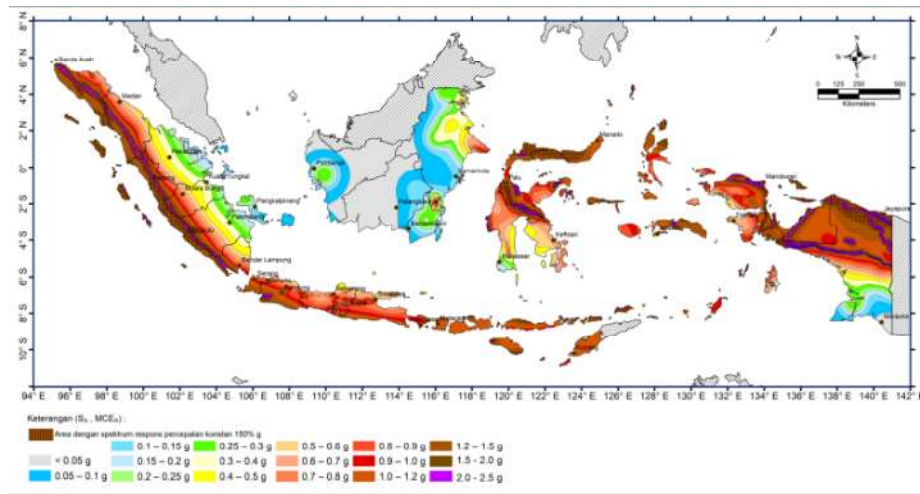
(Sumber : SNI 1727-2013)

### 2.2.3 Beban Kombinasi Terfaktor

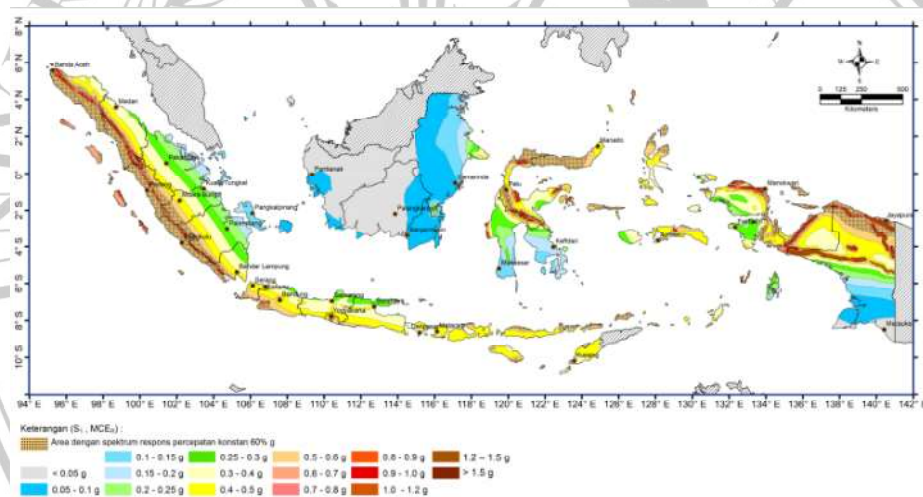
Beban kombinasi terfaktor adalah jumlah dari seluruh beban - beban luar yang bekerja pada struktur. Beban - beban tersebut dikalikan dengan faktor pembesaran yang bersumber dari metode ultimit dan metode tegangan. Fungsi dari beban kombinasi ini adalah agar struktur gedung maupun bukan gedung mampu menerima dan memikul beban yang lebih besar daripada beban aktual dari struktur tersebut, sehingga struktur tidak mengalami kegagalan.

### 2.2.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang terjadi akibat pergerakan tanah di bawah struktur bangunan. Pergerakan tanah berdampak mengakibatkan getaran di struktur atas, getaran yang terjadi tercatat berupa beban mendatar yang terletak pada garis lurus di struktur atas bangunan, sehingga ditetapkan menjadi beban gempa rencana. Beberapa cara untuk menghitung beban gempa yaitu riwayat waktu (*time history*, *dynamic non-linier*), *push over*, statik ekivalen (*static equivalent*, *static linier*), dan respons spektrum. Beban gempa berpengaruh pada perencanaan seluruh struktur, maka dari itu beban gempa harus direncanakan dengan benar agar tidak terjadi kegagalan struktur pada struktur atas maupun struktur bawah. SNI 1726 tahun 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung mengatur perencanaan beban gempa. Gambar Peta - peta pergerakan tanah seismik dan koefisien resiko gempa tertinggi diperhitungkan, ditunjukkan seperti Gambar 2.1 dan gambar 2.2



**Gambar 2.1** Parameter gerak tanah S<sub>s</sub>, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5)  
(Sumber SNI 1726 : 2019)



**Gambar 2.2** Parameter gerak tanah S<sub>1</sub>, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5)  
(Sumber SNI 1726 : 2019)

#### 2.2.4.1 Koefisien - koefisien situs dan parameter - parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCER)

Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait

percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad [2.1]$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad [2.2]$$

Keterangan :

$S_s$  = Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan sebagai periode pendek

$S_1$  = Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan sebagai periode 1,0 detik

$F_a$  = Koefisien periode pendek

$F_v$  = Koefisien periode 1,0 detik

**Tabel 2.2** Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS <sup>(a)</sup>					

**Tabel 2.3** Koefisien situs,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

### 2.2.4.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan aspek spesifikasi desain seismik bangunan. Berdasarkan SNI 1726 - 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung, disediakan pada Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** Klasifikasi Situs

Kelas situs	Vs (m/detik)	N atau N <sub>ch</sub>	S <sub>u</sub> (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20 2. Kadar air, w ≥ 40% 3. Kuat geser niralir S <sub>u</sub> < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan /atau gambut (ketebalan H > 3m)		

### 2.2.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S<sub>DS</sub> dan pada periode 1 detik, S<sub>D1</sub>, harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

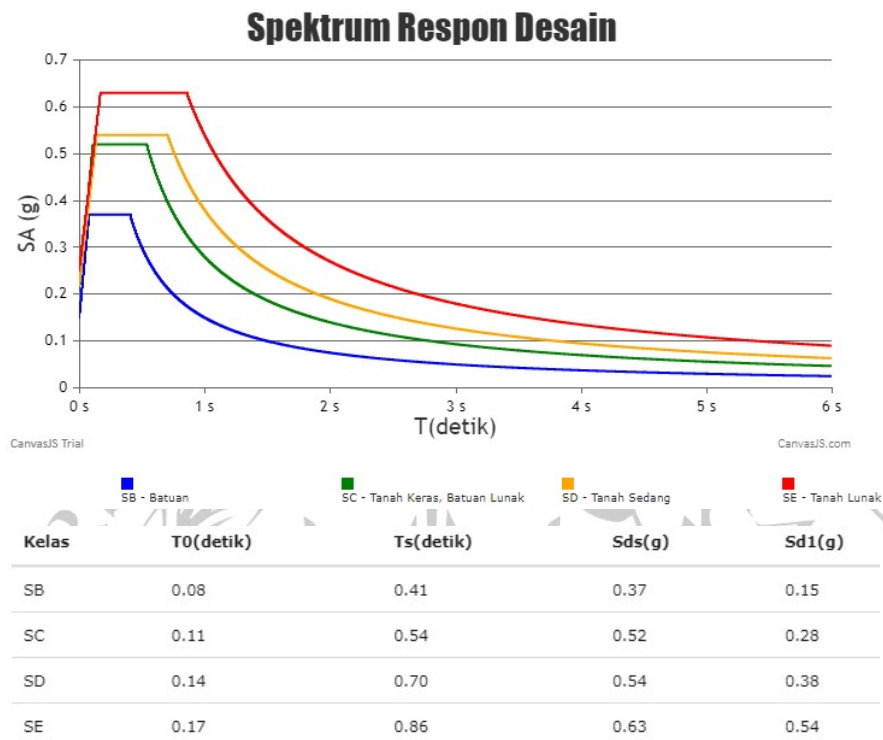
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad [2.3]$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad [2.4]$$

Untuk menyelesaikan persamaan S<sub>DS</sub> dan S<sub>D1</sub> dibutuhkan nilai S<sub>S</sub> dan S<sub>1</sub>, nilai tersebut dapat dilihat atau didapatkan pada situs resmi (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>). Pada situs resmi tersebut disediakan data gempa berdasarkan zona wilayah atau lokasi pembangunan yang direncanakan. Setiap daerah memiliki data gempa yang berbeda-beda dan ada perbedaan klasifikasi jenis tanah berdasarkan data tanah yang diperoleh dari uji tanah seperti sondir dan lain-lain. Berikut merupakan grafik korelasi antara percepatan respon



spektral mengenai periode gempa daerah Malang mengacu pada klasifikasi tanah yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah ini:



**Gambar 2.3** Grafik Percepatan Respon Spektra Gempa Wilayah Malang  
(Sumber: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>)

#### 2.2.4.4 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) dan kategori risiko dibagi dalam beberapa kategori berdasarkan jenis pemanfaatan dari bangunan gedung atau bukan gedung. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung atau bukan gedung sesuai Tabel 2.5 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) menurut Tabel 2.6, kedua tabel tersebut didapatkan berdasarkan SNI 1726 - 2019.

**Tabel 2.5** Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, 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, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung 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 berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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</li> </ul>	IV

darurat	
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.6 Faktor Keutamaan gempa

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

### 2.2.4.5 Spektrum Respons Desain

Menurut SNI 1726-2019, spektrum respons desain dapat ditentukan berdasarkan ketentuan-ketentuan berikut:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad [2.5]$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .

- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan;

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad [2.6]$$

- d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad [2.7]$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

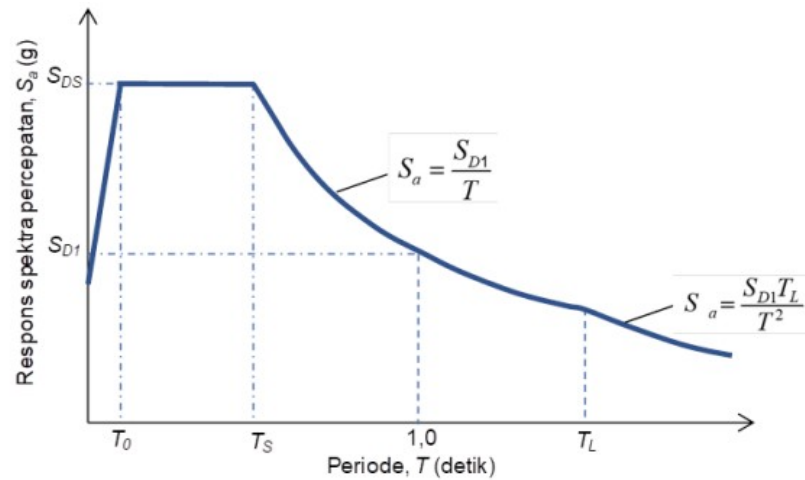
$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



**Gambar 2.4** Gambar Spektrum respons desain  
(Sumber: SNI 1726-2019)

#### 2.2.4.6 Kategori desain seismik

Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan parameter respons percepatan yang disajikan pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9, kedua tabel tersebut bersumber dari SNI 1726-2019:

**Tabel 2.7** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai $S_{Ds}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{Ds} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{Ds} < 0,33$	B	C
$0,33 < S_{Ds} < 0,50$	C	D
$0,50 < S_{Ds}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

**Tabel 2.8** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 < S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 < S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Untuk menentukan periode suatu prinsip pendekatan ( $T_a$ ) dalam satuan detik menurut (SNI 1726-2019) digunakan untuk menghitung periode bangunan yang ketinggian bangunan tersebut tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m, dengan  $N$  adalah jumlah bangunan, berikut adalah rumusnya:

$$T_a = 0,1 \cdot N \quad [2.8]$$

#### 2.2.4.7 Pemilihan Sistem Struktur

Pemilihan sistem penahan gaya gempa dengan rincian koefisien modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ), faktor pembesaran simpangan lateral ( $C_d$ ), serta batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur ( $h_n$ ). Nilai-nilai tersebut tercantum dalam SNI 1726-2019 dan disesuaikan dengan kombinasi sistem struktur penahan gempa yang dipakai.

#### 2.2.4.8 Gaya Geser Seismik

Gaya geser dasar ( $V$ ), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan ketentuan atau rumus dari SNI 1726-2019, sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad [2.9]$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan rencana

$W$  = berat bangunan (kN)

#### 2.2.4.9 Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Perhitungan koefisien respons seismik ( $C_s$ ) harus ditentukan dengan persamaan yang terdapat pada SNI 1726-2019, sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T_e}\right)} \quad [2.10]$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam periode pendek dapat dilihat pada situs resmi (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>)

R = Faktor modifikasi respons dapat dilihat pada Tabel 12 (SNI 1726-2019)

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 2.7

### 2.3 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan kolom sederhana yang direncanakan untuk pondasi dalam dengan meneruskan beban permukaan ke tanah di bawahnya, dimana tanah di sekitar permukaan tidak sesuai untuk memikul beban yang dikenakan oleh struktur. Beban ini dikirimkan melalui friksi antara tiang dengan tanah dan/atau melalui titik dukung (*point bearing*) di seluruh ujung tiang. Jumlah aktual dari tahanan friksi maupun daya dukung bergantung pada kondisi tanah di lapangan.

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam. (Sardjono HS, 1998: 7)

Pondasi tiang dengan jenis pracetak atau *pre-cast* adalah jenis pondasi yang pembuatannya berada di pabrik, sehingga membutuhkan pengangkutan ke lokasi pembangunan. Bentuk dari pondasi pracetak pada umumnya berbentuk prisma dan silindris, berikut ini merupakan beberapa jenis tiang pancang. (Sardjono HS, 1998: 8) :

A. Menurut cara pemindahan beban, tiang pancang dibagi 2 yakni :

- 1) Point bearing pile (End bearing pile)
- 2) Friction Pile

B. Menurut bahan yang digunakan, tiang pancang dibagi 4 yakni :

- 1) Tiang pancang kayu
- 2) Tiang pancang beton

- 3) Tiang pancang baja
- 4) Tiang pancang kompasite

## 2.4 Daya Dukung Izin Tiang

Daya dukung tiang merupakan kemampuan tiang untuk menahan beban dari terjadinya runtuh. Seluruh beban dari struktur atas bangunan dan gaya geser serta penurunan (*settlement*) harus mampu ditopang oleh tanah. Kekuatan izin tekan dan kekuatan izin tarik dapat ditinjau untuk mengetahui daya dukung tiang pancang.

Analisa perhitungan daya dukung izin tarik tiang terhadap kekuatan tanah menggunakan rumus dari data N-SPT (Mayerhof) sebagai berikut:

$$P_{ta} = \frac{(\sum li \cdot fi \cdot Ast) \cdot 0,70}{FK2} + W_p \quad [2.11]$$

Keterangan:

- $W_p$  : Bj Beton Bertulang x Luas Alas x kedalaman pondasi (ton)  
 $Ast$  : keliling tiang pancang (m)  
 $li$  : panjang segmen tiang (m)  
 $fi$  : gaya geser pada tiang  
 $(\text{ton/m}^2) FK2$  : Faktor keamanan (5)

### 2.4.1 Daya Dukung Izin Vertikal

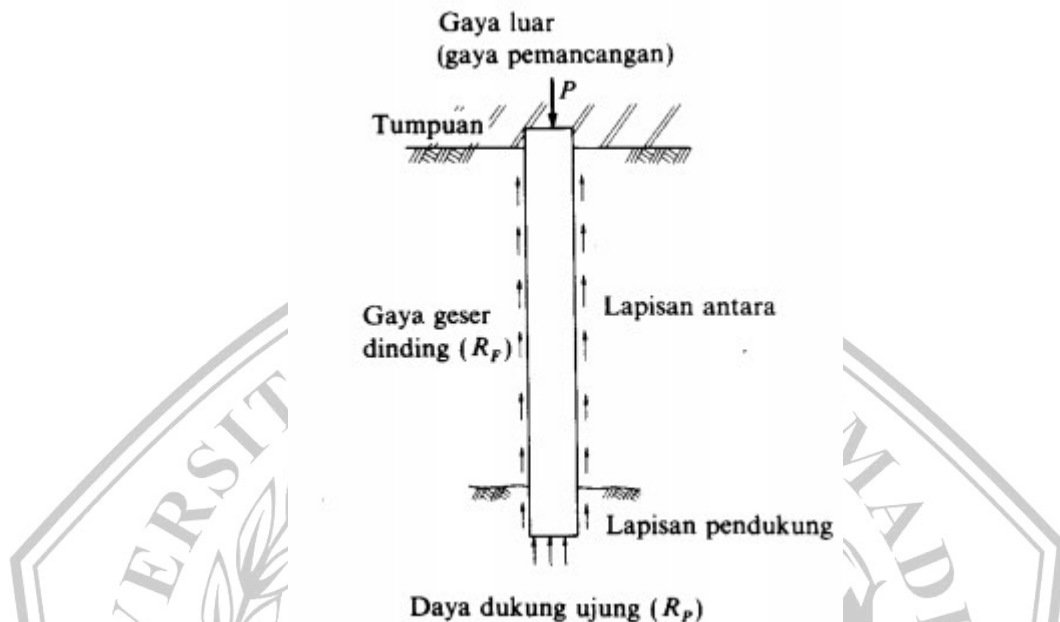
Menurut Sosrodarsono & Nakazawa (2000:99) daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang, dan besar dari daya dukung yang diizinkan  $R_a$ , dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R_a = \frac{1}{n} R_a = \frac{1}{n} (R_p + R_f) \quad [2.12]$$

Keterangan :

- $n$  : Faktor keamanan  
 $R_u$  : Daya dukung batas tanah pondasi (ton)  
 $R_p$  : Daya dukung terpusat tiang (ton)

RF : Gaya geser dinding tiang (ton)



**Gambar 2.5** Gambar Mekanisme daya dukung tiang  
(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000)

Secara praktis perkiraan ini berdasarkan rumus yang diajukan oleh Terzaghi ataupun Maeyerhof, atau dari rumus empiris yang diperoleh sebagai hasil pengikhtisaran dari data-data test pembebanan. Sebagai contoh, diambil rumus untuk jalan raya di Jepang sebagai berikut ini:

- Jika berat sendiri (*dead weight*) tiang, cukup besar, misalnya tiang yang dicor di tempat (*cast in place*):

$$Ra = \frac{1}{n} (Ru - Ws) + Ws - W \quad [2.13]$$

- Jika berat sendiri tiang, misalnya tiang pracetak yang berdiameter kecil, dapat diabaikan:

$$Ra = \frac{1}{n} \cdot Ru \quad [2.14]$$

$$Ru = qd \cdot A + U \cdot \sum li \cdot fi \quad [2.15]$$

Keterangan:

$Ra$ ,  $Ru$ , dan  $\eta$  adalah besaran yang sama seperti di atas.



$W_s$  = Berat efektif tanah yang dipindahkan oleh tiang (ton)

$W$  = Berat efektif tiang dan tanah di dalam tiang (ton)

$q_d$  = Daya dukung terpusat tiang (ton)

$A$  = Luas ujung tiang ( $m^2$ )

$U$  = Panjang keliling tiang (m)

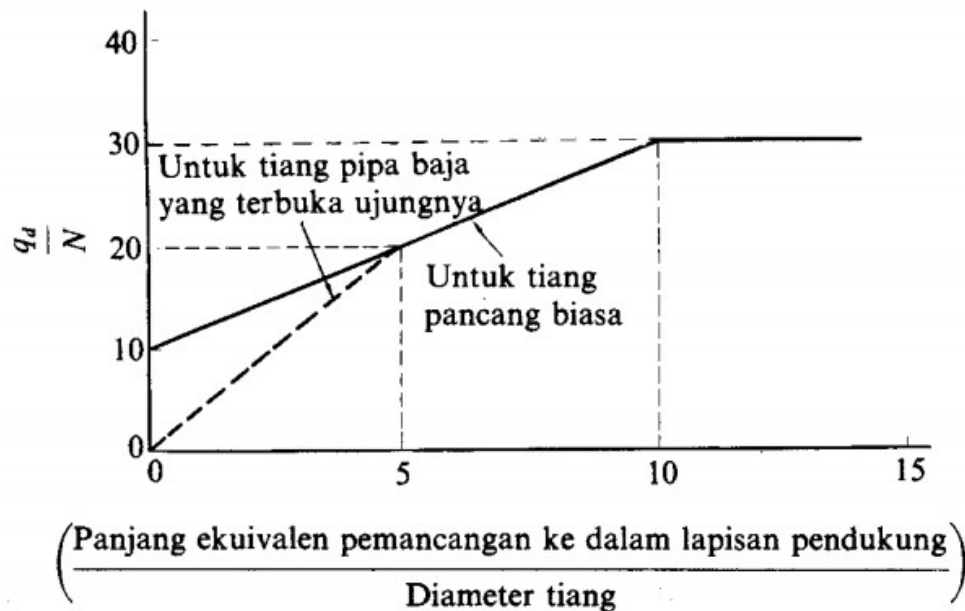
$l_i$  = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

$f_i$  = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang ( $ton/m^2$ )

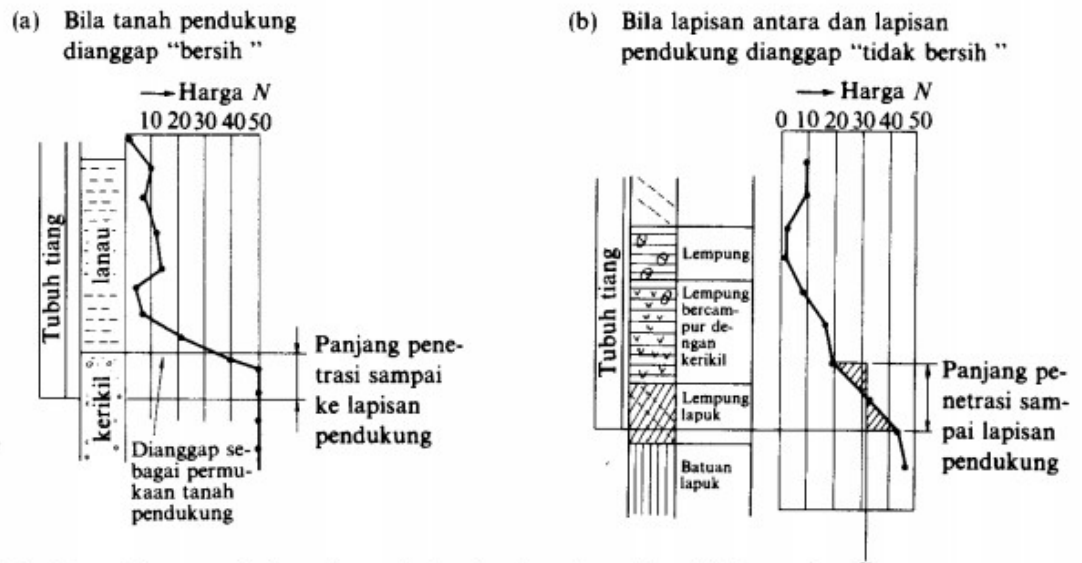
**Tabel 2.9** Faktor Keamanan Tiang Daya Dukung Vertikal yang diizinkan

	Jembatan Jalan Raya		Jembatan Kereta Api	Konstruksi Pelabuhan	
	Tiang Pendukung	Tiang Geser	-	Tiang Pendukung	Tiang Geser
Beban Tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + Beban Sementara	-	-	2		
Waktu gempa	2	3	1,5 (1,2)	Lebih besar dari 1,5	Lebih besar dari 2,0

(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000:100)



**Gambar 2.6** Gambar Diagram perhitungan dari intensitas daya dukung ultimate tanah pondasi pada ujung tiang  
(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000)



- (1) Harga  $N$  rencana dari tanah pondasi pada ujung tiang diperoleh dengan :

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} \quad (\bar{N} \leq 40)$$

$N_1$ : Harga  $N$  pada ujung tiang

$\bar{N}_2$ : Harga rata-rata pada jarak  $4D$  dari ujung tiang

- (2) Jarak dari titik di mana sebagian daerahnya sesuai dengan diagram distribusi harga  $N$  dari tanah pondasi dan garis  $N$  (bagian yang diarsir pada gambar) adalah sama untuk ujung tiang dan dianggap sebagai panjang penetrasi

(Catatan) Harga  $N$  rencana diperoleh dengan cara yang sama seperti (b)

(Keterangan) Dalam menentukan panjang ekuivalen penetrasi sampai ke lapisan pendukung, tidak hanya distribusi harga  $N$ , tetapi tekstur tanah pada log bor juga harus benar-benar dipelajari untuk memilih antara diagram (a) dan (b) di atas

Gambar 2.7 Cara menentukan panjang ekuivalen penetrasi sampai ke lapisan pendukung  
(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000)

Nilai dari daya dukung terpusat ( $q_d$ ) diperoleh dari hubungan antara  $L/D$  dan  $q_d/N$  pada Gambar 2.6.  $L$  adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung dan diperoleh dari Gambar 2.7.  $D$  adalah diameter tiang,  $N$  adalah harga rata-rata  $N$  pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan berikut:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad [2.16]$$

Keterangan:

$N$  = Harga  $N$  rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang

$N_1$  = Harga  $N$  pada ujung tiang

$N_2$  = Harga rata-rata  $N$  pada jarak  $4D$  dari ujung tiang

**Tabel 2.10** Intensitas Gaya Geser pada Dinding Tiang (t/m<sup>2</sup>)

Jenis tiang Jenis tanah pondasi	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah kohesif	C atau $N (\leq 12)$	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

(Sumber: Sosrodarsono &amp; Nakazawa, 2000)

Besarnya gaya geser maksimum dinding  $f_i$  diperkirakan pada Tabel 2.11 sesuai dengan jenis tiang dan sifat tanah pondasi,  $c$  dalam Tabel 2.11 adalah kohesi tanah pondasi di sekitar tiang dan dianggap sebesar 0,5 kali  $q_u$  (kekuatan geser unconfined/unconfined compression strength)

- Daya dukung ultimate pada tiang tunggal

Daya dukung ultimate pada tiang tunggal dihitung menggunakan rumus:

$$R_u = qd \cdot A + U \sum l_i \cdot f_i \quad [2.17]$$

- Daya dukung yang diizinkan untuk tiang tunggal

$$R_a = \frac{qd \cdot A}{FK1} + \frac{U \sum l_i \cdot f_i}{FK2} \quad [2.18]$$

#### 2.4.2 Daya Dukung Izin Horizontal

Daya dukung horizontal dihitung dengan menggunakan berbagai macam cara atau metode, hal ini dikarenakan jenis tanah yang berada di lapangan umumnya terdiri dari berbagai karakteristik yang kemudian membentuk lapisan tanah. Tiang dapat digolongkan sesuai dengan jenis ikatan dengan penutup *pile cap* yang berfungsi untuk mendapatkan hasil analisa gaya horizontal. Maka dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Tiang ujung jepit (fixed end pile)
2. Tiang ujung bebas (free end pile)

Menurut Mc Nulty (1956) pada buku mengartikan tiang ujung jepit sebagai tiang yang ujung atasnya tertanam dalam *pile cap* minim sedalam 60 cm, dan dengan begitu untuk tiang yang bagian atasnya tidak tertanam dan minimum dari 60 cm tergabung dalam tiang ujung bebas (*free end pile*). Daya dukung horizontal dihitung dengan rumus berikut (Pamungkas dan Harianti, 2013:60) :

$$H_u = 9 \times C_u \times D \times (L_p - \frac{3D}{2}) \quad [2.19]$$

$$M_{max} = H_u \left( \frac{L_p}{2} + \frac{3D}{2} \right) \quad [2.20]$$

Keterangan :

Hu : Daya dukung horizontal

Cu : *Undrained strength* (kN/m<sup>2</sup>)

D : Diameter pondasi (m)

L : Kedalaman / panjang pondasi (m)

Kp : Koefisien tekanan tanah pasif (t/m<sup>2</sup>)

Hasil perhitungan Mmax dibandingkan dengan momen vertikal dari pembebanan jika hasilnya lebih besar Mmax maka disebut tiang panjang. Umumnya tiang yang diperoleh adalah tiang panjang. Perhitungan Mmax dapat digolongkan sebagai tiang panjang, perhitungan tiang panjang sebagai berikut :

$$f = \frac{Hu}{9 \times Cu \times D} \quad [2.21]$$

Keterangan :

Hu : Daya dukung horizontal

Cu : *Undrained strength* (kN/m<sup>2</sup>)

D : Diameter pondasi (m)

## 2.5 Jumlah Tiang yang diperlukan pada Tiang Pancang Kelompok

Menurut Pamungkas dan Harianti (2013: 54) perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom dengan membagi gaya aksial dengan daya dukung tiang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$nP = \frac{P}{P_{all}} \quad [2.22]$$

Keterangan :

np : Jumlah tiang

P : Gaya aksial (ton)

Pall : Daya dukung izin tiang (ton)

Jarak antar tiang yang disyaratkan dalam kelompok dapat diuraikan sebagai berikut :

$$S = 2,5D \quad [2.23]$$

$$S = 3D \quad [2.24]$$

Keterangan :

S : Jarak masing - masing tiang dalam kelompok dihitung dari as ke as (m)

D : Diameter tiang (m)

Perhitungan efisiensi kelompok tiang pancang berdasarkan rumus Converse-Labbare dari Uniform Building Code AASHTO, yaitu :

$$\theta = \text{Arc Tan } \frac{d}{s} \quad [2.25]$$

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 m n'} \quad [2.26]$$

Keterangan :

s : Jarak masing - masing tiang dalam kelompok dihitung dari as ke as (m)

d : Diameter tiang (m)

Jika nilai Eg sudah didapatkan maka dapat ditentukan daya dukung izin vertikal tiang pancang kelompok, yaitu sebagai berikut :

$$Qu = Eg \times Ra \times \mu \quad [2.27]$$

Apabila nilai Qu lebih besar dari nilai gaya horizontal maka dinyatakan pondasi dengan jumlah yang telah dihitung aman, tidak perlu menambah pondasi, jika belum aman maka dapat ditambah jumlah pondasi.

## 2.6 Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Untuk menghitung beban maksimum dan minimum yang bekerja pada kelompok tiang yang sudah direncanakan tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pamungkas dan Harianti, 2013:57) :

$$P_{maks} = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \cdot X_{max}}{ny \cdot \Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y_{max}}{nx \cdot \Sigma Y^2} \quad [2.28]$$

Keterangan :

P<sub>max</sub> : beban maksimum tiang (ton)

P<sub>u</sub> : gaya aksial yang terjadi (terfaktor) (ton)

M<sub>y</sub> : momen yang bekerja tegak lurus sumbu y (m.ton)

M<sub>x</sub> : momen yang bekerja tegak lurus sumbu x (m.ton)

X<sub>max</sub> : jarak tiang arah sumbu x terjauh (m)

Y<sub>max</sub> : jarak tiang arah sumbu y terjauh (m)

Σx<sup>2</sup> : jumlah kuadrat X

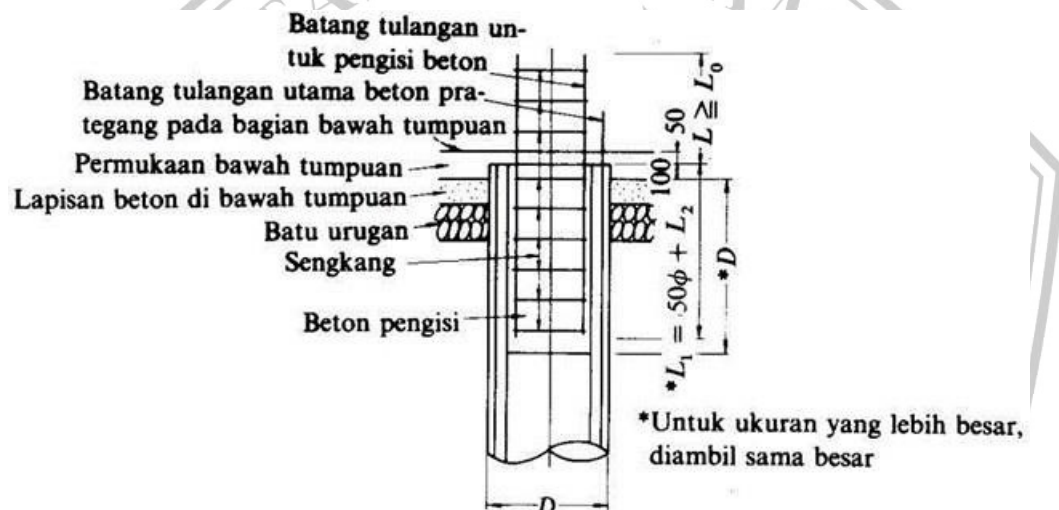
Σy<sup>2</sup> : jumlah kuadrat Y

- $n_x$  : banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x  
 $n_y$  : banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y  
 $n_p$  : jumlah tiang

Apabila  $P_{max}$  bernilai positif maka *pile cap* mendapatkan gaya tekan, dan sebaliknya apabila  $P_{max}$  bernilai negatif maka *pile cap* mendapatkan gaya tarik.

## 2.7 Perencanaan Sambungan Tiang Pancang dengan *Pile Cap*

Sambungan antara tiang pancang dengan *pile cap* diletakan pada bagian yang tertanam cukup kecil memanfaatkan tulangan pada beton karena tiang masih bisa menahan momen. Perencanaan sambungan tiang pancang dengan *pile cap* terdapat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Sambungan tiang pancang dengan pile cap  
(Sumber: Erny & Pamungkas, 2013)

## 2.8 Perencanaan *Pile Cap*

Saat perencanaan *pile cap* yang dihitung adalah dimensi *pile cap* serta tulangan yang dibutuhkan agar bisa menahan gaya - gaya yang terjadi pada *pile cap*. Tegangan geser izin beton mempengaruhi ketebalan *pile cap*, maka dari itu tegangan geser yang dihitung harus pada potongan terkritis. Momen lentur pada pelat penutup tiang harus dihitung dengan menganggap momen tersebut bekerja pada pusat tiang ke permukaan kolom terdekat.

Merencanakan jarak antar tiang harus terlebih dahulu dihitung sebelum merencanakan *pile cap* agar dimensi *pile cap* dapat diketahui. Ukuran *pile cap*

sangat ditentukan oleh banyaknya tiang dalam satu kelompok tiang dan jarak antar tiang, sehingga jarak antar tiang akan sangat mempengaruhi dimensi *pile cap*. Jarak tiang pada kelompok tiang biasanya diambil  $2,5D - 3D$ , dimana  $D$  adalah diameter tiang (Pamungkas dan Harianti, 2013:87)

## 2.9 Penulangan *Pile Cap*

Penulangan *pile cap* dianggap sama dengan penulangan balok, perencanaan penulangan *pile cap* mempunyai beberapa langkah sebagai berikut :

- 1) Rencanakan sebagai balok persegi dengan lebar ( $b$ ) dan tinggi efektif

$$K_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad [2.29]$$

Keterangan :

$M_u$  : Momen yang terjadi pada balok (kg.m)

$b$  : Lebar balok (m)

$d$  : Tinggi efektif (m) ( $h - 60 \text{ mm}$ )

$h$  : Tinggi balok (m)

$\phi$  : Faktor reduksi (0,8)

- 2) Untuk tulangan harus didistribusikan merata dalam jarak sama dengan sisi terpendek pondasi yang berpusat pada garis tengah kolom atau padestal. Sisa tulangan yang dibutuhkan pada sisi  $(1 - \gamma_s)$  As harus didistribusikan merata diluar jalur tengah pondasi dengan  $\gamma_s$  dihitung

$$\gamma_s = \frac{2}{\beta + 1} \quad [2.30]$$

Diketahui,  $\beta$  merupakan rasio antara sisi panjang terhadap sisi pendek pondasi dan spasi antar tulangan dibuat seragam di seluruh dimensi terpanjang, dan ketebalan pondasi harus tetap dipilih sehingga ketebalan efektif tulangan bawah sekurang - kurangnya adalah 300 mm.

Pemeriksaan terhadap rasio tulangan tarik :

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} \quad [2.31]$$

- 3) Hasil luas tulangan yang dihitung, maka dapat dilanjutkan dengan merencanakan jarak tulangan dan diameter yang disesuaikan dengan luas tulangan yang telah dihitung sebelumnya.
- 4) Cek terhadap tinggi efektif yang digunakan adalah ( $d_{\text{pakai}} > d_{\text{rencana}}$ )

## 2.10 Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan tiang pancang kelompok adalah jumlah dari penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam waktu dekat (*elastic settlement* atau *immediate settlement*)  $S_i$  dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*)  $S_c$ . Penurunan total merupakan penjumlahan dari kedua jenis penurunan tersebut.

$$S_t = S_i + S_c \quad [2.32]$$

### 2.10.1 Penurunan Segera (*elastic settlement* atau *immediate settlement*)

Penurunan segera adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan. Menurut Janbu, Olerrum, dan Kjaernsti (1956), hal tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$S_i = \mu_1 \cdot \mu_0 \cdot \frac{qB}{E_u} \quad [2.33]$$

Keterangan

$S_i$  : Penurunan segera (m)

$q$  : Tekanan yang terjadi ( $P_u/A$ )

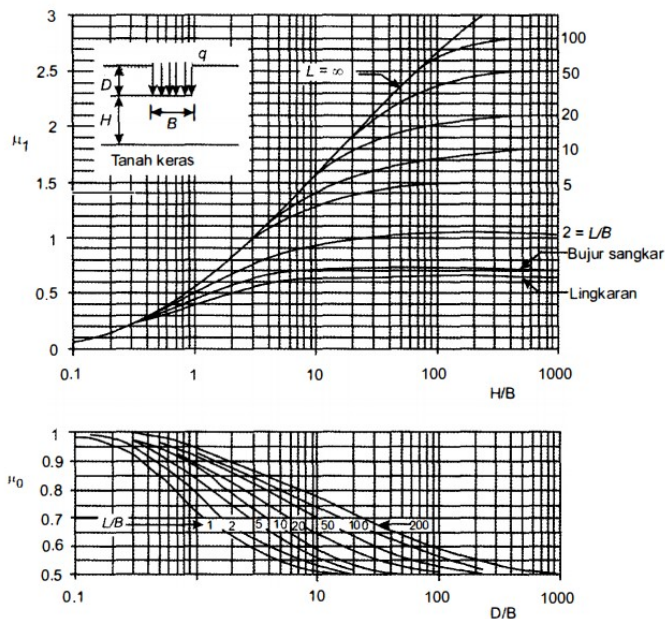
$B$  : Lebar kelompok tiang (m)

$E_u$  : Modulus deformasi pada kondisi undrained ( $\text{kN/m}^2$ )

$\mu_1$  : Faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal sedang

$\mu_0$  : Faktor koreksi untuk kedalaman pondasi  $D_f$





**Gambar 2.9** Grafik faktor koreksi  $\mu_1$  dan  $\mu_0$  (Janbu, Bjerrum dan kjaernsli)  
(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

Nilai modulus elastis dapat diperoleh dari pengujian SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan modulus elastisitas yang dihubungkan dengan nilai NSPT, berikut nilai  $E_u$  didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = 10 (N + 15) \text{ (k/ft}^2\text{)} \text{ (untuk pasir)} \quad [2.34]$$

$$E = 6 (N + 5) \text{ (k/ft}^2\text{)} \text{ (untuk lempung)} \quad [2.35]$$

Dengan nilai  $1 \text{ k/ft}^2 = 0,49 \text{ kg/cm}^2 = 48,07 \text{ kN/m}$

### 2.10.2 Penurunan Konsolidasi (*long term consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi adalah perpindahan vertikal permukaan tanah sehubungan dengan perubahan volume pada suatu tingkat dalam proses konsolidasi. Nilai Penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S_c = \frac{H}{1 + e_0} \times C_c \times \text{Log} \cdot \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \quad [2.36]$$

$$\Delta p = \frac{A_0}{A_1} \times q \quad [2.37]$$

Keterangan :

$S_c$  : Penurunan konsolidasi (m)

- $C_c$  : Indeks pemampatan  
 $e_0$  : Angka pori awal  
 $H$  : Tebal lapisan tanah yang ditinjau (m)  
 $\Delta p$  : Besarnya tegangan di muka tanah (kN/m<sup>2</sup>)

### 2.10.3 Kecepatan Penurunan Konsolidasi

Estimasi kecepatan penurunan konsolidasi dibutuhkan untuk mengetahui besarnya kecepatan penurunan pondasi selama proses konsolidasi berlangsung. Untuk menghitung penurunan konsolidasi pada waktu tertentu digunakan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot H_t^2}{C_v} \quad [2.38]$$

Keterangan :

- $T_v$  : faktor waktu  
 $H_t$  : panjang lintasan drainase (  $H_t = H/2$ , untuk drainase dobel dan  $H_t = H$  untuk drainase tunggal) (m)  
 $H$  : tebal lapisan lempung yang mampat (m)  
 $C_v$  : koefisien konsolidasi pada interval tekanan tertentu (m<sup>2</sup>/det)

**Tabel 2.11** Hubungan faktor waktu ( $T_v$ ) dan derajat konsolidasi ( $U$ )

U %	$T_v$
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	$\infty$

(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

#### 2.10.4 Penurunan Izin

Menurut SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik pasal 9.2.4.3 tentang penurunan izin. Besarnya penurunan total dan beda penurunan yang diizinkan ditentukan oleh toleransi struktur atas bangunan dan bangunan sekitar yang harus ditinjau berdasarkan masing - masing kasus tersendiri dengan mengacu pada stabilitas bangunan, integritas bangunan dan fungsi bangunan. Penurunan izin yang disyaratkan harus sebagai berikut :

$$< 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} \quad (b \text{ dalam satuan cm}) \quad (\text{untuk bangunan tinggi}) \quad [2.39]$$

Beda penurunan (*diffrential settlement*) yang telah diperkirakan akan terjadi harus ditentukan secara seksama dan konservatif, serta pengaruhnya terhadap struktur atas bangunan harus dicek untuk menjamin bahwa beda penurunan tersebut masih memenuhi kriteria kekuatan dan kemampulayakan.

$$\frac{St_{max} - St_{min}}{L} \leq \frac{1}{300} \quad [2.40]$$

Keterangan

$St_{max}$  : Penurunan terbesar (cm)

$St_{min}$  : Penurunan terkecil (cm)

L : Panjang bangunan (cm)