

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pondasi

Pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian bangunan bawah tanah dan daerah tanah dan/atau batuan yang berdekatan yang akan dipengaruhi oleh kedua elemen bagian bangunan bawah tanah dan beban-bebannya (Bowles, 1983). Pada klasifikasi pondasi menurut Bowles (1983), pondasi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

- a. pondasi-pondasi dangkal – yang disebut telapak, telapak-sebar, atau telapak anyaman. Kedalaman pondasi pada umumnya adalah $D_f \leq B$
- b. pondasi-pondasi dalam – tiang pancang atau kaisan dengan $D_f > 4$ sampai $5B$. Dengan D_f adalah kedalaman pondasi dan B adalah lebar pondasi.

2.2 Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan/atau baja, yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam masa tanah (Bowles, 1991). Tiang pancang dibuat di luar lokasi proyek (*precast pile*) yang kemudian didatangkan untuk dipancang ke dalam tanah. Cara pemancangan adalah dengan memukul tiang menggunakan alat pemukul/*hammer* dengan cara menjatuhkannya dari ujung atas *lead* ke ujung atas tiang.

2.3 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Tanah harus mampu memikul beban dari setiap konstruksi teknik yang diletakkan pada tanah tersebut tanpa kegagalan (*shear failure*) geser dan dengan penurunan (*settlement*) yang dapat ditolerir untuk konstruksi tersebut. Banyak sekali metode yang dapat digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi, diantaranya dengan menggunakan data lapangan dari hasil N-SPT, dan data hasil tes pembebanan statik/*loading test*.

2.3.1 Perhitungan Daya Dukung *Ultimate* Pondasi Berdasarkan Data Lapangan dengan Metode Schmertmann – Nottingham (1975)

Schmertmann – Nottingham (1975) menganjurkan perhitungan daya dukung ujung pondasi tiang menurut cara Begemann, yaitu diambil dari nilai rata-rata perlawanan ujung sondir $8D$ di atas ujung tiang dan $0,7D - 4D$ di bawah ujung tiang. D adalah diameter tiang atau sisi tiang.

$$Q_s = K_{s,c} \left[\sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} f_s A_s + \sum_{z=8D}^L f_s A_s \right] \quad (2-1)$$

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} A_b \quad (2-2)$$

dimana:

Q_p = daya dukung ujung tiang

q_{c1} = nilai q_c rata-rata pada $0,7D - 4D$ dibawah ujung tiang

q_{c2} = nilai q_c rata-rata $8D$ diatas ujung tiang

A_b = luas proyeksi penampang tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

$K_{s,c}$ = faktor koreksi gesekan selimut tiang

f_s = nilai friksi, didapat dari mengalikan

A_s = luas selimut tiang

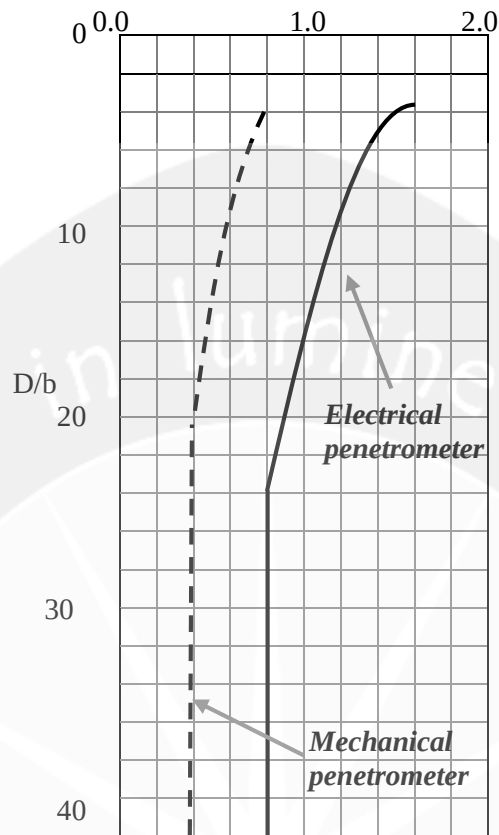
Schmertmann (1967) menggunakan korelasi nilai N-SPT dengan tahanan konus untuk menentukan daya dukung ujung dan tahanan selimut tiang. **Tabel 2.1** menunjukkan nilai korelasi gesekan selimut dan tahanan ujung tiang pancang menurut Schmertmann.

Tabel 2.1 Nilai Korelasi Gesekan Selimut & Tahanan Ujung Tiang Pancang

Jenis Tanah	Keterangan	Gesekan Selimut (kgr/cm ²)	Tahanan Ujung (kgr/cm ²)
Pasir bersih (utk N>60, diambil N = 60)	GW, GP, GM, SW, SP, SM	0,019 N	3,2 N
Lempung kelanauan bercampur pasir, pasir kelanauan lanau	GC, SC, ML, CL	0,04 N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	1,6 N
Lempung plastis	CH, OH	0,05 N (dianjurkan direduksi utk lempung kaku dan lempung kepasiran)	0,7 N
Batu gamping rapuh, pasir berkarang		0,01 N	3,6 N

Sumber: Schmertmann (1967)

$K_{s,c}$ adalah faktor koreksi gesekan selimut tiang yang nilainya tergantung pada kedalaman dan nilai gesekan selimut tiang. Nilai $K_{s,c}$ didapat dari plot pada **Gambar 2.1** di bawah.



Sumber: Schmertmann, 1967

Gambar 2.1 Grafik Faktor Koreksi Gesekan Selimut Tiang untuk Tiang Beton Persegi

2.3.2 Perhitungan Daya Dukung *Ultimate* Pondasi Berdasarkan Data Hasil Tes Pembebanan/*Loading Test* dengan Metode Davisson

Prosedur untuk menentukan beban *ultimate* menggunakan metode Davisson adalah sebagai berikut:

1. menggambar kurva hubungan antara beban dengan penurunan,
2. menentukan persamaan penurunan elastis (Δ)

$$\Delta = \frac{(Q_{VA} L)}{AE} \quad (2-3)$$

3. menggambar sebuah garis OA berdasarkan persamaan penurunan elastis (Δ)

4. menghitung nilai *offset* (x) garis OB terhadap garis AB

$$x = 0,15 + \left(\frac{D}{120} \right) \text{inchi} \quad (2-4)$$

5. menggambar sebuah garis OB
6. menentukan beban *ultimate* dari perpotongan garis OB pada kurva beban dengan penurunan

2.4 Daya Dukung Ijin Tiang Pancang

Daya dukung tiang didapat dengan cara membagi nilai daya dukung ultimit tiang dengan nilai faktor keamanan. Menurut Pugsley (1966), untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur sebagai berikut:

- a. Bangunan monumental, seperti menara, monumen, tugu monumental, dan lain-lain pada umumnya memiliki umur rencana lebih dari 100 tahun;
- b. Bangunan permanen, seperti bangunan-bangunan gedung, jembatan, jalan raya, jalan kereta api; pada umumnya memiliki umur rencana sekitar 50 tahun;
- c. Bangunan sementara, pada umumnya memiliki umur rencana kurang dari 25 tahun, bahkan setelah bangunan permanen yang didukung selesai bangunan sementara ini langsung dibongkar. Sebagai contoh: *cofferdam*, *bracing* untuk galian tanah, jembatan sementara dan lain-lain.

Tingkat pengendalian dan pengawasan selama konstruksi berjalan juga dapat dipakai untuk menentukan faktor keamanan. Tingkat pengendalian dapat dikategorikan sebagai berikut:

- a. Pengendalian baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi pondasi didasari pada program penyelidikan tanah dengan tingkat profesional, terdapat informasi uji pembebanan di lokasi proyek atau di lokasi sekitar proyek, dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat.
- b. Pengendalian sedang: kondisi ini mewakili kondisi yang paling umum dilakukan pada proyek konstruksi. Mirip dengan kondisi (1) – pengendalian baik, hanya saja kondisi tanah bervariasi dan tidak ada informasi mengenai data pengujian beban.
- c. Pengendalian kurang: tidak ada informasi uji pembebanan, tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian tanah dilakukan dengan baik, pengawasan kurang ketat.
- d. Pengendalian buruk: kondisi tanah sangat bervariasi atau dapat dikatakan sangat buruk, penyelidikan tanah tidak mencukupi, tidak ada data uji pembebanan.

Nilai faktor keamanan menurut Reese & O'Neill dilihat dari klasifikasi struktur serta jenis pengendaliannya terdapat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Faktor Keamanan untuk Pondasi Tiang

FAKTOR KEAMANAN			
Klasifikasi Struktur	Bangunan Monumental	Bangunan Permanen	Bangunan Sementara
Probabilitas kegagalan yang dapat diterima	$PF = 10^{-5}$	$PF = 10^{-4}$	$PF = 10^{-3}$
Pengendalian baik	2,3	2,0	1,4
Pengendalian sedang	3,0	2,5	2,0
Pengendalian kurang	3,5	2,8	2,3
Pengendalian buruk	4,0	3,4	2,8

Sumber: Reese & O'Neill (1989)

2.5 Faktor Pembebanan

2.5.1 Beban Mati

Definisi beban mati menurut SNI 1727 Tahun 2013 adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Nilai beban mati diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 dan terinci pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Nilai Beban Mati

BAHAN BANGUNAN	
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2.200 kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I) ⁽³⁾	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan batu merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³

KOMPONEN GEDUNG	
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
- Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah:	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang	

Tabel 2.3 Nilai Beban Mati (Lanjutan)

- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3 - 4 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit - langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (1983)

2.5.2 Beban Hidup

Definisi beban hidup menurut SNI 1727 Tahun 2013 adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Nilai beban hidup berdasarkan SNI 1727 Tahun 2013 terdapat pada **Tabel 2.4.**

Tabel 2.4 Nilai Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tangga)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2.000 (8,9)
Ruang computer	100 (4,79)	2.000 (8,9)
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 ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan di lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in x 1 in [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	
Truk dan bus		

Tabel 2.4 Nilai Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Susunan tangga, rel pengamanan dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) tidak boleh direduksi	
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2.000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3.000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2.000 (8,90)
Lembaga Hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	

Tabel 2.4 Nilai Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Susunan tangga, rel pengamanan dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan lain yang sama	75 (3,59)	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	100 (4,79) sama seperti hunian dilayani	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Rangka tumpu layar penutup		200 (0,89)

Tabel 2.4 Nilai Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2.000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau		300 (1,33)
setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang		
mendukung atap di atas pabrik, gudang, dan perbaikan		
Garasi/Parkir		
Semua komponen struktur atap dengan beban pekerja		300 (1,33)
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)
Baik-baik/scutties, rusuk untuk atap kaca, dan langit-langit yang		200 (0,89)
dapat diakses		
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan,	250 (11,97)	8.000 (35,6)
dan lahan/jalan untuk truk-truk		
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 penyimpanan 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 pertamanya	100 (4,79)	1000 (4,5)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,5)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1000 (4,5)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggalkan (selain jalan	60 (2,87)	
keluar)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

Sumber: SNI 1727 (2013)

2.5.3 Beban Gempa

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983, beban gempa didefinisikan sebagai semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Berikut adalah data-data yang diperlukan dalam penentuan beban gempa berdasarkan SNI 1726 Tahun 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yang disajikan pada **Tabel 2.5 – Tabel 2.9.**

Tabel 2.5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risik rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Tabel 2.5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risik tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk 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 dimana jumlah kandungn bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat bila terjadi kebocoran	II
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - 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 diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	IV

Sumber: SNI 1726 (2012)

Tabel 2.6 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
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726 (2012)

Tabel 2.7 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
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726 (2012)

Tabel 2.8 Faktor Keutamaan (Sumber: SNI 1726, 2012)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726 (2012)

Tabel 2.9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_i dan x

Tipe Struktur	C_i	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dan defleksi jika dikenal gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726 (2012)

2.5.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan peraturan SNI 1727 Tahun

2013 tentang adalah sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

dengan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

S = beban salju

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.6 Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

a. Metode Poulos dan Davis

Perhitungan efisiensi kelompok tiang dengan metode Poulos dan Davis dihitung dengan rumus berikut:

$$e = 1 - \frac{d}{\pi \cdot S \cdot m} \left[m(n-1) + (m-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)} \right] \quad (2-5)$$

dimana:

e = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang pondasi

d = diameter tiang

b. Metode Los Angeles Group

Perhitungan efisiensi kelompok tiang dengan metode Los Angeles Group dihitung dengan rumus berikut:

$$e = 1 - \frac{d}{\pi \cdot S \cdot m \cdot n} \left[m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2} \right] \quad (2-6)$$

2.7 Kelompok Tiang

Daya dukung *ultimate* kelompok tiang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\sum Q_u = m \cdot n (Q_p + Q_s) \cdot e \quad (2-7)$$

dimana:

m = jumlah baris dalam kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

e = efisiensi tiang kelompok

2.8 Perencanaan *Pile Cap*

Peraturan untuk perencanaan pondasi telapak tercantum pada SNI 2847 Tahun 2013. Perencanaan pondasi harus mencakup segala aspek agar terjamin keamanannya sesuai dengan persyaratan yang berlaku, misalnya: penentuan dimensi *pile cap*, tebal pondasi, dan jumlah/jarak penulangan yang harus dipasang pada pondasi. Secara garis besar, perencanaan pondasi, dalam hal ini *pile cap*, yang lengkap harus memenuhi 5 kriteria berikut:

1. Menentukan ukuran *pile cap*

Ukuran panjang dan lebar *pile cap* harus ditetapkan sedemikian rupa dengan menggunakan acuan rumus berikut:

Jarak antar tiang

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

Jarak tiang ke tepi

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D$$

2. Mengontrol kuat geser 1 arah

Gaya geser 1 arah yang bekerja pada dasar pondasi dapat mengakibatkan retak pondasi pada jarak $\pm d$ dari muka kolom, dengan d adalah tebal efektif pondasi. Menurut Nawi, Edward G (1998) mengatakan bahwa penampang kritis terhadap geser pada pondasi dianggap terletak pada bidang yang melintang seluruh lebar, dan terletak pada jarak d dari muka reaksi terpusat. Dalam hal demikian, kekuatan geser nominal penampang tersebut adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-8)$$

dengan: b_w adalah lebar pondasi.

3. Mengontrol kuat geser 2 arah

Akibat gaya geser 2 arah (geser pons), maka pondasi akan retak disekeliling kolom dengan jarak $\pm d/2$ dari muka kolom. Menurut Nawi, Edward G (1998), mengatakan bahwa penampang kritis yang tegak lurus terhadap bidang pelat dianggap terletak pada lokasi sedemikian rupa sehingga mempunyai keliling minimum b_o . Penampang kritis terjadi pada jarak $d/2$ dari muka tumpuan. Kekuatan geser penampang demikian adalah:

$$V_c = \left(\frac{2}{\beta_c} + 1 \right) \frac{1}{6} (\sqrt{f'_c}) b_o d \quad (2-9)$$

$$V_c = \frac{1}{3} (\sqrt{f'_c}) b_o d \quad (2-10)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \frac{1}{12} (\sqrt{f'_c}) b_o d \quad (2-11)$$

dengan:

$$\beta_c = \frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}}$$

b_o = keliling penampang kritis

α_s = 40 untuk pondasi kolom dalam

= 30 untuk pondasi kolom tepi

= 20 untuk pondasi kolom sudut

4. Menghitung tulangan *pile cap*

Beban yang bekerja pada pondasi berupa beban vertikal dengan arah ke atas yang disebabkan oleh tekanan tanah di bawah pondasi. Tulangan pondasi dihitung berdasarkan momen maksimal yang terjadi pada pondasi, dengan asumsi bahwa pondasi dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh bagian tepi kolom.

a. Penulangan Bagian Bawah Pondasi

Menghitung momen rencana yang terjadi pada *pile cap* menggunakan rumus:

$$M_u = 0,5 \cdot Q_u \cdot c^2 \cdot B \quad (2-12)$$

Nilai momen digunakan untuk menghitung kuat nominal dengan rumus berikut:

$$R_n = \frac{M_u}{\Phi b d^2} \quad (2-13)$$

Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan:

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad (2-14)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2-15)$$

Menghitung luas tulangan maksimum dan minimum:

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2-16)$$

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d \quad (2-17)$$

$$A_{s \min} = \rho_g \cdot b \cdot d \quad (2-18)$$

Menghitung jarak spasi antar tulangan:

$$s = \frac{\left(\frac{1}{4}\pi D^2\right)b}{A_s} \quad (2-19)$$

b. Penulangan Bagian Atas Pondasi

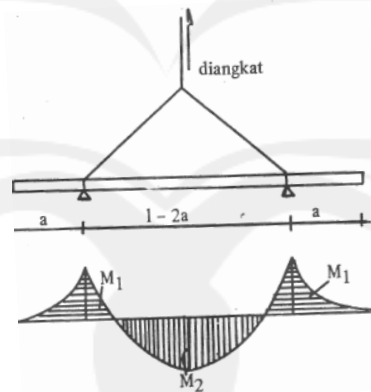
Penulangan untuk bagian atas pondasi digunakan sebanyak 50% dari luasan tulangan yang dibutuhkan pada bagian bawah.

Sehingga dapat ditulis $A_s = 50\% \times A_{s \text{ perlu}}$

2.9 Penulangan Tiang Pancang:

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kondisi pengangkatan:

a. Pengangkatan dengan 2 titik angkat



Sumber: Sardjono (1984)

Gambar 2.2 Kondisi 2 Titik Pengangkatan Tiang Pancang

Gambar 2.2 menunjukkan posisi pengangkatan tiang pancang dengan menggunakan 2 titik angkat dengan jarak masing-masing sebesar a dari ujung tiang. Pada saat pengangkatan tiang tersebut, terjadi momen yang bekerja pada

tiang akibat gaya angkat yang diberikan pada tiang. Momen yang terjadi adalah sebesar M_1 dan M_2 dengan nilai masing-masing momen adalah sebagai berikut:

$$M_1 = \frac{1}{2} ga^2 \quad (2-20)$$

$$M_2 = \frac{1}{8} g(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} ga^2 \quad (2-21)$$

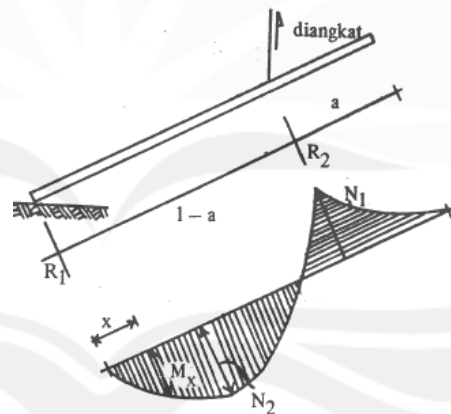
$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} ga^2 = \frac{1}{8} g(l - 2a)^2 - \frac{1}{2} ga^2 \quad (2-22)$$

$$4a^2 + 4al - l^2 = 0$$

b. Pengangkatan dengan 1 titik angkat

Sumber: Sardjono (1984)



Gambar 2.3 Kondisi 1 Titik Pengangkatan Tiang Pancang

Gambar 2.3 menunjukkan posisi pengangkatan tiang pancang dengan menggunakan 1 titik angkat dengan jarak sebesar a dari ujung tiang. Pada saat pengangkatan tiang tersebut, terjadi momen yang bekerja pada tiang akibat gaya angkat yang diberikan pada tiang. Momen yang terjadi adalah sebesar M_1 dan M_2 dengan nilai masing-masing momen adalah sebagai berikut:

$$M_1 = \frac{1}{2}ga^2 \quad (2-23)$$

$$M_2 = \frac{1}{2}g\left\{\frac{l^2 - 2al}{2(1-a)}\right\}^2 \quad (2-24)$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2}ga^2 = \frac{1}{2}g\left\{\frac{l^2 - 2al}{2(1-a)}\right\}^2$$

$$2a^2 - 4al + l^2 = 0 \quad (2-25)$$

Pada kedua kondisi pengangkatan tersebut, dipilih nilai momen yang terbesar sebagai dasar perencanaan.

Prosedur Perhitungan Penulangan Tiang Pancang (Muchtar, 2006):

1. M_u diperoleh dari perhitungan statika maka dipakai yang terbesar
2. Mencari M_u dipakai rumus:

$$M_u = 1,2 M_D \quad (2-26)$$

Mencari P_u dipakai rumus:

$$P_u = 1,2 P_O \quad (2-27)$$

3. Mencari eksentrisitas

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (2-28)$$

4. Rasio penulangan, syarat 2% - 6%

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (2-29)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2-30)$$

$$A = 2 \times A_s \quad (2-31)$$

5. Pemeriksaan P_u terhadap seimbang

- Mencari d

- Mencari $C_b = \frac{600}{600 + f_y} d$ (2-32)

- Harga β_1 ditetapkan sesuai mutu beton yang dipakai

- $ab = \beta_1 \cdot C_b$ (2-33)

- $E_{s'} = \frac{0,003(C_b - d')}{C_b}$ (2-34)

- $f'_{s'} = \frac{0,003(E_{s'})(C_b - d')}{C_b} > f_y$ (2-35)

- $P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot ab \cdot b + (A_s \cdot f_s) - (A_s \cdot f_y)$ (2-36)

$$\phi P_n = 0,75 P_{nb} < P_u \quad (2-37)$$

6. Pemeriksaan kekuatan penampang

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{d - d'}} + \frac{b h f' c}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \quad (2-38)$$

$$\phi P_n = 0,70 P_n > P_u \quad (2-39)$$

7. Merencanakan Tulangan Sengkang

- Menentukan tulangan untuk perencanaan
- Mencari nilai $\rho_{s(\min)}$

$$\rho_{s(\min)} = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \quad (2-40)$$

$$S_{(\max)} = \frac{4A_{sp}}{d_s \rho_s} \quad (2-41)$$