

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Sebagai bahan referensi dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan pengamatan terhadap penelitian sebelumnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Herman, H (2020) dalam tugas akhirnya untuk mencapai gelar sarjana S1 Teknik Sipil Universitas Andalas tahun 2020, dengan judul “Desain struktur bangunan beton bertulang tahan gempa 12 lantai dengan sistem ganda rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus di Kota Padang”.

Standar atau peraturan yang digunakan dalam desain tersebut adalah SNI beton 2847:2019, SNI gempa 1726:2019, SNI pembebanan 1727:2013 dan PPIUG 1983. Dalam perencanaan struktur digunakan mutu beton untuk kolom, balok dan pelat lantai yaitu K-350, mutu beton untuk *shear wall* yaitu K-400, mutu baja tulangan untuk kolom dan *shear wall* $f_y = 420$ Mpa, sedangkan mutu baja tulangan untuk balok dan pelat lantai $f_y = 390$ Mpa.

Tinggi kolom yang digunakan pada lantai dasar yaitu 3 m, tinggi kolom lantai 2 yaitu 4 m, tinggi kolom lantai 3 sampai dengan lantai 11 yaitu 3,30 m dan tinggi kolom lantai 12 yaitu 3,50 m. Adapun hasil yang diperoleh pada tahapan *preliminary design* yaitu dimensi balok utama 400 mm x 600 mm, dimensi balok anak 300 mm x 500 mm, dimensi kolom diperoleh tiga type yang berbeda yaitu K1 (1000 mm x 1000 mm), K2 (800 mm x 800 mm) dan K3 (600 mm x 600 mm). ketebalan dinding geser (*shear wall*) 350 mm dan ketebalan pelat lantai 125 mm.

2.2 Konsep Bangunan Aman Gempa

Gempa adalah bencana alam yang dapat menimbulkan kegagalan struktur khususnya struktur gedung. Maka suatu struktur harus dirancang dengan konsep bangunan aman gempa.

Bangunan aman gempa adalah bangunan yang dirancang dan diperhitungkan secara matang sehingga memiliki respon yang baik terhadap gaya gempa. Bangunan aman gempa dirancang untuk meminimalisir kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh gempa.

1. Hal hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan bangunan
 - a. Estetika
Keindahan dan keserasian bangunan yang akan memberikan kebanggaan pada pemiliknya.
 - b. Fungsional
Disesuaikan dengan penggunaan dan pemanfaatannya sehingga memberikan rasa nyaman.
 - c. Struktural
Struktur yang kuat akan memberikan rasa aman bagi penghuni didalamnya.
 - d. Ekonomis
Ukuran struktur yang proposional dan pemakaian bahan yang sesuai sehingga bangunan mempunyai umur yang panjang dan pemeliharaan yang mudah.
2. Tujuan desain bangunan aman gempa
 - a. Menghindari terjadinya korban jiwa oleh runtuhnya gedung.
 - b. Mengatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan s.d sedang.
 - c. Mengatasi ketidaknyamanan penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan s.d sedang.
 - d. Mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung.
3. Konsep bangunan aman gempa dapat ditinjau dari tiga aspek yaitu:
 - a. Gempa ringan
Bila terjadi gempa ringan bangunan tidak boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun pada komponen struktural.
 - b. Gempa sedang
Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan
 - c. Gempa kuat
Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen struktural, akan tetapi struktur bangunan tidak boleh roboh.

Dalam perencanaan struktur bangunan harus diperhitungkan memikul pengaruh gempa rencana agar ketika terjadi gempa sebesar gempa rencana maka struktur bangunan yang didesain tersebut akan mengalami rusak berat, tetapi bangunan masih dapat berdiri sehingga dapat mencegah terjadinya korban jiwa. Bangunan direncanakan mampu mempertahankan kekuatannya oleh beban bolak balik memasuki perilaku inelastik tanpa mengurangi kekuatan yang berarti. Hal ini disebut juga dengan kemampuan daktilitas bangunan.

Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur beton bertulang (balok atau kolom) untuk berdeformasi (akibat beban gempa) hingga melewati batas elastisnya (mencapai batas plastis) tanpa mengalami keruntuhan. Daktilitas juga dapat diartikan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dengan arah beban yang bolak-balik akibat gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sampai mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan. Semakin tinggi tingkat daktilitas suatu struktur maka semakin daktil struktur tersebut dan sebaliknya semakin rendah tingkat daktilitasnya maka struktur tersebut semakin getas (mudah hancur).

2.3 Macam-Macam Sistem Struktur Tahan Gempa

Pada umumnya elemen struktur penyusun bangunan gedung difungsikan sebagai elemen pemikul beban gravitasi (beban mati dan beban hidup). Namun dikarenakan adanya fenomena beban lateral, elemen tersebut juga dituntut untuk bisa memikul kombinasi beban gravitasi dan beban lateral, khususnya gempa. Pengaruh beban lateral semakin besar bila struktur gedung semakin tinggi sehingga perencanaan terhadap beban lateral harus diperhatikan secara seksama. Oleh karena itu, diperlukan sistem struktur tahan gempa yang baik untuk struktur gedung dalam memikul beban lateral. Sistem struktur gedung yang umum digunakan sebagai sistem tahan gempa antara lain:

1. Sistem Struktur Rangka (*Frame System*)

Ciri khas dari sistem struktur ini adalah elemen penyusunnya berupa balok, pelat dan kolom yang menyatu membentuk sistem rangka sehingga membentuk sistem rangka yang kaku. Elemen balok dan kolom difungsikan

memikul beban gravitasi dan beban lateral khususnya beban gempa. Sedangkan elemen pelat difungsikan sebagai diafragma dari sistem rangka saat terjadi gempa.

2. Sistem Struktur Dinding (*Wall System*)

Ciri khas dari sistem struktur ini adalah penggunaan elemen *Wall* sebagai struktur utama dalam memikul beban lateral gempa. Meskipun terdapat balok dan kolom, *wall* tetap menjadi satu-satunya elemen struktur yang memikul beban lateral (gempa). Sedangkan balok dan kolom hanya difungsikan sebagai pemikul beban gravitasi.

3. Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

Ciri khas dari sistem struktur ganda adalah adanya kombinasi dari dua jenis struktur dalam memikul beban lateral (gempa). Dua struktur tersebut berupa struktur rangka dan *wall*. Dalam sistem struktur ini, rangka dan *shear wall* saling bekerja sama dalam memikul beban, baik beban gravitasi maupun beban lateral.

2.4 Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

Sistem struktur ganda (*dual system*) merupakan perpaduan sistem struktur rangka dan struktur *shear wall*. Bila ditinjau dari sisi kinerjanya struktur *dual system* sangat ideal sebagai sistem struktur tahan gempa. Hal ini dikarenakan adanya pembagian peran dalam memikul beban lateral antara struktur rangka dan struktur *shear wall*. Struktur rangka memikul $\geq 25\%$ beban gempa dan *wall* memikul $\leq 75\%$ beban gempa. Struktur *shear wall* memperoleh porsi yang lebih besar dikarenakan secara geometri *shear wall* memiliki kekakuan yang lebih besar sehingga sangat efektif dalam menerima beban gempa. Selain itu, peran *shear wall* dalam memikul beban gravitasi juga kecil. Sedangkan pada struktur rangka, dikarenakan tingkat kekakuannya relatif kecil (yang tersusun dari balok dan kolom serta peran memikul beban gravitasi sangat dominan), maka porsi yang diberikan dibatasi $\geq 25\%$. Oleh karena itu, meskipun struktur *shear wall* hancur/ rusak maka struktur rangka setidaknya memiliki kekuatan cadangan 25% dalam memikul sisa energi gempa yang ada. Dengan demikian, meskipun struktur *shear wall* telah rusak/hancur, gedung masih bisa bertahan dan tidak mengalami kegagalan total. Mekanisme keruntuhan ini dikenal dengan istilah *Second Defense Mechanism*.

Sehingga nilai 25% dijadikan batas minimum yang ideal untuk struktur rangka dalam memikul beban gempa dari *dual system*. Adapun bila perencanaan porsi lebih besar dari 25%, hal tersebut diperbolehkan, namun tidak disarankan karena hasil desain kurang efektif, khususnya dari segi ukuran geometri yang dihasilkan pada elemen balok dan kolom.

2.5 Struktur Beton Bertulang

Struktur beton bertulang adalah kombinasi beton dengan baja tulangan yang bekerja sama dalam menahan beban yang ada pada konstruksi. Beton memiliki kemampuan yang relatif tinggi dalam menahan gaya tekan, namun lemah terhadap gaya tarik. Sebaliknya, tulangan baja memiliki kemampuan yang tinggi dalam menahan gaya tarik dibandingkan dengan beton sehingga tulangan baja dibutuhkan untuk menahan gaya tarik tersebut. Beton bertulang tersusun dari material agregat kasar, agregat halus, semen dan baja tulangan.

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur dimana komponen balok, pelat, kolom dan joint menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial. SRPM diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan bisa digunakan pada bangunan dengan tingkat risiko seismik rendah, dimana kategori desain seismik (KDS) maksimal B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan pada bangunan dengan kategori desain seismik (KDS) C, dimana tingkat risiko seismiknya menengah.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi dan dapat digunakan pada bangunan dengan kategori desain seismik (KDS) D, E dan F, dimana tingkat risiko seismiknya tinggi.

2.7 Sistem Dinding Struktural

Sistem dinding struktural (SDS) atau sering disebut juga *shear wall system* adalah sistem struktur bangunan yang menggunakan dinding-dinding vertikal sebagai elemen utama untuk menahan beban lateral seperti beban gempa dan beban angin. Sistem dinding struktural diproporsikan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan oleh gempa. Sistem dinding struktural diklasifikasikan menjadi 2 yaitu:

1. Sistem Dinding Struktural Biasa (SDSB)

SDSB dirancang untuk bangunan yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya boleh digunakan untuk struktur bangunan yang termasuk maksimal KDS C.

2. Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK)

SDSK dirancang untuk bangunan yang memiliki tingkat daktilitas penuh, yang berarti mampu mengalami deformasi yang signifikan tanpa mengalami kegagalan yang berarti. SDSK digunakan dalam struktur bangunan yang terkena beban gempa tinggi, yaitu termasuk KSD D, E dan F.

2.8 Investigasi Geoteknik

Menurut SNI 1726:2019 bagian-bagian yang diperhitungkan untuk menentukan beban gempa adalah sebagai berikut:

2.8.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

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

Lanjutan Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk
Beban Gempa

<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 	<p>II</p>
<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 - 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 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 	<p>III</p>

Lanjutan Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

<ul style="list-style-type: none"> - 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 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 non gedung 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 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 material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. 	IV

Lanjutan Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

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

Sumber: SNI 1726 :2019 (24-25:2019)

2.8.2 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 2.2

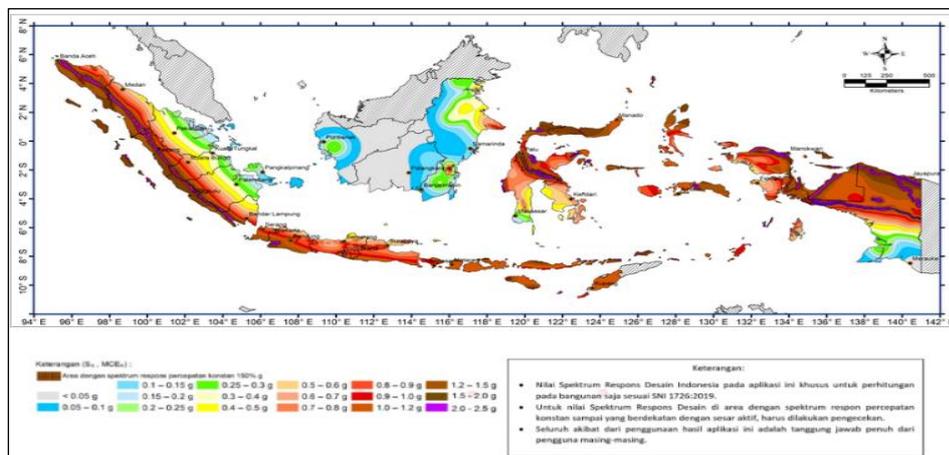
Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, Ie
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

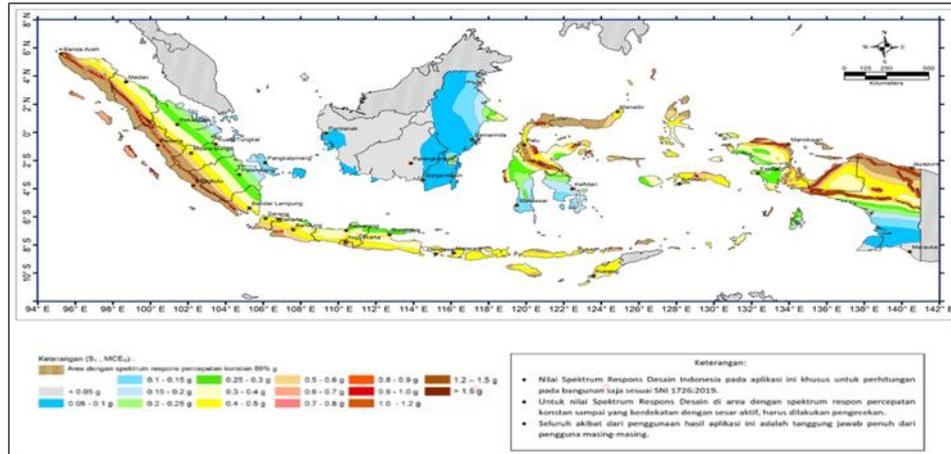
Sumber: SNI 1726:2019 (25:2019)

2.8.3 Parameter - Parameter Terpetakan

Berdasarkan SNI 1726:2019, wilayah gempa berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Pada SNI 1726:2019 zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun. Untuk klasifikasi wilayah gempa, peta gempa terbaru ini menggunakan warna-warna yang menunjukkan parameter S_s dan S_1 untuk setiap besaran spektrum respon percepatan (Gambar 2.1 dan Gambar 2.2).



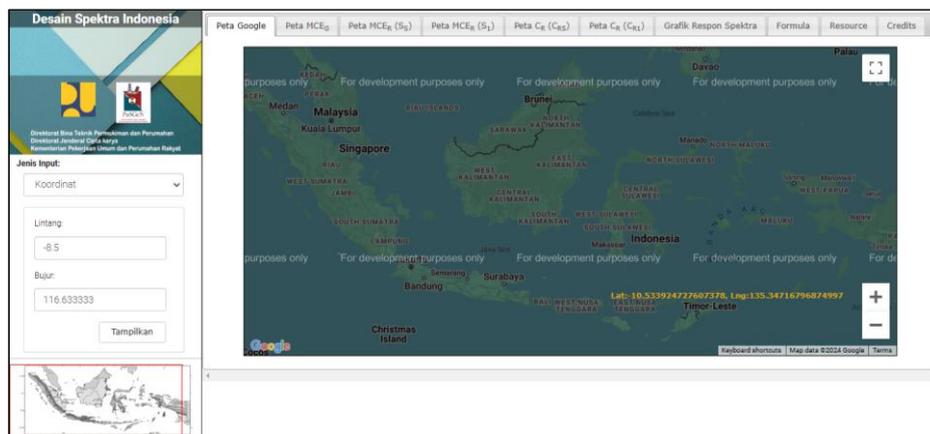
Gambar 2.1 Peta Percepatan Spektrum Respons Periode 0.2 detik (S_s)



Gambar 2.2 Peta Percepatan Spektrum Respons Periode 1 detik (S_1)

Didalam peta zonasi gempa ini, setiap warna mewakili besaran parameter percepatan batuan dasar mulai dari terendah hingga yang paling tinggi. Daerah yang tidak memiliki warna (daerah abu-abu) adalah daerah yang tidak terpengaruh oleh gempa karena berada jauh dari lempeng benua yang merupakan pusat gempa bumi terjadi.

Untuk mengetahui nilai percepatan batuan yang lebih akurat pada tiap lokasi dari peta diatas, bisa dilakukan analisa menggunakan program Desain Spektra Indonesia (Gambar 2.3) yang bisa diakses melalui situs: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>



Gambar 2.3 Desain Spektra Indonesia

2.8.4 Klasifikasi Situs

Penerapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah dilapangan dan dilaboratorium yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat. Berdasarkan sifat-sifat tanah kelas situs dapat

dikelompokkan menjadi kelas situs SA, SB, SC, SD, SE dan SF. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N atau Nch	Sa (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah bersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $K / 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa.		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726:2019 (29-30:2019)

2.8.5 Koefisien-Koefisien Situs

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCER dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplikasi meliputi faktor amplikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplikasi terkait percepatan pada

periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

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

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

Keterangan:

S_{Ms} = Parameter percepatan respons spektra MCE pada periode pendek

S_{M1} = Parameter percepatan respons spektra MCE pada periode 1 detik

F_a = Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik)

F_v = Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)

S_s = Percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik

S_1 = percepatan batuan dasar pada periode 1 detik

Untuk menentukan nilai koefisien situs F_a dan F_v dapat menggunakan Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tarperget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $t=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726:2019 (34:2019)

CATATAN:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Tabel 2. 5 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tarterget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	S1 ≤ 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 ≥ 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	<i>SS</i> ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019 (35:2019)

CATATAN:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

2.8.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Parameter percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1} harus ditentukan melalui perumusan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{2.3}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{2.4}$$

Keterangan:

S_{ds} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{d1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode I detik

2.8.7 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain adalah representasi gerakan tanah akibat getaran gempa yang terjadi. Berdasarkan SNI 1726:2019 kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan berikut ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan:

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

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a :

$$S_a = S_{DS} \quad (2.6)$$

3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dan atau sama dengan T_L , respons spectral percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.7)$$

Nilai T_0 dan T_s ditentukan dengan persamaan berikut

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

keterangan:

S_a = percepatan respons spektra

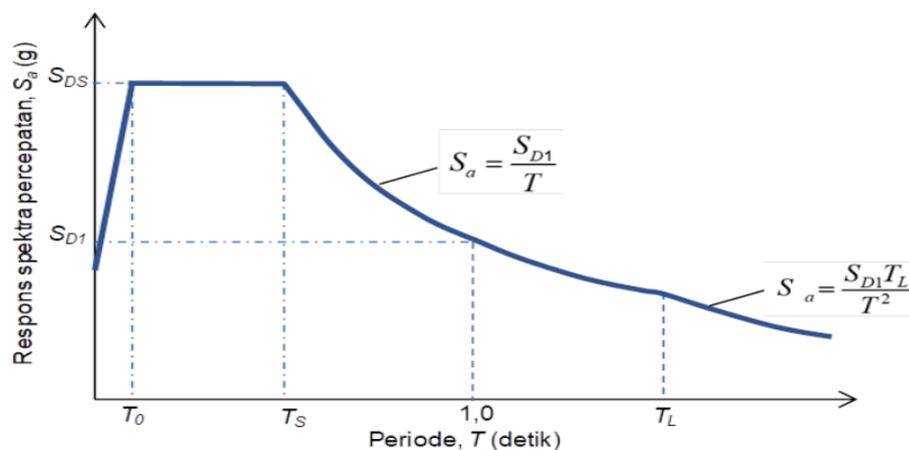
T_0 = periode awal

T = periode fundamental

T_s = periode struktur

T_L = peta transisi periode panjang

Prosedur memodelkan grafik respons spektrum diatur dalam SNI 1726:2019. Koordinat grafik respons spectrum (RS) meliputi periode (detik) pada sumbu-X dan percepatan (g) pada sumbu-Y seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain

2.9 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal 6.5 pada SNI 1726:2019. Parameter KDS menentukan apa saja persyaratan yang harus digunakan saat mendesain bangunan terhadap gempa. Struktur dengan kategori risiko I, II dan III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan KDS E. Struktur dengan kategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan KDS F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan nilai parameter respons spektral percepatan desainnya (S_{DS} dan S_{D1}) serta bergantung pada kategori risiko gedung yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019 (37:2019)

Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

Sumber: SNI 1726:2019 (37:2019)

2.10 Hubungan KDS Dengan Sistem Struktur Tahan Gempa

Aturan detailing elemen struktur harus sesuai dengan tingkat risiko kegempaan. Hubungan keduanya dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Hubungan KDS Dengan Sistem Struktur Tahan Gempa

Code	Tingkat risiko kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726:2019	KDS	KDS	KDS
	A, B	C	D, E, F
	SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK
	SDSB/K	SDSB/K	SDSK

Keterangan:

- SRPMB = Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa
- SRPMM = Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah
- SRPMK = Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
- SDSB = Sistem Dinding Struktur Biasa
- SDSK = Sistem Dinding Struktur Khusus

2.11 Analisa Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 analisa beban gempa pada perencanaan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisa gaya lateral statik ekuivalen (gaya lateral equivalent) dan analisa dinamis (analisis spektrum respons ragam dan prosedur respons riwayat waktu). Prosedur analisis yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Prosedur Analisis Yang Diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I

Lanjutan Tabel 2. 9 Prosedur Analisis Yang Diizinkan

Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber: SNI 1726:2019 (68:2019)

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

2.12 Analisa Statik Ekuivalen

2.12.1 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.10)$$

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

h_n = Ketinggian struktur (m)

Koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
<ul style="list-style-type: none"> • Rangka baja pemikul momen 0,0724 0,8 • Rangka beton pemikul momen 	0,0724 0,0466	0,8 0,9

Lanjutan Tabel 2. 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x

Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019 (72:2019)

2.12.2 Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

$$C_{smin} = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

C_{smin} = Koefisien respons seismik minimum

C_{smax} = Koefisien respons seismik maksimum

T = Periode fundamental struktur (detik)

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)

R = Koefisien modifikasi respons (SNI 1726:2019 Tabel 12)

2.12.3 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.14)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif (kN)

2.12.4 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F_x (kN) disetiap tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.15)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_x h_x^k} \quad (2.16)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

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

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

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

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

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

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2

2.12.5 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser desain seismik di semua tingkat, V_x (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.17)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari gaya geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

2.12.6 Simpangan Antar Tingkat

Pengecekan simpangan antar lantai pada bangunan sangat diperlukan untuk memastikan bahwasanya nilai yang diperoleh harus kecil dari simpangan izin yang diisyaratkan. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.18)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral (SNI 1726:2019 Tabel 12)

δ_{xe} = Simpangan di lantai- x

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)

2.12.7 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.19)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN)

Δ = Simpangan antar tingkat desain (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}) yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.20)$$

Keterangan:

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser ($\beta = 1,0$)

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0 / (1 - \theta)$. Tetapi jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

2.13 Preliminary Design

Preliminary design adalah rancangan awal untuk menunjukkan jenis komponen, ukuran, jenis material, dan faktor lain yang akan mempengaruhi struktur tersebut. *Preliminary design* meliputi komponen balok, sloof, pelat, kolom dan *shear wall*.

2.13.1 Preliminary Design Balok

a) Balok Induk

Balok merupakan salah satu elemen utama penyusun struktur gedung. Balok induk adalah komponen struktur pemikul momen yang berfungsi untuk mentransfer beban dari pelat ke kolom. Dengan menggunakan aturan praktis (Budiono et al., 2017), untuk menentukan dimensi balok induk dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tinggi Balok: } h = L/10 - L/14 \quad (2.21)$$

$$\text{Tinggi Balok: } b = 1/2 h - 2/3 h \quad (2.22)$$

Keterangan:

h = Tinggi balok

b = Lebar balok

L = Panjang balok

Adapun ketentuan untuk menentukan dimensi pada balok yang ditentukan pada SNI 2847:2019 dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Tebal Minimum Balok Non-prategang

Kondisi Perletakan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Sumber: SNI 2847:2019 (180:2019)

Catatan:

[1] Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan Pasal 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3 yang terdapat dalam SNI.

Ketentuan f_y lebih dari 420 Mpa, maka untuk tinggi (h) balok harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Perhitungan tinggi (h) balok sebagai berikut:

$$h = h \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (2.23)$$

keterangan:

h = Tinggi Balok (mm)

f_y = Kuat Leleh Baja (Mpa)

b) Balok Anak

Balok anak merupakan elemen struktur pemikul momen yang berfungsi mentransfer beban dari plat ke balok induk. Balok anak biasanya memiliki bentang yang lebih pendek dan dimensi yang lebih kecil dibandingkan balok induk. Dengan menggunakan aturan praktis (Budiono et al., 2017) untuk menentukan dimensi balok anak dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tinggi Balok} : h = L/14 - L/16 \quad (2.24)$$

$$\text{Lebar Balok} : b = 1/2 h \quad (2.25)$$

Keterangan:

h = Tinggi Balok (mm)

L = Lebar Balok (mm)

c) Sloof

Untuk menentukan perencanaan awal sloof ditentukan dengan perbandingan kekakuan kolom dengan kekakuan sloof, dimana kekakuan sloof harus melebihi kekakuan kolom.

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan Sloof} &\geq \text{kekakuan kolom} \\ k = I/L &\geq k = I/L \end{aligned} \quad (2.26)$$

2.13.2 Preliminary Design Pelat

Pelat lantai adalah elemen bidang tipis yang memikul beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan pelat. Sistem perencanaan pelat lantai secara umum dibedakan menjadi dua yaitu, pelat satu arah (*One way slab*) dan pelat dua arah (*Two way slab*). Pelat satu arah dan dua arah dibedakan dari nilai rasio perbandingan sisi panjang dan sisi pendek dari pelat dengan ketentuan sebagai berikut:

$$1 \leq \frac{l_y}{l_x} \leq 2, \text{ termasuk pelat dua arah}$$

$$\frac{l_y}{l_x} > 2, \text{ termasuk pelat satu arah}$$

Pelat satu arah adalah pelat yang ketika diberi beban lendutannya hanya satu arah. Pelat dua arah adalah pelat yang ke empat sisinya ditopang oleh balok dan ketika diberi beban pelat akan melendut dua arah.

Berdasarkan SNI 2847:2019 ketebalan minimum pelat satu arah dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Ketebalan Minimum Pelat
Solid Satu Arah Non prategang

Kondisi tumpuan	$h^{[1]}$ Minimum
Tumpuan sederhana	1/20
Satu ujung menerus	1/24
Kedua ujung menerus	1/28
Kantilever	1/10

Sumber: SNI 2847:2019 (120:2019)

[1] Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa.

Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.12 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

Untuk pelat non prategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya dan memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, maka ketebalan pelat tidak boleh kurang dari ketentuan sebagai berikut:

- a. Pelat tanpa drop panel125 mm
- b. Pelat dengan drop panel100 mm

Ketebalan minimum pelat dua arah non prategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk rasio kekakuan lentur lebih dari 0,2 dan kecil dari 2,0 ketebalan minimum pelat tidak boleh kurang dari:

$$h_{\min} = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)} \text{ atau}$$

$$h_{\min} = 125 \text{ mm} \tag{2.27}$$

- b. Untuk rasio kekakuan lentur lebih dari 2,0 ketebalan minimum pelat adalah nilai terbesar dari :

$$h_{\min} = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \tag{2.28}$$

Atau

$$h_{\min} = 90 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{\ln_1}{\ln_2} \tag{2.29}$$

Keterangan:

F_y = Mutu tulangan (Mpa)

h_{min} = Ketebalan minimum pelat (mm)

l_{n1} = Panjang bersih pelat arah memanjang (mm)

l_{n2} = Panjang bersih pelat arah pendek (mm)

2.13.3 Preliminary Design Kolom

Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang memikul beban pelat dan balok yang kemudian disalurkan menuju pondasi. Beban selanjutnya disalurkan ke tanah. Kolom juga merupakan elemen struktur utama yang berperan penting dalam dalam memikul beban lateral (khususnya gempa). Dimensi kolom (Budiono et al., 2017) dapat dicari menggunakan persamaan:

$$A_g = \frac{P_u}{\sigma_{b_{izin}}} = \frac{P_u}{0,25-0,4 f_c'} \quad (2.30)$$

Keterangan:

A_g = Luas penampang kolom (mm^2)

P_u = Beban yang dipikul oleh kolom hasil tributary area (N)

$\sigma_{b_{izin}}$ = Tegangan beton izin (N/mm^2)

f_c' = Mutu beton (N/mm^2)

2.13.4 Preliminary Design Shear Wall

SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.1 menyebutkan bahwa tebal dinding selain dinding eksterior *Basement* dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 100 mm atau tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara $1/25$ nilai panjang bentang dinding dan tinggi tidak tertumpu. Tebal minimum *shear wall* dapat menggunakan ketentuan:

$$h_{min} \geq 100 \text{ mm} \quad (2.31)$$

$$h \geq \frac{h_w}{25} \text{ atau } h \geq \frac{l_w}{25} \quad (2.32)$$

Tebal *shear wall* bisa diambil sebagai nilai terbesar dari dua parameter tersebut. Ketebalan *shear wall* sangat penting karena selain berperan pada kekakuan dan kekuatan juga berperan dalam penerapan tulangan yang akan digunakan

Keterangan:

h_w = Tinggi dinding

l_w = Panjang bentang dinding

2.14 Analisis Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisa struktur, gedung sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

2.14.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan berat sendiri elemen struktur bangunan termasuk beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan yang bersifat tetap yang merupakan satu kesatuan dengan bangunan tersebut. Misalnya: kolom, balok, pelat, dinding, atap dan lain-lain.

2.14.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang tidak membebani struktur secara permanen. Beban hidup bersifat sementara dan dapat berpindah-pindah. Misalnya: manusia, furniture, beban hujan pada atap dan beban pada alat-alat lainnya. Beban hidup dapat ditentukan berdasarkan fungsi bangunan.

2.14.3 Beban Lateral

Beban lateral adalah beban yang diakibatkan oleh gaya luar. Misalnya: cuaca, angin, hujan, salju dan gempa bumi.

2.14.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Sistem struktur harus didesain untuk menahan beban terfaktor sesuai dengan kombinasi pembebanan. Masing-masing faktor beban dan kombinasinya menunjukkan variasi besarnya beban tertentu dengan kemungkinan terjadinya dua atau lebih beban pada waktu bersamaan. Bangunan dan komponen struktur harus memiliki kekuatan rencana di sepanjang komponen yang lebih besar atau sama dengan kekuatan perlu (U) yang diperoleh dari beban terfaktor dan gaya-gaya di dalam kombinasi pembebanan sesuai ketentuan berikut ini:

- Kuat perlu U untuk beban mati D paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,4 D \quad (2.33)$$

- Kuat perlu U untuk menahan beban mati D, beban hidup L paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2.34)$$

- Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E harus diperhitungkan dalam perencanaan. Maka nilai kuat perlu U harus diambil sebagai berikut

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (2.35)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (2.36)$$

Keterangan:

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

2.15 Analisis Struktur

Analisis struktur bertujuan untuk memperoleh gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan stabilitas sebuah bangunan. Analisa struktur dilakukan setelah mendapatkan hasil dari *preliminary design* berupa dimensi dan mutu dari elemen-elemen struktur tersebut. Langkah analisa diawali dengan pemodelan pada software analisis struktur pada komputer. Pemodelan dilakukan 3 (tiga) dimensi. Diawali dengan penginputan data material dan dimensi penampang yang akan digunakan. Penggambaran akan dilakukan dengan data material dan dimensi penampang yang telah diinputkan sebelumnya. Melakukan penginputan beban yang terjadi pada struktur tersebut dan dilanjutkan dengan melakukan analisis struktur dengan memberi perintah “*run now*” pada *software* tersebut. Pada tahap ini akan bisa dilihat hasil analisis berupa gaya dalam, perpindahan dan lain-lain.

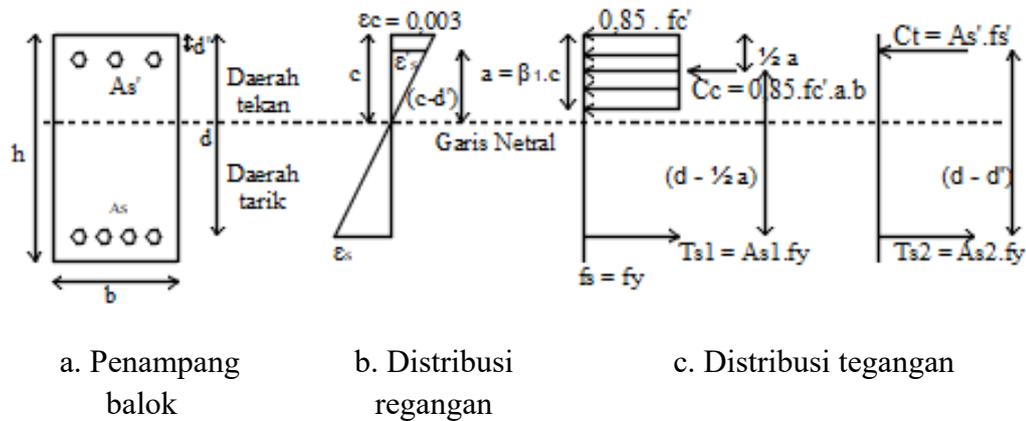
2.16 Analisa dan Desain Balok

Dalam perencanaan balok SRPMK, penulangan longitudinal (tulangan lentur) dan transversal (tulangan geser) balok diatur sesuai dengan SNI 2847:2019.

2.16.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Perhitungan balok terdiri dari dua metode yaitu analisa balok tulangan tunggal dan analisa balok tulangan rangkap. Balok bertulangan tunggal adalah balok yang hanya menggunakan tulangan tarik sebagai penguatnya (*tension reinforce only*). Sedangkan balok tulangan rangkap merupakan balok yang memiliki tulangan tarik (As) tulangan tekan (As'). Balok dengan tulangan rangkap

biasa disebut *doubly reinforce*. Adapun konsep dasar dari analisa tulangan rangkap dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konsep Analisa Balok Tulangan Rangkap

Berdasarkan SNI beton langkah-langkah yang dilakukan untuk merencanakan tulangan rangkap pada balok sebagai berikut:

1. Asumsikan $\frac{c}{dt} \leq 0,375$ (2.37)

Pada tahap ini c/dt akan ditentukan secara “trial and error” dengan syarat tidak melebihi 0,375. Hal ini dilakukan agar penampang yang dihasilkan tergolong tension controlled.

2. Menghitung nilai c dengan nilai c/dt yang diperoleh pada langkah pertama.

Dengan $d = dt = \left(h - ts - \frac{1}{2} D_1 \right)$, sehingga (2.38)

$$C = \frac{c}{dt} \times dt \quad (2.39)$$

Keterangan:

h = Tinggi balok (mm)

ts = Selimut beton (mm)

$\varnothing s$ = Diameter tulangan sengkang (mm)

D_1 = Diameter tulangan utama (mm)

3. Menghitung nilai tinggi blok tegangan *Whitney*.

$$a = \beta_1 \times c \quad (2.40)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3; Hal-478, nilai β_1 sangat dipengaruhi oleh fc' , seperti yang dijelaskan dibawah ini:

- Bila $17 \text{ Mpa} \leq fc' \leq 28 \text{ Mpa}$; Nilai $\beta_1 = 0,85$

- Bila $28 \text{ Mpa} \leq f_c' \leq 55 \text{ Mpa}$; Nilai $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$
- Bila $f_c' \geq 55 \text{ Mpa}$; Nilai $\beta_1 = 0,65$

4. Menghitung nilai gaya tekan C_c

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times c = 0,85 \times f_c' \times b \times a \quad (2.41)$$

Keterangan:

F_c' = Mutu beton

b = Lebar balok

a = Tinggi blok tegangan

5. Menghitung nilai tulangan tarik (A_{s1})

$$C_c = T_1 \quad (2.42)$$

$$C_c = A_{s1} \times f_y \quad (2.43)$$

$$A_{s1} = \frac{C_c}{f_y} \quad (2.44)$$

Keterangan:

A_{s1} = Tulangan tarik

F_y = Kuat leleh baja

6. Menghitung nilai M_{n1}

Untuk menghitung nilai M_{n1} dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_{n1} = A_{s1} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.45)$$

Keterangan:

A_{s1} = Tulangan tarik

F_y = Kuat leleh baja

a = Nilai tinggi balok

setelah mendapatkan nilai M_{n1} maka perlu dilakukan pengecekan apakah perlu menggunakan tulangan tekan atau tarik. Dengan ketentuan sebagai berikut :

$M_{n1} < M_n$: diperlukan tulangan tekan = perhitungan rangkap

$M_{n1} > M_n$: tidak diperlukan tulangan tekan = perhitungan tunggal

7. Menghitung nilai M_{n2}

Untuk menghitung nilai M_{n2} dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.46)$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} \quad (2.47)$$

8. Menghitung tegangan pada tulangan tekan $f's$

Untuk menghitung tegangan pada tulangan tekan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_s' = E_s \times \varepsilon's \quad (2.48)$$

$$\varepsilon's = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (2.49)$$

$$d' = \left(t_s + \emptyset_s + \frac{1}{2} D_1 \right) \quad (2.50)$$

Keterangan:

F_s' = Tegangan tulangan

$\varepsilon's$ = Regangan tulangan

d = Tinggi efektif

t_s = Selimut beton

\emptyset_s = Diameter tulangan sengkang

D_1 = Diameter tulangan utama

Bila:

$$F_s' \geq f_y, \text{ maka tulangan tekan leleh; } f_s' = f_y \quad (2.51)$$

$$F_s' < f_y, \text{ maka tulangan tekan tidak leleh; } f_s' = E_s \times \varepsilon's \quad (2.52)$$

9. Hitung nilai A_s'

Luas tulangan dapat dihitung

$$A_s' = \left(\frac{M_{n2}}{f_s (d - d')} \right) \quad (2.53)$$

10. Menghitung nilai luasan A_s dan A_s'

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.54)$$

$$A_s' = A_{s2} \quad (2.55)$$

11. Menghitung luas tulangan aktual

Jumlah tulangan tarik

$$n = \left(\frac{A_s \text{ teoritis}}{\frac{1}{4} \times \pi D^2} \right) \quad (2.56)$$

Jumlah tulangan tekan

$$n = \left(\frac{A_s' \text{ teoritis}}{\frac{1}{4} \times \pi D^2} \right) \quad (2.57)$$

12. Menghitung nilai tinggi balok tegangan Whitney (a) yang baru.

$$a = \left(\frac{[(A_s \times f_y) - (A_s' \times f_s')]}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \quad (2.58)$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c' \times b \times a + A_s' + f_s' \quad (2.59)$$

Hitung nilai tinggi garis netral (c) dan kategori penampang

$$n = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.60)$$

13. Hitung kuat nominal dan cek kapasitas penampang

$$M_n = C_c \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s \times (d - d') \quad (2.61)$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \times f_s' \times (d - d') \quad (2.62)$$

Periksa kapasitas penampang $\phi M_n \geq M_u$

2.16.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Dalam proses desain tulangan geser, ada beberapa tahapan yang disarankan agar proses desain menjadi lebih mudah yaitu:

1. Step-1

Tentukan besaran nilai gaya geser ultimate (V_u) yang diperoleh dari hasil analisa struktur. Berdasarkan SNI 2847:2019, pasal 9.4.3.2 Hal-182 disebutkan bahwa nilai V_u diambil sejauh d dari muka kolom. Nilai d merupakan tinggi efektif dari balok.

2. Step-2

Hitung nilai kuat beton V_c . Nilai V_c untuk balok dalam bentuk sederhana berdasarkan SNI 2847:2019; Tabel 22.5.5.1; Hal-485, ditentukan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2.63)$$

3. Step-3

Periksa syarat kemampuan penampang dalam menerima beban geser.

$$V_u = \phi (V_c + 0,66 \cdot \sqrt{f_c'} b_w d) \quad (2.64)$$

4. Step-4

Klasifikasi nilai V_u (cek kategori 1 s/d 5)

a. Kategori 1

$$\text{Bila } v_u \leq 0,5 \phi V_c$$

Maka secara teoritis balok tidak memerlukan tulangan geser. Kekuatan yang dimiliki beton (V_c) sudah dianggap mampu untuk memikul beban geser ultimate (V_u).

b. Kategori 2

$$\text{Bila } 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V$$

Kondisi ini sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 9.6.3.3; Hal 192 dan Pasal 9.7.6.2.2; Hal-202. Sehingga nilai V_s dan A_v yang digunakan merupakan nilai minimal, sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_{s,\min} = 0,062 \sqrt{f_c'} b_w d \geq 0,35 b_w d \quad (2.65)$$

dan

$$A_{v,\min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \geq \frac{(0,35 b_w s)}{f_{yt}} \quad (2.66)$$

Dengan spasi(s) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.67)$$

c. Kategori 3

$$\text{Bila } \phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,\min})$$

Kuat geser V_s , min:

$$V_{s,\min} = 0,062 \sqrt{f_c'} b_w d \text{ atau } V_{s,\min} = 0,35 b_w d \quad (2.68)$$

Luas tulangan geser:

$$A_{v,\min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \text{ atau } A_{v,\min} = \frac{(0,35 b_w s)}{f_{yt}} \quad (2.69)$$

Dengan spasi(s) maksimum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.70)$$

d. Kategori 4

$$\text{Bila } \phi (V_c + V_{s,\min}) \leq V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_w d \right)$$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.71)$$

Luas tulangan geser:

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.72)$$

e. Kategori 5

$$\text{Bila } \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_w d \right) \leq V_u \leq \phi \left(V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d \right)$$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.73)$$

Luas tulangan geser:

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.74)$$

5. Step-5

Hitung V_s rencana berdasarkan kategori yang telah ditentukan.

6. Step-6

Tentukan jarak tulangan geser (s) yang akan digunakan berdasarkan syarat kategori desain

7. Step-7

Hitung nilai A_v sesuai dengan nilai yang telah ditentukan pada Step-4 dan Step-5, yang berupa V_s dan s .

8. Step-8

Pastikan nilai A_v aktual berdasarkan tulangan geser yang digunakan dilapangan.

9. Step-9

Hitung kembali nilai V_s berdasarkan luas tulangan aktual dari Step-7.

10. Step-10

Lakukan pengecekan terhadap syarat kekuatan desain tulangan geser (V_n) terhadap gaya geser ultimate (V_u).

$$\phi \times V_n \geq V_u \quad (2.75)$$

Faktor reduksi. $\phi = 0,75$

2.17 Analisa dan Desain Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019, secara umum kuat dari kolom yang dibebani secara sentris P_o , dapat ditulis seperti persamaan sebagai berikut:

$$P_o = [0,85 f_c' + \rho_g (f_y - 0,85 f_c')] \quad (2.76)$$

Keterangan:

A_g = Luasan penampang kolom

A_{st} = Luasan tulangan longitudinal

f_c' = Kuat tekan beton

f_y = Kuat leleh baja

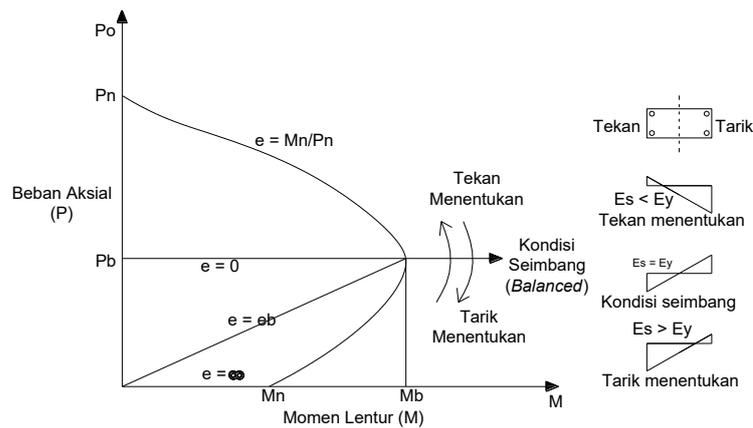
Berdasarkan SNI 2847:2019 kuat nominal yang digunakan dalam desain dapat dipilih pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Kekuatan Aksial Maksimum

Komponen	Tulangan Transversal	Pn. maks	
Non prategang	Senggang persegi sesuai 22.4.2.4	0,80 Po	a)
	Spiral sesuai 22.4.2.4	0,85 Po	b)
Prategang	Senggang persegi	0,80 Po	c)
	Senggang spiral	0,85 Po	d)
Kolom komposit dan kolom beton	Semua	0,85 Po	e)

Sumber SNI 2847:2019 (481:2019)

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen. Interaksi dari aksial tekan (P) dan momen (M) diwujudkan dalam sebuah kurva yang dikenal sebagai diagram interaksi P – M, seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Diagram Interaksi P-M Elemen Kolom

Secara prinsip, konsep desain geser pada kolom sama dengan yang telah dijelaskan pada konsep geser balok. Hal yang menjadi perbedaan adalah besaran nilai kuat geser yang berasal dari material beton yaitu V_c . Berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 22.5.6.1; Hal-486, persamaan V_c elemen kolom dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2.77)$$

Keterangan:

N_u = Gaya aksial

A_g = Luasan penampang kolom

$\lambda = 1,0$ (beton normal)

$d = 0,8h$

Terkait kebutuhan tulangan geser pada kolom, perhitungan dan konsep sama seperti yang ada pada balok. Dengan kata lain kebutuhan tulangan geser ditandai bila:

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.78)$$

2.18 Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom sangat perlu dikontrol untuk mengecek tegangan yang terjadi pada *joint*, karena dalam perencanaannya kolom harus lebih kuat dari pada balok atau dikenal dengan konsep SCWB (*strong column weak beam*). Pada *joint* balok kolom terdapat momen *probable* yang ditimbulkan oleh ujung masing-masing balok yang mengakibatkan timbulnya geser pada *joint* balok kolom. Agar kolom lebih kuat dari pada balok, maka kekuatan kolom harus memenuhi persamaan berikut:

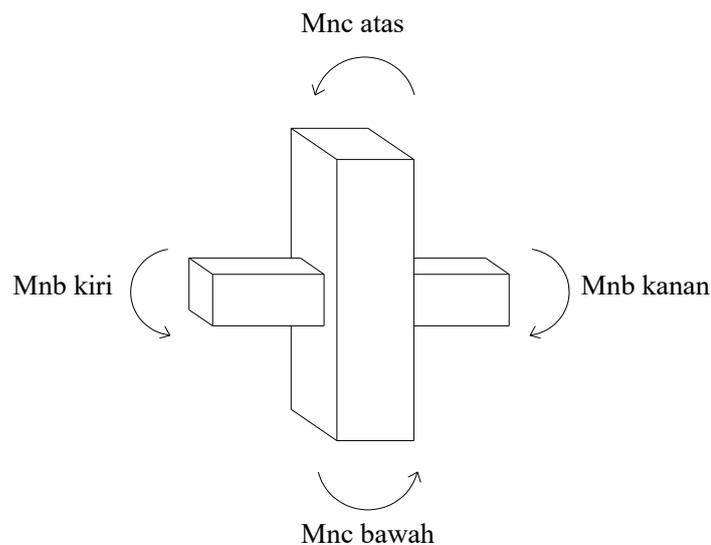
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.79)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka kedalam *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka kedalam *joint*.

Konsep kolom lebih kuat dari pada balok (*strong column weak beam*) dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Konsep kolom Kuat – Balok Lemah (SCWB)

Desain struktur kolom lebih kuat dari balok bertujuan untuk menghindari terjadinya keruntuhan pada kolom saat gempa terjadi. Pemeriksaan *strong column weak beam* digunakan untuk memastikan supaya tidak terjadinya sendi plastis pada kolom. Sendi plastis adalah suatu kondisi dimana elemen struktur yang semula kaku menjadi lentur atau memiliki kemampuan berotasi. Sendi plastis pada pertemuan balok-kolom harus dihindari karena struktur dapat mengalami keruntuhan secara mendadak apabila struktur menerima beban gempa yang besar diluar beban gempa rencana.

2.19 Analisa dan Desain *Shear wall*

Shear wall merupakan elemen struktur yang fungsi utamanya adalah memikul beban lateral akibat beban gempa. Besarnya kekakuan pada arah lateral membuat *shear wall* sangat efektif dalam menambah kekakuan pada struktur gedung saat memikul beban gempa. Untuk struktur gedung tingkat rendah (*low rise building*), maka penggunaan *shear wall* sebagai bukan pilihan utama dikarenakan sistem rangka masih bisa berperan efektif saat memikul beban lateral. Terdapat dua jenis *shear wall* bila ditinjau dari aspek rasio tinggi dan lebar (h_w/l_w), yaitu *slender wall* dan *squat wall*. *Slender wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih besar dari dua ($h_w/l_w \geq 2,0$), sedangkan untuk *squat wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih kecil dari dua ($h_w/l_w < 2,0$).

Penulangan yang diperlukan oleh *shear wall* adalah tulangan longitudinal (vertikal), tulangan transversal (horizontal) dan tulangan pada daerah *boundary element*. Peran utama dari tulangan longitudinal adalah memikul beban kombinasi aksial dan lentur. Sedangkan tulangan transversal berperan memikul pengaruh gaya geser pada *shear wall*.

Berikut prosedur perencanaan tulangan pada *shear wall*:

1. Step-1: *Preliminary design*
2. Step-2: Menghitung kuat geser beton (V_c)

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kuat geser (akibat aksial tekan) dari material beton berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 11.5.4.6; Tabel 11.5.4.6; Hal-231. Pada pasal tersebut disebutkan bahwa perhitungan kuat geser material beton dibagi menjadi dua yaitu metode sederhana dan metode detail. Adapun rumus dari kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

a. Metode sederhana

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V_C = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d \quad (2.80)$$

Keterangan:

h = ketebalan *shear wall*

d = 0,8 l_w (tinggi efektif penampang *shear wall*)

λ = 1,0 (beton normal)

b. Metode detail

Dalam metode ini, nilai V_c dihitung berdasarkan *web-shear cracking* dan *flexure-shear cracking*. Nilai yang diambil sebagai nilai V_c adalah nilai yang terkecil.

V_c berdasarkan *web-shear cracking*:

$$V_C = 0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d + \frac{N_u \cdot d}{4 \cdot l_w} \quad (2.81)$$

V_c berdasarkan *flexure-shear cracking*:

$$V_C = \left[0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \frac{l_w \left(0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + 0,2 \cdot \frac{N_u}{h \cdot l_w} \right)}{\left(\frac{M_u \cdot l_w}{V_u \cdot 2} \right)} \right] h \cdot d \quad (2.82)$$

Pada persamaan (2.82), nilai M_u dan V_u diambil sejarak $l_w/2$ dari dasar *shear wall*. Berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 11.5.4.6; Tabel 11.5.4.6 (d & e); Hal-231, disebutkan bahwa persamaan (2.82) tidak perlu digunakan bila nilai $(M_u/V_u - l_w/2)$ adalah negatif.

3. Step-3: Menghitung kategori gaya geser (V_u)

Pada tahap ini akan dilakukan pengkategorian gaya geser yang bekerja pada struktur *shear wall*. Adapun penjelasan lebih detailnya adalah sebagai berikut:

a. Struktur di daerah gempa rendah dan menengah

Bila struktur *shear wall* yang akan didesain berada pada daerah gempa rendah dan menengah, maka persyaratan yang harus dipenuhi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 11.6.2; Hal-233, yaitu:

$$V_u \geq 0,5 \phi V_C \text{ atau } V_u \leq 0,5 \phi V_C \quad (2.83)$$

b. Struktur di daerah gempa tinggi

Persyaratan yang harus dipenuhi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2; Hal-402, yaitu:

$$V_u \geq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \text{ atau } V_u \leq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \quad (2.84)$$

Keterangan:

$A_{cv} = l_w \times h$ (luas penampang *shear wall*)

$\lambda = 1,0$ (beton normal)

4. Step-4: Menghitung tulangan longitudinal

Tulangan longitudinal berfungsi memikul kombinasi gaya aksial tekan dan momen lentur pada *Shear wall*. Dalam tahap ini akan digunakan program bantu *spColumn*. Adapun tahap perencanaan adalah sebagai berikut:

a. Penentuan rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

Batasan rasio tulangan yang digunakan tergantung dari kategori yang diperoleh pada step-3. Untuk struktur khusus (daerah gempa tinggi), ketentuan rasio tulangan harus ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2; Hal-402. Pada pasal tersebut dijelaskan bahwa rasio minimum untuk tulangan longitudinal (ρ_l) adalah:

- Bila $V_u \geq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ maka $\rho_l \geq 0,0025$ atau 0,25%
- Bila $V_u \leq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ maka ρ_l diizinkan untuk direduksi sesuai dengan SNI 2847:2019; Pasal 11.6.1; Tabel 11.6.1; Hal-233. Dengan kata lain, ρ_l diizinkan diambil lebih kecil dari 0,0025 atau 25%.

b. Menentukan gaya dan momen yang digunakan

Gaya luar yang digunakan dalam perhitungan tulangan longitudinal dengan program bantu *spColumn* aksial tekan (P_u), momen sebidang (M_y) dan momen tak sebidang (M_x).

c. Menentukan jarak tulangan

Untuk perencanaan struktur *shear wall* (gempa tinggi), jarak minimum tulangan mengacu kepada SNI 2847:2019; pasal 25.2.3; Hal-560, yaitu spasi bersih antara tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 40 mm, 1,5 d_b , dan $(4/3)d_{agg}$. Sedangkan untuk spasi tulangan maksimum mengacu pada SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2.1; Hal-402, yaitu spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm.

d. Menentukan jumlah tulangan dengan *spColumn*

Dengan “*trial & error*” akan diperoleh rasio tulangan optimum yang akan digunakan untuk memikul beban rencana ($\rho_l \geq \rho_{min}$). Jumlah lapisan tulangan yang akan digunakan dihitung berdasarkan ketentuan pada SNI.

Ketentuan tersebut terdapat dalam SNI 2847:2019; Pasal 18.10.2.2; Hal-402 yaitu:

$$V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \text{ atau } h_w/l_w \geq 2,0 \quad (2.85)$$

Bila salah satu kondisi tersebut memenuhi syarat, maka tulangan utama (longitudinal dan transversal) harus dipasang dua lapis pada struktur *shear wall*.

5. Step-5: Menghitung tulangan transversal

Tulangan transversal berfungsi memikul gaya geser pada *shear wall*. Adapun tahap perencanaannya adalah sebagai berikut:

a. Penentuan rasio tulangan transversal (ρ_t)

Sama halnya dengan tulangan longitudinal, batasan rasio tulangan transversal juga sesuai dari kategori yang diperoleh pada step-3.

b. Menentukan luasan tulangan transversal

Pada umumnya tulangan pada *shear wall* dipasang dua lapis. Sehingga terdapat dua sisi yang perlu ditentukan luas tulangannya. Luasan tulangan dinyatakan dengan luasan per meter panjang dengan rumus sebagai berikut:

$$A_{S,H} = \rho_t \times h \times 1000 \text{ mm} \quad (2.86)$$

Untuk memperoleh luas tulangan satu sisi, maka nilai dari persamaan (2.85) dibagi dua.

c. Menentukan spasi tulangan transversal

Ketentuan jarak tulangan transversal pada umumnya sama dengan tulangan longitudinal yaitu mengacu pada SNI 2847:2019; pasal 25.2.3; Hal-560.

d. Hitung luasan aktual dalam satu lapis

Rumus yang digunakan untuk menghitung luasan aktual tulangan transversal (satu sisi) adalah:

$$A_{S,H} = \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.87)$$

Pastikan luasan tulangan aktual lebih besar dari luas tulangan teori.

$$A_{S,H} (\text{pakai}) > A_{S,H} (\text{teori}) \quad (2.88)$$

Atau bisa dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan.

$$A_{S,H} = \rho_t \times h \times h_w \quad (2.89)$$

$$\rho_t = \frac{A_{S,H}}{h \times h_w} = \frac{\left(2 \times \frac{h_w}{s} \times \frac{1}{4} \pi D^2\right)}{h \times h_w} = \frac{2 \times \left(\frac{1}{4} \pi D^2\right)}{h \times s} \quad (2.90)$$

Sehingga:

$$\rho_t(\text{pakai}) = \frac{2 \times h_w}{h \times s} > \rho_t(\text{pakai}) \quad (2.91)$$

e. Menghitung kuat nominal geser *shear wall*

Kuat geser ini merupakan kontribusi dari material beton (V_c) dan tulangan baja (V_s). nilai kuat geser beton telah diperoleh pada step-2. Sedangkan kuat geser tulangan ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$V_s = \rho_t \cdot f_y \cdot h \cdot d \quad (2.92)$$

Kuat nominal geser dapat ditentukan dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.93)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.94)$$

Bila persamaan (2.93) memenuhi syarat, maka perencanaan tulangan transversal dinyatakan kuat memikul beban geser yang terjadi. Terdapat syarat tambahan yang diatur dalam SNI 2847:2019; Pasal 18.10.4.1; Hal-404, yaitu nilai geser nominal yang diperoleh dari persamaan (2.92) harus lebih kecil dari:

$$V_n \leq A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y) \quad (2.95)$$

2.20 Analisa dan Desain Pelat

Analisa perhitungan pelat ditentukan berdasarkan tipe pelat. Ada dua tipe pelat untuk perencanaan yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*). Pelat satu arah merupakan pelat yang mengalami lendutan pada satu arah. Sedangkan pelat dua arah merupakan struktur pelat yang mengalami lendutan pada kedua arah bentangnya, sehingga pada pelat dua arah tulangan lentur harus diberikan pada kedua arah tersebut.

Momen nominal (M_n) dan faktor tahanan (R_n) pada pelat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.96)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \quad (2.97)$$

Lebar pelat yang diperhitungkan diambil per 1 m (1000 mm). Nilai parameter m ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m = \frac{f_y}{\beta_1 \times f_c'} \quad (2.98)$$

Sehingga diperoleh rasio tulangan yaitu:

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \quad (2.99)$$

Dengan syarat $\rho > \rho_{\min}$. Adapun luas tulangan yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.100)$$

Jumlah dan spasi tulangan yang dibutuhkan di tentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan}}} \quad (2.101)$$

$$s = \frac{b}{n} \quad (2.102)$$

keterangan:

Mn = Momen nominal

Mu = Momen ultimit

b = Lebar pelat

d = Tinggi

ϕ = Faktor reduksi lentur

β = Faktor blok tegangan beton

ρ = Rasio tulangan

A_s = Luas tulangan

n = Jumlah tulangan

s = Spasi tulangan