

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Pengertian Bangunan Gedung

Berdasarkan **Undang-Undang Republik Indonesia No.28 Tahun 2002 BAB 1, Pasal 1** disebutkan bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya, berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

2.1.2 Fungsi Bangunan Gedung

Berdasarkan undang-undang tersebut di atas, bangunan gedung ditinjau dari segi kegunaannya dapat dibagi dalam beberapa fungsi sebagai berikut :

1. Bangunan gedung fungsi hunian meliputi bangunan untuk rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah susun dan rumah tinggal sementara.
2. Bangunan gedung fungsi keagamaan meliputi masjid, gereja, pura, wihara dan kelenteng.

3. Bangunan gedung fungsi usaha meliputi bangunan gedung untuk perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal dan penyimpanan.
4. Bangunan gedung fungsi sosial dan budaya meliputi bangunan gedung untuk pendidikan, kebudayaan, pelayanan kesehatan, laboratorium dan pelayanan umum.

2.1.3 Persyaratan Keandalan Bangunan Gedung

Keandalan gedung sebagaimana dimaksud dalam **Undang-Undang Republik Indonesia No.28 Tahun 2002 Pasal 7, Ayat 3**, meliputi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Persyaratan keselamatan.

Yang dimaksud dalam persyaratan ini adalah persyaratan kemampuan bangunan gedung untuk mendukung beban muatan, serta kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran dan bahaya petir.

2. Persyaratan kesehatan.

Persyaratan kesehatan bangunan gedung meliputi persyaratan sistem penghawaan, pencahayaan, sanitasi dan penggunaan bahan bangunan gedung.

3. Persyaratan kenyamanan.

Dalam persyaratan ini meliputi hal kenyamanan ruang gerak dan hubungan antar ruang, kondisi udara dalam ruang, pandangan serta tingkat getaran dan tingkat kebisingan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Struktur Beton Bertulang

Berdasarkan **PBBI 1971 N.I.-2 Bagian I, Bab 2** Beton bertulang merupakan beton yang mengandung batang tulangan dan direncanakan berdasarkan anggapan bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya.

Adapun peranan dari masing-masing bahan tersebut adalah, beton sebagai bahan yang memiliki sifat getas yang berarti beton memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah sedangkan baja yang memiliki sifat liat memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan kuat tekannya. Maka dengan disatukannya kedua bahan tersebut dapat saling mendukung dalam menahan pembebanan tarik dan tekan sekaligus.

Beton yang digunakan untuk konstruksi beton bertulang dibagi dalam beberapa mutu dan kelas seperti yang telah tercantum dalam **PBBI 1971 N.I.-2 Bagian 3, Tabel 4.2.1** sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kelas dan Mutu Beton

Kelas	Mutu	σ'_{bk} (kg/cm ²)	$\sigma'_{bm} d.g. s = 46$ (kg/cm ²)	Tujuan	Pengawasan Terhadap	
					Mutu agregat	Kekuatan tekan
I	B ₀	-	-	Non-Struktural	Ringan	Tanpa
II	B _I	-	-	Struktural	Sedang	Tanpa
	K125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
	K175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
III	K225	225	300	Struktural	Ketat	Kontinu
	K>225	>225	>300	Struktural	Ketat	Kontinu

Sumber : PBBI 1971 NI - 2

Untuk bahan baja tulangan, setiap jenisnya yang dihasilkan oleh pabrik-pabrik baja yang terkenal dapat dipakai. Pada umumnya setiap pabrik baja mempunyai standar mutu dan jenis baja, sesuai dengan yang berlaku di negara yang bersangkutan. Namun demikian, pada umumnya baja tulangan yang terdapat di pasaran Indonesia dapat dibagi dalam mutu-mutu yang tercantum dalam **PBBI 1971 N.I.-2 Bagian 2, Tabel 3.7.1** sebagai berikut.

Tabel 2.2 Mutu Baja Tulangan

Mutu	Sebutan	Tegangan leleh karakteristik (σ_{au}) atau tegangan karakteristik yang memberikan regangan tetap 0,2% ($\sigma_{0,2}$) (kg/cm ²)
U-22	Baja lunak	2200
U-24	Baja lunak	2400
U-32	Baja sedang	3200
U-39	Baja keras	3900
U-48	Baja keras	4800

Sumber : PBBI 1971 NI - 2

Untuk menjaga mutu dan kualitas baja tulangan, terutama untuk menghindari akan adanya korosi pada baja tulangan maka pada bagian sebelah

luar baja tulangan perlu diberikan selimut beton. Dengan mengacu kepada **SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung pasal 7.7.1**, tebal selimut atau pelindung beton untuk baja tulangan harus memenuhi ketentuan yang berlaku pada standar tersebut.

Tabel 2.3 Syarat Selimut Beton Untuk Baja Tulangan

Kondisi Struktur	Tebal Selimut Beton(mm)
a). Beton yang dicor di atas dan selalu berhubungan dengan tanah.	75
b). Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca :	50
Batang tulangan D-19 hingga D-57	40
Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil.	
c). Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau berhubungan dengan tanah :	
Slab, Dinding, Balok usuk :	40
Batang tulangan D-44 dan D-57.	20
Batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil.	
Balok, Kolom :	40
Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral.	
Komponen struktur cangkang, pelat lipat :	20
Batang tulangan D-19 dan yang lebih besar.	13
Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil.	

Sumber : SNI 2847-2013

2.2.2 Metode Desain

Dalam desain beton struktural, komponen struktur harus diproposikan untuk kekuatan yang cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku untuk desain elemen struktur beton bertulang.

Agar desain dari suatu elemen struktur beton bertulang cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja maka berdasarkan **SNI 2847-2013 Pasal 9.3.1** merekomendasikan bahwa kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar tersebut.

Kekuatan desain yang dihasilkan oleh tiap komponen struktur perlu dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ yang direkomendasikan **SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2** sebagai berikut :

- 1) Penampang terkendali tarik 0,90
- 2) Penampang terkendali tekan :
 - a) Komponen struktur dengan tulangan spiral 0,75
 - b) Komponen struktur bertulangan lainnya 0,65
- 3) Geser dan torsi 0,75

- 4) Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat) 0,65
- 5) Daerah angkur pasca tarik 0,85
- 6) Model strat dan pengikat (Lampiran A), dan strat, pengikat, daerah pertemuan (*nodal*), dan daerah tumpuan dalam model tersebut 0,75
- 7) Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran :
 - a) Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer 0,75
 - b) Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari 0,75 sampai 0,9

2.2.3 Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada gedung berdasarkan **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983 BAB – 1** dapat dibagi dalam beberapa jenis pembebanan sebagai berikut :

1) Beban mati

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

Untuk berat sendiri pada beban mati yang salah satunya adalah berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau di dalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil menurut **Tabel 2.1.** pada **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) halaman 11.**

Tabel 2.4 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan bangunan	Berat jenis (Kg/m ³)
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton (1)	2200
Beton bertulang (2)	2400
Kayu (Kelas I) (3)	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
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 (Timbel)	11400

Sumber : PPIUG 1983

Tabel 2.5 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen gedung	Berat jenis (Kg/m ³)
Adukan, per cm tebal :	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah :	
- Satu batu	450
- Setengah batu	250
Dinding pasangan batako :	
1. Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
2. 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 - 4 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 atap sirap dengan reng dan usuk/ kaso, per m ² bidang Atap	40

Penutup atap seng gelombang (BWG 24) 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

2) Beban hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Ke dalam beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa dan beban khusus.

Beban hidup pada lantai gedung mengacu pada *SNI-1727-2013, Tabel 4-1 Halaman 25 dari 195*.

Tabel 2.6 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	50 (2,4)	2000 (8,9)

Ruang kantor Ruang computer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan Kursi tetap (terikat di lantai) Lobi Kursi dapat dipindahkan Panggung pertemuan Lantai podium	100 (4,79) ^a 100 (4,79) ^a 100 (4,79) ^a 100 (4,79) ^a 150 (7,18) ^a	
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 Lantai lain	100 (4,79) 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 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 Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92) ^{a,b,c}	

Sumber : SNI-1727-2013

Tabel 2.7 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan 1)

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
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)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan :		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a, h}	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik :		
Ringan	125 (6,00) ^a	2000 (8,90)
Berat	250 (11,97) ^a	3000 (13,40)
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)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (2,90)
Lembaga hokum :		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi :		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) ^a	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau 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)]	10 (0,48) ^l	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	20 (0,96) ^m	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan	30 (1,44)	

gudang	40 (1,92)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur		
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka		

Sumber : SNI-1727-2013

Tabel 2.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan 2)

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Atap		
Atap datar, berbubung dan lengkung		
Atap digunakan untuk taman atap		
Atap yang digunakan untuk tujuan lain		
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan		200 (0,80)
Rangka tumpu layer penutup	20 (0,96) ⁿ 100 (4,79)	
	Sama seperti hunian dilayani ^a	
Semua konstruksi lainnya	5 (0,24) tidak boleh direduksi	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap di atas pabrik, gudang dan perbaikan garasi	dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka	300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya	20 (0,96)	300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban		

pekerja pemeliharaan		
Sekolah :		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak /scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) ^{a, p}	8000 (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
Gudang di atas 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) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	

Sumber : SNI-1727-2013

Tabel 2.9 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan 3)

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) ^a	1000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

Sumber : SNI-1727-2013

Sedangkan untuk beban hidup pada atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan di antara dua macam beban berikut :

- a) Beban terbagi rata per m^2 bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar $(40 - 0,8\alpha)$ kg/m^2 .

Di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari $20 kg/m^2$ dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50° .

- b) Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

3) Beban angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarannya dapat dinyatakan dalam satuan kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang sudah ditentukan dengan koefisien-koefisien angin yang telah ditentukan pula.

Untuk tekanan tiup, berlaku sebagai berikut :

- a) Tekanan tiup harus diambil minimum $25 kg/m^2$.

- b) Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .
- c) Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah daerah lain tertentu, dimana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar dari pada yang ditentukan dalam hal-hal diatas sebelumnya, tekanan tiup (p) harus dihitung dengan rumus :

$$p = \frac{V^2}{16} (\text{kg/m}^2) \dots\dots\dots (2.2.3.1.)$$

Dengan keterangan :

V = Kecepatan angin (m/det).

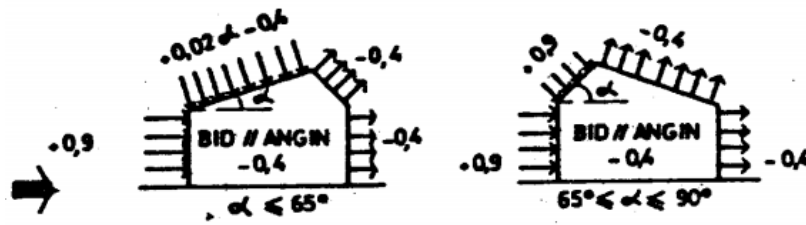
Dan untuk koefisien angin yang digunakan dalam perhitungan beban angin rencana adalah sebagai berikut :

- a) Dinding vertikal :

Di pihak angin	+ 0,9
Di belakang angin	- 0,4
Sejajar dengan arah angin	- 0,4

- b) Atap segi-tiga dengan sudut kemiringan α :

Di pihak angin : $\alpha < 65^\circ$ ($0,02 \alpha$)	- 0,4)
$65^\circ < \alpha < 90^\circ$	+ 0,9
Di belakang angin, untuk semua α	- 0,4



Gambar 2.1 Koefisien Angin Untuk Gedung Tertutup

Sumber : PPIUG 1983

4) Beban gempa

Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Analisis gempa yang dilakukan dalam perencanaan gedung ini merupakan analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung yang beraturan.

Berdasarkan *SNI 03-1726-2002*, analisis tersebut merupakan suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi, sehingga respons dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen.

Berikut ini penjelasan langkah-langkah analisis beban seismik berdasarkan SNI Gempa 1726 : 2012 untuk bangunan gedung :

a. Penentuan kategori risiko struktur bangunan dan faktor keutamaan (I_e)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung 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, peternakan 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 industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung 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 	III

<ul style="list-style-type: none"> - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 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 public 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 	IV

<p>saat keadaan darurat.</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	
---	--

Sumber : SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1.2

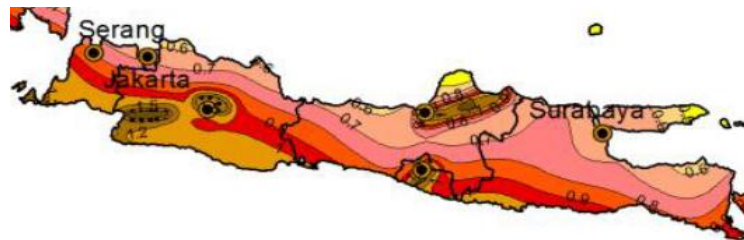
Tabel 2.11 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber : SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1.2

b. Penentuan parameter percepatan gempa (S_s , S_1)

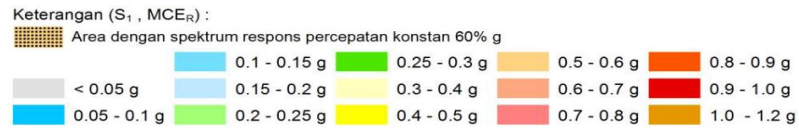
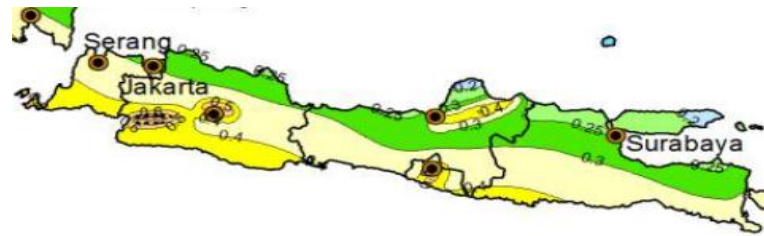
Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi.





Gambar 2.2 Contoh Peta Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) Untuk Kota Serang, Jakarta, Surabaya dan Sekitarnya

Sumber : SNI 03-1726-2012



Gambar 2.3 Contoh Peta Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda perdetik) Untuk Kota Serang, Jakarta, Surabaya dan Sekitarnya

Sumber : SNI 03-1726-2012

c. Menentukan kelas situs

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 terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus

diklasifikasikan sesuai dengan **Tabel 2.12** berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.12 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u \ll 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan / atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H \cdot 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa.		

Sumber : SNI 03-1726-2012

Penetapan kelas situs *SC*, *SD* dan *SE* harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua dari tiga parameter \bar{v}_s , \bar{N} dan \bar{S}_u , yang dihitung sesuai :

- **Metode \bar{v}_s**

Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (V_s) pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas. Pengukuran V_s di lapangan dapat dilakukan dengan uji *Seismic-Downhole* (SDH), uji *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW), atau uji seismik sejenis. Nilai \bar{v}_s harus ditentukan sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \dots\dots\dots (2.2.3.2)$$

Dengan keterangan :

d_i = Tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 – 30 meter.

V_{si} = Kecepatan gelombang geser lapisan *I* dinyatakan dalam meter per detik (m/detik).

$\sum_{i=1}^n d_i$ = 30 meter.

- **Metode \bar{N}**

Tahanan penetrasi standar rata-rata (\bar{N}) dalam lapisan 30 m paling atas atau \bar{N}_{ch} tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non kohesif ($PI < 20$) di dalam lapisan 30 m paling atas.

Nilai \bar{N} dan \bar{N}_{ch} harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \dots\dots\dots (2.2.3.3)$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan di atas berlaku untuk tanah non-kohesif, tanah kohesif dan lapisan batuan :

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \dots\dots\dots (2.2.3.4)$$

Dimana N_i dan dalam persamaan di atas berlaku untuk lapisan tanah non-kohesif saja, dan $\sum_{i=1}^m d_i = d_s$, dimana d_s adalah ketebalan total dari lapisan tanah non-kohesif di 30 m lapisan paling atas.

N_i adalah tahanan penetrasi standar 60 % energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/m. Jika ditentukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai N_i tidak boleh diambil lebih dari 305 pukulan/m.

- **Metode \bar{S}_u**

Kuat geser niralir rata-rata (\bar{S}_u) untuk lapisan tanah kohesif ($PI < 20$) di dalam lapisan 30 m paling atas.

Nilai \bar{S}_u harus ditentukan sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\bar{S}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{S_{ui}}} \dots\dots\dots (2.2.3.5)$$

Dengan keterangan :

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c$$

d_c = Ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas.

S_{ui} = Kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa seperti yang ditentukan dan sesuai dengan tata cara yang berlaku.

PI = Indeks plastisitas, berdasarkan tata cara yang berlaku.

w = Kadar air dalam persen, berdasarkan tata cara yang berlaku.

d. Penentuan koefisien-koefisien situs (F_a dan F_v)

Koefisien situs merupakan suatu faktor amplifikasi seismik yang dipakai untuk menentukan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah.

Koefisien situs F_a merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode pendek, sedangkan koefisien situs F_v merupakan faktor amplifikasi terkait percepatan tanda getaran periode 1 detik.

Tabel 2.13 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) 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 = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Sumber : SNI 03-1726-2012

Tabel 2. 14 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
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				

Catatan :

- (c) Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
- (d) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Sumber : SNI 03-1726-2012

Nilai F_a dan F_v selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}), yang ditentukan sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.2.3.6)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_I \dots\dots\dots (2.2.3.7)$$

Akhirnya parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dapat dihitung sebagai berikut :

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \dots\dots\dots (2.2.3.8)$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \dots\dots\dots (2.2.3.9)$$

e. Spektrum respons desain

Spektrum respons desain dapat ditentukan setelah nilai dari S_{DS} dan S_{D1} dihitung. Kurva spektrum respons desain dikembangkan dengan mengikuti ketentuan sebagai berikut :

- Untuk $T \leq T_0$ spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.2.3.10)$$

Dengan :

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

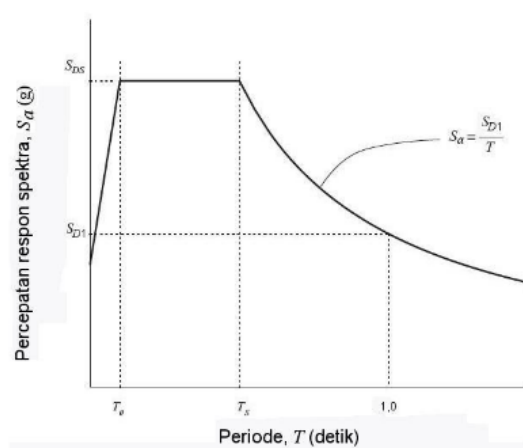
T = Periode getar fundamental struktur

- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} dengan :

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.2.3.11)$$

- Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.2.3.12)$$



Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain
 Sumber : SNI 03-1726-2012

f. Gaya geser dasar seismik

Gaya geser dasar akibat gempa bumi, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.2.3.13)$$

Dengan keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Besaran koefisien respons seismik, C_s , dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.2.3.14)$$

Dengan keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
0,2 detik

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan

Tidak perlu $> C_S = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$, dan (2.2.3.15)

$< C_S = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$ (2.2.3.16)

Gaya geser dasar seismik yang telah dihitung selanjutnya didistribusikan ke semua tingkat menjadi gaya gempa lateral (F_x) yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$F_x = C_{vx} \cdot V$ (2.2.3.17)

$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k}$ (2.2.3.18)

Dengan keterangan :

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya geser dasar seismik

W_i, W_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang dikenakan pada tingkat i atau x

h_i, h_x = Tinggi dari dasar sampai ke tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur, ditentukan sebagai berikut :

- $k = 1$ untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik

- $k = 2$ untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik
- $k = 2$ atau dilakukan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk $0,5 < T < 2,5$

Selanjutnya pada setiap elemen vertikal sistem penahan gaya seismik di tingkat yang ditinjau harus didistribusikan geser tingkat desain gempa (V_x) yang besarnya adalah :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (2.2.3.19)$$

Dengan keterangan :

F_i = Bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

2.2.4 Persyaratan Kekuatan dan Kemampuan Layan

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 9*, struktur dan komponen struktur harus didesain agar mempunyai kekuatan desain di semua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kondisi sedemikian rupa.

Kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam rumus sebagai berikut :

$$U = 1,4D \dots\dots\dots (2.2.4.1.)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.2.4.2.)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \dots\dots\dots (2.2.4.3.)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.2.4.4.)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \dots\dots\dots (2.2.4.5.)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \dots\dots\dots (2.2.4.6.)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \dots\dots\dots (2.2.4.7.)$$

Dengan pengecualian pada rumus di atas adalah sebagai berikut :

- 1) Faktor beban pada beban hidup L pada persamaan (2.2.4.3.) sampai (2.2.4.5.) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan dimana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$.
- 2) Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1,6W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $1,0W$ dalam persamaan (2.2.4.4.) dan (2.2.4.6.), dan $0,8W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0,5W$ dalam persamaan (2.2.4.3).

Dan untuk keterangan notasi dari rumus di atas adalah sebagai berikut :

D = Beban mati, atau momen dan gaya dalam.

L = Beban hidup, atau momen dan gaya dalam.

L_r = Beban hidup atap, atau momen dan gaya dalam

R = Beban hujan, atau momen dan gaya dalam

W = Beban angin, atau momen dan gaya dalam

E = Pengaruh gempa, atau momen dan gaya dalam

2.2.5 Perencanaan dan Perhitungan Struktur

2.2.5.1 Perencanaan dan Perhitungan Struktur Atas

Dalam Tugas Akhir perencanaan gedung ini yang terdiri dari beberapa tingkat lantai maka perencanaan yang dilakukan terdiri dari dua tahapan. Tahapan tersebut terdiri dari perencanaan dan perhitungan struktur atas maupun struktur bawah bangunan gedung tersebut.

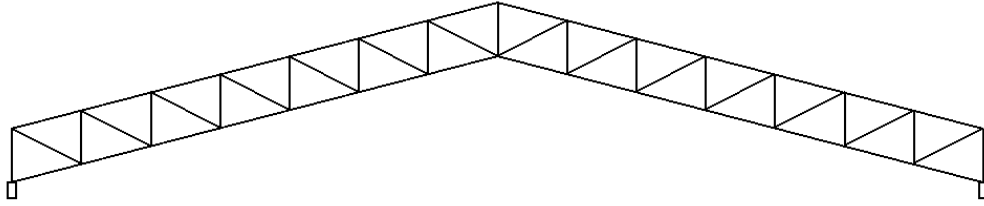
Untuk struktur atas bangunan yang akan direncanakan terdiri dari elemen rangka atap baja struktur, pelat atap beton bertulang, pelat lantai beton bertulang, balok induk, balok anak beton bertulang, dinding geser (*shear wall*), *sloof* dan kolom beton bertulang.

a) Rangka atap kuda-kuda baja struktural

Bangunan gedung pelatihan keterampilan yang direncanakan dalam tugas akhir ini mengaplikasikan atap berstruktur rangka kuda-kuda baja struktural.

Untuk perancangan kuda-kuda atap terutama bahan yang digunakan adalah baja, maka data teknis yang diperlukan dalam perencanaan dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Tipe rangka kuda-kuda.

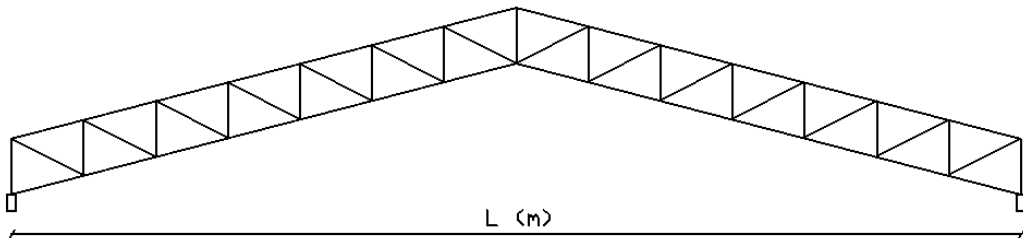


Gambar 2.5 Gambar Rangka Kuda-kuda Rencana

Sumber : Gambar Rencana Autocad

- Panjang bentang rangka kuda-kuda (m).

Untuk panjang bentang kuda-kuda ditentukan dengan angka jarak antar as tumpuan rangka kuda-kuda dalam arah melintang rangka kuda-kuda (L).

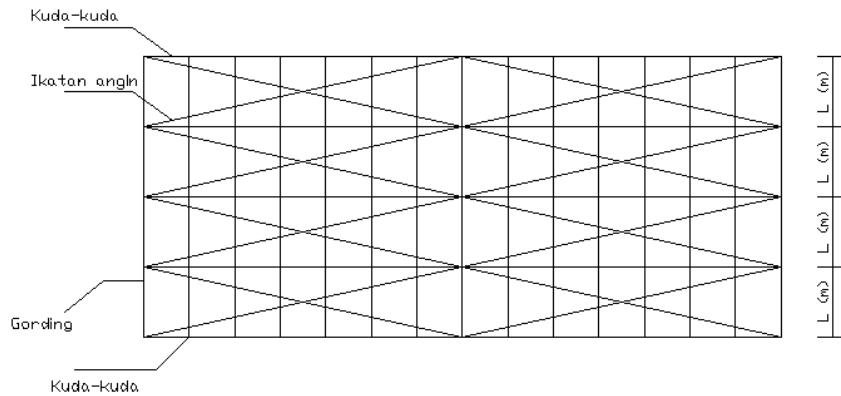


Gambar 2.6 Sketsa Bentang Rangka Kuda-kuda Rencana

Sumber : Gambar Rencana Autocad

- Jarak antar rangka kuda-kuda (m).

Untuk jarak antar rangka kuda-kuda ditentukan dengan angka jarak antar as tumpuan rangka kuda-kuda dalam arah memanjang rangka kuda-kuda (L).

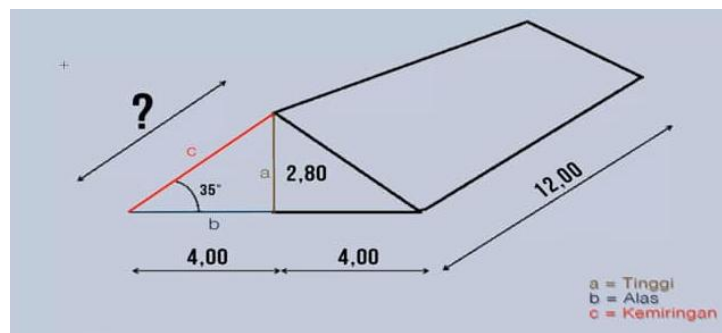


Gambar 2.7 Sketsa Tampak Atas Rangka Kuda-kuda Rencana

Sumber : Gambar Rencana Autocad

- Sudut kemiringan rangka kuda-kuda (α).

Untuk mencari angka kemiringan dari kuda-kuda (α) dapat menggunakan rumor sebagai berikut :



Gambar 2.8 Kemiringan Atap

Sumber : <https://rangkaatapbajaringanbogor.com/cara-mengetahui-kemiringan-atap-rumah/>

$$\alpha = \sqrt{b^2 + a^2}$$

Keterangan :

α = Kemiringan atap

b = Alas (m)

a = Tinggi (m)

- Mutu baja yang digunakan (kg/cm^2).

Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984, Bagian II, Halaman 5** mutu baja yang umumnya digunakan dalam perencanaan elemen struktur baja adalah sebagai berikut.

Tabel 2.15 Tabel Jenis Mutu Baja

Macam Baja	Tegangan Leleh		Tegangan Dasar	
	σ_l		$\bar{\sigma}$	
	Kg/cm^2	MPa	Kg/cm^2	Mpa
BJ 34	2100	210	1400	140
BJ 37	2400	240	1600	160
BJ 41	2500	250	1666	166,6
BJ 44	2800	280	1867	186,7
BJ 50	2900	290	1933	193,3
BJ 52	3600	360	2400	240

Sumber : PPBBI 1984

- Jenis penutup atap yang digunakan.

Berdasarkan **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983 BAB I, Halaman 12** jenis penutup atap yang umumnya digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut.

Tabel 2.16 Beban Penutup Atap Gedung

Jenis Penutup Atap	Berat (Kg/m ²)
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10

Sumber : PPIUG 1983

- Jenis sambungan antar rangka yang digunakan.

Jenis sambungan yang digunakan pada rencana struktur kuda-kuda baja dalam tugas akhir ini mengacu pada **Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984, Bab 8 tentang sambungan-sambungan**. Dan untuk jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan yang menggunakan alat sambung baut.

- Jenis profil rangka kuda-kuda yang digunakan.

Jenis profil rangka kuda-kuda yang direncanakan dalam tugas akhir ini mengacu pada buku **Tabel Profil Konstruksi Baja, Ir. Rudy Gunawan**.

- Jenis profil gording yang digunakan.

Untuk jenis profil gording pada kuda-kuda yang direncanakan dalam tugas akhir ini mengacu pada buku **Tabel Profil Konstruksi Baja, Ir. Rudy Gunawan**.

b) Perhitungan Pembebanan Kuda-kuda.

Untuk pembebanan yang perlu diperhitungkan dalam merencanakan elemen struktur kuda-kuda terdiri dari beberapa pembebanan sebagai berikut :

- Beban mati (DL).

Beban mati yang diperhitungkan dalam perencanaan kuda-kuda ini terdiri dari beban gording dan penutup atap yang digunakan pada kuda-kuda tersebut.

Untuk pembebanan pada jenis penutup atap yang akan digunakan dapat mengacu pada **Tabel 2.1, Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, Halaman 12.**

- Beban hidup (LL).

Dengan mengacu pada **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983**, beban hidup pada atap dan/atau bagian atap serta pada struktur tudung (canopy) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m^2 bidang datar.

Beban hidup pada atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan diantara dua macam beban berikut :

- Beban terbagi rata per m^2 bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar $(40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2$.

Di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50° .

- Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

Dan pada balok tepi atau gordeng tepi dari atap yang tidak cukup ditunjang oleh dinding atau penunjang lainnya dan pada kantilever harus ditinjau kemungkinan adanya beban hidup terpusat sebesar minimum 200 kg.

- Beban Angin (W)

Dengan mengacu pada **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, Bab 4**, beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang ditentukan dalam **Pasal 4.2.** dengan koefisien-koefisien angin yang ditentukan dalam **Pasal 4.3. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.**

Untuk tekanan tiup dapat ditentukan dengan faktor-faktor sebagai berikut :

- Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 .
- Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .
- Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, di mana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar. Maka tekanan tiup (P) harus dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{V^2}{16} (\text{kg/m}^2) \dots\dots\dots (2.2.5.1.1.)$$

Di mana V adalah kecepatan angin dalam m/det, yang harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.

Untuk nilai koefisien angin yang digunakan dalam perencanaan ini digunakan nilai koefisien angin untuk gedung tertutup. Untuk bidang-bidang luar bangunan, koefisien angin (+ berarti tekan dan – berarti isapan), adalah sebagai berikut :

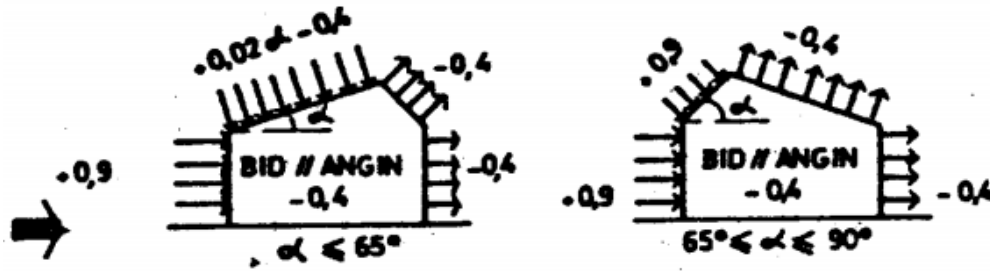
- Dinding vertikal :

Di pihak angin	+ 0,9
Di belakang angin	- 0,4
Sejajar dengan arah angin	- 0,4
- Atap segi-tiga dengan sudut kemiringan α :

Di pihak angin : $\alpha < 65^\circ$ (0,02 α - 0,4)

$65^\circ < \alpha < 90^\circ$ + 9

Di belakang angin untuk semua α (- 0,4)

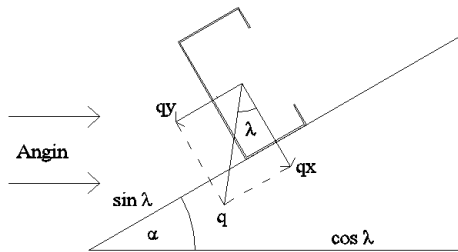


Gambar 2.9 Koefisien Angin Untuk Gedung Tertutup

Sumber : PPIUG 1983

c) **Perencanaan dan Perhitungan Gording.**

Gording merupakan salah satu komponen bagian dari rangka batang kuda-kuda yang menahan pembebanan yang bekerja dari beban mati, beban hidup dan beban angin pada atap. Beban mati tersebut antara lain beban penutup atap dan berat sendiri gording yang digunakan. Adapun beban hidupnya adalah beban hidup terpusat seperti beban pekerja beserta peralatannya.



Gambar 2.10 Arah Beban Mati Pada Gording

Sumber : Gambar Rencana Autocad

Dalam arah gaya yang bekerja pada gording tersebut, dapat diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Beban mati rencana.

- q = Berat beban penutup atap + Berat sendiri gording.....

..... (2.2.5.1.2.)

- $q_x = q \times \cos \alpha$ (2.2.5.1.3.)

- $q_y = q \times \sin \alpha$ (2.2.5.1.4.)

Momen akibat beban mati dihitung dengan rumus :

- $M_{x1} = \frac{1}{8} \times q_x \times L^2$ (2.2.5.1.5.)

- $M_{y1} = \frac{1}{8} \times q_y \times L^2$ (2.2.5.1.6.)

Dengan keterangan :

q = Beban mati.

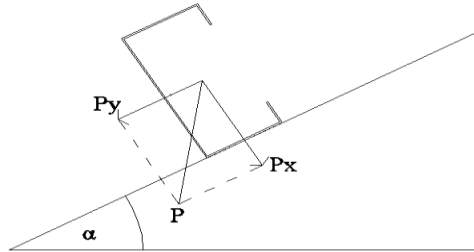
q_x = Beban mati arah x.

q_y = Beban mati arah y.

M_{x1} = Momen akibat beban mati arah x.

M_{y1} = Momen akibat beban mati arah y.

- Beban hidup rencana.



Gambar 2.11 Arah Beban Hidup Pada Gording

Sumber : Gambar Rencana Autocad

- $P_x = P \times \sin \alpha$ (2.2.5.1.7.)

- $P_y = P \times \cos \alpha$ (2.2.5.1.8.)

Momen akibat beban hidup dapat dihitung dengan rumus :

- $M_{x2} = \frac{1}{4} \times P_x \times L$ (2.2.5.1.9.)

- $M_{y2} = \frac{1}{4} \times P_y \times L$ (2.2.5.1.10.)

Dengan keterangan :

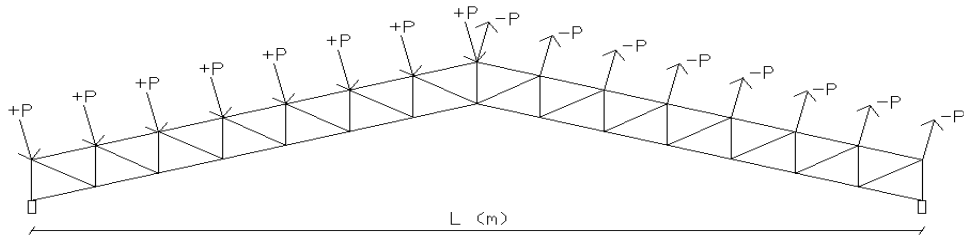
P_x = Beban hidup arah x.

P_y = Beban hidup arah y.

M_{x2} = Momen akibat beban hidup arah x.

M_{y2} = Momen akibat beban hidup arah y.

- Beban angin rencana



Gambar 2.12 Arah Beban Hidup Pada Gording

Sumber : Gambar Rencana Autocad

Perhitungan pembebanan angin tekan dengan rumus :

- Di pihak angin : $\alpha < 65^\circ$ (0,02 α - 0,4)

$$65^\circ < \alpha < 90^\circ \quad + 9$$

- Di belakang angin untuk semua α (- 0,4)

Perhitungan momen akibat beban angin :

Momen akibat beban angin dihitung arah “X” nya saja dikarenakan arah angin sejajar dengan bidang atap.

- $M_{x3} = \frac{1}{8} x q x L^2$ (2.2.5.1.11.)

Dengan keterangan :

α = Derajat kemiringan atap

M_{x3} = Momen akibat beban angin arah x.

d) Kombinasi Pembebanan.

Kobinasi pembebanan diperhitungkan dengan mengkombinasikan beberapa pembebanan yang bekerja pada elemen gording.

Angka yang dijumlahkan dalam kombinasi pembebanan ini didapat dari perhitungan momen akibat beban mati, beban hidup dan beban angin. Untuk perhitungannya dapat dibagi dalam dua kombinasi perhitungan pembebanan, antara lain :

- Kombinasi antara pembebanan yang dihasilkan oleh momen akibat beban mati dan momen akibat beban hidup dari arah “X” dan “Y”.

Dengan rumus :

- $M_{xA} = M_{x1} + M_{x2} \dots \dots \dots (2.2.5.1.12.)$

- $M_{yA} = M_{y1} + M_{y2} \dots \dots \dots (2.2.5.1.13.)$

Dengan keterangan :

M_{xA} = Total kombinasi pembebanan akibat momen beban mati dan momen beban hidup arah “X”.

M_{yA} = Total kombinasi pembebanan akibat momen beban mati dan momen beban hidup arah “Y”.

- Kombinasi antara pembebanan yang dihasilkan oleh momen akibat beban mati dan momen akibat beban angin dari arah “X” dan “Y”.

Dengan rumus :

- $M_{xB} = M_{x1} + M_{x3} \dots \dots \dots (2.2.5.1.14.)$

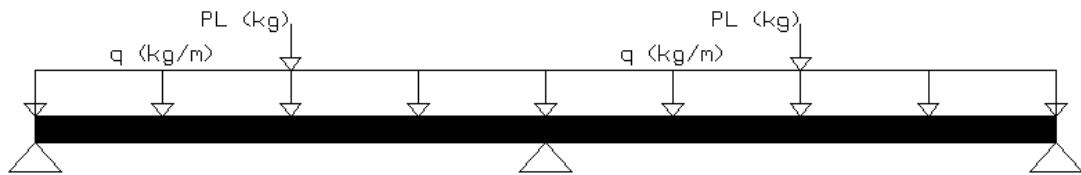
- $M_{yB} = M_{y1} + M_{y3} \dots \dots \dots (2.2.5.1.15.)$

Dengan keterangan :

M_{xB} = Total kombinasi pembebanan akibat momen beban mati dan momen beban angin arah “X”.

M_{yB} = Total kombinasi pembebanan akibat momen beban mati dan momen beban angin arah “Y”.

e) Kontrol Tegangan Terhadap Momen.



Gambar 2.13 Distribusi Beban Terpusat dan Merata Pada Gording dengan Tiga Tumpuan

Sumber : Gambar Rencana Autocad

Dalam pengontrolan tegangan terhadap momen ini dilakukan dengan mengkalkulasikan momen dari beban hidup dalam rumus (2.2.5.1.10.) dan momen dari beban mati dalam rumus (2.2.5.1.6.) sehingga didapatkan nilai momen maksimum. Rumus yang digunakan dalam hal ini adalah rumus persamaan tiga momen.

$$MA \left(\frac{L_1}{I_1} \right) + 2MB \left(\frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} \right) + MC \left(\frac{L_2}{I_2} \right) = -6 \frac{\alpha_2(A_1 \cdot A'_1)}{IL_1} - 6 \frac{\alpha_2(A_2 \cdot A'_2)}{IL_2}$$

..... (2.2.5.1.16.)

f) Kontrol Tegangan Dasar Baja.

Perhitungannya dengan rumus :

$$\bar{\sigma} = \frac{fy}{1,5} \dots \dots \dots (2.2.5.1.17.)$$

Dengan keterangan :

$\bar{\sigma}$ = Tegangan dasar.

fy = Tegangan leleh baja.

g) Kontrol Tegangan Leleh Baja.

Dalam melakukan pengontrolan terhadap tegangan leleh baja, data-data spesifikasi baja yang digunakan adalah sebagai berikut :

- I_x = Momen inersia x (cm^4).
- I_y = Momen inersia y (cm^4).
- ω_x = Momen tahanan x (cm^3).
- ω_y = Momen tahanan y (cm^3).

Untuk rumus pengontrolan tegangan leleh baja adalah sebagai berikut :

$$\sigma_l = \frac{M_{xAB}}{\omega_x} + \frac{M_{yAB}}{\omega_y} \dots \dots \dots (2.2.5.1.18.)$$

h) Kontrol Lendutan Batang Baja.

Berdasarkan **PPBBI 1984, Bagian IV, Bab 15** tentang lendutan-lendutan, diberikan penjelasan untuk menentukan batas-batas lendutan pada batang baja sebagai berikut :

- Secara umum, lendutan maximum akibat beban mati + beban hidup harus lebih kecil dari $\frac{1}{250} \cdot L$. Pada balok yang terletak bebas atas dua tumpuan, L adalah bentang dari balok tersebut, pada balok menerus atas banyak perletakan, L adalah jarak antara titik-titik beloknya akibat beban mati, sedangkan pada balok kantilever L adalah dua kali panjang kantilevernya.
- Bila sebelum dibebani suatu konstruksi diberi lawan lendut demikian rupa sehingga akibat beban mati + beban hidup, lendutan yang terjadi terhadap garis system yang sebenarnya $\leq \frac{1}{250} L$, maka harus pula dipenuhi syarat : lendutan maximum akibat beban hidup $\leq \frac{1}{500} L$.

Besar lendutan pada beberapa jenis pembebanan balok yang umum terjadi ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :

$$\Delta_{l12} = -\frac{M_1 \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I}$$

$$\Delta_{l12} = \frac{5 \cdot q_0 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \left(\frac{1}{8} q_0 \cdot L^2 \right) \frac{L^2}{EI}}{48} = \frac{5}{48} \frac{M_0 \cdot L^2}{E \cdot I}$$

$$\Delta_{l12} = \frac{P \cdot b(3L^2 - 4b^2)}{48 \cdot EI}$$

$$\Delta_{l12} = \frac{5}{48} \frac{M_0 \cdot L^2}{EI} - \frac{M_1 \cdot L^2}{16EI} - \frac{M_2 \cdot L^2}{16EI}$$

$$\Delta_{l12} = \frac{L^2}{48 \cdot EI} (5M_0 - 3M_1 - 3M_2)$$

Gambar 2.14 Rumus Perhitungan Lendutan Berdasarkan Perletakan Balok Baja Yang Digunakan

Sumber : Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002).

Dengan keterangan dari gambar tersebut adalah sebagai berikut :

$\Delta_{L/2}$ = Lendutan pada batang baja (mm).

E = Modulus elastisitas baja.

I = Momen inersia penampang.

i) Perhitungan Sagrod

Batang sagrod berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (arah miring atap) sekaligus untuk tegangan lendutan yang timbul pada arah x. Beban-beban yang dipikul oleh batang sagrod yaitu sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik G_x dan P_x .

G_x = Berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x
..... (2.2.5.1.19.)

P_x = Beban hidup arah sumbu x

$P_{total} = G_x + P_x = (q_x \cdot L)$ (2.2.5.1.20.)

Maka dari perhitungan tersebut harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

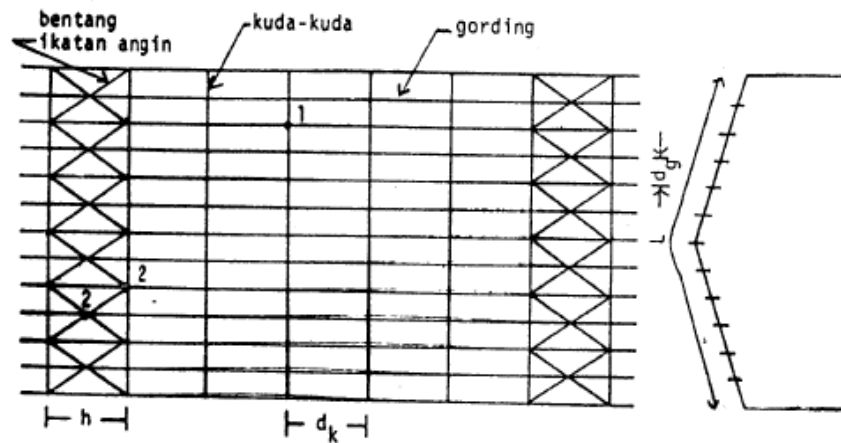
$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} \text{ (2.2.5.1.21.)}$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \text{ (2.2.5.1.22.)}$$

j) Ketentuan Ikatan Angin.

Dengan mengacu pada ketentuan yang ada pada **PPBBI-1984, Bab 7**

Tentang Stabilitas Konstruksi Atap berlaku ketentuan sebagai berikut :



Gambar 2.15 Sketsa Hubungan Antara Kuda-kuda, Ikatan Angin dan Gording

Sumber : PPBBI-1984

- Pada hubungan gording ikatan angin (titik 2 pada gambar di atas), harus dianggap ada gaya P' yang arahnya sejajar sumbu gording, yang besarnya adalah :

$$P' = 0,01 P_{Kuda-kuda} + 0,005 \cdot n \cdot q \cdot d_k \cdot d_g$$

Dengan keterangan :

$P_{Kuda-kuda}$ = Gaya pada bagian tepi kuda-kuda di tempat gording tersebut.

n = Jumlah trave antara dua bentang ikatan angina.

q = Beban atap vertikal terbagi rata.

d_k = Jarak antar kuda-kuda.

d_g = Jarak gording.

- Pada bentang ikatan angin harus dipenuhi syarat sebagai berikut :

$$\frac{h}{L} \geq \sqrt{\frac{0,25 \cdot Q}{E \cdot A_{Tepi}}}$$

Dengan keterangan :

A_{Tepi} = Luas bagian tepi kuda-kuda.

h = Jarak kuda-kuda pada bentang ikatan angin.

L = Panjang tepi atas kuda-kuda.

$$Q = n \cdot q \cdot L \cdot d_k$$

k) Analisa Perhitungan Gaya Batang.

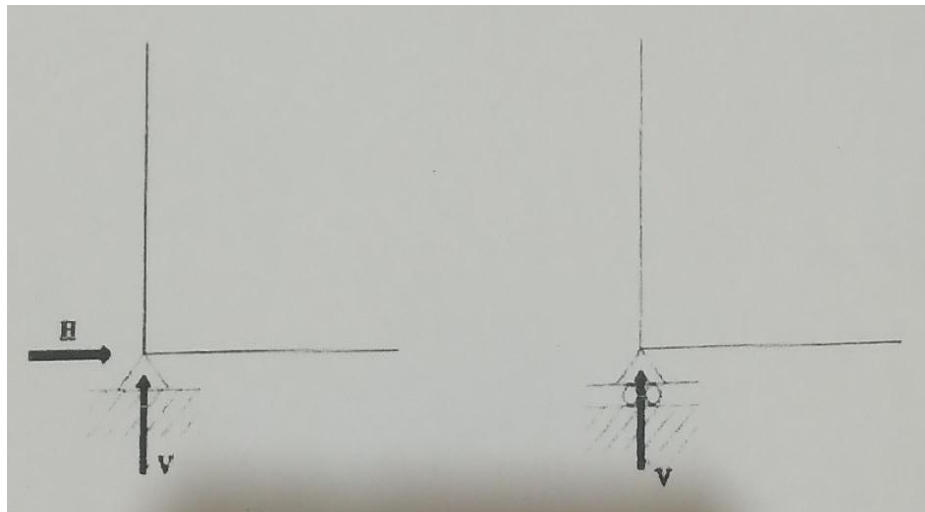
Sistem struktur rangka batang merupakan suatu sistem struktur yang terdiri dari batang-batang lurus yang dirangkai menjadi suatu bentuk berupa segitiga.

Dalam melakukan analisis suatu sistem struktur rangka batang, senantiasa digunakan prinsip-prinsip kesetimbangan statik dengan mengambil beberapa asumsi dasar sebagai berikut :

- Setiap batan terhubung di suatu titik kumpul yang berupa sendi tanpa gesekan (*frictionless hinges*).
- Sumbu utama dari setiap batang, dalam satu titik kumpul, saling berpotongan di suatu titik sehingga tidak terjadi eksentrisitas gaya.

- Semua beban termasuk berat sendiri struktur dianggap bekerja pada titik-titik kumpul.
- Setiap batang hanya memikul gaya aksial, tanpa adanya momen lentur dan gaya geser.
- Tegangan sekunder akibat deformasi aksial diabaikan.

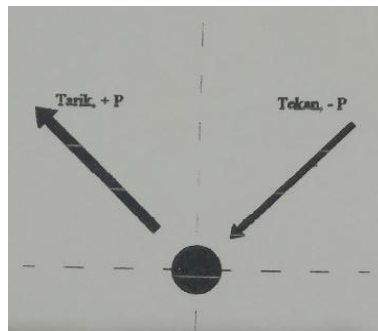
Suatu struktur rangka batang sederhana pada umumnya memiliki tumpuan berupa sendi dan rol. Tumpuan rol hanya memberikan tumpuan dalam arah vertikal, sehingga dapat terjadi perpindahan dalam arah horizontal dan secara rotasi. Tumpuan sendi mampu memberikan reaksi dalam arah horizontal dan vertikal, sehingga hanya dapat terjadi perpindahan berupa rotasi saja.



Gambar 2.16 Gambar Tumpuan Sendi (Kiri) dan Tumpuan Rol (Kanan).

Sumber : Analisis Struktur, Agus Setiawan

Dalam melakukan analisis suatu struktur rangka batang terlebih dahulu harus ditetapkan suatu aturan perjanjian tanda. Arah gaya pada masing-masing batang digambarkan sebagai tanda panah yang berpusat pada suatu titik kumpul. Gaya aksial tarik digambarkan sebagai suatu anak panah yang berarah keluar dari titik kumpul, dan diberi tanda positif (+), sedangkan gaya aksial tekan digambarkan sebagai suatu anak panah yang berarah masuk ke dalam titik kumpul dan diberi tanda negatif (-).



Gambar 2.17 Perjanjian Tanda Gaya Batang Pada Struktur Rangka Batang.

Sumber : Analisis Struktur, Agus Setiawan

Dengan mengacu pada buku *Analisis Struktur penulis Agus Setiawan*, dalam menentukan gaya batang pada struktur kuda-kuda dapat digunakan beberapa metode sebagai berikut :

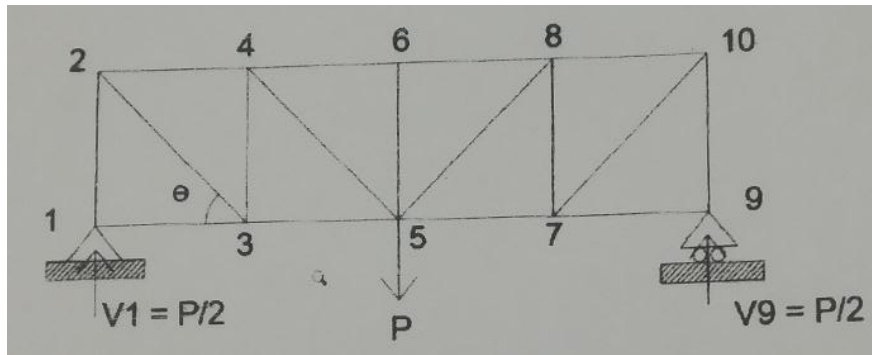
1. Metode titik kumpul

Metode ini merupakan metode dasar yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu struktur rangka batang. Metode ini dilakukan

dengan cara meninjau syarat kesetimbangan gaya di setiap titik kumpul, menggunakan persamaan $\sum H = 0$ dan $\sum V = 0$.

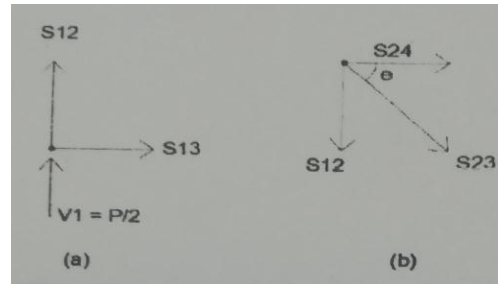
Selanjutnya untuk memulai perhitungan gaya batang dengan metode titik kumpul ini maka dapat dimulai pada titik kumpul yang hanya memiliki dua buah batang saja. Biasanya dapat dimulai pada titik tumpuan.

Terkadang sebagai analisis awal dapat ditentukan batang-batang yang tidak memikul gaya, atau sering disebut sebagai batang nol. Pada suatu titik kumpul yang merupakan pertemuan dari tiga buah batang, dan tidak terdapat gaya luar, apabila dua batang saling segaris, maka batang ketiga dapat dipastikan sebagai batang nol. Dapat sedikit diberikan contoh perhitungan melalui gambar di bawah ini :



Gambar 2.18 Struktur Rangka Batang Statis Tertentu.

Sumber : Analisis Struktur, Agus Setiawan



Gambar 2. 19 Gambar (a) Keseimbangan Titik Kumpul 1 dan (b) Kesetimbangan Titik Kumpul 2.

Sumber : Analisis Struktur, Agus Setiawan

Pada titik kumpul 1, **Gambar 2.19. (a)**, dapat digunakan persamaan kesetimbangan untuk menghitung gaya batang pada batang 13 dan batang 12.

$$\begin{aligned} \sum F_H = 0 & & S_{13} = 0 \\ \sum F_V = 0 & & S_{12} + V_1 = 0 \\ & & S_{12} = -P/2 \end{aligned}$$

Tinjau pula kesetimbangan gaya pada titik kumpul 2.

$$\begin{aligned} \sum F_V = 0 & & -S_{12} - S_{23} \cdot \sin \phi = 0 \\ & & S_{23} = -S_{12} / \sin \phi \text{ atau } S_{23} = +P/2 \operatorname{cosec} \phi \end{aligned}$$

2. Metode potongan

Metode potongan menggunakan konsep diagram badan bebas untuk menentukan atau menghitung besarnya gaya batang pada batang-batang tertentu. Metode ini dilakukan dengan membuat potongan melewati batang-batang yang ingin ditentukan besar gayanya.

3. Metode koefisien gaya

Metode ini hampir serupa dengan metode potongan, namun memiliki penggunaan yang lebih terbatas. Metode koefisien gaya hanya dapat digunakan pada struktur rangka batang yang memiliki batang-batang yang sejajar serta batang-batang yang memiliki kemiringan seragam. Sebagai langkah awal struktur rangka batang yang hendak dianalisis harus digambarkan dahulu bidang momen lentur dan bidang gaya gesernya, dengan menganggap struktur tersebut adalah suatu balok sederhana di atas tumpuan.

4. Metode substitusi batang

Suatu struktur rangka batang yang cukup kompleks memiliki tiga batang atau lebih pada tiap titik kumpul. Dalam hal ini, langkah yang dapat digunakan untuk menganalisis struktur rangka batang demikian adalah dengan menggunakan metode substitusi batang. Metode ini pada prinsipnya dilakukan dengan mengganti salah satu batang dengan batang lain, sehingga terdapat minimal satu buah titik kumpul yang hanya terdiri dari dua buah batang, sehingga analisis dapat dimulai dari titik tersebut dengan menggunakan persamaan-persamaan kesetimbangan yang ada.

l) Perhitungan Dimensi Profil Baja.

Data-data yang diperlukan dan digunakan dalam melakukan perencanaan dimensi profil baja yang akan digunakan pada rangka kuda-kuda adalah sebagai berikut :

- Pembebanan maksimal “P max” (kg)
- Panjang batang baja (cm)
- Asumsi jenis profil baja yang digunakan
- Luas kotor profil “F bruto” (cm)
- Luas bersih profil (F netto), dihitung menggunakan rumus :

$$F_{netto} = F_{bruto} - \emptyset \cdot 0,6 \dots\dots\dots (2.2.5.1.23.)$$

Dengan keterangan :

\emptyset = Diameter lubang baut (cm)

Setelah data tersebut tersedia, lalu dihitung tegangan tariknya dengan menggunakan rumus :

$$\sigma_{tr} = \frac{P_{max}}{F_{netto}} = \dots (kg/cm^2) \dots\dots\dots (2.2.5.1.24.)$$

m) Perhitungan Sambungan Baut.

Berdasarkan mengacu pada ketentuan yang ada pada **PPBBI-1984, Bab 8 Tentang Sambungan-sambungan** hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Sambungan-sambungan harus direncanakan sesuai dengan beban-beban kerja pada batang-batang yang disambung.

- Pada prinsipnya sambungan direncanakan hanya memakai satu macam alat penyambung.
- Pada sambungan-sambungan yang menghubungkan batang-batang utama, jumlah minimum baut atau baut mutu tinggi adalah dua buah.
- Ukuran maksimum dari diameter lubang baut sama dengan diameter baut ditambah 1 mm. Untuk baut mutu tinggi sama dengan diameter batang baut ditambah 2 mm.

Untuk perhitungan dan perencanaan sambungan baut perlu diperhatikan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut :

- Tegangan-tegangan yang diizinkan untuk menghitung kekuatan baut adalah sebagai berikut :

- Tegangan geser yang diizinkan :

$$\bar{\tau} = 0,6 \cdot \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.2.5.1.25.)$$

- Tegangan tarik yang diizinkan :

$$\bar{\sigma}_{ta} = 0,7 \cdot \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.2.5.1.26.)$$

- Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik yang diizinkan :

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma^2 + 1,56 \cdot \tau^2} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.2.5.1.27.)$$

- Tegangan tumpu yang diizinkan :

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \cdot \bar{\sigma} \text{ untuk } S_1 \geq 2d$$

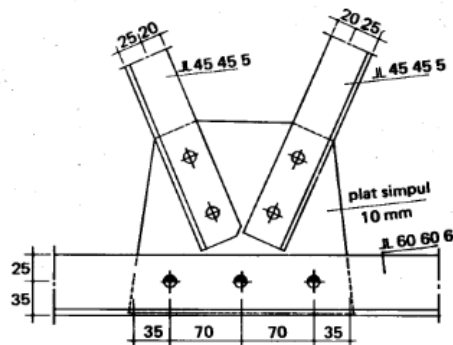
$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \cdot \bar{\sigma} \text{ untuk } 1,5 \cdot d \leq S_1 \leq 2d$$

Dengan keterangan :

S_1 = Jarak dari sumbu baut yang paling luar ke tepi bagian yang disambung.

d = Diameter baut.

$\bar{\sigma}$ = Tegangan dasar baja.

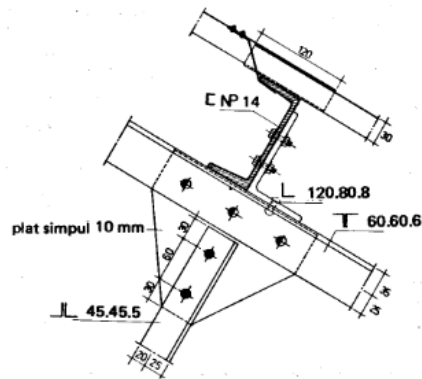


Gambar 2.20 Gambar Penempatan Sambungan Baut

Sumber : Membuat Gambar Kerja (Shop Drawing) Konstruksi Baja

Drs. Ahmad Nurul Huda

- Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya, tidak boleh lebih dari 5 buah.
- Jarak antara sumbu baut paling luar ke tepi atau ke ujung bagian yang disambung, tidak boleh kurang dari $1,2 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $3 d$ atau $6 t$ dimana t adalah tebal terkecil bagian yang disambungkan.



Gambar 2.21 Gambar Penempatan Sambungan Baut.

Sumber : Membuat Gambar Kerja (Shop Drawing) Konstruksi Baja

Drs. Ahmad Nurul Huda

Ketentuan dari gambar tersebut adalah :

S_1 = Minimal $1,2d$; maksimal $3d$ dan $6t$ dimana t adalah tebal terkecil bagian yang disambungkan.

S = Minimal $2,5d$; maksimal $7d$ atau $14t$.

- Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$.

2.2.5.2 Pelat Beton Bertulang

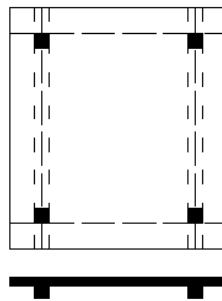
Pelat beton dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau jenis struktur lainnya.

Pelat beton dapat ditumpu oleh dinding, balok, kolom atau dapat juga terletak langsung di atas tanah (*slab on ground*).

Pada umumnya struktur pelat beton dalam suatu bangunan gedung dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok sebagai berikut :

1. Pelat satu arah

Jika sistem pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu ke arah tumpuan. Pelat jenis ini disebut juga dengan pelat satu arah. Apabila pelat tertumpu di keempat sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2.



Gambar 2.22 Pelat Satu Arah

Sumber : Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 :

2013, Agus Setiawan.

Ketebalan minimum pelat satu arah berdasarkan SNI : 2847 – 2013 pasal

9.5. dapat digambarkan sebagai berikut.

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	ℓ / 20	ℓ / 24	ℓ / 28	ℓ / 10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	ℓ / 16	ℓ / 18,5	ℓ / 21	ℓ / 8

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
 (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Gambar 2.23 Gambar Tabel Tebal Minimum Pelat.

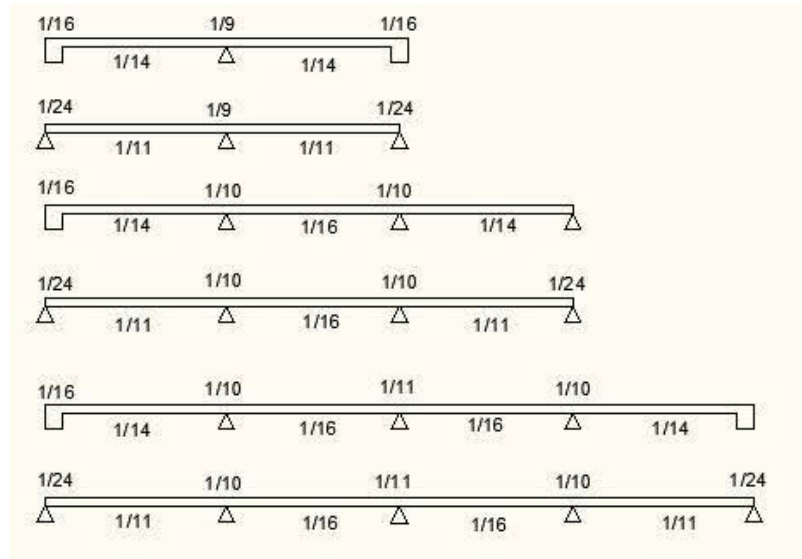
Sumber : SNI : 2847 – 2013

Jika pelat hanya terdiri dari satu bentangan saja, dengan anggapan tertumpu sederhana di kedua sisinya, maka momen lentur yang timbul akibat beban “q” yang terdistribusi merata adalah $M = q.L^2/8$, dengan “L” adalah panjang bentang antara kedua tumpuan. Bila pelat yang sama tertumpu pada beberapa tumpuan, maka akan timbul momen positif dan momen negatif pada pelat yang dapat dihitung melalui prosedur analisis struktur, atau dapat juga menggunakan koefisien momen yang diberikan dalam **SNI 2847 : 2013, Pasal 8.3.3**. Nilai koefisien momen tersebut dapat digunakan jika :

- a) Beda panjang bentang tidak terlalu jauh, dengan batasan panjang bentang tidak boleh melebihi 20 % dari bentang terpendek.
- b) Beban yang bekerja adalah beban yang merata.
- c) Beban hidup tidak melebihi 3 kali beban mati.

Nilai koefisien momen seperti disyaratkan dalam **SNI 2847 : 2013,**

Pasal 8.3.3.



Gambar 2.24 Gambar Tabel Tebal Minimum Pelat

Sumber : Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 :

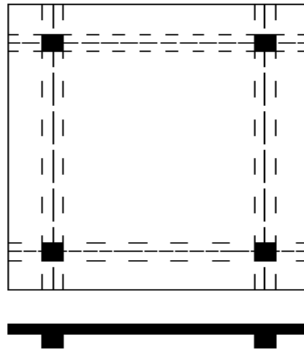
2013, Agus Setiawan

2. Pelat dua arah

Apabila struktur pelat beton ditopang di keempat sisinya, dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan pelat dua arah.

Berdasarkan **SNI : 2847 – 2013 Pasal 9.5.3.** menentukan ketebalan minimum pelat dua arah untuk mencegah terjadinya lendutan berlebih.

Karena perhitungan lendutan dari pelat dua arah cukup rumit, dan untuk mencegah lendutan yang besar, maka ketebalan pelat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus empiris sebagai berikut :



Gambar 2.25 Pelat Dua Arah

Sumber : *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 :*

2013, Agus Setiawan

a) Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,3 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots (2.2.5.2.1.)$$

Namun tidak kurang dari 125 mm.

b) $\alpha_{fm} > 2,0$

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \dots\dots\dots (2.2.5.2.2.)$$

Namun tidak kurang dari 90 mm.

c) Untuk $\alpha_{fm} < 0,2$

h = Ketebalan minimum pelat tanpa balok mengacu pada gambar di bawah ini

Tegangan leleh, f_y MPa [†]	Tanpa penebalan [‡]			Dengan penebalan [‡]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

[†] Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
[‡] Untuk f_y , antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
[§] Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Gambar 2.26 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Sumber : SNI : 2847 - 2013

Dengan keterangan :

ℓ_n = Panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya (mm).

β = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat dua arah.

α_{fm} = Nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu pelat.

α_f = Rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb} \cdot I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_{cs} \cdot I_s$), yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

I_b = Momen inersia bruto dari penampang balok terhadap sumbu berat, penampang balok mencakup pula bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, namun tidak lebih dari empat kali tebal pelat.

I_s = Momen inersia bruto dari penampang pelat.

Untuk perhitungan momen pada elemen struktur pelat ini dapat mengacu pada **PBI – 1971 Tabel 13.3.1.**

Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya
akibat beban terbagi rata

		l_y/l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5	
I		$(M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	34	32	32	25
II		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	34	13
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	34	38
III		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	19
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	48	50	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	48	47	47	47	56
IVA		$(M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	25
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	75
IVB		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	51	54	57	59	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	9	13
VA		$(M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	79	25
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	79	75
VB		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	60	66	71	76	79	82	85	87	88	89	90	91	91	92	92	93	94	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	12	
VIA		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	48	19
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	48	56
VIB		$(M_x) = - (M_x) = 0,001 q l_x^2 X$	13	48	51	55	57	58	60	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63	
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33	13
		$(M_y) = 0,001 q l_x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33	38

= Terletak bebas
 = Menerus atau terjepit elastis

Gambar 2.27 Tabel Koefisien Momen Pelat

Sumber : PBI : 1971

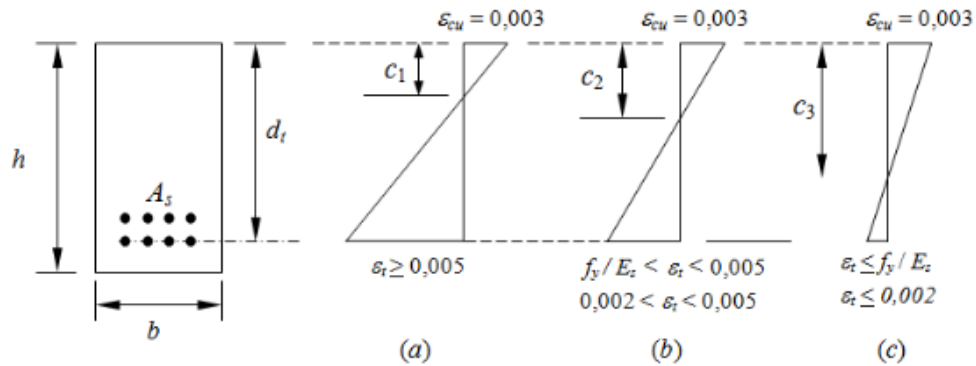
2.2.5.3 Balok Persegi Beton Bertulang

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal. Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen punter).

Dalam proses desain suatu balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*strength design method*) atau yang dikenal pula dengan metode ultimit, mengambil beberapa asumsi sebagai berikut :

- a) Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama, dengan anggapan terbentuk lekatan yang cukup antara tulangan baja dan beton.
- b) Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang.
- c) Nilai modulus elastisitas E_s , tulangan baja dianggap sebesar 200.000 MPa, dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan E_s .
- d) Penampang datar akan tetap datar setelah terjadi lentur.
- e) Kuat tarik beton diabaikan karena besarnya kuat tarik beton hanya 10 % dari nilai kuat tekannya.
- f) Pada kondisi keruntuhan regangan maksimum yang terjadi pada serat tekan beton terluar, besarnya sama dengan 0,003.

- g) Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk dari distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berupa persegi empat, sesuai dengan asumsi dalam **SNI 2847 : 2013 Pasal 10.2.**



Gambar 2.28 Tiga Macam Keruntuhan Balok Ditinjau Dari Persentase Tulangan Baja.

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

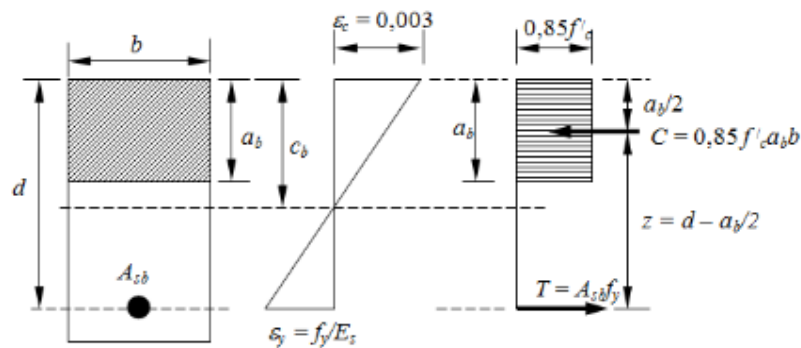
Berdasarkan persentase tulangan baja yang digunakan dalam suatu komponen struktur balok, maka terdapat tiga macam keruntuhan lentur balok yang dapat terjadi :

- Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya sebelum beton mencapai kuat maksimumnya. Penampang beton memiliki persentase tulangan baja cukup kecil, penampang ditunjukkan pada **Gambar 2.28. (a)**.
- Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya dan pada saat yang bersamaan beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang ditunjukkan pada **Gambar 2.28. (b)**.

c) Pada balok dengan persentase tulangan baja cukup besar, beton akan runtuh sebelum tulangan baja mencapai kuat luluhnya. Di sini beton mencapai kuat tekan dan regangan ultimitnya, namun tegangan pada tulangan baja, f_y , masih jauh di bawah tegangan luluhnya. Penampang ditunjukkan pada **Gambar 2.28. (c)**.

1. Balok Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Balok dengan bertulangan tunggal merupakan balok beton bertulang yang tulangnya hanya ditempatkan pada bagian tarik saja dari balok.



Gambar 2.29 Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

Dari **Gambar 2.29.** didapat keterangan sebagai berikut :

A_{sb} = Luas tulangan tarik (mm^2)

b = Lebar penampang yang tertekan (mm)

d = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan baja tarik (mm)

a_b = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm), $a_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,05 \cdot f'_c \cdot b}$

c_b = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm),

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d$$

C = Gaya tekan beton (kN)

T = Gaya tarik baja tulangan (kN)

z = Jarak antara titik berat blok tegangan persegi ekuivalen ke titik berat tulangan tarik (mm).

Dari diagram regangan pada **Gambar 2.29.**, maka dengan menggunakan perbandingan segitiga akan diperoleh hubungan berikut :

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} \dots\dots\dots (2.2.5.3.1.)$$

Atau jika nilai E_s diambil sebesar 200.000 MPa, maka :

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d \dots\dots\dots (2.2.5.3.2.)$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya, maka dapat dituliskan :

$$C = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b = A_{sb} \cdot f_y \dots\dots\dots (2.2.5.3.3.)$$

Atau jika dituliskan untuk nilai a_b :

$$a_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.2.5.3.4.)$$

Persentase tulangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kondisi seimbang disebut sebagai rasio tulangan seimbang, ρ_b . Nilai ρ_b sama dengan luas tulangan baja dibagi dengan luas penampang efektif :

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2.2.5.3.5.)$$

Dengan keterangan :

b = Lebar penampang yang tertekan.

d = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan baja tarik.

Substitusikan nilai A_{sb} ke dalam persamaan (2.2.5.3.3.) :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b = \rho_b \cdot b \cdot d \cdot f_y \dots\dots\dots (2.2.5.3.6.)$$

Atau :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{d \cdot f_y} a \cdot b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{d \cdot f_y} \beta_1 \cdot c_b \dots\dots\dots (2.2.5.3.7.)$$

Untuk faktor β_1 dapat dihitung sebagai berikut :

- Untuk kuat tekan beton $f'_c \leq 28 \text{ MPa}$

$$\beta_1 = 0,85$$

- Untuk kuat tekan beton $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$$

- Untuk kuat tekan beton $f'_c > 56 \text{ MPa}$

$$\beta_1 = 0,65$$

Selanjutnya substitusikan nilai c_b dari persamaan (2.2.5.3.2.), untuk mendapatkan persamaan umum rasio tulangan seimbang ρ_b :

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.8.)$$

Secara umum, momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C dan T pada **Gambar 2.29** dengan jarak antara kedua gaya tersebut, maka :

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

Atau :

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.9.)$$

Nilai a , dihitung terlebih dahulu dari persamaan (2.2.5.3.4.). Untuk mendapatkan besarnya kuat rencana, ϕM_n , maka kuat momen nominal, M_n , harus direduksi dengan cara dikalikan dengan faktor reduksi ϕ :

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right) \dots\dots (2.2.5.3.10.)$$

Karena $A_s = \rho \cdot b \cdot d$, maka persamaan (2.2.5.3.10.) dapat dituliskan pula dalam variable rasio tulangan baja sebagai berikut :

$$\phi M_n = \phi \cdot f_y \cdot \rho \cdot b \cdot d \left(d - \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b} \right) = \phi \cdot \rho \cdot f_y \cdot b \cdot d^2 \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.11.)$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan secara ringkas menjadi :

$$\phi M_n = R_u \cdot b \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.2.5.3.12.)$$

Dengan :

$$\phi M_n = R_u \cdot b \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.2.5.3.13.)$$

$$R_u = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.14.)$$

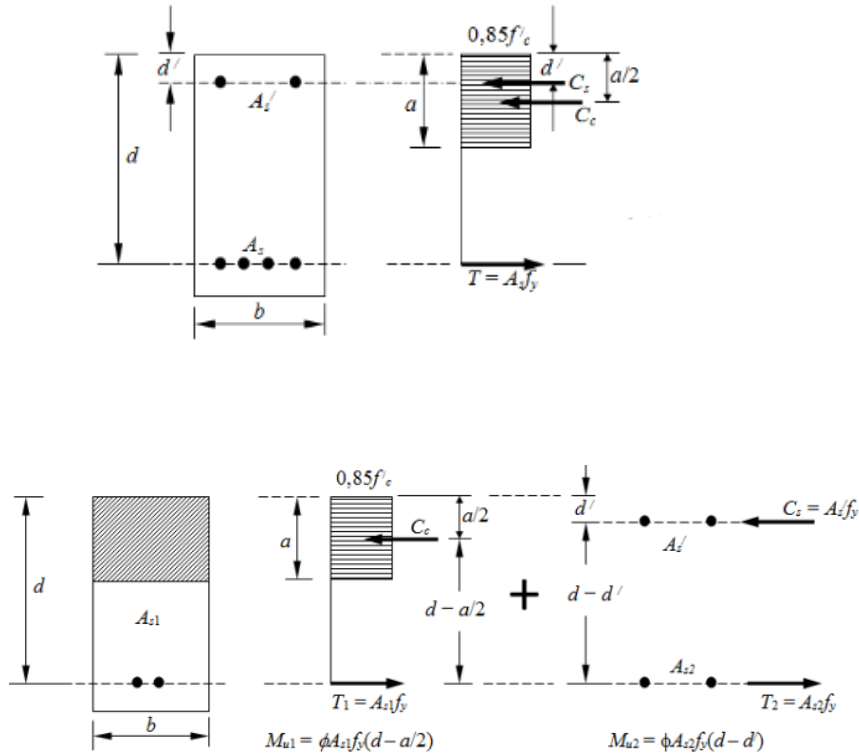
2. Balok Penampang Persegi Bertulangan Rangkap

Terkadang suatu penampang balok beton bertulang didesain memiliki tulangan tarik dan tulangan tekan. Balok demikian dinamakan sebagai balok bertulangan rangkap. Penggunaan tulangan tekan sering diumpai pada daerah momen negatif dari suatu balok menerus atau di tengah bentang dari suatu balok yang cukup panjang dan memikul beban yang berat serta persyaratan control lendutan cukup ketat.

Momen internal balok bertulangannrangkap dapat dibedakan menjadi dua macam seperti ditunjukan dalam gambar. M_{u1} adalah momen internal yang dihasilkan dari gaya tekan pada beton dan gaya tarik ekuivalen pada tulangan baja, A_{s1} . Sedangkan M_{u2} merupakan momen internal tambahan yang diperoleh dari gaya tekan pada tulangan tekan A'_s dan gaya tarik pada tulangan tarik tambahan A_{s2} .

Syarat batasan tulangan untuk A_{s1} , adalah bahwa harus dipenuhi $\rho_1 = (A_{s1}/b \cdot d) < \rho_{maks}$ untuk penampang terkendali tarik dari balok bertulangan tunggal. Selanjutnya M_{u2} dapat dihitung dengan mengasumsikan tulangan tekan, A'_s sudah luluh :

$$M_{u2} = \phi \cdot A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') = \phi \cdot A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots (2.2.5.3.15.)$$



Gambar 2.30 Penampang Persegi Bertulangan Rangkap.

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

Dalam hal ini $A_{s2} = A'_s$ menghasilkan gaya yang sama besar namun berlawanan arah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.30**. Dan akhirnya momen nominal total dari suatu balok bertulang rangkap diperoleh dengan menjumlahkan M_{u1} dan M_{u2} :

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \cdot \left[A_{s1} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + \phi \cdot A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \right] \dots\dots\dots (2.2.5.3.16.)$$

Luas total tulangan baja tarik yang digunakan adalah jumlah dari A_{s1} dan A_{s2} , sehingga :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = A_{s1} + A'_s \dots\dots\dots (2.2.5.3.17.)$$

Atau :

$$A_{s1} = A_s - A'_s \dots\dots\dots (2.2.5.3.18.)$$

Selanjutnya persamaan (2.2.5.3.4.) dituliskan dalam bentuk :

$$a = \frac{(A_s \cdot A'_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.2.5.3.19.)$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \cdot \left[(A_s - A'_s) \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \right]$$

Serta diperoleh pula syarat batas maksimum rasio tulangan :

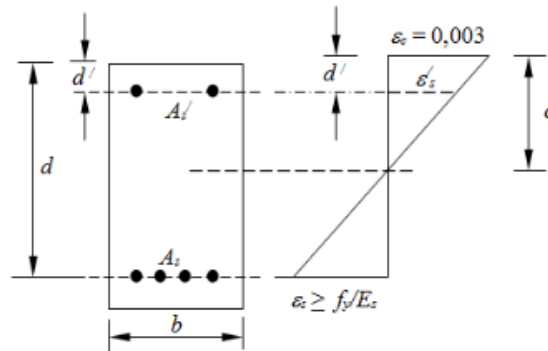
$$(\rho - \rho') < \rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,008 + f_y/E_s}{0,008} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.20.)$$

Apabila $\rho_1 = (\rho - \rho') > \rho_{maks}$, maka penampang akan berada pada daerah transisi sehingga harus dipenuhi persyaratan $(\rho - \rho') < \rho_{maks} t(0,714\rho_b)$. Dalam kasus ini maka nilai faktor reduksi kekuatan, ϕ akan lebih kecil dari 0,90 untuk M_{u1} , dan $\phi = 0,90$ untuk M_{u2} , sehingga persamaan sebelumnya menjadi :

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \cdot \left[(A_s - A'_s) \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + 0,90 \cdot A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \right] \dots\dots\dots (2.2.5.3.21.)$$

Dalam analisis yang sudah dilakukan, digunakan asumsi bahwa tulangan tekan sudah luluh. Dari **Gambar 2.31**, apabila tulangan tekan sudah luluh maka dipenuhi :

$$\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (2.2.5.3.22.)$$



Gambar 2.31 Diagram Regangan Balok Beton Bertulang Rangkap

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013,
Agus Setiawan.

Dari kesamaan segitiga di atas sumbu netral, serta dengan menggunakan $E_s = 200000 \text{ MPa}$, maka :

$$\frac{c}{d'} = \frac{0,003}{0,003 \cdot \frac{f_y}{E_s}} = \frac{600}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.2.5.3.23.)$$

Atau :

$$c = \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot d' \dots\dots\dots (2.2.5.3.24.)$$

Mengingat bahwa :

$$A_{s1} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.2.5.3.25.)$$

Serta :

$$A_{s1} = A_s - A'_s \text{ dan } \rho_1 = (\rho - \rho') \dots\dots\dots (2.2.5.3.26.)$$

Maka dapat diperoleh hubungan berikut :

$$(\rho - \rho') \cdot b \cdot d \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.2.5.3.27.)$$

Atau :

$$(\rho - \rho') = 0,85 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \left(\frac{d'}{d}\right) \dots\dots\dots (2.2.5.3.28.)$$

Dengan mengingat pula hubungan $\alpha = \beta_1 \cdot c$, serta dari persamaan sebelumnya maka diperoleh :

$$\alpha = \beta_1 \cdot c = \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600-f_y}\right) \cdot d' \dots\dots\dots (2.2.5.3.29.)$$

Maka persamaan (2.2.5.3.27) dapat dituliskan kembali menjadi :

$$(\rho - \rho') = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{d'}{d}\right) \cdot \left(\frac{600}{600-f_y}\right) = K \dots\dots\dots (2.2.5.3.30.)$$

Selain itu, dari persamaan (2.2.5.3.29.) dapat diturunkan suatu syarat pemeriksaan apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum, yaitu :

$$(\rho - \rho') \geq 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{d'}{d}\right) \cdot \left(\frac{600}{600-f_y}\right) = K \dots\dots\dots (2.2.5.3.31.)$$

3. Desain Balok Beton Bertulang Terhadap Gaya Geser

Balok beton bertulang selain didesain untuk menahan beban lentur, didesain pula untuk mencukupi memikul gaya geser yang terjadi. Apabila tulangan geser tidak dipasang, maka kegagalan geser akan terjadi. Kegagalan geser akan ditandai dengan lendutan kecil, kurangnya daktilitas yang akan mengakibatkan keruntuhan struktur secara tiba-tiba.

Dalam **Pasal 11.4.1.1** dan **11.4.1.2 SNI 2847 : 2013** disebutkan jenis-jenis tulangan geser yang dapat digunakan untuk balok beton non prategang, yaitu :

- a) Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu elemen struktur atau sengkang vertikal. Sengkang dapat terdiri dari dua kaki tulangan atau lebih.
- b) Jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur.
- c) Sengkang yang membentuk sudut 45° atau lebih terhadap tulangan tarik longitudinal. Kemiringan ini dimaksudkan agar sengkang memotong daerah yang potensial terbentuk retak diagonal.
- d) Tulangan longitudinal dengan bagian yang ditekuk untuk mendapatkan sudut 30° atau lebih terhadap tulangan tarik memanjang.
- e) Kombinasi dari spiral, sengkang ikat bundar (*circular ties*) atau persegi (*hoop*).

- Kuat geser nominal, V_n dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, sebagian disumbangkan oleh kuat geser beton, V_c , dan sebagian disumbangkan oleh kuat geser tulangan, V_s , maka :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.2.5.3.32.)$$

- Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi ϕ , atau :

$$V_u < \phi \cdot V_n = \phi \cdot (V_u + V_s) \dots\dots\dots (2.2.5.3.33.)$$

- Berdasarkan pada **Pasal 11.1.3.1 SNI 2847-2013**, nilai V_u boleh diambil pada jarak d (menjadi V_{ud}) dari muka kolom, sebagai berikut :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \dots\dots\dots (2.2.5.3.34.)$$

Dengan besarnya faktor reduksi, ϕ , untuk geser adalah sebesar 0,75.

- Mengacu pada **Pasal 11.2.1 SNI 2847-2013**, gaya geser yang ditahan oleh beton V_c , dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.2.5.3.35.)$$

- **Pasal 11.4.7.1 SNI 2847-2013**, gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s) dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi} \dots\dots\dots (2.2.5.3.36.)$$

- Untuk V_s harus memenuhi ketentuan dalam **Pasal 11.4.7.9 SNI 2847-2013** yang isinya adalah sebagai berikut :

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Jika V_s ternyata $\geq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ maka ukuran balok harus diperbesar.

- Dengan mengacu pada **Pasal 11.4.7.2 SNI 2847-2013**, untuk menghitung luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ($A_{v,u}$) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut :

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots (2.2.5.3.37.)$$

Dengan S (panjang balok) ditinjau per 1000 mm.

- Dengan mengacu pada **Pasal 11.4.6.3 SNI 2847-2013**, ketentuannya adalah sebagai berikut :

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.2.5.3.38.)$$

Dengan S (panjang balok) ditinjau per 1000 mm.

- Dengan mengacu pada **Pasal 11.4.6.3 SNI 2847-2013**, memberikan batasan sebagai berikut :

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.2.5.3.39.)$$

Dengan S (panjang balok) ditinjau per 1000 mm.

- Untuk jarak atau spasi antar begel (s) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

a) $s = \frac{n \cdot \frac{1}{8} \cdot \pi \cdot d \cdot p^2 \cdot s}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.2.5.3.40.)$

- b) Berdasarkan **Pasal 11.4.5.1 SNI 2847-2013** untuk $V_s \leq$

$\frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ maka ketentuannya adalah sebagai berikut :

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm.}$$

c) Berdasarkan **Pasal 11.4.5.3 SNI 2847-2013** untuk $V_s \geq$

$\frac{1}{3}\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ maka ketentuannya adalah sebagai berikut :

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm.}$$

2.2.5.4 Kolom Beton Bertulang

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih. Di samping itu pada bangunan bertingkat tidak memungkinkan untuk menjamin kevertikalan kolom secara sempurna, dan akibatnya akan muncul beban yang eksentris terhadap pusat dari penampang kolom. Beban eksentris ini akan menimbulkan momen lentur.

1. Jenis-jenis Kolom Beton Bertulang

Secara umum kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut :

a. Berdasarkan beban yang bekerja :

- *Kolom dengan beban aksial.* Kolom dianggap bekerja melalui pusat penampang kolom.

- *Kolom dengan beban eksentris.* Beban kolom dianggap berjarak sejarak e dari pusat penampang kolom. Jarak e dapat diukur terhadap sumbu x atau y , yang menimbulkan momen terhadap sumbu x ataupun y .
- *Kolom dengan beban biaksial.* Beban bekerja pada sembarang titik pada penampang kolom, sehingga menimbulkan momen terhadap sumbu x dan y secara simultan.

b. Berdasarkan jenis tulangan sengkang yang digunakan :

- Kolom dengan sengkang persegi (dapat juga ditambahkan sengkang ikat/kait) yang mengikat tulangan memanjang/vertikal dari kolom, dan disusun dengan jarak tertentu sepanjang tinggi kolom.
- Kolom dengan sengkang spiral untuk mengikat tulangan memanjang dan meningkatkan daktilitas kolom.

2. Perilaku kolom dengan beban aksial

Apabila beban aksial tekan diberikan pada suatu kolom pendek beton bertulang, beton akan berperilaku elastis hingga batas tegangan mencapai sekitar $1/3 f'_c$. Apabila beban pada kolom ditingkatkan hingga mencapai batas ultimit, beton akan mencapai kekuatan maksimumnya dan tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya, f_y .

Kapasitas beban nominal, P_o dapat dituliskan dalam persamaan :

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.1.)$$

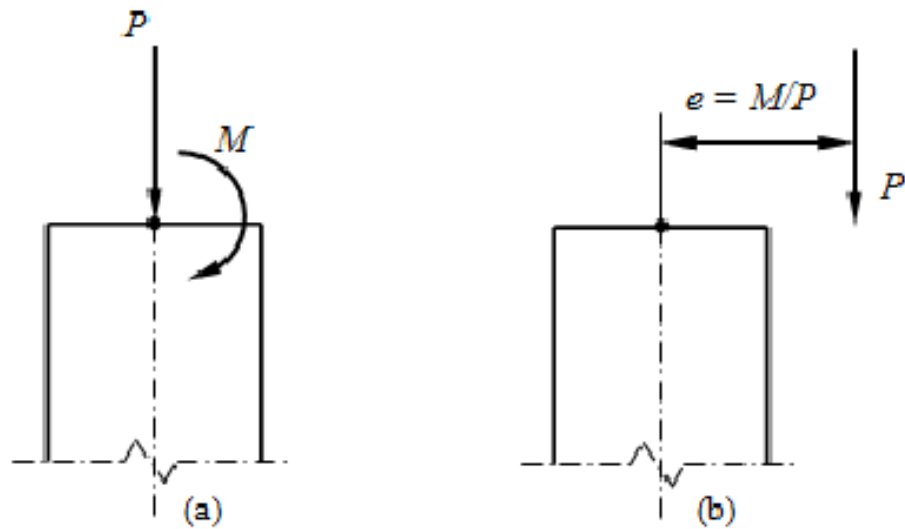
Dengan A_g adalah luas total penampang kolom dan A_{st} adalah tulangan baja. Karena kolom vertikal sempurna tidak dijumpai dalam praktek, serta dengan mengasumsikan adanya sedikit eksentrisitas, maka P_o harus direduksi. Dalam **SNI 2847 : 2013 Pasal 10.3.6** dinyatakan persamaan desain untuk kolom dengan sengkang spiral dan sengkang persegi, kuat aksial desainnya adalah :

3. Perilaku kolom kombinasi beban aksial dan momen lentur

Pada umumnya selain beban aksial tekan, kolom pada saat yang bersamaan juga memikul momen lentur. Momen lentur dapat timbul pada elemen kolom yang merupakan bagian dari portal gedung, karena harus memikul momen lentur yang berasal dari balok, atau juga momen lentur yang timbul akibat gaya-gaya lateral seperti angin atau gempa bumi.

Ketika sebuah kolom diberi beban aksial P , dan momen lentur M , maka biasanya dapat diekuivalenkan dengan beban P yang bekerja pada eksentrisitas.

$$e = M/P \dots\dots\dots (2.2.5.4.2.)$$



Gambar 2.32 Kolom dengan Beban Aksial dan Momen Lentur

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013,
Agus Setiawan.

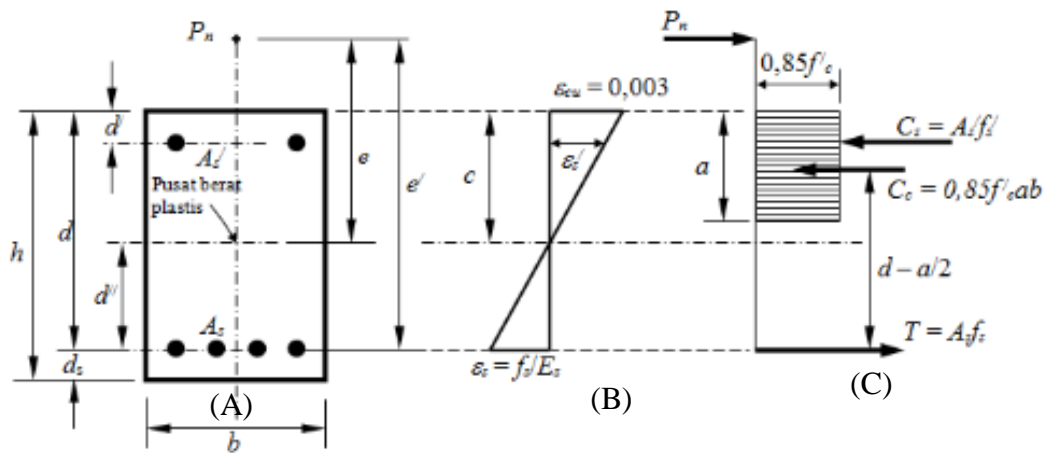
Eksentrisitas e , merepresentasikan jarak dari titik plastis penampang ke lokasi beban bekerja.

Desain kolom dilakukan berdasarkan beban terfaktor, yang tidak boleh lebih besar daripada kuat rencana penampang, yaitu :

$$\phi \cdot M_n > M_u$$

$$\phi \cdot P_n > P_u$$

Gambar berikut ini menunjukkan elemen kolom yang diberi beban tekan P_n , sejajar dengan sumbu memanjangnya, dan bekerja pada eksentrisitas sebesar e . Distribusi regangan pada potongan a-a ditunjukkan dalam gambar sebagai berikut.



Gambar 2.33 (a) Kolom dengan Beban Eksentris; (b) Distribusi Regangan Pada Potongan a-a; (c) Gaya dan Tegangan Pada Kuat Nominal.

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

Gambar di atas menunjukkan tegangan dan gaya yang berkaitan. Seperti halnya dalam analisis penampang balok, blok tegangan tekan pada beton diasumsikan berbentuk persegi yang memiliki tinggi $a = \beta_1 \cdot c$. Selanjutnya dari gambar tersebut dapat disusun persamaan kesetimbangan antara gaya eksternal dan gaya internal :

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.2.5.4.3.)$$

Sedangkan kesetimbangan momen antara gaya eksternal dan internal terhadap titik tengah penampang memberikan hubungan :

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - A_s \cdot f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.2.5.4.4.)$$

Dalam kedua persamaan f'_s , f_s dan a dapat dinyatakan dalam suatu variabel c , yaitu jarak dari sisi tekan penampang beton ke sumbu netral. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan perbandingan dari diagram regangan, dengan mengambil nilai $\epsilon_{cu} = 0,003$ seperti halnya pada analisis penampang balok.

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d-d'}{c} \dots\dots\dots (2.2.5.4.5.)$$

$$f'_s = \epsilon_{cu} \cdot E_c \frac{d-d'}{c} \leq f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.6.)$$

Untuk tulangan tekan :

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \frac{d-d'}{c} \dots\dots\dots (2.2.5.4.7.)$$

$$f'_s = \epsilon_{cu} \cdot E_s \frac{d-d'}{c} \leq f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.8.)$$

Sedangkan untuk tinggi blok tegangan beton dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \beta_1 \cdot c \leq h \dots\dots\dots (2.2.5.4.9.)$$

4. Ragam kegagalan pada beton bertulang

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang mengalami tarik, penampang kolom beton bertulang dapat dibagi dalam beberapa kondisi kegagalan sebagai berikut :

- a) Penampang kolom dengan keruntuhan seimbang

Kondisi seimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_b , bekerja pada penampang yang akan menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, dan pada saat yang bersamaan tulangan baja mengalami luluh, atau regangan mencapai :

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (2.2.5.4.10.)$$

Untuk analisis kolom pada keruntuhan seimbang dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

- Misalkan c adalah jarak dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral, maka dari diagram regangan diperoleh hubungan :

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003+f_y/E_s} \dots\dots\dots (2.2.5.4.11.)$$

Untuk nilai $E_s = 200.000$ MPa, maka :

$$c_b = \frac{600}{600+f_y} \cdot d \dots\dots\dots (2.2.5.4.12.)$$

Tinggi blok tegangan ekuivalen adalah :

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{600}{600+f_y} \cdot \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots (2.2.5.4.13.)$$

Dengan $\beta_1=0,85$ untuk $f'_c \leq 30$ MPa, dan berkurang 0,05 setiap kenaikan f'_c sebesar 7 MPa.

- Dari keseimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh :

$$\sum H = 0 \quad P_b - C_c - C_s + T = 0 \dots\dots\dots (2.2.5.4.14.)$$

Dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \dots\dots\dots (2.2.5.4.15.)$$

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.16.)$$

$$C_s = A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \dots\dots\dots (2.2.5.4.17.)$$

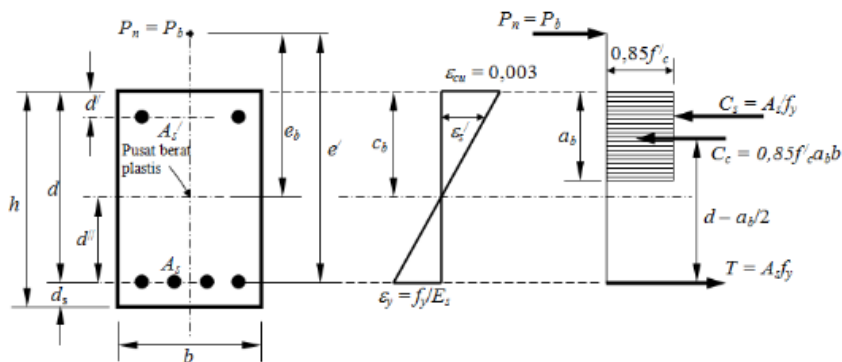
Nilai f'_s diambil sama dengan f_y apabila tulangan tekan sudah luluh :

$$f'_s = 600 \cdot \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \leq f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.18.)$$

Sehingga persamaan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal dapat ditulis kembali menjadi berbentuk :

$$P_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{2} \right) + A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.19.)$$

- Nilai eksentrisitas e_b , diukur dari pusat berat plastis, sedangkan e' diukur dari pusat tulangan tarik ($e' = e + d''$), dengan d'' adalah jarak dari pusat berat plastis ke pusat tulangan tarik. Nilai e_b ditentukan dengan mengambil jumlah momen terhadap pusat berat plastis.



Gambar 2.34 Kondisi Keruntuhan Seimbang Penampang Kolom Persegi

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

$$P_b \cdot e_b = C_c \left(d - \frac{d}{2} - d'' \right) + C_s (d - d' - d'') + T d''$$

..... (2.2.5.4.20.)

Atau :

$$P_b \cdot e_b = M_b = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \cdot \left(d - \frac{d}{2} - d'' \right) + A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \cdot (d - d' - d'') \cdot A_s \cdot f_y + d''$$

..... (2.2.5.4.21.)

b) Keruntuhan tarik

Apabila penampang kolom diberi beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar, maka akan terjadi keruntuhan tarik. Kolom akan mengalami keruntuhan akibat luluhnya tulangan baja dan hancurnya beton pada saat regangan tulangan baja melampaui

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_c}$$

..... (2.2.5.4.22.)

Prosedur analisis dapat dilakukan sebagai berikut :

- Bila terjadi keruntuhan tarik, maka tulangan tarik luluh, dan tegangannya $f_s = f_y$. Asumsikan bahwa tegangan pada tulangan tekan adalah $f'_s = f'_c$.
- Evaluasi P_n dari kondisi kesetimbangan :

$$P_n = C_c + C_s - T$$

..... (2.2.5.4.23.)

Dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b; C_s = A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \dots$$

(2.2.5.4.24.)

$$\text{Dan } T = A_s \cdot f_y$$

..... (2.2.5.4.25.)

- Hitung P_n dengan mengambil jumlah momen terhadap A_s

$$P_n e' = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \dots\dots\dots (2.2.5.4.26.)$$

Dengan $c' - c + d''$ dan $c' - e + d - h/2$ serta $A_s - A'_s$

- Samakan P_n dari langkah-langkah sebelumnya :

$$C_c + C_s - T = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \dots\dots\dots (2.2.5.4.27.)$$

Persamaan ini akan menghasilkan persamaan kuadrat untuk a , substitusikan C_c , C_s , dan T untuk mendapatkan nilai a .

- Persamaan pada langkah sebelumnya, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi

$$A_a^2 + B_a + C = 0 \dots\dots\dots (2.2.5.4.28.)$$

Dengan :

$$A = 0,425 \cdot f'_c \cdot b \dots\dots\dots (2.2.5.4.29.)$$

$$B = 0,85 \cdot f'_c \cdot b (e' - d) = 2A(e' - d) \dots\dots\dots (2.2.5.4.30.)$$

$$C = A'_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c) \cdot (e' - d + d') - A_s \cdot f_y \cdot e' \dots\dots\dots (2.2.5.4.31.)$$

- Selesaikan a , dengan menggunakan persamaan :

$$a = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \dots\dots\dots (2.2.5.4.32.)$$

- Substitusikan nilai a ke dalam persamaan pada langkah 2 untuk mendapatkan P_n . Momen M_n dapat dihitung dengan $M_n = P_n \cdot e$.

- Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh seperti yang diasumsikan. Jika $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$, maka tulangan tekan sudah luluh, jika tidak, maka $f'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s$. Ulangi kembali langkah 2 hingga 5. Sebagai catatan, $\varepsilon'_s = [(c - d')c]0,003$, $\varepsilon_y = f_y/E_s$ dan $c = \alpha/\beta_1$.

c) Keruntuhan tekan

Apabila gaya tekan P_n , melebihi gaya tekan dalam kondisi seimbang P_b , atau apabila eksentrisitas $e = M_n/P_n$, lebih kecil daripada eksentrisitas pada kondisi seimbang e_b , maka penampang kolom akan mengalami keruntuhan tekan. Pada kasus ini regangan pada beton akan mencapai 0,003, sedangkan regangan pada tulangan baja akan kurang dari ε_y .

Prosedur analisis dapat dilakukan sebagai berikut :

- Hitung jarak sumbu netral untuk penampang pada kondisi seimbang, I_{c_b} :

$$c_b = \frac{600}{600+f_y} d \dots\dots\dots (2.2.5.4.33.)$$

- Evaluasi P_n dari kesetimbangan gaya :

$$P_n = C_c + C_s - T \dots\dots\dots (2.2.5.4.34.)$$

- Evaluasi P_n dengan mengambil momen terhadap A_s :

$$P_n e' = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \dots\dots\dots (2.2.5.4.35.)$$

Dengan $e' = e + d''$ (atau $= e + d - h/2$, jika $A_s = A'_s$), $C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b$ dan $T = A_s \cdot f_y$

- Asumsikan suatu nilai c sehingga $c > c_b$ Hitung $a = \beta_1 \cdot c$.
Asumsikan $f'_s = f_y$.

- Hitung nilai f_s berdasarkan asumsi nilai c :

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 600 \cdot \left(\frac{c-d'}{e} \right) \leq f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.36.)$$

- Hitung P_{n1} dengan menggunakan rumus dari langkah 2. Dan hitung P_{n2} dengan menggunakan persamaan dari langkah 3. Apabila P_{n1} cukup dekat dengan P_{n2} maka nilai P_n diambil dari nilai terkecil antara P_{n1} dan P_{n2} atau rerata keduanya.

- Periksa apakah tulangan tekan benar sudah luluh sesuai asumsi semula, dengan menghitung ε'_s dan membandingkannya dengan ε_y .
Bila $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ tulangan tekan sudah luluh, jika belum maka f'_s dihitung sebagai berikut :

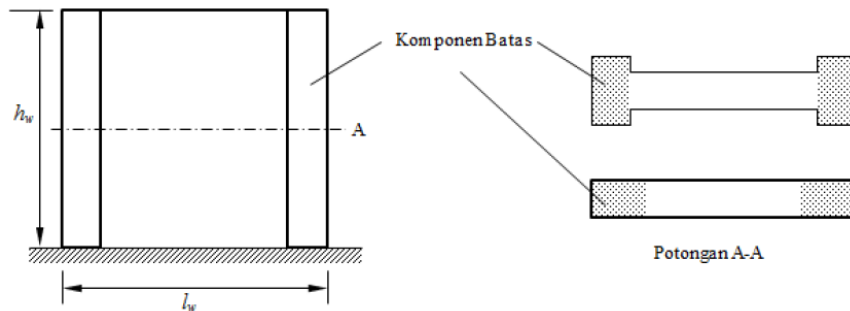
$$f'_s = 600 \cdot \left(\frac{d-d'}{c} \right) \leq f_y \dots\dots\dots (2.2.5.4.37.)$$

2.2.5.5 Dinding Struktural (Shear Wall)

Dinding geser (*shear wall*) atau dapat juga disebut dinding structural merupakan bagian dari suatu sistem struktur yang memikul beban-beban gravitasi maupun beban lateral yang bekerja pada struktur. Sebuah

dinding structural memiliki kekakuan yang lebih baik dibandingkan dengan struktur rangka pemikul momen terbuka (*open frame*), sehingga pada saat memikul beban gempa, dinding structural akan menunjukkan kinerja yang lebih baik.

Pada ujung-ujung dinding structural dapat diberikan suatu komponen batas (*boundary element*) yang diberi tulangan dalam arah longitudinal dan transversal.



Gambar 2.35 Dinding Struktural dan Komponen Batas

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

Untuk merencanakan tulangan pada dinding geser, berdasarkan **SNI 2847 : 2013 Pasal 21.9.2** maka persyaratan yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Apabila gaya geser desain, $V_u > 0,083 \cdot A_{cv} / \sqrt{f'_c}$ rasio penulangan ρ_l dan ρ_t tidak boleh kurang dari 0,0025.

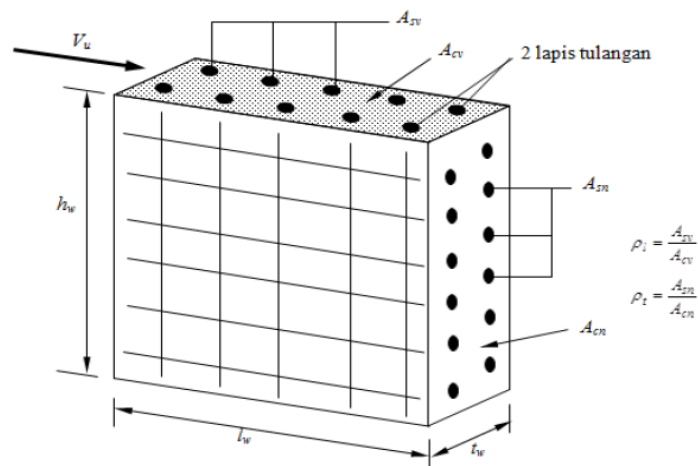
Dengan ketentuan :

$$\rho_l = \frac{A_{sv}}{A_{cv}} \dots\dots\dots (2.2.5.5.1.)$$

$$\rho_t = \frac{A_{st1}}{A_{ct1}} \dots\dots\dots (2.2.5.5.2.)$$

ρ_l = Adalah rasio luas tulangan yang tersebar pada bidang yang tegak lurus bidang A_{cv} , terhadap luas gross beton A_{cv} .

ρ_t = Adalah rasio luas tulangan yang tersebar pada bidang yang parallel bidang A_{cv} , terhadap luas gross beton yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut.



Gambar 2.36 Tulangan Geser Pada Dinding Struktural

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

- Apabila gaya geser desain, $V_u < 0,083 \cdot A_{cv} / \sqrt{f'_c}$ maka dapat digunakan rasio tulangan minimum seperti pada dinding struktural biasa berdasarkan **SNI 2847 : 2013 Pasal 14.3**.

- Rasio minimum tulangan vertikal terhadap luas brutto penampang beton, ρ_l harus diambil :
 - 0,0012 untuk tulangan ulir dengan diameter tidak lebih dari D16 dan f_y tidak kurang dari 420 MPa.
 - 0,0015 untuk tulangan ulir lainnya, atau
 - 0,0012 untuk jarring kawat baja las yang berdiameter tidak lebih dari 16.

- Rasio minimum tulangan horizontal terhadap luas brutto penampang beton, ρ_t harus diambil :
 - 0,0020 untuk tulangan ulir dengan diameter tidak lebih dari D16 dan f_y tidak kurang dari 420 MPa.
 - 0,0025 untuk tulangan ulir lainnya, atau
 - 0,0020 untuk jarring kawat baja las yang berdiameter tidak lebih dari 16.

- Berdasarkan **SNI 2847 : 2013 Pasal 21.9.2** :
 - a. Jarak tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh diambil melebihi 450 mm.
 - b. Paling sedikit harus dipasang tulangan dalam dua lapis apabila

$$V_u > 0,17 \cdot A_{cv} / \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.2.5.5.3.)$$

Dalam mengecek kekuatan geser yang bekerja pada dinding struktural dapat mengacu pada **SNI 2847 : 2013 Pasal 21.9.4** dengan diharuskannya memenuhi kondisi sebagai berikut :

- $V_u \leq \phi V_n$

Dengan keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor

ϕ = Faktor reduksi kekuatan, dan

V_n = Kuat geser nominal dinding struktural.

- Untuk faktor reduksi kuat geser dinding struktural khusus, yang direncanakan untuk memikul beban gempa (E) harus diambil sebesar 0,6 jika kuat geser nominalnya lebih kecil daripada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya.
- Kuat lentur nominal ditentukan dengan mempertimbangkan beban aksial terfaktor yang memasukan unsur beban gempa (E). Untuk kondisi lainnya faktor reduksi geser dapat diambil sebesar 0,75.

$$V_n = A_{cv} \left(\alpha_c / \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_y \right) \dots\dots\dots (2.2.5.5.4.)$$

Dengan keterangan :

V_n = Kuat geser nominal dinding struktural.

A_{cv} = Luas penampang total dinding struktural.

$$\alpha_c = 1/4 \text{ untuk } h_w / I_w \leq 1,5$$

$$= 1/6 \text{ untuk } h_w/I_w \geq 2$$

ρ_t = Rasio penulangan arah horizontal (transversal).

h_w = Tinggi dinding struktural.

I_w = Panjang dinding struktural.

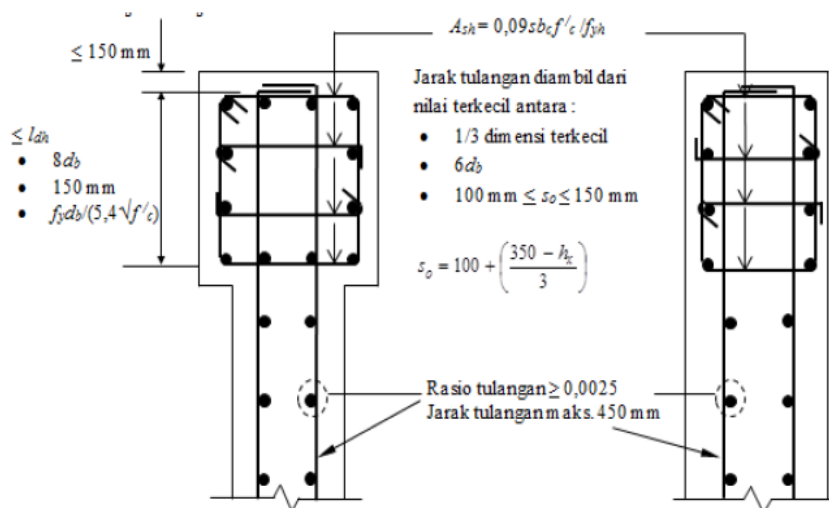
- Beberapa persyaratan lain yang terkait dalam perencanaan geser dinding struktural adalah :

- Apabila rasio dari $h_w/I_w < 2,0$ maka rasio penulangan vertikal (ρ_l) tidak boleh kurang daripada rasio penulangan horizontal (ρ_t).
- Kuat geser nominal system dinding struktural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh diambil melebihi $0,66.A_{cv}\sqrt{f'_c}$, dengan A_{cv} adalah luas penampang total system dinding struktural, dan kuat geser nominal tiap dinding vertikal individual tidak boleh diambil melebihi $0,83.A_{cw}\sqrt{f'_c}$ dengan A_{cw} adalah luas penampang dinding yang ditinjau.
- Untuk segmen dinding horizontal, termasuk balok kopel, nilai V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83.A_{cw}\sqrt{f'_c}$, dengan A_{cw} adalah luas penampang dinding horizontal atau balok kopel.

Komponen batas pada dinding struktural merupakan komponen struktur yang menyatu pada dinding geser yang terletak pada bagian-bagian ujung komponen dinding struktural tersebut. Di dalam **SNI 2847 : 2013 Pasal**

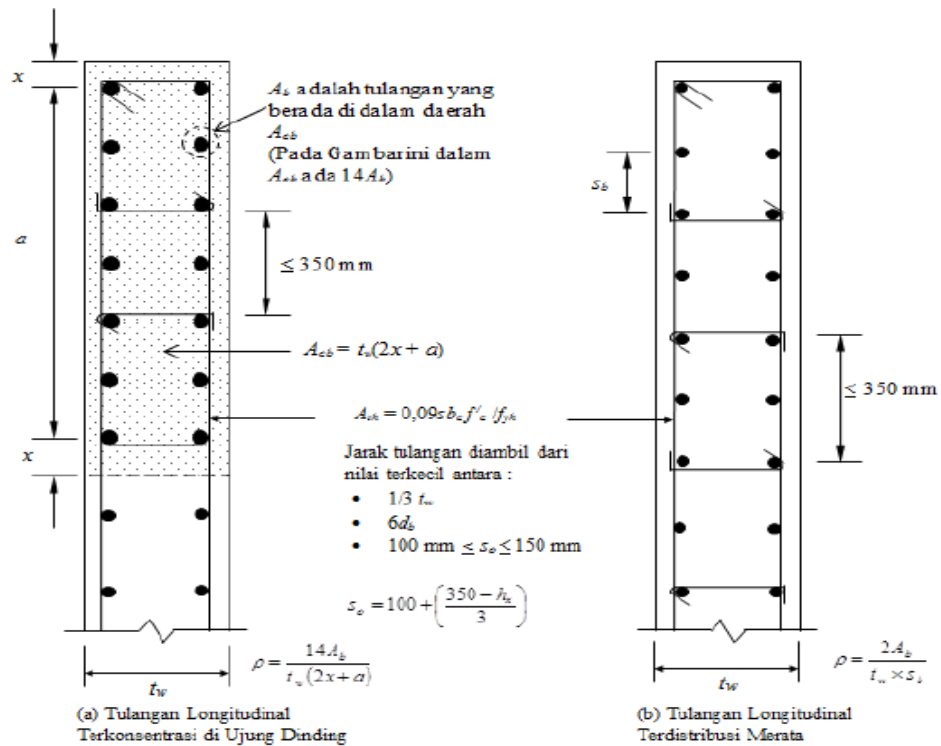
21.9.6 suatu dinding struktural dikatakan memerlukan komponen batas, karena memenuhi hal-hal sebagai berikut :

- Komponen batas harus menerus secara horizontal dari sisi serat tekan terluar hingga sejarak tidak kurang dari $(c - 0,1/w)$ dan $c/2$.
- Pada daerah penampang bersayap, komponen batas harus mencakup lebar efektif sayap pada sisi tekan dan harus menerus setidaknya 300 mm ke dalam badan dinding.
- Tulangan transversal komponen batas khusus pada dasar dinding struktural harus dipasang menerus ke dalam pondasi setidaknya sejarak panjang penyaluran tulangan utama terbesar (I_d) pada komponen batas tersebut, kecuali bila komponen batas tersebut berhenti pada pondasi telapak, pelat atau *pile cap*, maka tulangan transversal diteruskan minimal 300 mm ke dalam pondasi telapak, pelat atau *pile cap* tersebut.



Gambar 2.37 Detail Penulangan Komponen Batas Khusus

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.



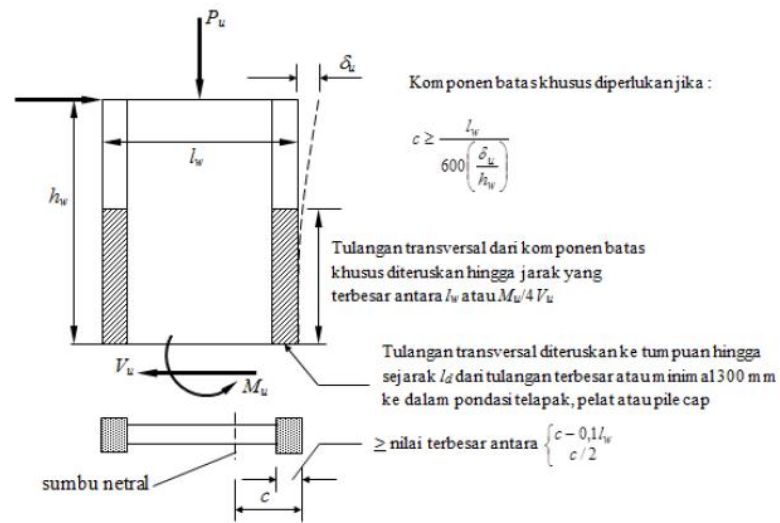
Gambar 2.38 Dinding Struktural Yang Tidak Memerlukan Komponen Batas.

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013, Agus Setiawan.

Untuk pendesainan komponen batas dapat dibagi dalam beberapa pendekatan, pendekatan tersebut adalah sebagai berikut :

- Pendekatan desain berbasis perpindahan (*displacement*), dan
- Pendekatan desain berbasis tegangan.

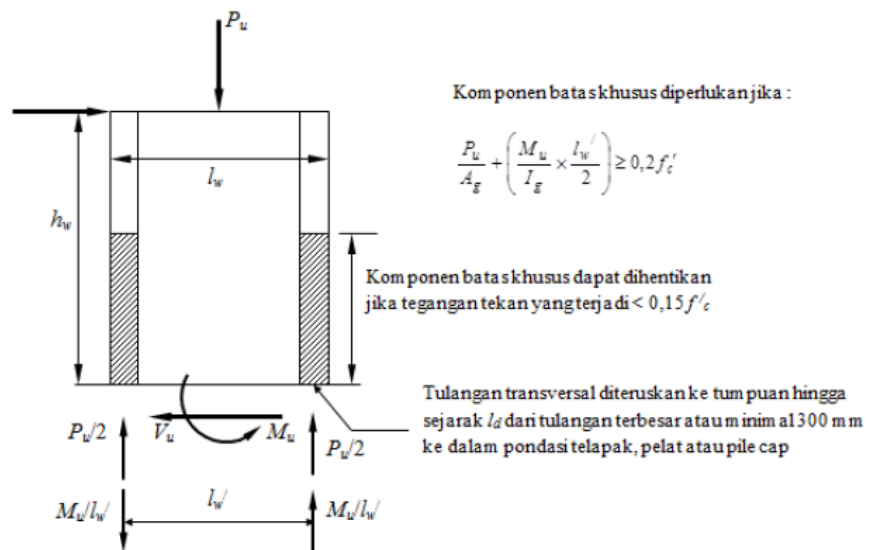
Dari kedua pendekatan tersebut dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.39 Pendekatan Desain Berbasis Perpindahan (*Displacement*).

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013,

Agus Setiawan.



Gambar 2.40 Persyaratan Komponen Batas Untuk Pendekatan Berbasis Tegangan

Sumber : Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013,

Agus Setiawan.

2.2.5.6 Pondasi Bore Pile

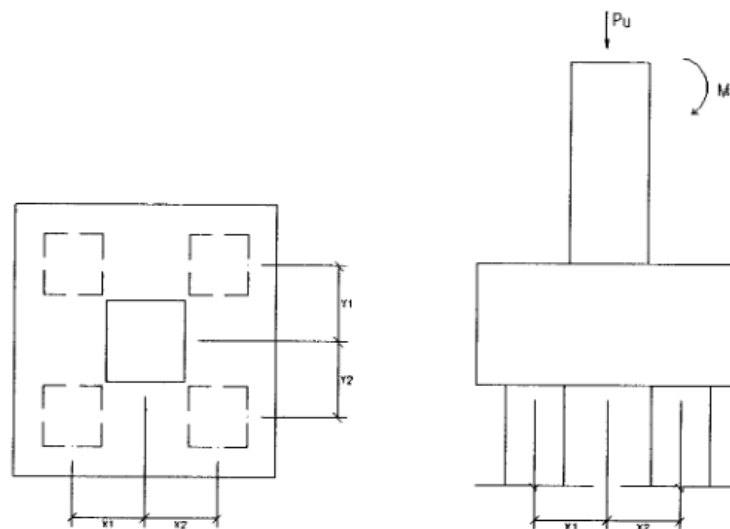
Pondasi merupakan bagian dari suatu elemen struktur yang memiliki fungsi sebagai elemen struktur yang dapat memindahkan beban-beban pada struktur atas ke tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Fungsi dalam hal tersebut dapat berlaku secara baik apabila kestabilan pondasi terhadap efek guling, geser dan amblas pada tanah dasar dan daya dukungnya terpenuhi.

Keadaan tanah yang dipasangi pondasi terdiri dari sebagai berikut :

- a. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2 - 3 meter di bawah permukaan tanah maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi tapak) dan pondasi strauss.
- b. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang *minipile* atau pondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah pondasi.
- c. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang atau pondasi bor bilamana tidak boleh terjadi penurunan. Bila terdapat batu besar pada lapisan tanah, pemakaian kaison lebih menguntungkan.

- d. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi kaisan terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat.
- e. Bila tanah keras terletak pada kedalaman tinggi 40 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

Dalam perencanaan struktur untuk bangunan gedung ini digunakan pondasi jenis *Bore pile*. Dimana pondasi ini merupakan jenis pondasi dalam yang digunakan dikarenakan lapisan tanah keras berada jauh di lapisan tanah dasar.



Gambar 2.41 Gambar Sketsa Pondasi *Bore Pile*

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.

Dalam perencanaan dan perhitungan pondasi *bore pile* tahapannya dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. Penentuan *pile cap*

Pile cap berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang.

Untuk menentukan dimensi *pile cap* mengacu pada **SNI 2847 : 2013**

dengan ketentuan sebagai berikut :

- **Pasal 15.7.** memberikan ketentuan tebal pondasi tapak di atas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi tapak di atas tanah, atau kurang dari 300 mm untuk fondasi tapak (*footing*) di atas tiang fondasi.
- **Pasal 7.7.** memberikan ketentuan untuk tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.

b. Penentuan daya dukung tanah

Daya dukung tanah dihitung dengan menggunakan teori Terzaghi. Terzaghi menghitung daya dukung tanah berdasarkan bentuk pondasi (persegi, bulat dan lajur) dan berdasarkan jenis keruntuhan (*general shear* dan *local shear*).

Rumus yang digunakan dalam perhitungannya adalah :

- *General shear*

- Pondasi jalur

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,58 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.2.5.6.1.)$$

- Pondasi bujur sangkar atau persegi

$$\sigma_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,48 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.2.5.6.2.)$$

- Pondasi lingkaran

$$\sigma_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,38 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.2.5.6.3.)$$

- *Local shear*

- Pondasi jalur

$$\sigma_{ult} = c' \cdot N_c' + q' \cdot N_q' + 0,58 \cdot \gamma' \cdot N_\gamma' \dots\dots\dots (2.2.5.6.4.)$$

- Pondasi bujur sangkar atau persegi

$$\sigma_{ult} = 1,3 \cdot c' \cdot N_c' + q' \cdot N_q' + 0,48 \cdot \gamma' \cdot N_\gamma' \dots\dots\dots (2.2.5.6.5.)$$

- Pondasi lingkaran

$$\sigma_{ult} = 1,3 \cdot c' \cdot N_c' + q \cdot N_q + 0,38 \cdot \gamma' \cdot N_\gamma' \dots\dots\dots (2.2.5.6.6.)$$

Nc	Nq	N _γ	φ	Nc'	Nq'	N _γ '
5,7	1,0	0,0	0°	5,7	1,0	0.0**
7,3	1,6	0,5	5°	6,7	1,4	0,2
9,6	2,7	1,2	10°	8,0	1,9	0,5
12,9	4,4	2,5	15°	9,7	2,7	0,9
17,7	7,4	5,0	20°	11,8	3,9	1,7
25,1	12,7	9,7	25°	14,8	5,6	3,2
37,2	22,5	19,7	30°	19,0	8,3	5,7
57,8	41,4	42,4	35°	25,2	12,6	10,1
95,7	81,3	100,4	40°	34,9	20,5	18,8

Keterangan:

Untuk nilai φ di antara nilai-nilai tersebut dapat diinterpolasi:

** : lempung murni jenuh air

Gambar 2. 42 Tabel Daftar Nilai Koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi.

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.

c. Penentuan daya dukung ijin tiang

Daya dukung ijin tiang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tarik. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah dan kekuatan material tiang itu sendiri.

- Daya dukung ijin tekan

Analisis daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan beberapa formula berikut :

- Berdasarkan data sondir

$$P_a = \frac{q_c \cdot A_p}{FK1} + \frac{T_f \cdot A_{st}}{FK2} \dots\dots\dots (2.2.5.6.7.)$$

Dengan keterangan :

P_a = Daya dukung ijin tekan tiang

q_c = Tahanan ujung konus sondir

A_p = Luas penampang tiang

T_f = Total friksi/ jumlah hambatan pelekat

A_{st} = Keliling penampang tiang

$FK1, FK2$ = Faktor keamanan, 3 dan 5

- Berdasarkan data N SPT

$$P_a = \frac{q_c \cdot A_p}{FK1} + \frac{\sum l_i \cdot f_i \cdot A_{st}}{FK2} \dots\dots\dots (2.2.5.6.8.)$$

Dengan keterangan :

q_c = 20 N untuk silt/clay

= 40 N untuk sand

N = Nilai N SPT

l_i = Panjang segmen tiang yang ditinjau

f_i = Gaya geser pada selimut segmen tiang
= N maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay
= $N/5$ maksimum 10 ton/m², untuk sand

- Berdasarkan kekuatan material

$$P_a = \sigma'_b \cdot A_p \dots\dots\dots (2.2.5.6.9.)$$

Dengan keterangan :

σ'_b = Tegangan tekan ijin bahan tiang

- Daya dukung ijin tarik

Analisis daya dukung ijin tarik pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan beberapa formula sebagai berikut :

- Berdasarkan data sondir

$$P_{ta} = \frac{(T_f \cdot A_{st})^{0,70}}{FK2} + w_p \dots\dots\dots (2.2.5.6.10.)$$

Dengan keterangan :

P_{ta} = Daya dukung ijin tarik tiang

w_p = Berat pondasi

- Berdasarkan data N SPT

$$P_{ta} = \frac{(\sum l_i \cdot f_i \cdot A_{st})^{0,70}}{FK2} + w_p \dots\dots\dots (2.2.5.6.11.)$$

d. Penentuan jumlah tiang yang diperlukan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{F}{P_{all}} \dots\dots\dots (2.2.5.6.12.)$$

Dengan keterangan :

P = Gaya aksial yang terjadi

P_{all} = Daya dukung ijin tiang

e. Penentuan efisiensi kelompok tiang

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan seperti penjelasan sebelumnya masih belum sempurna karena daya dukung kelompok tiang bukanlah berarti daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Hal ini karena intervensi (tumpang tindihnya) garis-garis tegangan dari tiang-tiang yang berdekatan (*group action*).

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse – Labbare* dari *Uniform Building Code AASHTO* adalah :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1).m+(m-1).n}{90.m.n} \dots\dots\dots (2.2.5.6.13.)$$

Dengan keterangan :

θ = arc tg (D/s) (derajat)

D = Ukuran penampang tiang

s = Jarak antar tiang (as ke as)

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

f. Penentuan beban maksimum tiang pada kelompok tiang

Akibat beban-beban dari atas dan juga dipengaruhi oleh formasi tiang dalam satu kelompok tiang, tiang-tiang akan mengalami gaya tekan atau tarik.

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke *pile cap* dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna, sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* melengkung atau deformasi.

$$P_{maks} = \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \sum Y^2} \dots\dots\dots (2.2.5.6.14.)$$

Dengan keterangan :

P_{maks} = Beban maksimum tiang

P_u = Gaya aksial yang terjadi (terfaktor)

M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y

M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu X

X_{max} = Jarak tiang arah sumbu X terjauh

Y_{max} = Jarak tiang arah sumbu Y terjauh

$\sum X^2$ = Jumlah kuadrat X

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat Y

n_x = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu X

n_y = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu Y

n_p = Jumlah tiang

g. Penentuan daya dukung horizontal

Dalam analisis gaya horizontal, tiang perlu dibedakan menurut model ikatannya dengan penutup tiang (*pile cap*). Karena itu tiang dibedakan menjadi dua, yaitu :

- Tiang ujung jepit (*fixed end pile*)
- Tiang ujung bebas (*free end pile*)

McNulty (1956) mendefinisikan tiang ujung jepit sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) pada *pile cap* paling sedikit sedalam 60 cm. Dengan demikian untuk tiang yang bagian atasnya tidak terjepit kurang dari 60 cm termasuk tiang ujung bebas.

- Pada tanah kohesif dan ujung terjepit

$$H_u = 9 \cdot C_u \cdot D \cdot (L_p - 3D/2) \dots\dots\dots (2.2.5.6.15.)$$

$$M_{max} = H_u \cdot (L_p/2 + 3D/2) \dots\dots\dots (2.2.5.6.16.)$$

Untuk tiang sedang :

$$M_y = \left(\frac{9}{4}\right) \cdot C_u \cdot D_g^2 \cdot 9 \cdot C_u \cdot D f (3D/2 + f/2) \dots\dots\dots (2.2.5.6.17.)$$

$$H_u \text{ dihitung dengan mengambil } L_p = 3D/2 + f + g \dots\dots\dots (2.2.5.6.18.)$$

Dengan keterangan :

C_u = *Undrained strength*

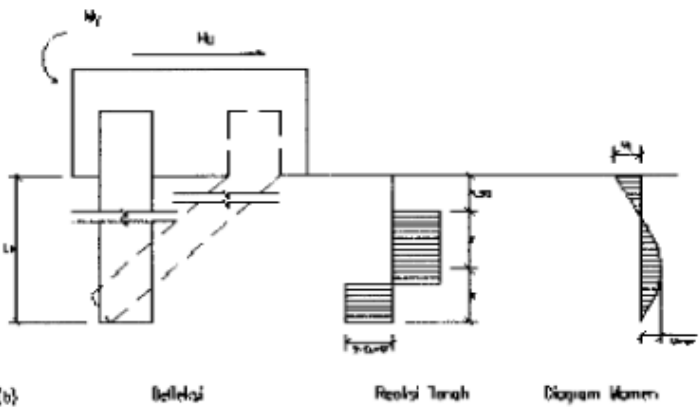
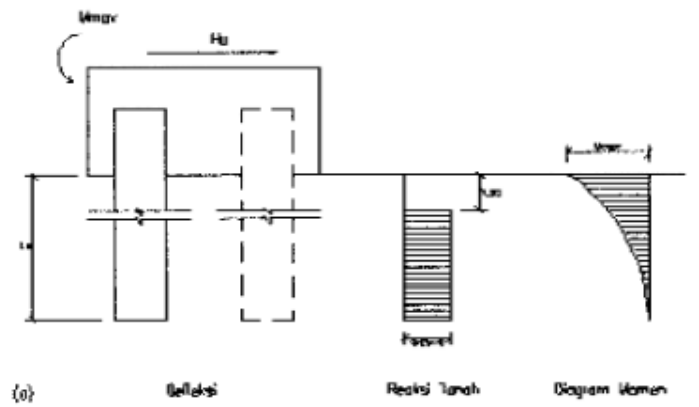
D = Diameter tiang

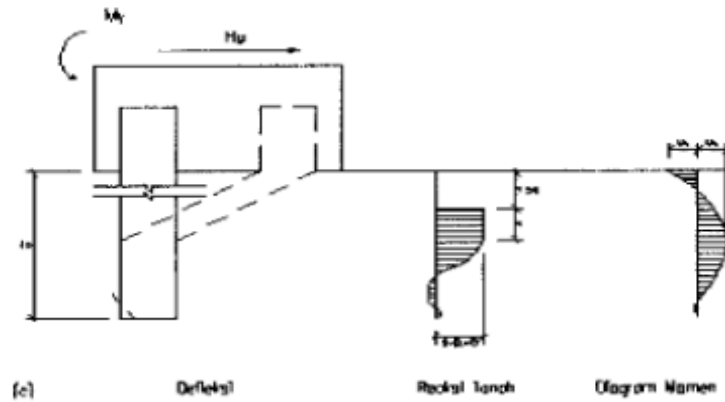
L_p = Panjang tiang yang tertanam

Cek apakah momen maksimum pada kedalaman $(f + 3D/2)$ lebih kecil dari M_y .

Jika $M_{max} > M_y$ maka tiang termasuk tiang panjang. Untuk tiang panjang ($M_{max} > M_y$) H_u dinyatakan oleh persamaan :

$$H_u = \frac{2 \cdot M_y}{3D/2 + f/2} \dots\dots\dots (2.2.5.6.19.)$$





Gambar 2.43 Tiang Ujung Jepit Dalam Tanah Kohesif (Broms, 1964) (a) Tiang Pendek. (b) Tiang Sedang. (c) Tiang Panjang

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.

h. Kontrol defleksi tiang vertikal

Metode Broms (1964) dianggap metode yang lebih teliti dalam hal menghitung defleksi tiang. Untuk tiang dalam tanah kohesif, defleksi tiang dikaitkan dengan faktor tak berdimensi βL_p , dengan :

$$\beta = \left(\frac{K_h \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (2.2.5.6.20.)$$

- Tiang ujung bebas sebagai tiang pendek (bila $\beta L_p < 1,5$)

$$y_o = \frac{4 \cdot H \cdot (1 + 1,5e/L_p)}{K_h \cdot D \cdot L_p} \dots\dots\dots (2.2.5.6.21.)$$

- Tiang ujung jepit sebagai tiang pendek (bila $\beta L_p < 0,5$)

$$y_o = \frac{H}{K_h \cdot D \cdot L_p} \dots\dots\dots (2.2.5.6.22.)$$

- Tiang ujung bebas sebagai tiang panjang (bila $\beta L_p > 2,5$)

$$y_o = \frac{2H.\beta.(e\beta+1)}{K_h.D} \dots\dots\dots (2.2.5.6.23.)$$

- Tiang ujung bebas sebagai tiang panjang (bila $\beta L_p > 1,5$)

$$y_o = \frac{H.\beta}{K_h.D} \dots\dots\dots (2.2.5.6.24.)$$

i. Keruntuhan kelompok tiang (*block failure*)

Untuk kelompok tiang yang seluruhnya tertanam pada tanah lempung lunak harus ditinjau mekanisme keruntuhan kelompok tiang. Keruntuhan kelompok tiang terjadi bila tiang pancang/bor dipasang pada jarak yang berdekatan. Saat tiang turun akibat beban struktur di atasnya, tanah di antara tiang tersebut ikut bergerak turun sehingga antara tiang dan tanah di antara tiang-tiang tersebut merupakan suatu kesatuan. Bila tanah yang mendukung kelompok tiang tersebut runtuh, dikatakan model keruntuhannya adalah keruntuhan balok.

Untuk menghitung nilai daya dukung kelompok tiang tersebut digunakan persamaan Terzaghi dan Peck (1948) :

$$Q = (2.L_p(B + L).C_u + 1,3.c_b.S'.N_c.BL). 1/SF \dots\dots\dots (2.2.5.6.25.)$$

Dengan keterangan :

Q = Kapasitas dukung kelompok tiang

L_p = Kedalaman tiang di bawah permukaan tanah

B = Lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang

L = Panjang kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang

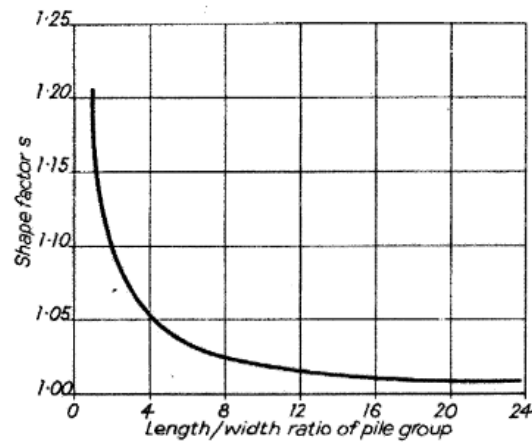
C_u = Kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang

c_b = Kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang

S' = Faktor bentuk (**Gambar 2.44.**)

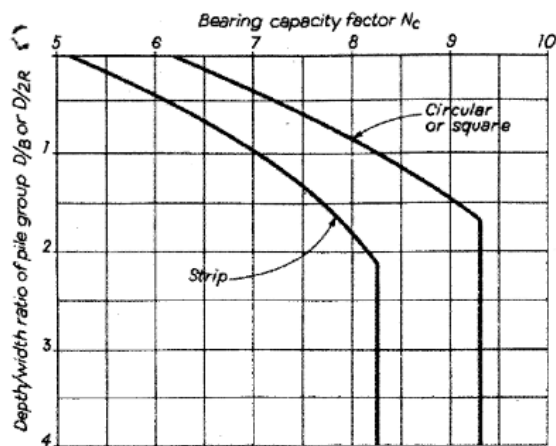
N_c = Faktor kapasitas dukung (**Gambar 2.45.**)

SF = Faktor keamanan



Gambar 2.44 Faktor Bentuk S' Untuk Kelompok Tiang (Meyerhof-Skempton)

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.



Gambar 2.45 Faktor Kapasitas Dukung N_c (Meyerhof)

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.

j. Penentuan gesekan negatif

Gesekan negatif terjadi bila tiang pondasi bertumpu pada tanah keras, sedangkan tanah di atasnya adalah tanah lunak. Akibat beban struktur di atasnya, seharusnya tanah di ujung dan di sepanjang dinding tiang pondasi akan diam sehingga akan menimbulkan gaya perlawanan, yaitu gaya tahan ujung dan gaya gesekan.

- Tiang tunggal

Gaya gesek negatif pada tiang tunggal menurut johanessen & Bjerum (1965) :

$$Q_{neg} = A_s \cdot ca \dots\dots\dots (2.2.5.6.26.)$$

$$ca = p_o \cdot Kd \cdot \tan\delta \dots\dots\dots (2.2.5.6.27.)$$

Dengan keterangan :

Q_{neg} = Gaya gesek negatif tiang tunggal

A_s = Luas selimut dinding tiang

ca = Gaya gesek negatif persatuan luas tiang tunggal

p_o = Tekanan overburden negatif tanah rata-rata atau tegangan efektif sebelum penerapan beban, di tengah-tengah lapisan

$Kd \cdot \tan\delta$ = Tergantung pada tekanan tanah lateral pada tiang (**Gambar 2.46.**)

Macam tanah	$K_d \tan \delta$
1. Urugan batu	0,40
2. Pasir dan kerikil	0,35
3. Lempung atau lempung terkonsolidasi normal berplastisitas rendah sampai sedang ($P_l < 50\%$)	0,30
4. Lempung terkonsolidasi normal berplastisitas tinggi	0,20

Gambar 2.46 Nilai $K_d \tan \delta$ Yang Disarankan Oleh Broms (1976)

Sumber : Desain Pondasi Tahan Gempa, Anugrah Pamungkas & Erny Harianti.

- Kelompok tiang

Gaya gesek negatif yang bekerja pada tiang tunggal dari suatu kelompok tiang :

$$Q_{neg} = \frac{1}{n_p} \cdot (2Dn(L + B)\overline{C}_u + \gamma \cdot L \cdot B \cdot Dn \dots\dots\dots (2.2.5.6.28.)$$

Dengan keterangan :

Q_{neg} = Gaya gesek negatif pada masing-masing tiang dalam kelompok tiang

n_p = Jumlah tiang dalam kelompoknya

Dn = Kedalaman tiang sampai titik netral (m)

L = Panjang area kelompok tiang

B = Lebar area kelompok tiang

\overline{C}_u = Kohesi tak terdrainase rata-rata pada lapisan sedalam Dn

γ = Berat volume tanah sedalam Dn

2.2.5.7 Analisis Struktur Dengan Software ETABS v.9.6.0.

Analisis struktur bangunan gedung pelatihan keterampilan, Kota Tasikmalaya dilakukan dengan bantuan computer yang telah terdukung oleh program atau *software ETABS v.9.6.0*, yang mana kegunaan dari *software* tersebut meliputi analisis pembebanan, berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa dengan pemodelan struktur dalam bentuk tiga dimensi (3-D).

Kelebihan dari *software* tersebut dapat kita manfaatkan dan aplikasikan dalam melakukan suatu perencanaan dan perhitungan suatu elemen struktur bangunan gedung. Selain dari beberapa fungsi yang telah disebutkan sebelumnya, pemanfaatannya bukan hanya sebatas digunakan sampai pada analisis struktur tetapi lebih daripada itu *software* ini dapat difungsikan juga untuk melakukan pengecekan terhadap desain elemen struktur yang telah direncanakan.