

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pembebanan

Saat membuat struktur bangunan, pembebanan merupakan aspek penting untuk dipertimbangkan. Akibatnya, beban sistem struktur harus diidentifikasi saat merancang struktur. Gaya alami dan buatan secara langsung menghasilkan beban yang bekerja pada struktur (Schueller, 2001).

2.1.1 Beban Mati

Berat menyeluruh material konstruksi yang digunakan, seperti komponen arsitektur, pelapis bangunan, finishing, dinding partisi tetap, tangga, langit-langit, atap, lantai, dinding dan struktur lainnya sekaligus alat-alat servis, ditetapkan sebagai beban mati menurut SNI 1727 -Pasal 2020 3.1.1. Sistem pengangkutan material dan bobot derek merupakan komponen tambahan yang dipasang.

Sesuai PPIUG 1983, Pasal 1 Halaman 7, beban mati adalah berat total seluruh komponen tetap suatu bangunan gedung, yang meliputi seluruh bagian tambahan, penyelesaian akhir, mesin, dan perlengkapan tetap yang merupakan satu kesatuan bangunan gedung. Tabel 2.1 Penyesuaian berat berbagai komponen bangunan didasarkan pada PPIUG 1983

Tabel 2.1 Berat Sendiri Komponen Gedung dan Bahan Bangunan

Material	Berat Jenis	Satuan
Baja	7.850	kg/m ³
Batu alam	2.600	kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500	kg/m ³
Beton bertulang	2.400	kg/m ³
Kayu (kelas I)	1.000	kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650	kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700	kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200	kg/m ³

Material	Berat Jenis	Satuan
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600	kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800	kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850	kg/m ³
Atap genteng, usuk dan reng	50	kg/m ³
Plafond dan penggantung	20	kg/m ³
Atap seng gelombang	10	kg/m ³
Adukan/spesi lantai per cm	21	kg/m ³
Penutup lantai/ubin per cm	24	kg/m ³

(Sumber: PPIUG 1983:11)

2.1.2 Beban Hidup

Pada pasal 4.1 di SNI 1727-2020 mendefinisikan “beban hidup” sebagai beban yang dikenakan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lainnya; tidak termasuk beban yang berhubungan dengan konstruksi dan beban dari lingkungan, seperti beban mati, beban banjir, gempa bumi, hujan dan angin

Beban hidup sebagaimana dimaksud pada halaman 7 Pasal 1 PPIUG 1983 adalah beban-beban yang diakibatkan oleh ditempati atau digunakannya suatu bangunan. Hal ini mencakup beban-beban pada lantai yang berasal dari benda-benda bergerak, mesin-mesin, dan peralatan-peralatan yang bukan merupakan komponen bangunan tetap dan dapat diganti sepanjang umur bangunan, sehingga mengubah pembebanan pada lantai dan atap. Terdapat berat sendiri beberapa bagian gedung yang sudah disesuaikan menurut PPIUG 1983 pada di bawah.

Tabel 2.2 Beban Hidup Terpusat Minimum, L₀ dan Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Ruang pertemuan	100 (4,79)	
Garasi/parkir	40 (1,92)	
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
(Sumber ; SNI 1727 2020:26)		
Tangga, balkon	100 (4,79)	300

2.1.3 Beban Kombinasi

Kombinasi pembebanan perlu diterapkan dalam perencanaan struktur karena setiap elemen yang terdapat didalam bangunan harus didesain kuat dalam menahan setiap beban yang akan terjadi dalam struktur tersebut. Masing – masing beban yang ada dalam struktur perlu ditambahkan dengan faktor pembesar agar tiap elemen yang ada akan tetap kokoh dalam menerima beban yang tidak terduga. Hasil dari beban yang telah terfaktor ini harus cukup dalam membatasi kegagalan yang akan terjadi pada struktur dan juga harus memastikan bahwa struktur yang akan dibangun cukup ekonomis. Contoh dalam perencanaan pondasi, elemen ini harus didesain lebih kuat karena pondasi tidak diizinkan untuk runtuh terlebih dahulu sebelum elemen lain seperti kolom dan balok runtuh. Beberapa kombinasi yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur menurut SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut

Tabel 2.3 Kombinasi beban untuk penentuan kuat perlu (U)

<u>Kombinasi Beban</u>	<u>Faktor Pembebanan</u>
1,4D	D
1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)	D, L, (Lr atau R)
1,2D + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)	D, (Lr atau R), (L atau W)
1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)	D, W, L, (Lr atau R)
1,2D + 1,0E + 1,0L	D, E, L
0,9D + 1,0W	D, W
0,9D + 1,0E	D, E

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 5.3.1)

Keterangan :

- U = kombinasi beban terfaktor atau kuat perlu
- D = Dead Load atau beban mati
- L = Live Load atau beban hidup
- Lr = Live Roof Load atau beban atap
- R = Rain Load atau beban hujan
- W = Wind Load atau beban angin
- E = Earthquake Load atau beban gempa

2.1.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah analogi beban statik yang bekerja pada suatu bangunan atau bagian dari suatu bangunan yang meniru pengaruh pergerakan tanah akibat gempa bumi, menurut pasal 1 PPIUG 1983 halaman 7. Bila dampak gempa bumi terhadap suatu struktur bangunan ditentukan secara dinamik Pedoman terbaru yaitu SNI 1726:2019 menjadi sumber perencanaan beban gempa pada struktur bangunan.

2.1.5 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan (ϕ) harus dikalikan dengan kekuatan nominal setiap komponen struktur untuk menentukan perilaku aman terhadap lentur, geser aksial, dan tusukan. Tujuan penghitungan kekuatan rencana menggunakan faktor pengurang kekuatan adalah untuk memberikan tingkat keamanan tambahan.

Tabel 2.4 Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

Gaya	ϕ
1. Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90
2. Geser dan Torsi	0,75
3. Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65
4. Zona <u>angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)</u>	0,85
5. <u>Bracket dan korbrel</u>	0,75
6. <u>Strut, ties, zona nodal dan daerah tumpuan yang dirancang dengan strut-and-tie</u>	0,75
Gaya	ϕ
7. <u>Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik</u>	0,9
8. Beton polos	0,6
9. <u>Angkur dalam elemen beton</u>	0,45 – 0,75

(Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)

2.2 Kekuatan Struktur Beton Bertulang

Menurut SNI 2847:2019, terdapat 3 istilah untuk mensimbolkan kekuatan penampang pada struktur beton bertulang, yaitu:

- a. Kuat nominal

b. Kuat desain

c. Kuat perlu

Kekuatan suatu elemen struktur atau penampang yang ditentukan sesuai dengan pedoman dan asumsi teknik perencanaan kekuatan disebut kekuatan nominal (R_n), yang kemudian dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Dimensi suatu penampang beton bertulang, jumlah dan penempatan tulangan, kaliber beton, dan mutu baja tulangan semuanya mempengaruhi nilai kuat nominal suatu penampang. Untuk menentukan kekuatan nominal ini, kemudian dihitung kekuatan sebenarnya dari struktur beton bertulang dalam konfigurasi eksistingnya pada keadaan tertentu. Biasanya simbol yang dipakai adalah momen M , gaya geser V , torsi (momen puntir) T , dan gaya aksial P kemudian ditambah dengan subskrip n yang mengartikan dari beban nominal struktur atau komponen struktur, seperti M_n , V_n , T_n , dan P_n .

Kekuatan komponen struktural atau penampang dikenal sebagai kekuatan desain (R_d), dan dihitung dengan membagi kekuatan nominal dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Simbol M_d , V_d , T_d , dan P_d dapat digunakan untuk mewakili kekuatan desain. Huruf d menunjukkan bahwa nilai momen M , gaya geser V , torsi (momen puntir) T , dan gaya aksial P diturunkan dari beban desain.

Beban terfaktor atau momen dan gaya internal terkait dalam kombinasi beban disebut sebagai kekuatan yang diperlukan (R_u atau U). M_u , V_u , T_u , dan P_u juga dapat digunakan untuk menyatakan kekuatan yang diperlukan, dengan u mewakili beban terfaktor.

Kekuatan gaya luar yang bekerja pada struktur disebut kekuatan perlu (R_u), dan kekuatan gaya dalam di dalam struktur disebut kekuatan rencana (R_d). Oleh karena itu, untuk menjamin keamanan desain struktur, kekuatan desain harus lebih besar dari kekuatan R_u yang dibutuhkan.

Untuk mendapatkan kekuatan R_u yang diperlukan, gaya luar harus dihitung bersama dengan faktor keamanan yang disebut faktor beban. Sementara itu, faktor keamanan yang disebut faktor reduksi kekuatan (ϕ) ditambahkan pada perhitungan gaya dalam sehingga diperoleh kekuatan rencana $R_d = \phi R_n$. Syarat kuat rencana

minimum (R_d) sama dengan kuat yang disyaratkan (R_u) harus dipenuhi agar suatu struktur mampu memikul beban luar.

2.3 Perencanaan Struktur

2.3.1 Pelat

Pelat adalah komponen horizontal utama yang memindahkan beban hidup dan mati ke rangka penyangga vertikal suatu sistem struktur, klaim Nawy (1998). Komponen tersebut dapat berupa pelat komposit yang bertumpu pada balok, pelat pada balok atau wafel, atau pelat datar (pelat tanpa balok yang bertumpu langsung pada kolom). Komponen-komponen ini dapat dikonfigurasi untuk beroperasi dalam dua cara yang saling tegak lurus (pelat datar atau pelat dua arah) atau dalam satu arah (pelat satu arah). Berikut artinya:

1. Pelat satu arah

Pada pelat satu arah, yang hanya ditopang oleh kedua sisinya, arah tumpuan sesuai dengan beban yang didistribusikan pelat pada arah tersebut. Setelah itu, pelat akan ditekuk atau dilenturkan tegak lurus dengan sisi penyangga.

2. Pelat dua arah

Pelat yang dikenal sebagai pelat dua arah memiliki perbandingan kurang dari dua antara bentang panjang dan bentang pendeknya dan ditopang pada keempat sisinya.

Standar bertindak sebagai panduan untuk persyaratan selama proses pembangunan; dalam hal ini standar terbaru adalah SNI 2847:2019. Beberapa pedoman untuk pengerjaan analisis dan desain pelat lantai disertakan dalam standar ini.

1. Pasal 8.3.1 pada SNI 2847:2019 menentukan ketebalan minimum pelat dua arah untuk mencegah defleksi berlebihan.

Tabel 2.5 Ketebalam minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya

α_{fm}	h minimum, mm
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Lihat tabel 2.4
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$ <u>Terbesar dari:</u>	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$
$\alpha_{fm} \leq 2,0$ <u>Terbesar dari:</u>	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2)

Tabel 2.6 Ketebalan minimum pelat dua arah non prategang tanpa balok interior (mm)

f_y , Mpa	<u>Tanpa drop panel</u>		<u>Dengan drop panel</u>			
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	<u>Tanpa balok tepi</u>	<u>Dengan balok tepi</u>		<u>Tanpa balok tepi</u>	<u>Dengan balok tepi</u>	
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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2)

1. Momen

SNI 2847:2019 menyatakan bahwa rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan momen pada pelat dua arah.

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \dots\dots\dots(2-1)$$

Tabel 2.7 Koefisien distribusi momen pelat dua arah untuk bentang ujung

	Tepi eksterior tak terkekang	Pelat dengan balok antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok antara tumpuan interior		Tepi eksterior terkekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Negatif interior	0,75	0,7	0,7	0,7	0,65
Positif	0,63	0,57	0,52	0,5	0,35
Negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,3	0,65

(Sumber: SNI 2847:2019 tabel 8.10.4.2)

2. Pembebanan Pelat

$$Wu = 1,2 Wdl + 1,6 Wll \dots \dots \dots (2-2)$$

Keterangan :

Wdl = Jumlah beban mati pelat (kN/m^2)

Wll = Jumlah beban hidup pelat (kN/m^2)

3. Tulangan Pelat

Rasio tulangan primer tidak diijinkan kurang dari rasio minimum yang ditetapkan atau lebih besar dari rasio maksimum. Rumus dan perhitungan di bawah ini menggambarkan perkiraan rasio yang digunakan.

$$Rn = \frac{Mu}{b.d^2} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} \dots \dots \dots (2-4)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{fy}} \right] \dots \dots \dots (2-5)$$

$$\rho_b = 0,85 \frac{fc'}{fy} \beta \frac{600}{600 + fy} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \dots \dots \dots (2-7)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \rho_{min} = 0,0025 \dots \dots \dots (2-8)$$

Luas tulangan utama minimum untuk pelat dapat ditentukan dengan persamaan:

$$A_s = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2-9)$$

Dan luas tulangan susut minimum:

$$A_s = 0,0014 \cdot b \cdot h \dots \dots \dots (2-10)$$

4. Analisis penampang

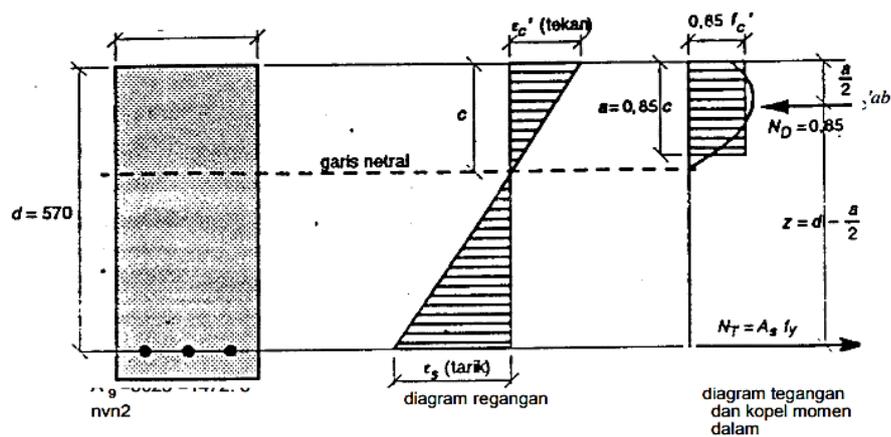
Momen nominal kapasitas penampang harus diverifikasi dengan menggunakan rumus berikut setelah tulangan dihitung dan luas tulangan minimum ditentukan:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \dots \dots \dots (2-11)$$

$$M_n = (A_s \times f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2-12)$$

$$MR = \phi M_n \quad (\phi = 0,8) \dots \dots \dots (2-13)$$

$$MR > M_u \dots \dots \dots (2-14)$$



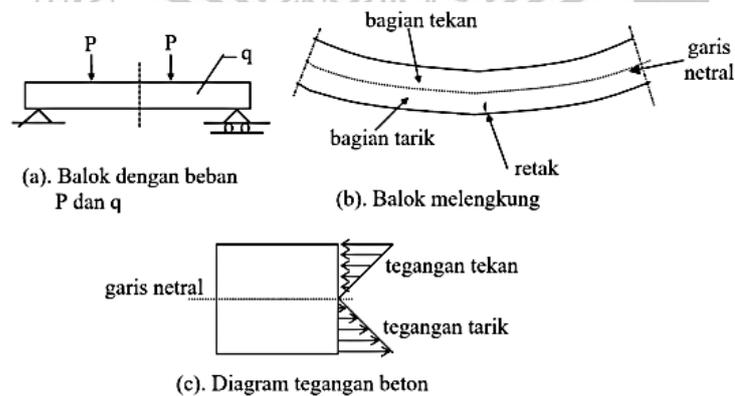
Gambar 2.1 Diagram tegangan regangan pada pelat

(Sumber: Struktur Beton Bertulang oleh Istimawan Dipohusodo hal 32)

2.3.2 Balok

Balok didefinisikan sebagai elemen struktur yang tahan terhadap tekukan, geser, dan puntir tanpa memerlukan gaya aksial atau puntir (SNI 2847:2019). Komponen horizontal membentuk balok pada rangka momen yang merupakan bagian dari suatu sistem yang menahan gaya lateral. Beban dipindahkan dari lantai ke kolom penyangga vertikal melalui balok. Sebagai komponen struktural, balok menahan kolom lantai atas pada tempatnya dan berfungsi sebagai penyangga lantai.

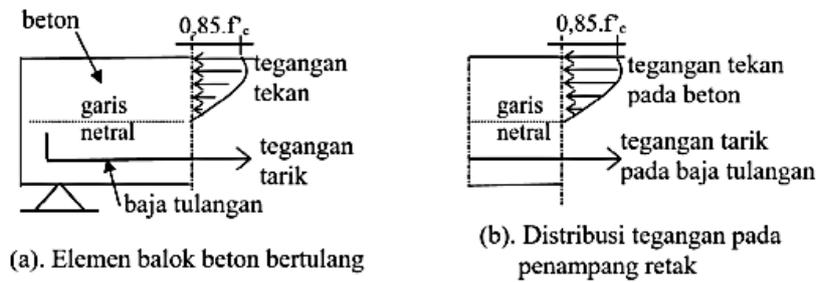
Asroni (2017) menyatakan bahwa karakteristik beton adalah cukup lemah menahan tarik namun cukup kuat menahan tekan. Oleh karena itu, jika beban yang dipikul beton menimbulkan tegangan tarik yang lebih besar dari kuat tariknya, maka beton tersebut dapat pecah. Ketika balok beton tak bertulang ditumpu oleh sebuah tumpuan sederhana (sambungan canai) dan momen eksternal memberikan beban terpusat P dan beban seragam q pada bagian atas balok, maka balok akan membengkok ke bawah seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Balok beton tanpa tulangan

(Sumber: Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013 oleh Ir. H. Ali Asroni, M.T.)

Yang dimaksud dengan "beton bertulang" adalah beton yang telah diperkuat dengan baja untuk menopang gaya tarik yang cukup tinggi pada serat balok tepi bawah. Balok beton bertulang ini meliputi tulangan baja yang dimasukkan ke dalam beton untuk menahan gaya tarik yang diperlukan untuk menahan momen pada patahnya, seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Balok beton dengan tulangan

(Sumber: Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013 oleh Ir. H. Ali Asroni, M.T.)

Karena balok dengan tulangan rangkap selalu dipasang, penggunaan balok tulangan tunggal jarang digunakan di lapangan. Balok beton bertulang rangkap memberi penumpang dukungan tambahan di bidang tekan dan tarik. Dengan maksud menerima beban dalam bentuk dari momen lentur, tulangan dipasang di daerah tekan dan tarik. Tulangan tarik akan lebih sering digunakan daripada tulangan tekan pada balok yang dapat menahan momen lentur lebih tinggi pada daerah tarik.

Tulangan geser, tulangan lentur, dan momen ultimit (M_u) semuanya harus dihitung pada tahap perencanaan balok. Sebelum melakukan hal tersebut, dimensi balok harus direncanakan dengan menggunakan persamaan tinggi balok.

$$h = 1/10 - 1/15 \times L \dots\dots\dots (2-15)$$

Untuk lebar balok,

$$b = 1/2 - 2/3 \times h \dots\dots\dots (2-16)$$

Balok T akan berperilaku seperti balok persegi biasa dengan komponen beton tekan berbentuk persegi panjang dengan lebar tegangan b_w bila momen yang bekerja pada penampang bernilai negatif. Oleh karena itu, desain dan analisisnya akan sama dengan balok persegi.

Tahapan dalam merencanakan balok berikutnya adalah merencanakan tulangan nya, baik itu tulangan lentur maupun tulangan geser. Adapun dibawah ini adalah persamaan-persamaan dan urutan dalam merencanakan tulangan balok.

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right] \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\rho b = 0,85 \frac{fc'}{fy} \beta \frac{600}{600 + fy} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b \dots\dots\dots (2-21)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \text{ atau } \rho_{min} = 0,0025 \dots\dots\dots (2-22)$$

Untuk menentukan kebutuhan luas tulangan pokok balok menggunakan rumus dibawah ini:

$$As = \rho_{pakai} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2-23)$$

Rumus untuk mengecek momen nominal kapasitas penumpang:

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \dots\dots\dots (2-24)$$

$$c = \frac{a}{0,85} \dots\dots\dots (2-25)$$

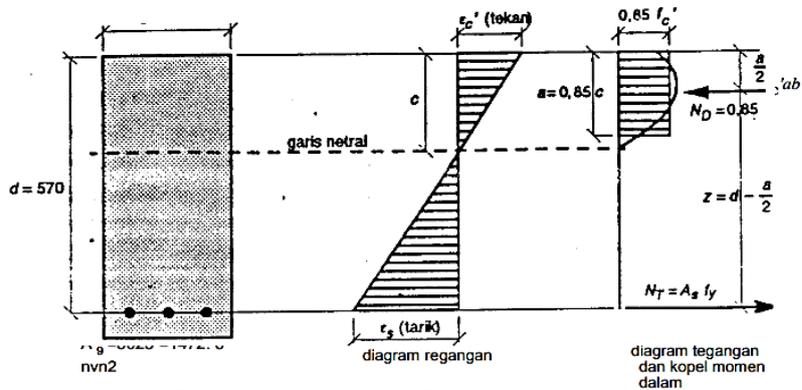
$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 \dots\dots\dots (2-26)$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{\epsilon_s} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y \dots\dots\dots (2-28)$$

$$Mn = (As \times fy) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2-29)$$

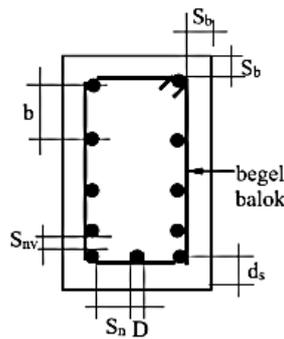
$$MR = \phi Mn (\phi = 0,8) \dots\dots\dots(2-30)$$



Gambar 2.4 Diagram tegangan regangan pada pelat

(Sumber: Struktur Beton Bertulang oleh Istimawan Dipohusodo hal 32)

Tulangan longitudinal atau maupun begel atau sengkang balok diatur pemasangannya dengan jarak tertentu yang dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.5 Aturan pemasangan tulangan balok

(Sumber: Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013 oleh Ir. H. Ali Asroni, M.T.)

Keterangan :

S_b = tebal selimut beton minimum (diatur dalam SNI 2847: SNI pada tabel 20.6.1.3.1).

B = jarak maksimum (as-as) tulanganisamping, diambil ≤ 300 mm dan $\leq (1/6)$ kali tinggi efektif balok. Tinggi efektif = tinggi balok - d_s - atau $d = h - d$.

S_{nv} = jarak bersih tulangan pada arah vertikal diambil ≥ 25 mm, dan $\geq D$

S_n = jarak bersih tulangan pada arah mendatar diambil ≥ 25 mm, $\geq D$ dan disarankan $\geq 4/3\phi$ agregat maks. untuk memudahkan pengecoran (agar kerikil dapat memasuki celah tulangan).

D = diameter tulangan longitudinal, mm.

D_s = jarak titik berat tulangan tarik sampai serat tepi beton bagian tarik, sebaiknya diambil ≥ 60 mm.

2.3.3 Kolom

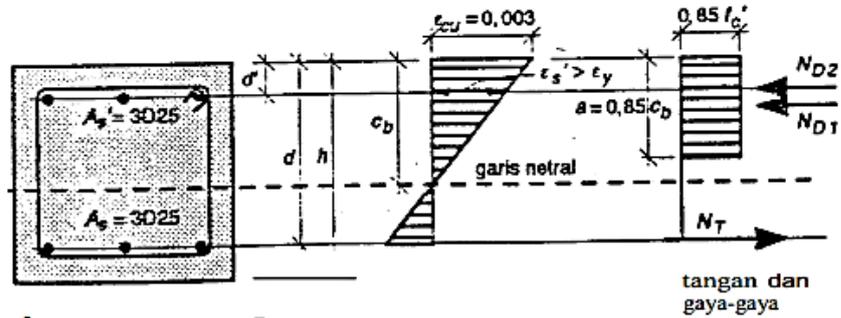
Kolom rangka struktur merupakan elemen struktur tekan vertikal yang menopang berat balok, menurut Nawy (1998). Kolom-kolom tersebut membawa beban melalui pondasi dari elevasi atas ke elevasi bawah hingga mencapai tanah. karena gambaran awal yang diberikan oleh kegagalan tekan tidak cukup jelas. Perhatian: Karena kolom memiliki kekuatan cadangan yang lebih tinggi dibandingkan balok dan bagian struktur horizontal lainnya, maka diperlukan desain yang hati-hati.

Kecuali untuk memasukkan beban aksial pada kolom, ide desain kolom sebanding dengan ide desain balok. Gambar 2.6 menunjukkan kondisi tegangan dan regangan pada kolom serta kondisi penampang kolom pada saat tekan dan lentur. Beton bertulang dapat dianggap kuat jika :

a. $\frac{L}{b} \geq 3$ panjang kolom (L) dibagi dengan lebar kolom (b)

b. $\frac{L}{b} < 3$ apabila hasilnya kurang dari 3 maka disebut pedestal

Gambar 2.6 Diagram tegangan regangan pada kolom



(Sumber: Struktur Beton Bertulang oleh Istimawan Dipohusodo hal 326)

Menurut Wahyudi (1997) kapasitas kolom untuk memikul momen (M_u) dan beban aksial (P_u) secara bersamaan menentukan kekuatan memikul bebannya. Kekakuan dan kekuatan penumpang transversal terhadap aksi momen lentur dan beban aksial merupakan dasar perencanaan kolom dalam suatu struktur bangunan. Diagram interaksi, yang merupakan grafik luas batas yang menggambarkan kombinasi momen dan beban aksial yang mampu ditumpu kolom dengan aman, digunakan untuk menentukan kekuatan penumpang kolom..

Perencanaan dimensi awal kolom adalah dengan asumsi yang kemudian di perhitungkan kekakuan balok dan kolom untuk menentukan apakah dimensi asumsi tersebut memenuhi syarat atau tidak, dengan syarat sebagai berikut:

$$K_{Kolom} = \frac{EI_{Kolom}}{L} > K_{Balok} = 3 \frac{EI_{Balok}}{L} \dots\dots\dots (2-31)$$

Syarat untuk kolom SRPMK menurut SNI 2847:2019 dengan $f_c' < 70$ MPa adalah sebagai berikut :

$$P_u > 0,1 \times A_g \times f_c' \dots\dots\dots (2-32)$$

Sebelum merencanakan penulangan kolom, dilakukan pengecekan kelangsingan kolom dengan menentukan angka kelangsingan kolom melalui diagram nomogram. Kemudian syarat penulangan kolom untuk SRPMK yang dipakai adalah

$$1\% A_g < A_{st} < 4\% A_g \dots\dots\dots (2-33)$$

Untuk mengecek momen nominal kapasitas penampang digunakan rumus sebagai berikut :

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \dots\dots\dots (2-34)$$

$$Mn = (As \times fy) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2-35)$$

$$MR = \phi Mn (\phi = 0,85) \dots\dots\dots (2-36)$$

$$\phi Pnb = \phi \times (Cc + Cs'1 + Cs'2) - T1 - T2 (\phi = 0,65) \dots\dots\dots 2-37$$

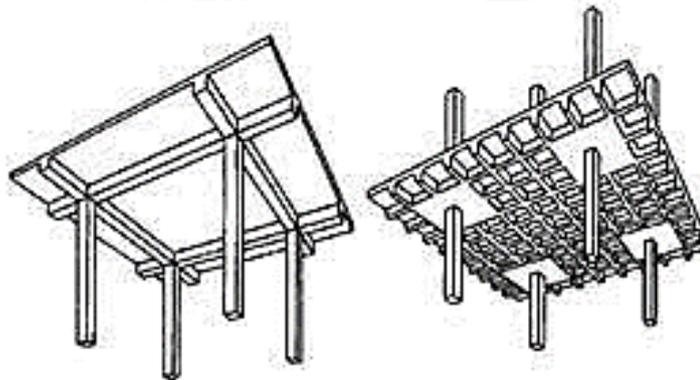
Rumus untuk kapasitas penampang pada keruntuhan tekan :

$$Pn = \frac{As' \times fy}{\frac{c}{d-d'} + 0,5} + \frac{b \times h \times fc'}{\frac{3 \times h \times e}{d^2} + 1,18} \dots\dots\dots (2-38)$$

$$\phi Pn > Pu (\phi = 0,65) \dots\dots\dots (2-39)$$

2.3.4 Struktur Grid

Struktur *grid* terdiri dari elemen-elemen struktur yang saling berhubungan yang bersilangan baik secara diagonal maupun tegak lurus sehingga membentuk satu kesatuan struktur yang menopang elemen-elemen lainnya. Bangunan dengan bentang lebar dapat memanfaatkan teknologi struktur *grid*.



Konvensional

Struktur Grid

Gambar 2.7 Sistem Pelat Konvensional dan Sistem Pelat Grid

Setiap komponen struktur grid berkontribusi terhadap bantalan beban dengan menawarkan perpaduan kekuatan puntir dan lentur. Apabila balok tulangan berbentuk sederhana dan dikopel longgar, rotasi lentur salah satu komponen struktur tidak dapat mengakibatkan puntiran pada komponen struktur lainnya. Akibatnya gerakan puntir tidak mampu meningkatkan kekuatan secara umum. Akibatnya, defleksi struktur pelat berusuk yang disambung erat akan lebih kecil dibandingkan dengan defleksi pelat yang disambung semata.

Sistem grid ini diperkirakan menghemat biaya sekitar 30% jika dibandingkan dengan konstruksi pelat beton tradisional, mempercepat konstruksi bangunan dua kali lipat per tingkat, dan menggunakan lebih sedikit material pada struktur pendukung seperti pondasi, balok, dan kolom sekitar 10% hingga 15% %.

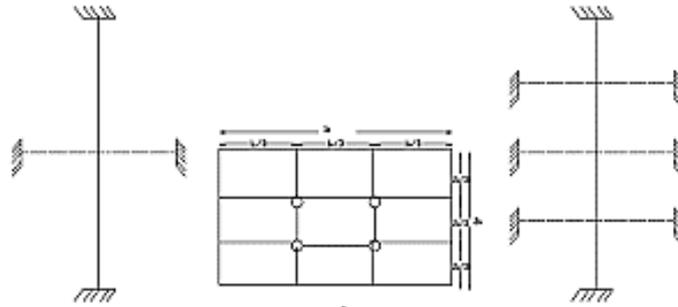
Ada juga beberapa kekurangan struktur grid yang menjadi beberapa alasan struktur ini masih kurang dan bahkan tidak menjadi pilihan bagi para perencana untuk menjadi alternatif sistem pelat pada bangunan. Beberapa diantaranya adalah:

1. Volume beton balok lebih boros
2. Penggunaan tulangan baja untuk balok lebih boros
3. Boros bekisting

Pelat dengan sistem grid jauh lebih kaku daripada pelat datar standar karena bentuk dan sistem balok silang yang membentuk segmen wafel. Struktur grid dapat dipecah menjadi tiga kategori berdasarkan bentuk dan posisi silang balok, yaitu:

- a. Sistem Grid Persegi

Dua balok berjalan tegak lurus satu sama lain untuk membentuk sistem kotak persegi. Dapat terdiri dari beberapa atau 1 balok, yang masing-masing membawa beban dalam satu arah atau lebih.

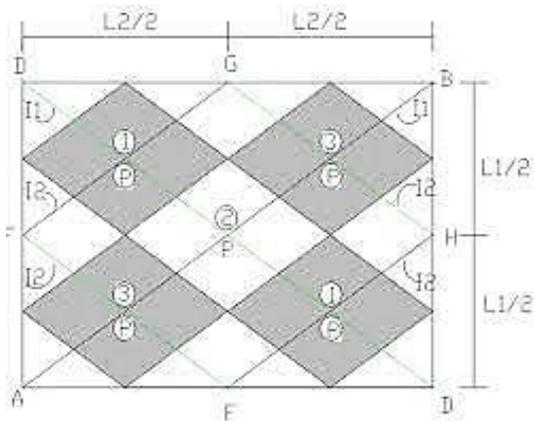


Gambar 2.8 Sistem Grid Persegi

Diperkirakan balok 1 (balok – atas, garis penuh) lebih tinggi dari balok 2 (balok – bawah, garis putus-putus). Panjang kedua balok dapat sama atau berbeda (11, 12). Tumpukan bekerja di mana kedua tiang bertemu. Gaya ($P - X$) bekerja pada bagian atas balok, sedangkan gaya pada alasnya adalah X .

b. Sistem Grid Miring/Diagonal

Balok dalam sistem ini tidak tegak lurus satu sama lain; melainkan dimiringkan sedemikian rupa sehingga membentuk diagonal yang saling bersilangan. Meskipun panjang balok diagonal berbeda (11, 12), panjang bentangnya selalu sama. Seperti terlihat pada gambar di bawah, sisi EG/AB berbanding terbalik dengan sisi EF/CD.

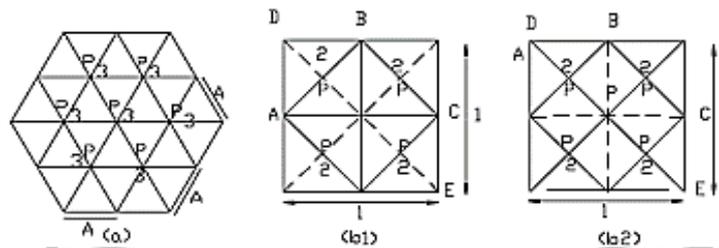


Gambar 2.9 Sistem Grid Miring

Diasumsikan bahwa balok dengan bentang yang lebih besar ditopang oleh balok dengan bentang yang lebih pendek dan kekakuan yang lebih besar. Beban dianggap sebagai beban titik pada perpotongan setiap balok diagonal.

c. Sistem Grid Majemuk

Satu simpul atau node dapat dilintasi oleh lebih dari satu balok bawah atau balok atas dalam sistem grid ganda, seperti yang Gambar 2.9 Sistem Grid Miring digambarkan pada gambar di bawah. Akibatnya, beban terpusat setiap balok pada node akan menjadi P/n (di mana n adalah jumlah balok melewati node).



Gambar 2.10 Sistem Grid Majemuk

Menurut SNI 2847:2019 persyaratan konstruksi balok jois atau pelat berusuh dua arah adalah sebagai berikut :

- a. Lebar balok sekurang-kurangnya adalah 100 mm pada setiap tempat diseluruh tingginya.
- b. Tebal keseluruhan balok tidak boleh lebih dari 3,5 kali lebar minimum

- c. Spasi bersih antar balok ≤ 750 mm
- d. Tebal pelat adalah $1/12$ dari jarak bersih antar balok rusuk
- e. Jika tidak memenuhi syarat di atas maka harus dirancang sebagai pelat dan balok.

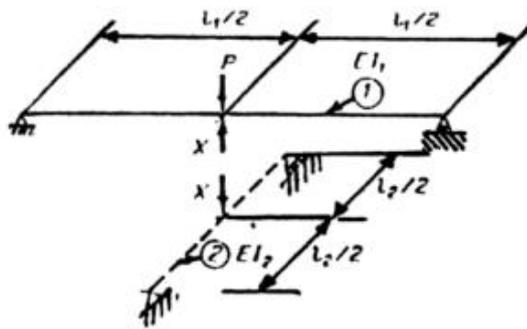
2.3.5 Analisa Struktur Grid

Metode gaya dan metode kekakuan merupakan dua pendekatan dalam analisis struktur grid, menurut Puspantoro (1993). Tabel Makowsky dapat digunakan untuk menyelesaikan metode gaya, menjadikannya metode yang mudah digunakan. Sebaliknya analisis dengan teknik kekakuan memerlukan waktu yang lebih lama dan memerlukan pemahaman dasar tentang teori elastisitas dan aljabar linier matriks.

2.3.5.1 Metode Gaya

Dengan menggunakan metode gaya ini, efek puntir tidak diperhitungkan dalam analisis grid. Perilaku kedua balok, yang tegak lurus satu sama lain dan mempengaruhi satu sama lain ke titik di mana defleksinya dapat dianggap identik, memberikan gambaran yang jelas deskripsi sifat dan karakteristik perpindahan beban dalam dua arah.

Pada Gambar 2.11 menunjukkan sistem struktur balok grid. Balok dengan bentang l1 dan balok dengan bentang l2 dapat digunakan untuk menggambarkan dua balok. Sebuah gaya P diterapkan di tengah bentang di persimpangan dua balok bertindak.



Gambar 2.11 Balok silang pada sistem grid

(Sumber : Teori dan Analisis Balok Grid oleh Ir. Benny Puspantoro, M.Sc.)

Seperti terlihat pada Gambar 2.11, balok-a melorot dan balok-b terdorong ke bawah oleh aksi beban P, yang menyebabkan balok-a bereaksi ke atas dengan mendorong x ke bawah. Akibatnya, gaya P - Teknik berikut dapat digunakan untuk menentukan besar defleksi yang terjadi di tengah bentang:

$$d_1 = \frac{(P-X)l_1^3}{48EI_1} \dots\dots\dots (2-40)$$

$$d_2 = \frac{X l_2^3}{48EI_2} \dots\dots\dots (2-41)$$

Bila $d_1 = d_2$ maka nilai X adalah :

$$X = \frac{P}{1 + \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^3 \left(\frac{EI_1}{EI_2}\right)} \dots\dots\dots (2-42)$$

Momen ditengah bentang ;

$$M \text{ balok a} = \frac{(P-X)}{2} \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{(P-X)l_1}{4} \dots\dots\dots (2-43)$$

$$M \text{ balok b} = \frac{X}{2} \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{X l_2}{4} \dots\dots\dots (2-44)$$

Apabila dua balok mempunyai nilai l yang sama tetapi nilai I1 berbeda, maka perbandingan beban P terhadap beban X yang ditumpu oleh balok 2 (balok bawah) adalah sebagai berikut:

$$\frac{X}{P} = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^3} \dots\dots\dots (2-45)$$

Tabel 2.8 Nilai X/P untuk balok dengan dukungan bebas

l_1/l_2	1	2	3	4	5
X/P	$\frac{1}{2}$	$\frac{8}{9}$	$\frac{27}{28}$	$\frac{24}{65}$	$\frac{125}{126}$

Sumber : Teori dan Analisis Balok Grid oleh Ir. Ign. Benny Puspantoro, M.Sc.

Dengan memvariasikan momen inersia balok, beban yang sama dapat dibagi pada dua bentang yang panjangnya tidak sama. X sama dengan P/2 jika beban dibagi rata.

$$\frac{P}{2} = \frac{P}{1 + \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^3 \left(\frac{l_1}{l_2}\right)} \dots\dots\dots (2-46)$$

Sehingga : $\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^3 \dots\dots\dots (2-47)$

Tabel 2.9 Nilai X/P untuk balok dengan dukungan jepit

l_1/l_2	1	1,6	2	3	4	5
X/P	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{27}{31}$	$\frac{16}{71}$	$\frac{125}{129}$

Sumber : Teori dan Analisis Balok Grid oleh Ir. Ign. Benny Puspantoro, M.Sc.

2.3.5.2 Metode Kekakuan

Metode kekakuan adalah teknik analisis struktur yang memberikan defleksi satu satuan pada titik pencarian sebagai bagian dari prosedur perhitungan analisis. Hal ini akan memungkinkan terbentuknya hubungan antara gaya yang bekerja pada titik diskrit tersebut dan defleksi yang diakibatkannya.

Teori elastisitas dan aljabar linier matriks digunakan dalam analisis teknik kekakuan. Untuk mempermudah analisis metode matriks, nomor urut diberikan pada setiap titik diskrit dengan mempertimbangkan defleksi. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menyatakan hubungan antara gaya-gaya yang bekerja di atas:

$$\{Q\} = \{K\} \times \{d\} \dots\dots\dots (2-48)$$

$\{Q\}$ = vektor beban/gaya

$\{K\}$ = matriks kekakuan

$\{d\}$ = lendutan

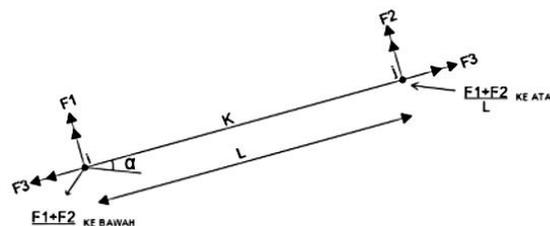
a. Derajat Kebebasan

Setiap elemen mempunyai derajat kebebasan yang ditempatkan pada berbagai arah dan titik tumpu serta titik potongnya. Jika suatu elemen tidak memiliki torsi, vektornya searah jarum jam, dan derajat kebebasannya dihitung tegak lurus terhadap arahnya. Arah yang diikuti ke timur dan utara diambil sebagai derajat kebebasan, dan elemen tempat terjadinya torsi memiliki vektor searah jarum jam.

Balok yang mempunyai tumpuan sederhana dan tanpa torsi ini mempunyai empat derajat kebebasan translasi vertikal dan enam belas derajat kebebasan rotasi, dengan arah ke bawah diartikan positif. Delapan penyangga dasar membentuk kisi bidang torsi, yang memiliki empat derajat kebebasan translasi vertikal dan 24 derajat rotasi.

b. Gaya-gaya Elemen

Elemen balok dengan torsi memiliki titik akhir j dan titik awal i seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.12 Diagram gaya elemen balok dengan torsi

Sumber : Teori dan Analisis Balok Grid oleh Ir. Ign. Benny Puspantoro, M.Sc

Pada momen lentur F2 dan F1 untuk vector searah ajrum jam, arah positifnya ke arah kiri batang; momen puntir F3 dan F3 untuk vektor searah jarum jam sama dengan tarikan dengan vektor yang berlawanan arah. Reaksi vertikal (F2+F1/L) ke atas di titik j dan ke bawah di titik i diperlukan untuk keseimbangan.

c. Matriks Kekakuan Lokal

Didapat dengan rumus seperti di bawah :

$$[K]_{\text{local}} = [EA][ES][EB] \dots\dots\dots (2-49)$$

Dengan :

[EA]= matriks static elemen

[ES]= matriks kekakuan elemen

[EB]= matriks deformasi elemen

- Matriks statik elemen

Berikut rumus matriks static elemen [EA]

$$[EA] = \begin{Bmatrix} -\sin \alpha & 0 & -\cos \alpha \\ +\cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ +1/L & +1/L & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & +\cos \alpha \\ 0 & +\cos \alpha & +\sin \alpha \\ -1/L & -1/L & 0 \end{Bmatrix}$$

- Matriks deformasi elemen

Berikut rumus matriks static elemen [EB]

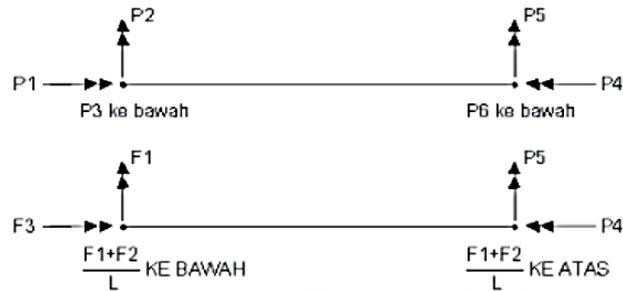
$$[EB] = \begin{Bmatrix} -\sin \alpha & +\cos \alpha & +1/L & 0 & 0 & -1/L \\ 0 & 0 & +1/L & -\sin \alpha & +\cos \alpha & -1/L \\ -\cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & +\cos \alpha & +\sin \alpha & 0 \end{Bmatrix}$$

- Matriks kekakuan elemen

Berikut rumus matriks static elemen [ES]

$$[ES] = \begin{Bmatrix} 4EI/L & 2EI/L & 0 \\ 2EI/L & 4EI/L & 0 \\ 0 & 0 & GJ/L \end{Bmatrix}$$

- Elemen Timur – Barat



Gambar 2.13 Jumlah P/F untuk elemen timur-barat

Sumber : Teori dan Analisis Balok Grid oleh Ir. Ign. Benny Puspantoro, M.Sc

Penyederhanaan matriks elemen timur-barat

$$[ESAT] = \begin{Bmatrix} 0 & +4EI/L & +6EI/L^2 & 0 & +2EI/L & -6EI/L^2 \\ 0 & +2EI/L & +6EI/L^2 & 0 & +4EI/L & -6EI/L^2 \\ -GJ/L & 0 & 0 & -GJ/L & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$[K]_{\text{lokal}} = \begin{Bmatrix} -GJ/L & 0 & 0 & -GJ/L & 0 & 0 \\ 0 & +4EI/L & +6EI/L^2 & 0 & +2EI/L & -6EI/L^2 \\ 0 & +6EI/L^2 & +12EI/L^3 & 0 & +6EI/L^2 & -12EI/L^3 \\ -GJ/L & 0 & 0 & -GJ/L & 0 & 0 \\ 0 & +2EI/L & +6EI/L^2 & 0 & +4EI/L & -6EI/L^2 \\ 0 & -6EI/L^2 & +12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 & +12EI/L^3 \end{Bmatrix}$$

- Elemen Utara – Selatan

Penyederhanaan matriks elemen utara selatan

$$[ESAT] = \begin{Bmatrix} -4EI/L & 0 & +6EI/L^2 & -2EI/L & 0 & -6EI/L^2 \\ -2EI/L & 0 & +6EI/L^2 & 0 & -4EI/L & 0 \\ 0 & -GJ/L & 0 & 0 & -GJ/L & 0 \end{Bmatrix}$$

$$[K]_{\text{lokal}} = \begin{Bmatrix} +4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & -2EI/L & 0 & +6EI/L^2 \\ 0 & +GJ/L & 0 & 0 & -GJ/L & 0 \\ -6EI/L^2 & 0 & +12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 \\ +2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & +4EI/L & 0 & +6EI/L^2 \\ 0 & -GJ/L & 0 & 0 & +GJ/L & 0 \\ +6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & +12EI/L^3 & 0 & 12EI/L^3 \end{Bmatrix}$$

2.3.6 Perhitungan Beban Gempa

Berikut perencanaan beban gempa menurut SNI 1726-2019, yaitu :

- Menghitung berat atau bobot bangunan keseluruhan
- Menentukan kategori resiko bangunan untuk beban gempa dan faktor keutamaan gempa (I_e)

Tabel 2.10 Kategori Resiko Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk tapi tidak dibatasi untuk antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, 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 nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung Pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar</p> <p>Berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau materi atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.11 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726:2019

c. Klasifikasi Situs

Lapisan tanah dibagi mulai dari kelas A hingga kelas F. Nilai rata-rata kekuatan geser cair, rata-rata ketahanan penetrasi standar lapangan, dan kecepatan gelombang geser rata-rata (v_s) digunakan untuk mengklasifikasikan lokasi. menjadi beberapa kelompok. -datar. Tabel 2.12 menampilkan klasifikasi lokasi berdasarkan ketiga faktor tersebut.

Tabel 2.12 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_U (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	< 15	< 50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:

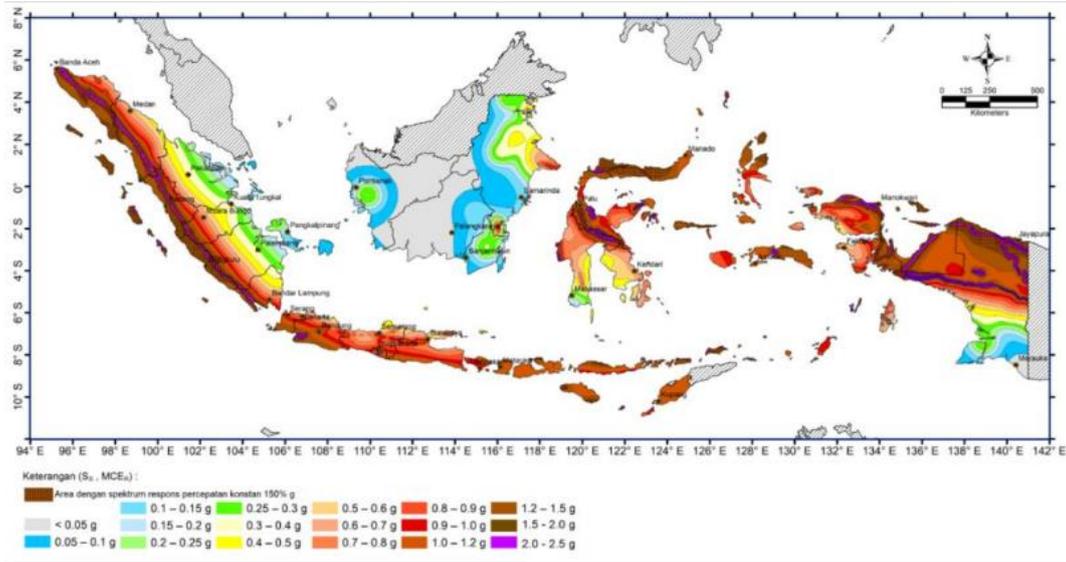
1. Indeks plastisitas $PI > 20$
2. Kadar air, $w \geq 40$
3. Kuat geser nirair $\bar{s}_U < 25$ kPa

SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	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 sensitive, tanah tersembentasi lemah - Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)
--	--

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

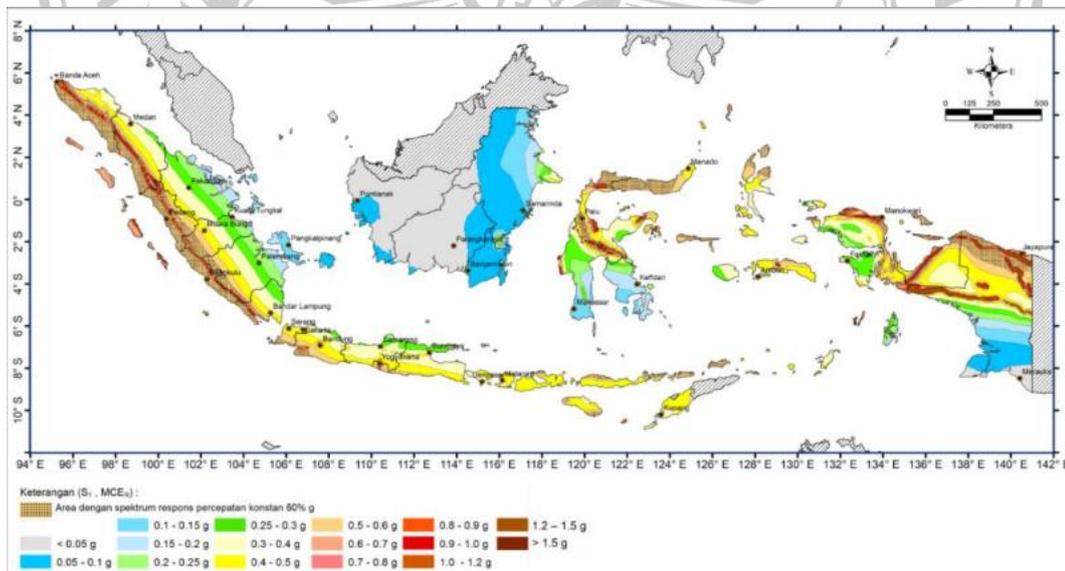
Sumber: SNI 1726:2019

d. Menentukan parameter percepatan



Gambar 2.14 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%), Parameter gerak tanah S_s

Sumber : SNI 1726:2019



Gambar 2.15 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%), Parameter gerak tanah S_1

Sumber : SNI 1726:2019

Tabel 2.13 Tabel Koefisien Situs (Fa)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCER Terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _s					
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s = 1,25	S _s ≥ 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan: (a) S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.14 Koefisien Situs (Fv)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCER Terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ = 0,5	S ₁ ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan: (a) S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Sumber: SNI 1726:2019

Untuk mendapatkan parameter percepatan spectral desain periode pendek SDS dan SD1 pada periode 1 detik, harus Berdasarkan sperumursan berikut

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2-50)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2-51)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2-52)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2-53)$$

Dengan :

S_1 dan S_s diambil dari peta gempa

F_a dan F_v didapatkan berdasarkan koefisien situs

- e. Mengkategorikan bangunan terhadap kategori desain seismic

Tabel 2.15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.16 Kategori Desain Seismik Berdasarkan parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019

- f. Menghitung spektrum respon desain

SNI 1726: 2019 menjelaskan hasil dari S_{DS} dan S_{D1} akan digunakan dalam menentukan spektrum respons desain dan juga untuk memenuhi persyaratan - persyaratan berikut: Untuk spektrum respons percepatan (S_a), periode $T < T_0$, diambil berdasarkan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2-54)$$

Dengan :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2-55)$$

Apabila $T_0 \leq T \leq T_s$,

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2-56)$$

Jika $T_s < T \leq T_L$, spektrum respon percepatan desain (S_a), digunakan rumus :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2-57)$$

Untuk $T > T_L$, respons spectral percepatan desain (S_a) diambil Berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T} \dots\dots\dots (2-58)$$

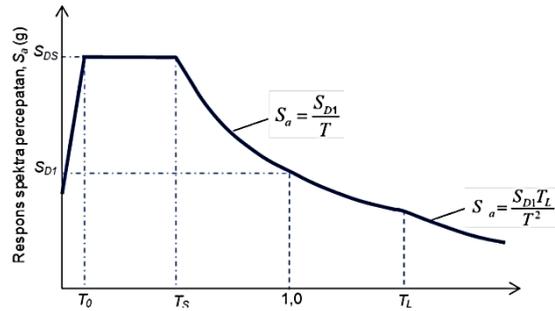
Dimana :

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

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

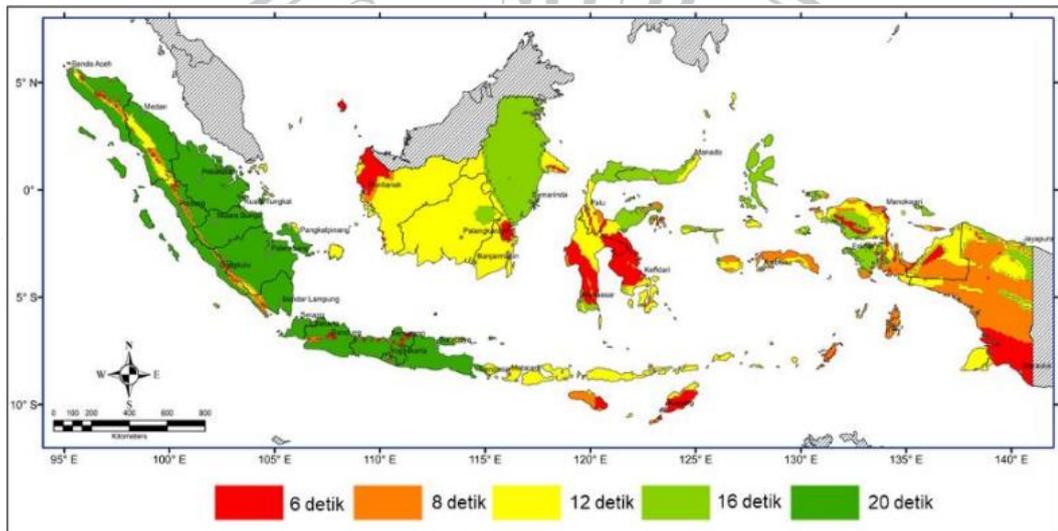
T = periode getar fundamental struktur

T_L = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan Gambar 2.14 yang nilainya diambil dari Gambar 2. 15



Gambar 2.16 Spektrum respons desain

Sumber : SNI 1726:2019 Gambar 3 halaman 36



Gambar 2.17 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia

Sumber : SNI 1726:2019 Gambar 20 halaman 238

g. Menghitung factor koefisien modifikasi respons (R)

Menggunakan Tabel 12 SNI 1726:2019

h. Menghitung periode fundamental (T)

Menggunakan SNI 1726:2019 pada Tabel 18 untuk mencari C_t dan x , kemudian dilanjutkan dengan perhitungan rumus :

$$T = T_a C_t h_n^x \dots\dots\dots (2-59)$$

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots (2-60)$$

Dimana :

N = jumlah tingkat

h_n = ketinggian struktur (m)

- i. Menghitung koefisien respons seismic (C_s) dengan gaya seismic (V)

Menurut SNI 1726:2019 menjelaskan gaya geser dasar yang diakibatkan oleh gempa dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2-61)$$

Nilai koefisien seismic (C_s) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-62)$$

Nilai C_s yang akan ditentukan harus kurang dari sama dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-63)$$

Nilai C_s yang akan ditentukan tidak boleh lebih kecil dari pada persamaan berikut :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2-64)$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismic

W = berat seismik efektif

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

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan

Tabel 2.17 Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem pemikul gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, R_a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
					Kategori desain seismic				
					B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A	Sistem dinding penunpu								
1	Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
2	Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3	Dinding geser beton polos di detail ^g	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
4	Dinding geser beton polos biasa ^g	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
5	Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2,5	4	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
6	Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2,5	3	TB	TI	TI	TI	TI
7	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2,5	3,5	TB	TB	48	48	30
8	Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	2,5	2,25	TB	TI	TI	TI	TI
9	Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	1,25	TB	48	TI	TI	TI
10	Dinding geser batu bata polos di detail	2	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
11	Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
12	Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
13	Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2,5	2	TB	10	TI	TI	TI
14	Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
15	Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
16	Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
17	Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2,5	2	TB	TB	10	TI	TI
18	Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3,5	TB	TB	20	20	21

Lanjutan tabel 2.18 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

B	Sistem rangka bangunan								
1	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3	Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3,25	2	3,5	TB	TB	10 ⁱ	10 ⁱ	TI ⁱ
4	Dinding geser beton bertulang khusus ^{EB}	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
5	Dinding geser beton bertulang biasa ^{EB}	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
6	Dinding geser beton polos detail ^{EB}	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
7	Dinding geser beton polos biasa ^{EB}	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
8	Dinding geser beton polos menengah ^{EB}	5	2,5	4,5	TB	TI	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9	Dinding geser pracetak biasa ^{EB}	4	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI
10	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TI	48	48	30
11	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4,5	TB	TB	48	48	30
12	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6,5	2,5	5,5	TB	TB	48	48	30
14	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
15	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
16	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	2,5	4	TB	TB	48	48	30
17	Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
18	Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
19	Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
20	Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,25	TB	TI	TI	TI	TI
21	Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
22	Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	22

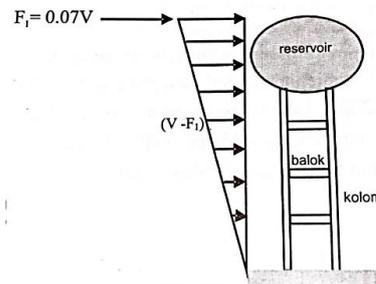
23	Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dim aksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	23
24	Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2,5	2,5	2,5	TB	TB	10	TB	TB
25	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	48	48	48
26	Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	48
C	Sistem rangka pemikul momen								
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 ^K	Ti ^K	Ti ^K
4	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	Ti ^L	Ti ^L	Ti ^L
5	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^a	3,5	3'	3,5	10	10	10	10	10
D	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
3	Dinding geser beton bertulang khusus gh	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
4	Dinding geser beton bertulang biasag	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
5	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
6	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
7	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB

8	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
9	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
10	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11	Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
12	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
13	Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB
E	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ²	6	2,5	5	TB	TB	10	TI	TI
2	Dinding geser beton bertulang khusus ^{3h}	6,5	2,5	5	TB	TB	48	30	30
3	Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2,5	TB	48	TI	TI	TI
4	Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris	5,5	2,5	4,5	TB	TB	48	30	TI
6	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3,5	2,5	3	TB	TB	TI	TI	TI
7	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
8	Dinding geser beton bertulang biasa	5,5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
F	Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa								
G	Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1	Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10
2	Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1,25	1,25	1,25	10	10	TI ¹	TI ¹	TI ¹
3	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10
4	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1,5	1,25	1,5	10	10	TI	TI	TI
5	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1,25	1	10	TI	TI	TI	TI
6	Rangka kayu	1,5	1,5	1,5	10	10	10	TI	TI

Sumber: SNI 1726:2019

Activate Windows

j. Menghitung distribusi beban gempa pada struktur bangunan



Gambar 2.18 Distribusi beban gempa pada menara

(Sumber : Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang oleh Amrinsyah Nasution)

Distribusi gaya gempa (F_x) ini akan di terdistribusi disetiap tingkat pada suatu struktur bertingkat, ketika mengacu pada pada SNI 1726:2019 nilai F_x menggunakan rumus berikut:

$$F_x = C_{VX} V \dots\dots\dots (2-65)$$

Dimana :

C_{VX} = Faktor distribusi vertical

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

Nilai C_{VX} dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$C_{VX} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \dots\dots\dots (2-66)$$

Dimana :

W_i dan W_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W)

yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

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

struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

struktur dengan $0,5 < T < 2,5$, $k = 2$ atau dapat ditentukan dengan cara interpolasi linier antara 1 dan

