

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Struktur komposit (*Composite*) merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan bentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik untuk memikul beban tekan dan lentur.

Struktur komposit antara beton dan baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihan tersebut yaitu beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. Struktur baja komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik sebagai kolom, balok dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang didalamnya dicor beton atau baja profil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang (Widiarsa dan Deskata, 2007).

Sistem struktur komposit terbentuk akibat interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton adalah ketahanan terhadap api, mudah dibentuk dan murah (Kim, 2005 dalam Sasongko, 2011).

Dengan begitu, dalam penggabungan kedua material tersebut, maka didapatkan suatu konstruksi yang ideal, aman, dan ekonomis mengingat keunggulan dari kedua material tersebut.

2.2 Pembebanan

Pembebanan pada struktur merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perencanaan sebuah gedung. Beban merupakan gaya yang bekerja pada suatu landasan struktur. Beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan menjadi beban gravitasi yang meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban lateral yang meliputi beban gempa (*earthquake*) dan beban angin (*wind*).

Acuan yang digunakan dalam merencanakan pembebanan adalah sebagai berikut :

1. SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
2. PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
3. SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Adapun beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan suatu struktur bangunan adalah sebagai berikut :

2.2.1 Beban Mati (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.1)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari struktur yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang menjadi bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

| Material Gedung | Berat(kg/m ³) |
|---|---------------------------|
| Baja | 7850 |
| Batu alam | 2600 |
| Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat teumpuk) | 1500 |
| Batu karang (berat tumpuk) | 700 |
| Batu pecah | 1450 |
| Besi tuang | 7250 |
| Beton | 2200 |
| Beton Bertulang | 2400 |
| Kayu (kelas I) | 1000 |
| Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak) | 1650 |
| Pasangan bata merah | 1700 |
| Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung | 2200 |
| Pasangan batu cetak | 2200 |

| Material Gedung | Berat(kg/m³) |
|---|--------------------------------|
| Pasangan batu karang | 1450 |
| Pasir (kering udara sampai lembab) | 1600 |
| Pasir (jenuh air) | 1800 |
| Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab) | 1850 |
| Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab) | 1700 |
| Tanah lempung dan lanau (basah) | 2000 |
| Timah hitam | 11400 |
| Komponen Gedung | Kg/m² |
| Adukan, per cm tebal | |
| Dari semen | 21 |
| Dari kapur, semen merah atau tras | 17 |
| Aspal, termasuk bhan-bahan mineral penambah, per cm tebal | 14 |
| Dinding pasangan bata merah | |
| Satu bata | 450 |
| Setengah bata | 250 |
| Dinding pasangan batako | |
| Berlubang : | |
| Tebal dinding 20 cm (HB 20) | 200 |
| Tebal dinding 10 cm (HB 10) | 120 |
| Tanpa Lubang : | |
| Tebal dinding 15 cm | 300 |
| Tebal dinding 10 cm | 200 |
| 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 |
| Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm | 10 |
| Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ² | 40 |
| Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m | 7 |
| Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap | 50 |
| Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap | 40 |
| Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa Gordeng | 10 |
| Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal | 24 |
| Semen asbes gelombang (tebal 5 mm) | 11 |

Sumber : PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung

2.2.2 Beban Hidup (SNI 1727-2013)

Beban hidup adalah semua 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.

Tabel 2.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum

| Hunian atau Penggunaan | Merata psf (Kn/m ²) | Terpusat lb (Kn) |
|---|---|---------------------|
| Apartemen (lihat rumah tinggal) | | |
| Sistem lantai akses | | |
| Ruang kantor | 50 (2,4) | 2 000 (8,9) |
| Ruang komputer | 100(4,79) | 2 000 (8,9) |
| Gedung persenjataan dan ruang latihan | 150 (7,18) ^a | |
| Ruang pertemuan | | |
| Kursi tetap (terikat di lantai) | 100 (4,79) ^a | |
| Lobi | 100 (4,79) ^a | |
| Kursi dapat dipindahkan | 100 (4,79) ^a | |
| Panggung pertemuan | 100 (4,79) ^a | |
| Lantai podium | 150 (7,18) ^a | |
| Balkon dan dek | 1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlumelebihi 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 lain | |
| Ruang makan dan restoran | 100 (4,79) ^a | |
| Hunian (lihat rumah tinggal) | | |
| Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2in. [50 mmx50mm]) | | 300(1,33) |
| Konstruksi pelat lantai finishing 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) | |

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m ²) | Terpusat lb (kN) |
|---|--|---------------------|
| Tangga permanen | Lihat pasal 4.5 | |
| Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus | 40(1,92) ^{a,b,c} | |
| Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan | Lihat pasal 4.5 | |
| Helipad | 60 (2,87) ^{de} tidak boleh direduksi | e,f,g |
| 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) ^{a,h} | 1 000 (4,45) |
| Koridor diatas lantai pertama | 80 (3,83) | 1 000 (4,45) |
| Pabrik | | |
| Ringan | 125 (6,00) ^a | 2 000 (8,90) |
| Berat | 250 (11,97) ^a | 3 000 (13,4) |
| Gedung perkantoran : | | |
| Ruang arsip dan computer 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 (2,4) | 2 000 (8,90) |
| Koridor | 80 (3,83) | 2 000 (8,90) |
| Lembaga hukum | | |
| Blok sel | 40 (1,92) | |
| Koridor | 100 (4,79) | |
| Tempat rekreasi | | |
| Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama | 75 (3,59) ^a | |
| Bangsal dansa dan Ruang dansa | 100 (4,79) ^a | |
| Gimnasium | 100 (4,79) ^a | |
| Tempat menonton baik terbuka ata tertutup | 100 (4,79) ^{a,k} | |
| Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai) | 60 (2,87) ^{a,k} | |
| Rumah tinggal | | |
| Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) | | |
| Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang | 10 (0,48) ^l | |
| Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang | 20 (0,96) ^m | |

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m ²) | Terpusat lb (kN) |
|---|---|---------------------------|
| 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, berhubungan dan lengkung | 20 (0,96) ⁿ | |
| Atap digunakan untuk taman atap | 100 (4,79) | |
| Atap yang digunakan untuk tujuan lain | Sama seperti hunian dilayanai | |
| Atap yang digunakan untuk hunian lainnya | | |
| Awning dan kanopi | | |
| Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan | 5 (0,24) tidak boleh direduksi | 200 (0,89) |
| Rangka tumpu layar penutup | 5 (0,24) tidak boleh direduksi | |
| Semua konstruksi lainnya | Dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka 20 (0,96) | 2 000 (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) | 1 000 (4,45) |
| Koridor diatas lantai pertama | 80 (3,83) | 1 000 (4,45) |
| Koridor lantai pertama | 100 (4,79) | 1 000 (4,45) |
| Bak-bak/scuttles, rusukk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses | | 2 000 (8,9) |
| Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk | 250 (11,97) ^{a,p} | 8 000 (35,6) ^q |
| Tangga dan jalan keluar | 100 (4,79) | 300 ^r |
| Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja | 40 (1,92) | 300 ^r |

| Hunian atau penggunaan | Merata psf (kN/m ²) | Terpusat lb (kN) |
|--|--|--|
| Gudang diatas langit-langit Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer(jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk bebanlebih berat) Ringan Berat | 20 (0,96) 125 (6,00) ^a 250 (11,97) ^a | |
| Toko Eceran Lantai pertama Lantai diatasnya Grosir, di semua lantai | 100 (4,79) 75 (3,59) 125 (6,00) ^a | 1 000 (4,45) 1 000 (4,45) 1 000 (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) ^a | |

Sumber : SNI 1727-2013 *tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*

2.2.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi(baik gempa bumi tektonik maupun gempa bumi vulkanik) dan mempengaruhi struktur tersebut.

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726-2019 , dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Tiap Kota atau tempat di Indonesia akan memiliki grafik spectrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya.



Gambar 2.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.2.3.1 Parameter Analisa Beban Gempa Dinamik

Terdapat dua metoda dalam analisa beban gempa dinamik yaitu analisa ragam *spektrum respons* dan *time history*. Dalam penyusunan tugas akhir ini analisa beban gempa dinamik hanya menggunakan analisa ragam spektrum respons. Parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam analisa ragam spektrum respons adalah sebagai berikut:

1. Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan tabel 1 dalam SNI 1726-2019 berikut merupakan kategori resiko bangunan.

Tabel 2.3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Resiko |
|--|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | 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"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik | 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"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara | III |

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Resiko |
|---|-----------------|
| <p>- Bangunan untuk orang jompo</p> <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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <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 jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang 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"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - 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, tsunami, angin | IV |

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Resiko |
|--|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - 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 disyaratkan untuk beroperasi - pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | IV |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2. Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan tabel 2 dalam SNI 1726: 2019 berikut merupakan faktor keutamaan gempa:

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

| Kategori Resiko | Faktor Keutamaan Gempa, Ie |
|-----------------|----------------------------|
| I | 1,0 |
| II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

3. Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs berguna untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan, profil tanah harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.6, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Berdasarkan tabel 3 dalam SNI 1726 : 2019 berikut merupakan klasifikasi situs:

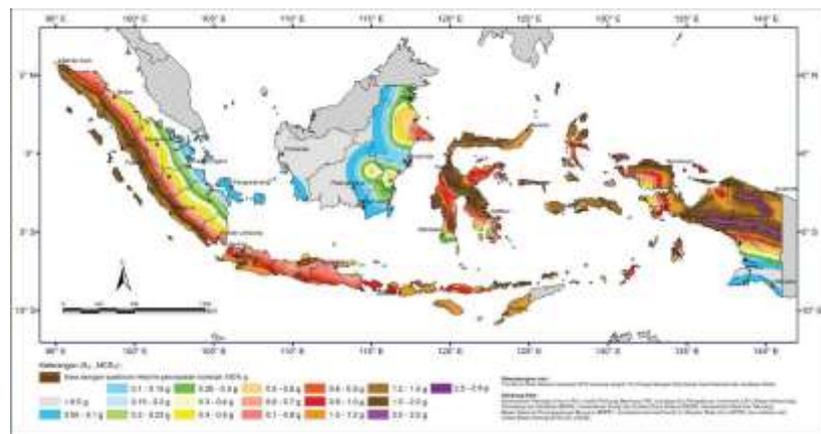
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | $\bar{V}_s (m / s)$ | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | $\bar{S}_U (kPa)$ |
|---|---|-------------------------------|---------------------------|
| SA (batuan keras) | >1500 m/s | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750-1500 m/s | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 – 750 m/s | >50 | $\geq 100 \text{ kN/m}^2$ |
| SD (tanah sedang) | 175 – 350 m/s | 15 – 50 | 50 – 100 kN/m^2 |
| SE (tanah lunak) | <175 m/s | <15 | <50 kN/m^2 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25 \text{ kPa}$ | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3 \text{ m}$) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa}$ | | |

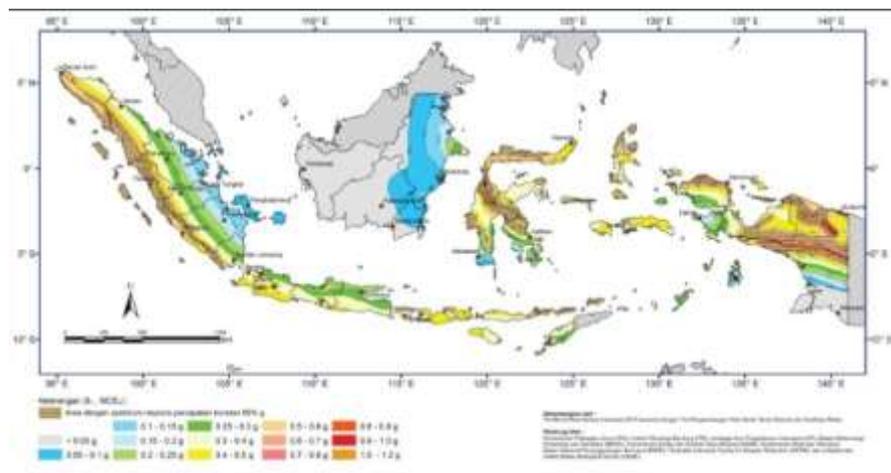
Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4. Parameter percepatan terpetakan

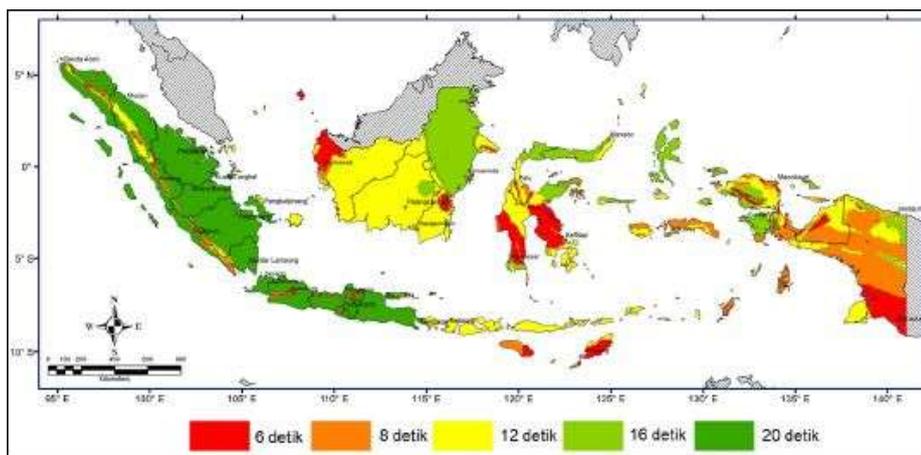
Parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun).



Gambar 2.2 Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%)



Gambar 2.3 Parameter Gerak Tanah S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%)



Gambar 2.4 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

5. Koefisien situs

Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda pendek 0,2 detik (F_a) dan perioda 1 detik (F_v) dalam penentuan respons spektral percepatan gempa MCER. Koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 2.9 dan 2.10.

Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_a

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s | | | | |
|---|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS^b | | | | |
| Catatan: | | | | | |
| a) Untuk nilai-nilai antara S_s , dapat dilakukan interpolasi linier | | | | | |
| b) SS^b = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1 | | | | | |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Tabel 2.7 Koefisien situs, F_v

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 | | | | |
|---|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_1 \leq 0,25$ | $S_1 = 0,5$ | $S_1 = 0,75$ | $S_1 = 1,0$ | $S_1 \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | SS^b | | | | |
| <p>Catatan:</p> <p>a) Untuk nilai-nilai antara S_1, dapat dilakukan interpolasi linier</p> <p>b) SS^b = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1</p> | | | | | |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

6. Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan perioda pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan perioda 1 detik.

7. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (SDS) dan perioda 1 detik (SD1), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

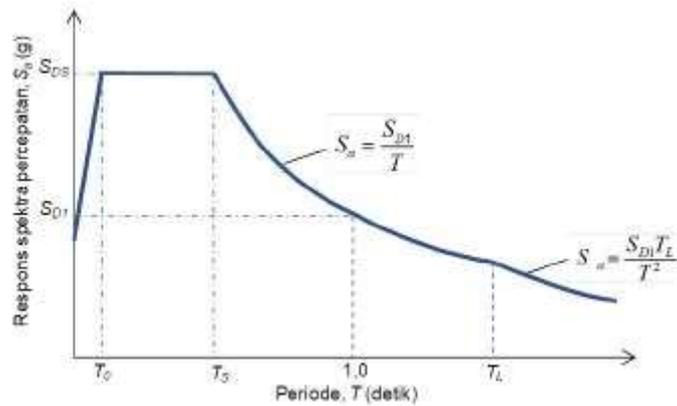
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_M \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk membuat periode yang lebih kecil dari T0, nilai Sa menggunakan persamaan berikut:

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

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.5 Spektrum Respon Desain Tertarget (M-CER)

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

8. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan tabel 6 dan 7 dalam SNI 1726: 2019 berikut merupakan kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan spektral desain:

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

| Nilai SDS | Kategori Resiko | |
|-------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $SDS < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq SDS < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq SDS < 0,50$ | C | D |
| $0,50 \leq SDS$ | D | D |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

| Nilai SDS | Kategori Resiko | |
|--------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $SD1 < 0,167$ | A | A |
| $0,067 \leq SD1 < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq SD1 < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq SD1$ | D | D |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

- Koefisien modifikasi respons (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan batasan ketinggian struktur. Berdasarkan tabel 9 dalam SNI 1726: 2019 berikut merupakan faktor-faktor R , Ω_0 , C_d :

Tabel 2.10 Faktor R, Ω_0 , Cd untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

| Sistem penahan gaya seismik | Koefisien modifikasi respons, R | Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b | Faktor pembesaran defleksi, C_d^o | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d | | | | |
|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---|----|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Kategori desain seismic | | | | |
| | | | | B | C | D ^e | E ^e | F ^f |
| Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5 ½ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Rangka batang baja pemikul momen khusus | 7 | 3 | 4½ | TB | TB | 48 | 30 | TI |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah | 4½ | 3 | 4 | TB | TB | 10 ^{h,I} | TI ^h | TI ^I |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa | 3½ | 3 | 3 | TB | TB | TI ^h | TI ^h | TI ^I |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5 ½ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4½ | TB | TB | TI | TI | TI |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | 2½ | TB | TI | TI | TI | TI |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5½ | TB | TB | TB | TB | TB |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4½ | TB | TB | TI | TI | TI |

| Sistem penahan gaya seismik | Koefisien modifikasi respons, R | Faktor kuat lebih sistem, Ω^b | Faktor pembesaran defleksi, C_d^o | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d | | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|----|----------------|----------------|----------------|
| | | | | Kategori desain seismic | | | | |
| | | | | B | C | D ^e | E ^e | F ^f |
| 10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen | 6 | 3 | 5½ | 48 | 48 | 30 | TI | TI |
| 11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa | 3 | 3 | 2½ | TB | TI | TI | TI | TI |
| 12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan | 3½ | 3 ^o | 3½ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Catatan: TB = tidak dibatasi TI = tidak diizinkan ^h = struktur yang dikenai kategori desain seismic D atau E ^l = dinding geser didefinisikan sebagai dinding structural | | | | | | | | |

Sumber : SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.2.4 Kombinasi Pembebanan

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 1726-2019 sehingga struktur memenuhi syarat keamanan. Kombinasi pembebanan tersebut antara lain :

1. $U = 1,4 D$ (2.8)
2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$ (2.9)
3. $U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ (2.10)
4. $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$ (2.11)

$$5. U = 1,2 D + 1,0 E + L + 0,25 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$6. U = 0,9 D + 1,0 W \dots\dots\dots (2.13)$$

$$7. U = 0,9 D + 1,0 E \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

U = Beban Ultimit

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

Lr = Beban hidup atap tereduksi

R = Beban Hujan

E = Beban Gempa

2.3 Metode Desain Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi ketentuan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban LRFD.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan :

$$Ru \leq \phi .Rn \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

Ru = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban

ϕ = Faktor ketahanan

Rn = Kekuatan nominal

ϕRn = Kekuatan desain

Kuat perlu, Ru adalah nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang dicari dengan menggunakan analisis struktur. Untuk mencari kuat perlu, Ru untuk tiap-tiap elemen struktur, maka diperlukan analisa struktur secara menyeluruh (global). Faktor kombinasi beban disiapkan untuk analisis struktur caraelastis. Hasil analisis struktur secara menyeluruh (global) untuk Ru selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi elemen per-elemen dan dibandingkan dengan kuat rencana , ϕRu yang ditinjau per-elemen juga, sesuai dengan gaya internal yang terjadi. Tinjauan per-elemen diperlukan karena karakter untuk setiap aksi dan perilaku keruntuhannya bisa berbeda-beda.

2.3.1 Faktor Reduksi

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan metode LRFD, ditentukan dalam SNI 03-1729-2002, sebagai berikut :

- | | |
|---|---------------|
| a. Komponen struktur memikul lentur | $\phi = 0,90$ |
| b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,85$ |
| c. Komponen struktur yang memikul gaya tarik | |
| 1. Terhadap kuat tarik leleh | $\phi = 0,90$ |
| 2. Terhadap kuat tarik fraktur | $\phi = 0,75$ |
| d. Komponen struktur lemah gaya aksial dan lentur | $\phi = 0,90$ |
| e. Komponen struktur komposit | |
| 1. Kuat tekan | $\phi = 0,85$ |
| 2. Kuat tumpu beton | $\phi = 0,60$ |
| 3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik | $\phi = 0,85$ |
| 4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastic | $\phi = 0,90$ |
| f. Sambungan baut | $\phi = 0,75$ |
| g. Sambungan las | |
| 1. Las tumpul penetrasi penuh | $\phi = 0,90$ |
| 2. Las sudut, las tumpul penetrasi, las pengisi | $\phi = 0,75$ |

2.4 Sifat-sifat Mekanik Baja

Adapun sifat-sifat mekanis baja adalah sebagai berikut :

- Modulus elastisitas, $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus geser, $G = 80.000 \text{ MPa}$
- Angka poisson (μ) = 0,30
- Koefisien muai panjang, $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Catatan : $1 \text{ MPa} = 10 \text{ kg/cm}^2$

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

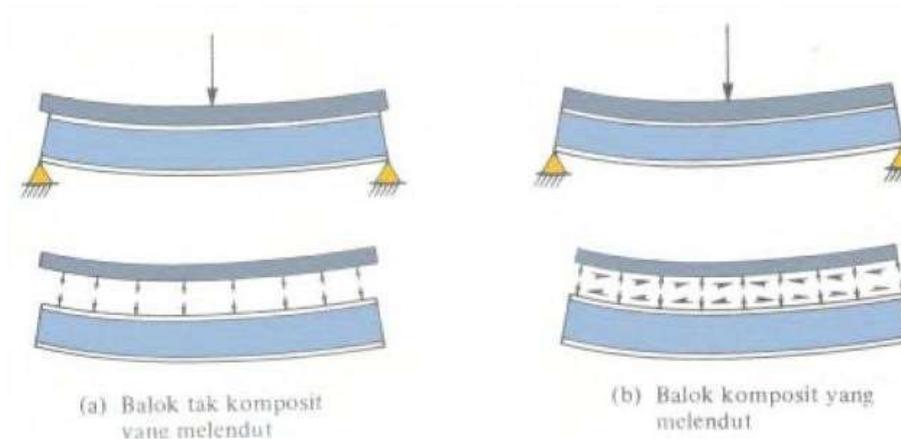
Tabel 2.11 Jenis Baja

| Jenis Baja | Tegangan putus minimum, f_u (MPa) | Tegangan leleh minimum, f_y (MPa) | Peregangan minimum (%) |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| BJ 34 | 340 | 210 | 22 |
| BJ 37 | 370 | 240 | 20 |
| BJ 41 | 410 | 250 | 18 |
| BJ 50 | 500 | 290 | 16 |
| BJ 55 | 550 | 410 | 13 |

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.5 Aksi Komposit

Aksi komposit terjadi apabila dua batang struktural pemikul beban, seperti pada pelat beton dan balok baja sebagai penyangganya, dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. (Widiarsa dan Deskata, 2007).



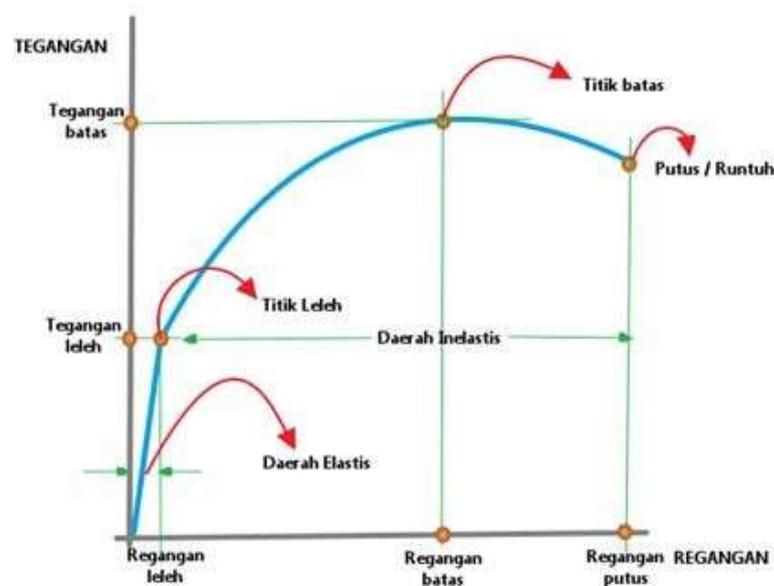
Gambar 2.6 Perbandingan Balok yang Melendut Dengan dan Tanpa Aksi Komposit (Salmon & Johnson, 1991)

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.6 Lendutan

Komponen struktur komposit memiliki momen inersia yang lebih besar daripada komponen struktur non komposit, akibatnya lendutan pada komponen struktur komposit akan lebih kecil. Momen inersia dari komponen struktur komposit hanya dapat tercapai setelah beton mengeras, sehingga lendutan yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja sebelum beton mengeras, dihitung berdasarkan momen inersia dari profil baja saja.

2.7 Diagram Tegangan-Regangan Baja



Gambar 2.7 Diagram Tegangan-Regangan Baja

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

Dari grafik diatas diketahui bahwa :

1. Daerah elastis adalah keadaan dimana baja masih bersifat elastis, artinya dapat kembali ke posisi semula.
2. Titik batas adalah keadaan dimana baja sudah dalam kondisi batas atau hampir putus.

2.8 Dasar Perencanaan Batang Tarik

Material baja mempunyai kemampuan sama dengan memikul gaya tarik atau gaya tekan. Mutu bahannya juga relatif tinggi, sehingga dimensi struktur cenderung langsing. Untuk struktur seperti itu, pemakaian material baja hanya efisien untuk batang tarik. Pada batang tekan kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), suatu permasalahan stabilitas yang dipengaruhi konfigurasi geometri (struktur penampang) dan tidak hanya materialnya saja.

2.8.1 Batas Kelangsingan

Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu batang tarik tidak dibatasi kelangsingannya, hanya disarankan $L/r \leq 300$. Saran didasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan resiko rusak yang kecil selama konstruksi.

2.8.2 Kuat Tarik Nominal

Kuat tarik rencana ϕP_n , dengan ϕ sebagai faktor ketahanan tarik dan P_n sebagai aksi nominal, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada penampang utuh dan penampang berlubang (tempat sambungan). Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan leleh (*yield*) :

$$P_n = f_y \times A_g \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$\phi = 0,9$ terhadap keruntuhan leleh

A_g = luas penampang bruto (gross)

Kuat tarik penampang berlubang (ditempat sambungan) akan memanfaatkan perilaku *strain-hardening* (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P_n = f_u \times A_e = f_u \times A_n \times U \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

$\phi = 0,75$ terhadap keruntuhan fraktur

A_n = luas penampang bersih (netto)

A_e = luas penampang efektif

U = faktor *shear lag*

Nilai f_y dan f_u tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh (*yield*) tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik ϕ antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

2.9 Dasar Perencanaan Batang Tekan

Batang tekan ditunjukkan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja. Namun pada umumnya, terdapat eksentrisitas oleh ketidaklurusan batang, atau oleh ketidaktepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen.

2.9.1 Tekuk Parameter Penting Batang Tekan

Parameter material f_y dan f_u akan menentukan kuat batang tarik, tetapi pada batang tekan hanya f_y yang penting, f_u tidak pernah tercapai. Selain material, maka batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri.

Parameter geometri terdiri dari luas penampang (A), pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min}), panjang batang dan kondisi pertambahan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL). Ketiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal, yaitu rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana $r_{min} = \sqrt{I_{min}/A}$ adalah radius girasi pada arah tekuk. Secara visual, tekuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (1) tekuk lokal pada elemen penampang, dan (2) tekuk global pada kolom atau batang secara menyeluruh.

2.9.1.1 Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal

Penyelesaian masalah tekuk lokal lebih kompleks dibanding tekuk global. Jika terjadi tekuk lokal, selain penyelesaiannya tidak sederhana, maka pemakaian penampangnya akan tidak efisien karena terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Agar strukturnya optimal, maka tekuk lokal harus dihindari. Untuk itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing. Itu dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal (b/t) tiap-tiap elemen dari penampang. Elemen-elemen dipilih berdasarkan kondisi kekangannya, apakah kedua sisinya tersambung kepada elemen lain atau masih ada sisi bebas. Nilai b/t setiap eleme profil penampang selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas rasio b/t . Jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio b/t , maka penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) dan sebaliknya sebagai penampang langsing.

2.9.1.2 Panjang Efektif Kolom

Panjang efektif kolom atau KL adalah caea sederhana tetapi efektif dalam memprdiksi kekuatan kolom, yaitu mencari korelasi bentuk tekuk yang berkesesuaian dengan rumus Euleur ($P_{cr} = \pi^2(KL)^2$). Kondisi ideal tumpuan tidak mudah dievaluasi di lapangan, untuk itu rekomendasinya nilai K diperbesar. Meskipun akurat, tetapi implementasi tidak mudah, diperlukan proses penyederhanaan dari struktur real yang kompleks terlebih dahulu. Dalam hal ini cukup diklasifikasikan menjadi dua kategori dengan nilai K yang berbeda, yaitu :

a. Rangka tidak bergoyang : $0,5 \leq K \leq 1,0$ (2.15)

b. Rangka bergoyang : $1,0 \leq K \leq \infty$ (2.16)

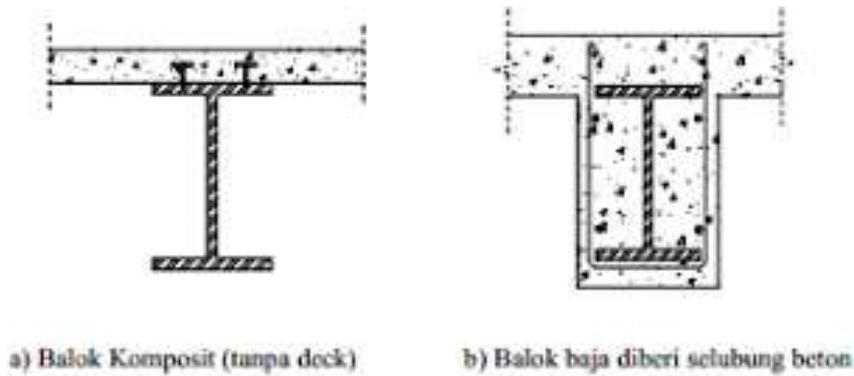
| | | | | | | |
|--|------|------|-----|-----|------|-----|
| Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
| Nilai λ_c teoritis | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| Nilai λ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal | 0.65 | 0.80 | 1.2 | 1.0 | 2.10 | 2.0 |
| Kode ujung | | | | | | |

Gambar 2.8 Nilai K untuk Kolom dengan Ujung-Ujung yang Ideal Berdasarkan SNI 03-1729-2002

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.10 Balok Komposit

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini akan menyebabkan balok melentur. Balok komposit dapat dibentuk dari profil baja yang diberi penghubung geser (*shear connector*) pada sayap atas profil baja atau dapat pula dari profil baja yang dibungkus dengan beton.



Gambar 2.9 Balok Komposit

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.10.1 Kekuatan Balok Komposit dengan Penghubung Geser (SNI 03-1729-2002 pasal 12.4.2.1)

a. Kekuatan lentur positif (LRFD pasal 12.4.2.1)

- Untuk penampang berbadan kompak

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \text{ dengan } \phi b=0,85 \dots\dots\dots (2.17)$$

Kekuatan lentur positif (M_n) dapat dihitung dengan menggunakan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit.

- Untuk penampang berbadan tidak kompak

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \text{ dengan } \phi b=0,90 \dots\dots\dots (2.18)$$

Kekuatan lentur positif dihitung dengan menggunakan distribusi tegangan elastis. Pada kondisi ini, kekuatan lentur batas penampang ditentukan oleh terjadinya leleh pertama.

b. Kekuatan lentur negatif

Kekuatan lentur negatif dihitung dengan mengabaikan aksi komposit. Jadi kekuatan lentur negatif penampang komposit = kekuatan lentur negatif penampang baja saja. ($\phi b=0,90$)

2.10.2 Lebar Efektif Balok Komposit

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain, terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk balok-balok interior (balok tengah)

$$b_E \leq \frac{L}{4} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$b_E \leq b_0 \dots\dots\dots (2.20)$$

2. Untuk balok-balok eksterior (balok tepi)

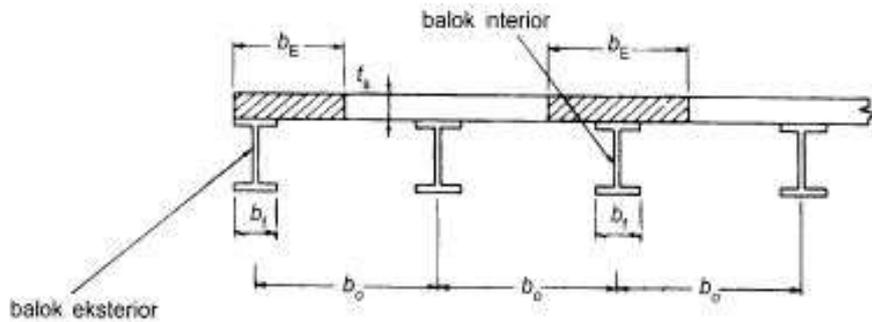
$$b_E \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \dots\dots\dots (2.21)$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} b_0 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

L = bentang balok

b₀ = bentang antar balok



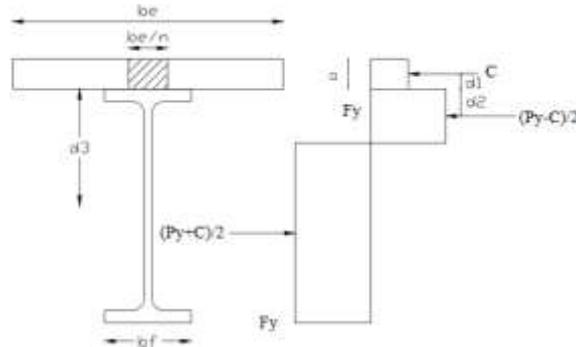
Gambar 2.10 Lebar Efektif Balok Komposit

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.10.3 Menghitung Momen Nominal (Mn)

Perhitungan Mn berdasar distribusi tegangan plastis :

1. Menghitung momen nominal (Mn) positif



Gambar 2.11 Distribusi Plastis Momen Positif

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

- Menghitung gaya tekan (C) pada beton

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot ts \cdot be \dots\dots\dots (2.23)$$

- Menentukan gaya tarik (T) pada baja

$$T = As \cdot fy \dots\dots\dots (2.24)$$

Dipilih nilai yang terkecil dari kedua nilai diatas

- Menentukan tinggi balok tekan efektif

$$\alpha = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot beff} \dots\dots\dots (2.25)$$

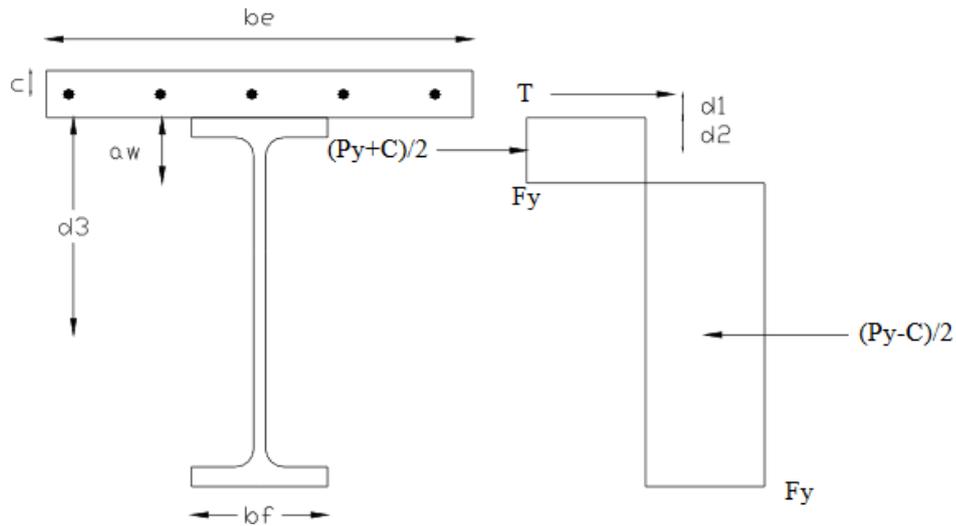
- Kekuatan momen nominal

$$Mn = C \cdot d1 \text{ atau } T \cdot d1 \dots\dots\dots (2.26)$$

Bila kekuatan nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja akan diperoleh:

$$Mn = As \cdot fy \left(\frac{d}{2} + ts - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.27)$$

2. Menghitung momen nominal (Mn) negatif



Gambar 2.12 Distribusi plastis untuk momen negatif

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

- Menentukan lokasi gaya tarik pada balok baja

$$T = n \cdot A_r \cdot f_y \dots\dots\dots (2.28)$$

$$P_{yc} = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\text{Gaya pada sayap ; } P_f = b_f \cdot t_f \cdot f_y \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\text{Gaya pada badan ; } P_w = \frac{P_{yc} - T}{2} - P_f \dots\dots\dots (2.31)$$

$$a_w = \frac{P_w}{t_w \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.32)$$

- Menghitung jarak ke centroid

$$d_1 = h_r + t_b - c \dots\dots\dots (2.33)$$

$$d_2 = \frac{(P_f \cdot 0,5 \cdot t_f) + (P_w \cdot t_f + 0,5 \cdot a_w)}{P_f + P_w} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$d_3 = \frac{d}{2} \dots\dots\dots (2.35)$$

- Menghitung momen ultimit

$$M_n = T (d_1 + d_2) + P_{yc} (d_3 - d_2) \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

- n = jumlah stud
- Ar = luas tulangan tarik di daerah lebar efektif pelat beton, mm²
- f_{yr} = tegangan leleh tulangan pelat, MPa
- bf = lebar profil baja, mm
- tf = tebal sayap profil baja, mm
- f_y = tegangan leleh baja, MPa
- hr = tinggi gelombang dek, mm
- tb = tebal pelat beton, mm
- c = selimut beton, mm
- P_{yc} = kekuatan tekan penampang baja, N
- d₁ = jarak dari centeroid tulangan pelat longitudinal ke tepi atas penampang baja, mm
- d₂ = jarak dari pusat gaya tarik di penampang baja ke tepi atas penampang baja, mm
- d₃ = jarak dari P_{yc} ke tepi atas penampang baja, mm

2.10.4 Kuat Geser Rencana Balok Komposit

Kuat geser rencana (ϕV_n) ditentukan berdasarkan kuat geser penampang baja saja. ($\phi_b=0,90$)

Bila :

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} \rightarrow V_n = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \dots\dots\dots (2.37)$$

Pelat badan leleh -> Plastis

Bila :

$$1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} < 1,37 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} \rightarrow V_n = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \times \frac{1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}}}{\frac{h}{tw}} \dots\dots\dots (2.38)$$

Pelat badan menekuk inelastik

Dimana :

- h = tinggi bersih pelat badan, mm
- tw = tebal pelat badan, mm
- a = jarak pengaku vertikal pelat badan, mm
- $kn = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$
- E = modulus elastis, MPa
- fy = tegangan leleh, MPa
- Aw = luas penampang pelat penuh ($Aw = d.tw$), mm²

2.10.5 Penghubung Geser

Kekuatan penghubung geser jenis paku (LRFD Pasal 12.6.3)

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} (\sqrt{f'_c E_c}) \cdot r_s \leq A_{sc} \cdot f_u \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

rs untuk balok tegak lurus balok :

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \cdot x \left(\frac{w_r}{n_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1 \right) \leq 1 \dots\dots\dots (2.41)$$

rs untuk balok sejajar balok

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \cdot x \left(\frac{w_r}{n_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1 \right) > 1 \dots\dots\dots (2.42)$$

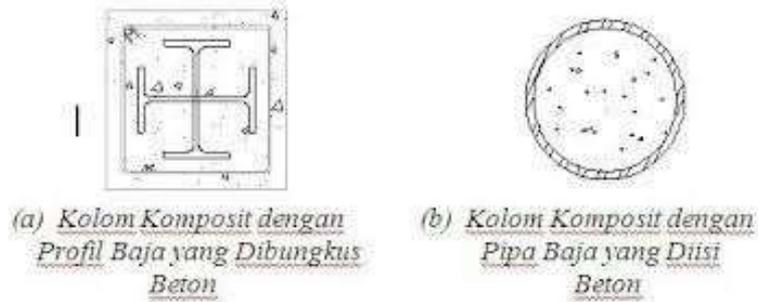
- Nr = jumlah stud setiap gelombang
- Hs = tinggi stud, mm
- Hr = tinggi bondek, mm
- Wr = lebar efektif bondek, mm
- Asc = luas penampang shear connector, mm²
- fu = tegangan putus penghubung paku/stud, kg/mm²
- Qn = kuat nominal geser untuk penghubung geser, kg/stud

Jumlah penghubung geser (shear connector) yang dibutuhkan, yaitu : $n = cQ_n$

2.11 Kolom Komposit

Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan

beton dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya pada kolom beton biasa.



Gambar 2.13 Kolom Komposit (Setiawan, 2008)

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

2.11.1 Kuat Rencana Kolom Komposit

Untuk menghitung kuat rencana kolom komposit dihitung dengan rumus :

$$\phi_c N_n = 0,85 A_s f_{cr} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dengan : $f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \dots\dots\dots (2.44)$

Dimana : $\omega =$ faktor tekuk

Untuk : $\lambda_c \leq 0,25 \rightarrow$ maka $\omega = 1 \dots\dots\dots (2.45)$

$$0,25 \leq \lambda_c \leq 1,2 \rightarrow \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$\lambda_c \geq 1,2 \rightarrow \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2 \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana : $\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{f_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \dots\dots\dots (2.48)$

$$f_{my} = f_y + C1 \cdot f_y \left(\frac{A_r}{A_s}\right) + C2 \cdot f'_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s}\right) \dots\dots\dots (2.49)$$

$$E_m = E + C3 \cdot E_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s}\right) \dots\dots\dots (2.50)$$

$$E_c = 0,041 w^{1,5} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.51)$$

$r_m =$ jari-jari girasi kolom komposit, mm

- f_{my} = tegangan leleh kolom komposit, MPa
- f_{yr} = tegangan leleh tulangan, MPa
- E_m = modulus elastisitas kolom komposit, MPa
- w = berat jenis beton
- A_r = luas tulangan longitudinal, mm²
- A_c = luas penampang beton, mm²
- A_s = luas penampang profil baja, mm²
- E = modulus elastisitas baja, MPa
- E_c = modulus elastisitas beton, MPa
- f_{cr} = tegangan tekan kritis, MPa
- f'_c = kuat tekan karakteristik beton, MPa
- k_c = faktor panjang efektif kolom
- L = panjang unsur struktur, mm
- N_n = kuat aksial nominal, N
- λ_c = parameter kelangsingan
- ϕ_c = faktor reduksi beban aksial tekan
- ω = faktor tekuk

Kekuatan rencana kolom komposit yang menahan beban kombinasi aksial dan lentur (LRFD pasal 7.4.3.3)

- $N_u \phi_c \cdot N_n \geq 0,2$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{ny}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.52)$$

- $N_u \phi_c \cdot N_n > 0,2$

$$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{ny}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana :

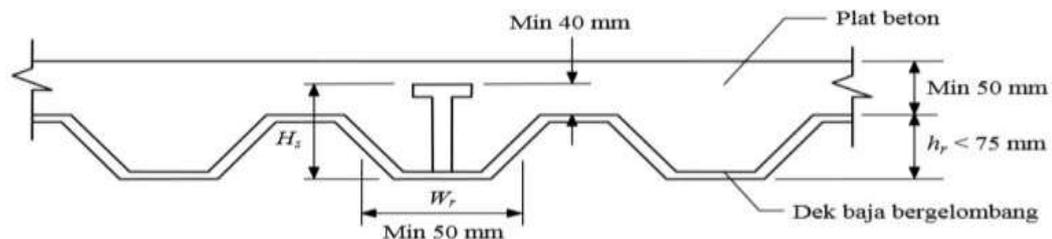
- N_u = gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor, N
- N_n = kuat nominal penampang, N
- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- ϕ_c = 0,85 (struktur tekan)
- ϕ_b = 0,90 (struktur lentur)

M_{nx} , M_{ny} = momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu x dan sumbu y, N mm.

M_{ux} , M_{uy} = momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu x dan sumbu y, N mm

2.12 Dek Baja Gelombang

Perkembangan struktur komposit dimulai dengan digunakannya dek baja gelombang, yang selain berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja gelombang juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras.



Gambar 2.14 Penampang Melintang Dek Baja Gelombang

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam pasal 12.4.5.1 SNI 03-1729-2002. Dalam pasal ini diisyaratkan :

1. Tinggi maksimum dek baja, $h_r \leq 75$ mm, lebar rata-rata minimum dari dek baja gelombang, $w_r > 50$ mm tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dari dek baja.
2. Pelat beton harus disatukan dengan balok baja melalui penghubung geser jenis paku yang di las, yang mempunyai diameter lebih dari 20 mm. Penghubung geser jenis paku dapat di las pada dek baja atau langsung pada balok baja.
3. Setelah terpasang, ketinggian penghubung geser jenis paku tidak boleh kurang dari 40 mm di atas sisi dek baja yang paling atas.

4. Ketebalan pelat beton diatas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm.

2.13 Penghubung Geser

Komposit baja-beton diasumsikan dapat bekerja bersama-sama menahan beban, dengan bantuan alat penghubung geser (*shear connector*) yang dipasang pada sayap atas dari baja profil. Alat penghubung geser tersebut menghasilkan interaksi yang diperlukan untuk aksi komposit antara balok baja profil dan pelat beton, yang sebelumnya hanya menghasilkan lekatan untuk balok yang diatanam seluruhnya dalam beton. (Khatulistani, 2003)

Gaya geser yang terjadi diantara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat masa layan. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2.

2.14 Sambungan

Kuat rencana setiap komponen tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan (SNI 03-1729-2002 pasal 13.1.3)

1. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berdekatan yang harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

2.14.1 Klasifikasi Sambungan

Ada beberapa macam klasifikasi sambungan diantaranya:

1. Sambungan kaku/*Rigid connection* adalah sambungan yang dianggap memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut-sudut diantara komponen-komponen struktur yang akan disambung.
2. Sambungan semi kaku/*Semi rigid connection* adalah sambungan yang tidak memiliki kekakuan yang cukup mempertahankan sudut-sudut diantara komponen-komponen struktur yang disambung, namun harus dianggap

memiliki kapasitas yang cukup untuk memberikan kekangan yang dapat diukur terhadap perubahan sudut-sudut tersebut.

3. Sambungan sendi/ *Simple connection* adalah sambungan yang pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas momen. Sambungan sendi harus dapat berubah bentuk agar memberikan rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung.

2.14.2 Kekuatan Sambungan

Mendapatkan kuat nominal sambungan, maka semua mekanisme keruntuhan yang teridentifikasi harus ditinjau, yaitu : (1) kuat tumpu (geser) pelat, yang merupakan jumlah kumulatif tahanan tumpu masing-masing baut yang mengalami kontak dengan pelat; (2) kuat geser baut, tergantung dari jumlah bidang geser per baut, jumlah baut di sambungan dan kuat geser nominal baut; (3) kuat geser blok, khusus untuk sambungan dengan jumlah baut yang relative banyak dan ditempatkan secara berkelompok.

Kuat nominal maksimum, R_n dari sambungan ditentukan jika salah satu dari mekanisme diatas dapat tercapai terlebih dahulu. Itu artinya gaya terkecil yang menimbulkan mekanisme keruntuhan adalah yang menentukan. Selanjutnya kuat batas sambungan adalah $R_n = \phi R_n$, dengan nilai faktor tahanan $\phi = 0,75$ untuk keseluruhan mekanisme keruntuhan yang ditinjau. Hal itu menandakan bahwa keruntuhan fraktur yang relatif kurang daktail dibanding keruntuhan leleh.

2.14.3 Sambungan Baut

- Kontrol jarak baut (sesuai SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)
 - Jarak tepi minimum : 1.5 db
 - Jarak tepi maksimum : (4tp + 100 mm) atau 200 mm
 - Jarak minimum antar baut : 3 db
 - Jarak maksimum antar baut : 15 tp atau 200 mm
- Kekuatan rencana baut
 - a. Kekuatan rencana geser baut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1)

$$\phi V_n = \phi r_1 f_u A_b m \dots\dots\dots (2.54)$$

Dimana :

- m = jumlah bidang geser
- r1 = 0,50 tanpa ulir pada bidang geser baut
- r1 = 0,40 ada ulir pada bidang geser baut
- fu = tegangan tarik putus baut, MPa
- Ab = luas bruto penampang baut, mm²
- Øf = 0,75 faktor reduksi kekuatan putus

b. Kekuatan rencana tumpu baut dengan pelat (SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4)

$$\phi R_n = \phi 2,4 db \cdot tp \cdot fu \dots\dots\dots (2.55)$$

Dimana :

- db = diameter nominal baut, mm
- tp = tebal pelat tertipis, mm
- fu = tegangan tarik putus terkecil antara baut dan pelat, MPa
- Øf = 0,75 faktor reduksi

- Kekuatan baut memikul beban tarik (SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.2)

Kekuatan rencana tarik dari baut :

$$\phi T_n = \phi 0,75 \cdot fu \cdot Ab \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana :

- fu = tegangan tarik putus baut, MPa
- Ab = luasan bruto penampang baut, mm²
- Øf = 0,75 faktor reduksi

- Baut mutu tinggi tipe gesek

a. Baut hanya menerima beban geser (Vu) (SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.3.1)

Kuat geser nominal :

$$\phi V_n = \phi 1,13 \mu m T_b \dots\dots\dots (2.57)$$

Dimana :

μ = koefisien geser

m = jumlah bidang geser

Tb = gaya tarik minimal

$\phi = 1$ untuk lubang standar, N

$\phi = 0,85$ untuk lubang selot pendek dan besar

$\phi = 0,70$ untuk lubang selot panjang tegak lurus arah beban kerja

$\phi = 0,60$ untuk lubang selot panjang sejajar arah kerja beban

- b. Baut menerima beban kombinasi geser (Vu) dan tarik (Tu) (SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.3.3)

Bila disamping beban geser (Vu) baut juga menerima beban tarik Tu , maka kuat geser nominal direduksi sebagai berikut :

$$Vd = \phi Vn \left[1 - \frac{Tu}{1,13 Tb} \right] \dots\dots\dots (2.58)$$

2.14.4 Sambungan Las

2.14.4.1 Las Tumpul

Tebal rencana las tumpul dibagi menjadi dua jenis, yaitu las tumpul penetrasi penuh dan las tumpul penetrasi sebagian, sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.2.3.

2.14.4.2 Las Sudut

Ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, diterapkan sesuai dengan Tabel dibawah ini

Tabel 2.12 Ukuran Las Sudut

| Tebal bagian paling tebal, t (mm) | Tebal minimum las sudut, tw (mm) |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| $t \leq 7$ | 3 |
| $7 < t \leq 10$ | 4 |
| $10 < t \leq 15$ | 5 |
| $15 < t$ | 6 |

Sumber : Setiawan, Agus, 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* (Berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

a. Ukuran Maksimum Las Sudut Sepanjang Tepi

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.3

b. Panjang Efektif

Panjang efektif las sudut sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.5

c. Kuat Las Sudut

Las sudut yang memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u harus memenuhi (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10)

$$R_u \leq R_{nw} \dots\dots\dots (2.59)$$

Dengan,

$$\phi f \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t \cdot (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$\phi f \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t \cdot (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \dots\dots\dots (2.61)$$

Dengan $\phi f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

Keterangan :

f_{uw} adalah tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u adalah tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

t adalah tebal rencana las, mm

2.15 Pondasi

Pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah.

Karena pondasi harus memikul seluruh bangunan dan beban-beban yang bekerja padanya, maka pondasi harus di desain sedemikian rupa sehingga proses penyaluran beban-beban dari bangunan ke lapisan tanah dapat berlangsung dengan baik dan aman.

Berdasarkan letak kedalaman tanah kuat yang digunakan sebagai pendukung pondasi, maka pondasi digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Pondasi dangkal

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi dangkal diperkirakan sampai mencapai 3 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk golongan pondasi dangkal yaitu pondasi lajur dan pondasi telapak.

2. Pondasi sedang

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi sedang diperkirakan sampai mencapai 4 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk kedalam pondasi ini adalah pondasi sumuran.

3. Pondasi dalam

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi dalam minimal mencapai 4,5 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk dalam pondasi ini yaitu pondasi tiang pancang.

2.15.1 Perencanaan Pondasi *Bored Pile*

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan, atau tekanan maksimum yang diijinkan yang bekerja pada tanah diatas pondasi.

Daya dukung terfaktor adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum pada batas runtuh.

Perhitungan daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

- a. Daya dukung pondasi harus lebih besar dari pada beban yang dipikul oleh pondasi tersebut.
- b. Penurunan yang terjadi harus sesuai batas yang diizinkan (toleransi) yaitu 1” (2,54cm).

Dalam perencanaan fondasi *bored pile* ada beberapa metode daya dukung yang digunakan :

1. Metode Perhitungan

a. Metode Meyerhof 1956

Menurut Meyerhof 1956 Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan

split spoon kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (relative density), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma_u = 4N_b A_b + \frac{1}{50} \bar{N} A_s \quad \dots\dots\dots (2.77)$$

Dimana :

- σ_u = Kapasitas ultimit tiang
- N_b = Nilai N dari uji SPT di sekitar dasar tiang
- A_b = Luas dasar tiang
- \bar{N} = Nilai rata-rata N dari uji SPT di sekitar tiang N
- A_s = Luas selimut tiang

b. Metode Guy Sangrelat

Kapasitas izin berdasarkan data sondir dengan metode Guy Sangrelat :

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK1} + \frac{T_f \times A_s}{FK2} \quad \dots\dots\dots (2.78)$$

Dimana :

- P_a = daya dukung ijin tekan tiang
- q_c = tahanan ujung konus sondir
- A_p = luas penampang tiang
- T_f = total friksi / jumlah hambatan lekat
- A_s = keliling penampang tiang

c. Metode Terzaghi

Perhitungan daya dukung ultimate digunakan persamaan Terzaghi Untuk fondasi bentuk lingkaran

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3 \cdot c \cdot N_c) + (Df \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0, 3 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma)) \quad \dots\dots\dots (2.79)$$

Untuk fondasi bentuk lajur/menerus

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3. c. N_c) + (Df. \gamma t. N_q) + (0. 5 \gamma t. B. N_\gamma)) \dots\dots\dots (2.80)$$

Untuk fondasi bentuk persegi

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3. c. N_c) + (Df. \gamma t. N_q) + (0. 4 \gamma t. B. N_\gamma)) \dots\dots\dots (2.81)$$

Tabel 2.13 Daftar Ukuran Sc dan Sy

| NO. | TYPE | Sc | Sy |
|-----|-----------------|-----|-----|
| 1. | Persegi | 1,3 | 0,8 |
| 2. | Persegi panjang | 1,0 | 1,0 |
| 3. | Lingkaran | 1,3 | 0,6 |

Sumber : Pamungkas & Erny, 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*.

Yogyakarta : Penerbit Andi.

Tabel 2.14 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi (1943)

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

Sumber : Pamungkas & Erny, 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*.

Yogyakarta : Penerbit Andi.

Penyebaran tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\Sigma p}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \dots\dots\dots (2.82)$$

Dimana :

- σ = Tegangan yang terjadi (N/mm²)
- ΣP = Jumlah total beban fondasi (N)
- A = Luas total fondasi *pile cap* (mm²)
- M_y = Momen arah y (Nmm)
- M_x = Momen arah x (Nmm)
- x, y = Jarak eksentrisitas dari pusat beban kolom ke pusat fondasi (mm)
- I_x, I_y = Momen inersia fondasi *pile cap* terhadap sumbu-x dan Sumbu-y (mm⁴)

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin} \dots ok$$

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin} \dots ok$$

$$\sigma_{maks} \geq 0 \dots ok$$

Analisis daya dukung masing – masing tiang :

- Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P1 = K \cdot H \cdot c \dots\dots\dots (2.83)$$

Dimana :

- P1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit
- K = Keliling penampang tiang
- c = adhesi antara dinding tiang dengan tanah
- H = kedalaman tiang

- Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P2 = K \cdot (1/2 \cdot H^2 \cdot \gamma_t)(1 + \tan^2\phi)\tan\phi \dots\dots\dots (2.84)$$

Dimana :

P_2 = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

K = luas selimut tiang

H = kedalaman tiang

ϕ = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

- Tahanan ujung tiang

$$P_3 = \dots \bar{\sigma}_u \dots \dots \dots (2.85)$$

$$P_3 = Ab \cdot ((1, 3 \cdot c \cdot Nc) + (Df \cdot \gamma t \cdot Nq) + (0, 3 \gamma t \cdot B \cdot N\gamma)) \dots \dots (2.86)$$

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - \text{berat tiang} \dots \dots \dots (2.87)$$

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - (A \cdot L \cdot \gamma b) \dots \dots \dots (2.88)$$

Dimana :

P_3 = Tahanan ujung tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

c = Kohesi tanah di ujung tiang

Df = Kedalaman tiang

Ab = Luas penampang ujung tiang

2. Daya Dukung Izin

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_u}{FS} \dots \dots \dots (2.89)$$

Dimana :

σ_u = Kapasitas ultimit tiang

FS = Faktor aman

3. Jumlah tiang yang diperlukan

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}} \dots \dots \dots (2.90)$$

4. Penulangan tiang *bored pile*

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \dots \dots \dots (2.91)$$

- Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n} \dots\dots\dots (2.92)$$

- Kapasitas momen pada dasar pondasi tiang

$$M_l = K_C^R A_{st} f_y d \dots\dots\dots (2.93)$$

$$A_{st} = \frac{M_l}{K_C^R f_y d} \dots\dots\dots (2.94)$$

- Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{st}}{A_s} \dots\dots\dots (2.95)$$

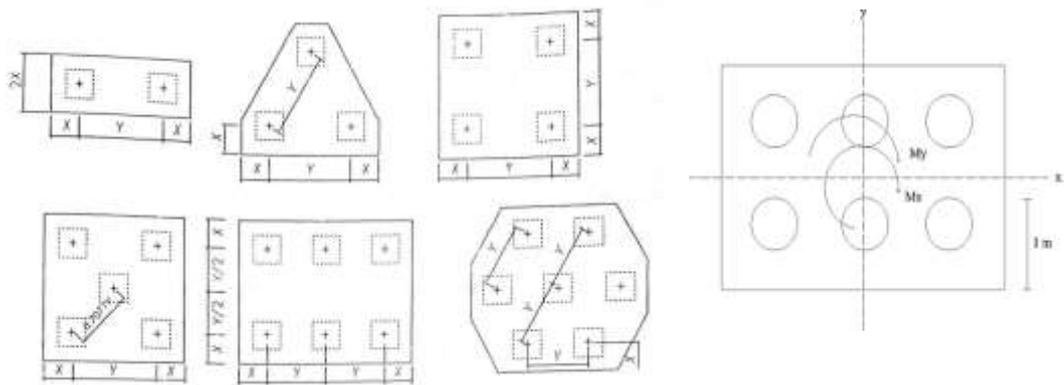
- Tulangan Senggang Spiral

$$\rho_s = \frac{4as(Dc-ds)}{Dc^2S} \dots\dots\dots (2.95)$$

$$S = \frac{4as(Dc-ds)}{Dc^2\rho_s} \dots\dots\dots (2.96)$$

2.15.2 Perencanaan *Pile Cap*

Pile cap memiliki fungsi sebagai pengikat setiap pile yang telah terpancang ke dalam tanah. *Pile cap* mendistribusikan beban vertikal analisisnya, pondasi *pile cap* dianggap sebagai material yang sangat kaku dan distribusi tekanan yang ditimbulkan akibat beban dapat dianggap linier. Pada pondasi *pile cap* setiap titik didukung secara langsung oleh tanah dibawahnya, sehingga momen lentur yang terjadi sangat kecil. Gambar 2.14 menunjukkan beberapa jenis tiang dalam satu grup tiang. Jarak antar tiang pusat ke pusat (Y) dibatasi sebesar 2,5 hingga 3 kali diameter tiang, sedangkan jarak as tiang ke tepi pile cap (X) dibatasi sebesar 1 hingga 1,5 kali diameter tiang.



Gambar 2.15 Susunan Kelompok Tiang

Sumber : Pamungkas & Erny, 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta : Penerbit Andi.

1. Persamaan untuk menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang :

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_i}{\sum y^2} \dots\dots\dots (2.65)$$

Dimana:

P_i = Beban aksial pada tiang ke-i

V = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang

n = Jumlah tiang

x, y = Berturut-turut jarak tiang terhadap sumbu y dan x

M_x, M_y = Berturut-turut momen pada arah sumbu x dan y

Persyaratan yang harus dipenuhi:

$$P_{terjadi} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \dots\dots\dots (2.66)$$

$$P_{maks} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \dots\dots\dots (2.67)$$

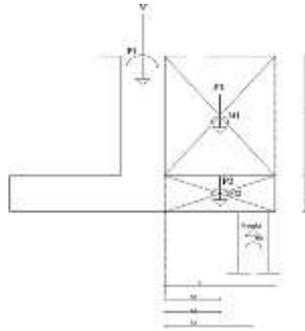
$$P_{min} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \leq P_{netto} \dots\dots\dots (2.68)$$

$P_{min} > 0$ (tidak boleh ada tegangan negatif)

2. Penulangan *Pile Cap*

a. Beban-beban yang bekerja pada *pile cap*

- 1) Berat sendiri *pile cap*
- 2) Berat tanah urug
- 3) Gaya aksial tiang



Gambar 2.16 Gaya-Gaya yang Terjadi pada *Pile Cap*

Sumber : Pamungkas & Erny, 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta : Penerbit Andi.

b. Momen yang terjadi pada sisi kolom

$$\sum M = P_1 x_1 + P_2 x_2 - P_{maks} x_3 \dots\dots\dots (2.69)$$

c. Penulangan

Rasio tulangan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.70)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'c}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f'}} \right] \dots\dots\dots (2.71)$$

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'c}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots (2.72)$$

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + fy/Es}{0,008} \right) \rho_b \dots\dots\dots (2.73)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.74)$$

Dengan syarat $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$

1) Luas tulangan

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots (2.75)$$

2) Jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 A_s}{A_s} \dots\dots\dots (2.76)$$

Dengan $s \leq 2h$