

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Gempa bumi adalah perilaku alam yang secara alami pasti akan terjadi yang diakibatkan bergesernya kerak-kerak bumi. Gempa bumi yang kerap dirasakan yaitu gempa jenis tektonik yaitu adanya kekuatan dikarenakan gesekan atau lipatan pada lapisan kerak bumi.

Pada dasarnya gaya gempa bergerak sebanding lurus dengan berat masa struktur dan dapat diasumsikan dengan hukum Newton : $F = m \times a$ (m = massa bangunan, a = percepatan yang dihasilkan). Sehingga semakin berat massa struktur semakin besar gaya gempa yang terjadi pada struktur tersebut (Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional, 2010) sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi Reaksi Gempa

(Sumber: Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional, 2010)

Atap adalah bagian paling atas dari suatu struktur yang menutupi gedung . Permasalahan atap tergantung pada luasnya ruang yang harus ditutupi, jenis dan material yang digunakan dan material penutupnya, atap adalah salah satu bagian terpenting.

Keuntungan dan kekurangan dalam penggunaan beton bertulang sebagai rangka kuda-kuda masing-masing yaitu:

Keuntungan:

1. Bila terjadi beban yang melebihi yang didesain tidak akan terjadi kegagalan, akan mengalami fase retak terlebih dahulu. Beda halnya dengan material kuda-kuda kayu jika berat yang diampu lebih besar yang didesain bisa patah.
2. Lebih kuat akan panas jika saat kebakaran, karena materialnya terdiri dari agregat, kerikil, baja dan semen, lain halnya kuda-kuda bermaterial kayu akan rentan mudah terbakar.
3. Beton tidak mudah terserang hama, jamur serangga dan lainnya. Karena materi pembentuknya yang padat.

Kekurangan:

1. Bobot yang cukup berat, sehingga kolom yang menahan dibawahnya yaitu harus kuat. Jenis kuda-kuda kayu beratnya ringan, jadi tidak harus ditahan oleh kolom yang lebih besar.
2. Bila bangunan ingin direnovasi konstruksi kuda-kuda beton harus dihancurkan. Sedangkan konstruksi kuda-kuda kayu lebih fleksibel.

Penelitian yang dilakukan Maidiawati dan Tanjung (2016) diketahui bahwa penggunaan bata merah yang lebih besar dan mengaplikasikan plesteran pada kedua sisi dinding bisa meningkatkan ketahanan lateral struktur secara tinggi.

Hal ini diperkuat dalam penelitian yang dilakukan oleh Agus dan Maidiawati (2016) bahwa penggunaan dinding bata dapat juga meningkatkan kapasitas seismik sebuah bangunan secara pesat, penelitian ini dilakukan dengan model strut diagonal ekuivalen dengan dinding bata dianggap dalam fungsi lebar strut diagonal.

Dalam penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Maidiawati dkk. (2017) dilakukan tes yang sama yaitu pengujian pengaruh dinding bata sebagai pengisi memiliki kapasitas untuk meningkatkan kekuatan lateral dan kapasitas seismiknya namun kali ini digunakan 3 sampel yaitu sampel pertama dinding bata tanpa bukaan, kedua dengan bukaan 20% dan yang ketiga dengan bukaan 40%. Hasil didapatkan berupa bukaan seluas 25% meningkatkan kekuatan lateral sebesar 47%, sedangkan bukaan sebesar 40% meningkatkan kekuatan lateral sebesar 25%.

Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil bukaan semakin besar peran dinding terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang.

Dan pada penelitian selanjutnya yang dilakukan Budiwati dan Sukawara (2016) kinerja struktur rangka beton bertulang dengan penambahan dinding pengisi berlubang sebagai perkuatan seismik didapatkan hasil bahwa pada analisis menggunakan metode *pushover* penggunaan dinding pengisi meningkatkan kekuatan struktur dalam mengampu gaya geser yang dihasilkan oleh gempa. Namun terdapat efek samping pengurangan daktilitas yang diakibatkan oleh menurunnya rasio lubang.

Namun pada penelitian yang dilakukan oleh Iranata dkk. (2012) studi pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata pada bangunan bertingkat didapatkan bahwa dinding bata dapat mengganggu kinerja struktur untuk berdeformasi, maka semakin tinggi lantai semakin besar akibat yang dirasakan.

Untuk pertimbangan penggunaan respon spektra didapatkan pada penelitian Bayyinah dan Faimun (2017) pada studi kasus gempa Kobe *base shear* terbesar dari *time history* adalah 10580 KN arah x dan 9691 KN arah y. Dan untuk Respon Spektra didapatkan hasil 11621,343 KN arah x dan 12038,64 KN arah y yang mana lebih tinggi respon spektra.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Agustino dkk. (2000) pembatasan dimensi tembok pengisi yang merasakan beban muka efek gempa didapatkan bahwa tebal efektif tembok pengisi adalah parameter vital perencanaan tembok sebagai pengampu beban muka.

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan Haryanto dkk. (2015), evaluasi kinerja gedung kondisi gempa tanah keras di wilayah banyumas berdasarkan beban gempa SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726- 2002 didapatkan bahwa terjadi kenaikan *base shear* 1,48%, *displacement* yang terjadi mengalami peningkatan sebesar 19,61%, sedangkan daktilitas mengalami penurunan sebesar 43,14%, namun kerja model bangunan tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu tetap pada level aman.

Penelitian selanjutnya dilakukan Nugroho dkk. (2007) yang meneliti gedung sekolah tahan gempa rangka bangunan yang terdiri dari kolom, balok sloof dan balok ringbalk, dan balok induk, semuanya terbuat dari beton bertulang yang saling berhubungan sehingga membentuk ruang. Konstruksi ruang ini mempunyai momen inersia yang besar sehingga lebih kuat menerima momen guling efek adanya gaya horisontal yang diakibatkan gempa.

Penelitian yang dilakukan oleh Indarto dkk. (2017) yaitu Evaluasi desain struktur gedung ini dilaksanakan melalui reka ulang yang berdasar dengan peraturan yang berlaku sekarang ini ialah peraturan SNI 1726 – 2012 mengenai beban gempa, SNI 1727 – 2013 mengenai pembebanan untuk gedung dan bangunan lain dan 2847 – 2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Berdasarkan analisis gempa struktur itu masuk dalam Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan menghasilkan kelebihan desain pada desain sebelumnya yang didesain oleh Konsultan Perencana, perbedaan ini terjadi pada struktur kolom dan fondasi, sedangkan untuk beberapa elemen struktur seperti pelat pada suatu ruangan tertentu dan tulangan torsi balok desain asli tidak dapat memenuhi standar yang ada.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Hermawan dan Indarto (2017) tentang mekanisme kebijakan standar ketahanan gempa baru pada Bangunan untuk simulasi model struktur didapatkan hasil bahwa aturan gempa baru dan aturan gempa lama beban relatif meningkat dua kali lipat, sehingga pada beberapa elemen struktur harus dilakukan perhitungan ulang agar dapat mengimbangi kapasitasnya. Kemudian hasil dari diskusi dengan praktisi gedung yang telah berpraktek pada bidangnya menunjukkan bahwa berhasilnya penerapan aturan gedung tahan gempa baru dapat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi dan pengalaman kontraktor yang mumpuni pada proses pengerjaan konstruksi di lokasi. Komunikasi yang terjadi antara pemilik proyek, kontraktor, *supervisor*, dan tim manajemen konstruksi adalah bentuk mekanisme yang utuh.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Bangunan sekolah tahan gempa adalah struktur sekolah yang dapat mengampu kekuatan gempa yang dirasakan, terhadap kombinasi gaya dalam struktur. Jika gempa dalam skala tinggi, struktur sekolah memiliki jeda dimana murid yang berada di dalam ruangan mempunyai waktu untuk keluar ruangan sebelum terjadi kegagalan struktur atau meminimalisir adanya dampak kerusakan bangunan (Dirjen Pendidikan Menengah Kementrian Pendidikan Nasional, 2010).

Usaha meminimalisir dampak struktur sekolah dan resiko jatuhnya korban jiwa yang ada efek gempa, secara bertahap bisa dilaksanakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengharuskan standar desain bangunan tahan gempa untuk bangunan sekolah yang akan dibangun.
2. Melakukan perkuatan, perbaikan dan peningkatan mutu material bangunan khususnya pada bangunan sekolah yang komponen strukturnya.

2.2.2 Tingkat Keamanan Struktur Sekolah Tahan Gempa

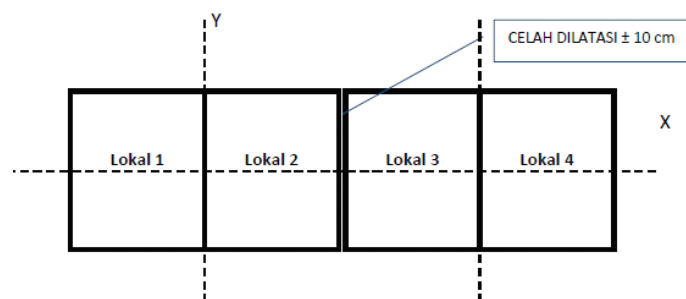
Tingkat keamanan struktur yang terjadi pada sekolah harus setara dengan bangunan gedung dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu sebagai berikut:

1. Bila terkena gempa bumi pada tingkat rendah, bangunan sekolah tidak terjadi kerusakan sama sekali
2. Bila terkena gempa bumi pada tingkat menengah, bangunan sekolah tersebut boleh rusak pada bagian non-struktural (dinding, plafon, penutup atap, dll), tapi tidak ada kerusakan dalam struktur utama.
3. Bila terkena gempa bumi pada tingkat tinggi, bangunan sekolah tersebut dapat mengalami tiga kondisi:
 - Bangunan sekolah tidak terjadi kegagalan sebagian maupun seluruhnya.
 - Bangunan sekolah tidak boleh terjadi kerusakan yang tidak dapat diperbaiki.
 - Bangunan sekolah boleh terjadi kerusakan, tapi kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki dengan sehingga dapat digunakan kembali.

2.2.3 Ketentuan Perencanaan Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Rencana struktur sekolah tahan gempa memiliki maksud untuk memanfaatkan potensi gaya inersia struktur supaya bisa mengimbangi gaya gempa yang terjadi pada struktur, untuk itu perlu memenuhi aturan dasar perencanaan bangunan sekolah tahan gempa, yaitu:

1. Denah Struktur harus sederhana dan simetris.
2. Tata letak bangunan sekolah sederhana dan simetris terhadap kedua sumbu bangunan dan tidak terlalu panjang. Perbandingan panjang dengan lebar bangunan 2:1 Sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar.2.2 Tata letak bangunan yang simetris dengan perbandingan $P:L=2:1$
(Sumber: Dirjen Pendidikan Menengah Kementerian Pendidikan Nasional, 2010)

2.2.4 Analisis Gempa berdasarkan SNI 1726 2012

Menurut SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung ada risiko struktur sesuai dengan pemanfaatannya. Efek gempa desain dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e) yang didapatkan berdasarkan kategori risiko bangunan sebagaimana terlampir pada tabel 2.1. dan tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Penggunaan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia saat adanya kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	I
- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan	
- Fasilitas sementara	
- Gudang penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	

Tabel 2.1 Lanjutan

Jenis Penggunaan	Kategori Risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, 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 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - 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 penganganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor 	IV

Tabel 2.1 Lanjutan

Jenis Penggunaan	Kategori Risiko
badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tengki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tengki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	V

Sumber : BSN, (2012)

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa, Ie

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

Sumber: BSN, (2012)

Untuk menentukan respons spektrum percepatan gempa MCE_R dipermukaan tanah dibutuhkan faktor pengali seismik pada waktu 0,2 detik dan waktu 1 detik. Faktor pengali ini termasuk faktor amplifikasi percepatan pada getaran periode pendek atau pada periode 0,2 detik (F_a) dan faktor amplifikasi percepatan getaran pada periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) yang dipengaruhi oleh klasifikasi situs, ditentukan dengan rumus berikut:

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

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

Keterangan:

S_S = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R untuk periode 1,0 detik

Parameter S_S (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) masing-masing ditentukan dari respons spektral pada percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Koefisien situs F_a dan F_v terdapat pada tabel 2.3 dan tabel 2.4 yang

ditentukan berdasarkan klasifikasi kelas situs untuk masing-masing jenis tanah yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus) sebagaimana diuraikan di tabel 2.3 dan tabel 2.4

Tabel 2.3 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_S				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	S_S^a				

Sumber: BSN, (2012)

Catatan:

^(a) S_S = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Untuk nilai diantara S_S dapat dilaksanakan interpolasi linier.

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	S_1^a				

Sumber: BSN, (2012)

Catatan:

^(a) S_1 = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier.

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}), ditentukan dengan rumus berikut:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Apabila respons spektral *design* diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva respons spektrum desain harus mengikuti ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , respons spektrum percepatan desain (S_a) 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 , respons spektrum percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_S , respons spektrum percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

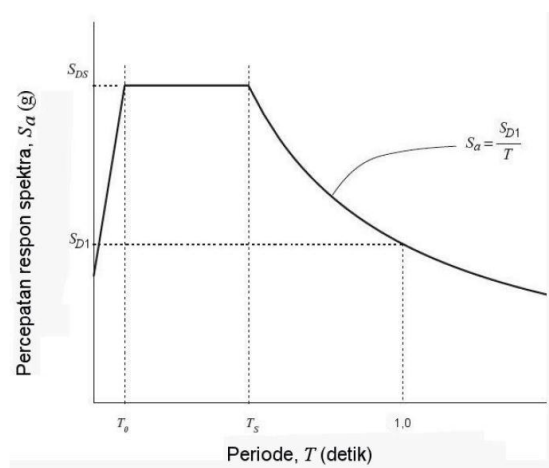
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

Contoh dari perhitungan mencari respon spektrum dapat dilihat dari grafik yang disajikan dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 Respons spektrum desain

(Sumber: BSN, 2012)

2.2.5 Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1727-2012

Pada peraturan pembebanan SNI 1727-2012 untuk komponen elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sesuai dengan kekuatan rencana bahkan melebihi dari yang direncanakan. Berikut adalah kombinasi-kombinasi beban terfaktor:

1. $1,4 D$ (2.9)
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$ (2.10)
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$ (2.11)
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$ (2.12)
5. $1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S$ (2.13)
6. $0,9 D + 1,0 W$ (2.14)
7. $0,9 D + 1,0 E$ (2.15)

Dimana :

D = Beban mati E = Beban gempa

L = Beban hidup W = Beban angin

R = Beban hujan

Beban mati adalah beban seluruh material konstruksi struktur bangunan eksisting, contohnya adalah dinding, lantai, atap, plafon, tangga, .

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh aktivitas orang yang beraktivitas pada struktur tersebut.

Beban hujan adalah beban hidup terbagi merata diakibatkan oleh air hujan yang biasa diperhitungkan untuk beban pada atap. Beban air hujan ini nilainya sebesar $(40 - 0,8\alpha) \text{ kg/m}^2$, dimana α adalah sudut kemiringan atap, dengan ketentuan beban tersebut tidak diambil lebih besar dari 20 kg/m^2 dan tidak perlu dihitung jika kemiringan atap lebih besar dari 50° .

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Berikut adalah cara untuk menafsirkan beban angin pada SPBAU untuk bangunan struktur tertutup, tertutup sebagian dan terbuka dari semua ketinggian:

1. Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain, dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan es

Penggunaan Atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak dimana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.	III
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun dimana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	IV

Sumber: BSN, (2013)

2. Menentukan kecepatan angin dasar (V), disesuaikan dengan lokasi bangunan gedung.

Menentukan parameter beban angin:

- Faktor arah angin (K_d), dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Faktor arah angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin, K_d
Bangunan gedung	
Sistem penahan beban angin utama	0,85
Komponen dan klading bangunan gedung	0,85
Atap lengkung	0,85
Cerobong asap, tangki dan struktur yang sama	0,90
Segi empat	0,95
Segi enam	0,95
Bundar	
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batan menara	
Segitiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Sumber: BSN, (2013)

- Kategori eksposur

Berikut adalah kategori-kategori eksposur:

- a. Kategori eskposur B untuk struktur dengan tinggi atap dengan ketinggian sama atau kurang 30 ft (9,1 m), untuk daerah perkotaan dan pinggiran kota, daeran berhutan atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang memiliki ukuran untuk tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1500 ft (457 m). Sedangkan untuk struktur dengan ketinggian atap lebih dari 30 ft (9,1 m), eskposur B berlaku jika kekasaran permukaan berada di arah lawan angin untuk jarak lebih 2600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar.

- b. Kategori eksposur C berlaku untuk semua kasus yang tidak termasuk pada kategori eksposur B atau eksposur D. Eksposur C berada pada dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi kurang dari 30 ft (9,1 m), mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- c. Kategori eksposur D berlaku pada area datar, area tidak terhalang dan permukaan air, berisi lumpur halus, padang garam dan es tak terputus. Eksposur D ini berlaku pada arah lawan angin untuk jarak lebih 5000 ft (1524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar. Eksposur D ini juga dilakukan jika kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar.

- Faktor topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.16)$$

Keterangan:

K_1 dilihat pada gambar 2.5

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right) \quad (2.17)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z / L_h} \quad (2.18)$$

H = tinggi bukit terhadap elevasi kawasan di sisi angin datang

L_h = jarak horizontal pada sisi angin datang, dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi atau tebing

x = jarak dari puncak ke gedung

z = ketinggian di atas elevasi tanah

γ = faktor atenuasi ketinggian

μ = faktor atenuasi horizontal

Untuk parameter peningkatan kecepatan angin di atas bukit dan tebing dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Parameter peningkatan kecepatan angin

Bentuk bukit	$K_1/(H/L_h)$			γ	μ	
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2 – dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K_1/(H/L_h)$)	1,30	1,50	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2 – dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3 – dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

Sumber: BSN, (2013)

Dan untuk faktor pengali topografi untuk eksposur (C) dapat dilihat dalam Tabel 2.8

Tabel 2.8 Pengali topografi eksposur C

Pengali topografi untuk eksposur C										
H/Lh	Pengali K1			Pengali K2			Pengali K3			
	Bukit 2-D	Tebing 2D	Bukit 3-D	x/Lh	Tebing 2d	Seluruh kasus lainnya	x/Lh	Bukit 2-D	Tebing 2D	Bukit 3-D
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,48	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
		0,43		3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: BSN, (2013)

Apabila kondisi bangunan dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi kriteria maka $K_{zt} = 1,0$

- Faktor efek tiupan angin (G)

Untuk faktor efek tiupan angin pada suatu struktur gedung dan struktur lainnya yang termasuk kategori kaku diberlakukan 0,85.

- Koefisien tekanan internal (GC_{pi}), dilihat pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Koefisien tekanan internal, GC_{pi}

Klasifikasi Ketertutupan	GC_{pi}
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55
Bangunan gedung tertutup	- 0,55
	+ 0,18
	- 0,18

Sumber: BSN, (2013)

3. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Koefisien eksposur tekanan velositas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g \quad (2.19)$$

$$K_z = 2,01(15/z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } z > 15 \text{ ft} \quad (2.20)$$

Nilai α dan z_g dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Konstanta eksposur daratan

Eksposur	α	Z_g (ft)	\hat{a}	\hat{b}	\bar{a}	\bar{b}	c	ℓ	\bar{e}	Z_{min} (m)
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Sumber: BSN, (2013)

4. Menentukan tekanan velositas (q atau q_h) dengan persamaan:

$$q = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(\text{N/m}^2), \text{ V dalam m/s}^2 \quad (2.21)$$

5. Menentukan koefisien tekanan eksternal (C_p atau C_N), dilihat pada Tabel 2.11 dan gambar 2.12

Tabel 2.11 Koefisien tekanan pada dinding

Permukaan	Koefisien Dinding C_p		Digunakan dengan
	L/B	C_p	
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	qz
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5	Qh
	2	-0,3	
	≥ 4	-0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	qh

Sumber: BSN, 2013

Tabel 2.12 Koefisien tekanan pada atap

Arah angin	Di sisi angin datang							Di sisi angin pergi					
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20	
Tegak lurus terhadap	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*	0,4	0,4	0,01 θ	-0,3	-0,5	-0,6
bubungan untuk semua $\theta < 10^\circ$	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*	0,4	0,01 θ	-0,5	-0,5	-0,6
$\geq 10^\circ$	$\geq 1,0$	-1,3**	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0*	0,4	0,01 θ	-0,7	-0,6	-0,6
		Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang											
		C_p											
Tegak lurus terhadap	$\leq 0,5$	0 sampai dengan $h/2$		-0,9; -0,18					*Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.				
bubungan untuk semua $\theta < 10^\circ$		$h/2$ sampai dengan h		-0,9; -0,18					**Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini:				
sejajar bubungan untuk semua θ	$\geq 1,0$	h sampai dengan $2h$		-0,5; -0,18									
		$> 2h$		-0,3; -0,18									
		0 sampai dengan $h/2$		-1,3**; -0,18					Luas (ft^2)		Faktor reduksi		
		$> h/2$		-0,7; -0,18					≤ 100 ($9,3 \text{ m}^2$)		1,0		
									250 ($23,2 \text{ m}^2$)		0,9		
									≥ 1000 ($92,9 \text{ m}^2$)		0,8		

Sumber: BSN, (2013)

6. Menghitung tekanan angin (p) dengan persamaan:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.22)$$

Dimana:

$q = q_z$ untuk dinding di sisi angin datang yang hitung dengan ketinggian z di atas permukaan tanah

$q = q_h$ untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping dan atap yang diukur dengan ketinggian h

$q_i = q_h$ untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi dan atap bangunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian

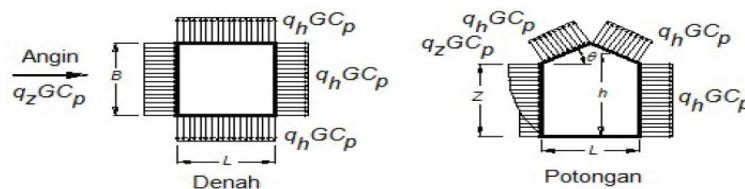
$q_i = q_z$ untuk memeriksa tekanan internal positif pada struktur gedung tertutup sebagian jika tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif

G = faktor efek tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = koefisien tekanan internal

Tekanan diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan pada sisi angin pergi pada permukaan atap, seperti ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Sisi angin datang dan pergi untuk atap pelana dan atap perisai

(Sumber: BSN, 2013)

2.2.6 Analisa Struktur

2.2.6.1 Kolom

Kolom adalah komponen struktur vertikal yang khusus digunakan untuk menahan beban aksial tekan dengan memperhitungkan momen lentur. Kolom memikul beban vertikal yang dihasilkan dari pelat lantai atau atap yang kemudian disalurkan ke pondasi. Kolom akan menerima momen lentur akibat dari kondisi tumpuan ujung dan juga akibat dari beban eksentris.

Kapasitas beban nominal (P_o) dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$P_o = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (2.23)$$

Dimana,

A_g = Luas total penampang kolom

A_{st} = Luas tulangan baja

Kolom diasumsikan menerima sedikit beban eksentrisitas, maka P_o harus direduksi.

Untuk kolom dengan sengkang persegi, kuat aksial desainnya didapat dari persamaan:

$$\phi P_n = \phi 0,8 P_o \quad (2.24)$$

Untuk kolom dengan sengkang spiral, kuat aksial desainnya didapat dari persamaan:

$$\phi P_n = \phi 0,85 P_o \quad (2.25)$$

dengan,

$$\phi = 0,65 \text{ untuk sengkang persegi} \quad (2.26)$$

$$\phi = 0,75 \text{ untuk sengkang spiral} \quad (2.27)$$

Analisis penampang kolom, biasanya diklasifikasikan berdasarkan eksentrisitasnya. Kolom dengan eksentrisitas kecil akan memikul beban tekan pada seluruh penampang beton dan keruntukan ditandai dengan hancurnya beton serta luluhnya tulangan baja secara tekan pada sisi penampang yang memikul beban lebih besar.

Kolom dengan eksentrisitas yang besar akan memikul gaya tarik pada sebagian penampangnya dan bila beban ditambah terus-menerus, maka keruntuhan akan ditandai dengan luluhnya tulangan baja secara tarik pada sisi yang jauh dari lokasi beban.

Desain kolom dihitung dengan beban terfaktor, tidak boleh lebih besa dari kuat rencana penampang.

$$\phi M_n > M_u \quad (2.28)$$

$$\phi P_n > P_u \quad (2.29)$$

2.2.6.2 Balok

Balok adalah suatu bagian struktur yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban horizontal dan berat vertikal. Yang masuk dalam berat vertikal disini adalah berat eksisting balok, berat dinding penyekat yang berada diatas balok, serta beban mati dan beban hidup yang diterima dari plat lantai. Sedangkan beban horizontal adalah beban akibat dari beban gempa dan beban angin.

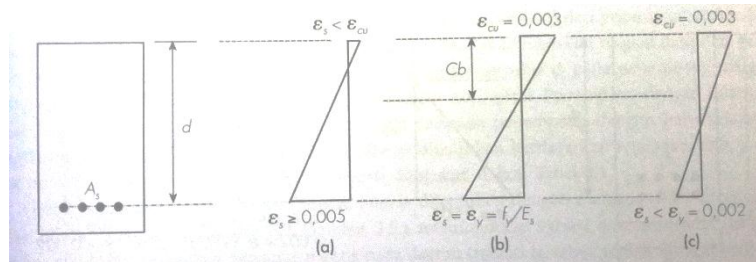
Beberapa asumsi yang diambil dalam mendesain balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau metode ultimit adalah sebagai berikut:

1. Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama, atau terbentuknya lekatan yang cukup antara tulangan baja dan beton.
2. Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang.
3. Setelah terjadi lentur, penampang akan tetap datar.
4. Nilai modulus elastisitas tulangan baja dianggap sebesar 200.000 MPa dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan modulus elastisitas.
5. Kuat tarik dari beton diabaikan, karena kuat tarik beton hanya bernilai 10% dari nilai kuat tekannya.
6. Pada kondisi keruntuhan regangan maksimum pada serat tekan beton terluar adalah sebesar 0,003.
7. Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berbentuk segi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847-2013 (Setiawan, 2016).

Berdasarkan presentase tulangan baja yang digunakan dalam suatu struktur balok, ada tiga macam keruntuhan lentur balok yang dapat terjadi, yaitu:

1. Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya sebelum beton mencapai kuat maksimumnya. Keruntuhan disebabkan karena regangan yang terjadi cukup tinggi yaitu mencapai 0,005 atau lebih.).
2. Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya dan pada saat yang bersamaan beton mencapai regangan ultimitnya yaitu sebesar 0,003.

3. Balok dengan presentase tulangan baja yang cukup besar, beton akan mengalami keruntuhan sebelum tulangan baja mencapai kuat luluhnya. Artinya adalah beton mencapai kuat tekan dan regangan ultimitnya, tetapi tegangan pada tulangan baja masih jauh dibawah tegangan luluhnya. Regangan tulangan baja akan sama dengan atau kurang dari 0,002.



Gambar 2.5 Macam-macam keruntuhan lentur balok

(Sumber: Setiawan, 2016)

Dalam SNI 2847-2013 ada beberapa nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ), yaitu:

- Untuk penampang terkendali tarik $\phi = 0,90$ (2.30)
- Untuk penampang terkendali tekan
 - Dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$ (2.31)
 - Dengan tulangan non-spiral $\phi = 0,65$ (2.32)
- Untuk geser dan puntir $\phi = 0,75$ (2.33)
- Untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$ (2.34)
- Untuk penampang pada daerah transisi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

Untuk tulangan spiral

$$\phi = 0,75 + (\varepsilon_t - 0,002)(50) \quad (2.35)$$

Untuk tulangan non-spiral

$$\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002) \quad (2.36)$$

Batas regangan dalam beberapa kondisi dapat dilihat dalam tabel 2.13

Tabel 2.13 Batasan regangan

Jenis penampang	Regangan beton	Regangan tulangan
Terkendali tekan	0,003	$\varepsilon_t \leq f_y/E_s$
Terkendali tarik	0,003	$\varepsilon_t \geq 0,005$
Daerah transisi	0,003	$f_y/E_s < \varepsilon_t < 0,005$
Regangan seimbang	0,003	$\varepsilon_s = f_y/E_s$
Daerah transisi (lentur)	0,003	$0,004 \leq \varepsilon_t < 0,005$

Sumber: Setiawan, (2016)

1. Desain tulangan momen lentur

Jika $f_c' > 30$ Mpa, maka rasio tulangan minimum dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{min} = \sqrt{\frac{f_c'}{4f_y}} \quad (2.37)$$

Jika $f_c' \leq 30$ Mpa, maka rasio tulangan minimum dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.38)$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*, yang didapat dari persamaan berikut:

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.39)$$

Dimana, faktor β_1 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Untuk } f_c' \leq 28 \text{ Mpa} \quad \beta_1 = 0,85 \quad (2.40)$$

$$\text{Untuk } 28 < f_c' < 56 \text{ Mpa} \quad \beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28}{7} \quad (2.41)$$

$$\text{Untuk } f_c' > 56 \text{ Mpa} \quad \beta_1 = 0,65 \quad (2.42)$$

Kemudian untuk menghitung rasio tulangan maksimum digunakan persamaan berikut:

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,009} \right) \rho_b \quad (2.43)$$

Rasio tulangan yang diperlukan didapat dengan persamaan berikut:

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2Rn}{0,85f_c'}} \right) \quad (2.44)$$

Dimana,

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} \quad (2.45)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.46)$$

Lebar balok, b diasumsikan

Tinggi efektif balok, $d = h - d'$

Tinggi balok, h diasumsikan

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,80$

Kontrol rasio tulangan yang telah didapat. Jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$, maka digunakan ρ untuk menghitung tulangan yang diperlukan. Jika $\rho < \rho_{min}$ maka gunakan ρ_{min} . Dan jika $\rho > \rho_{maks}$, maka gunakan ρ_{maks} .

Luas tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan:

$$As = \rho bd \quad (2.47)$$

Untuk jumlah tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan:

$$n = \frac{As}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (2.48)$$

Luas tulangan yang terpakai dapat dihitung dengan:

$$As = n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (2.49)$$

Momen nominal rencana dapat dihitung dengan persamaan:

$$\phi Mn = \phi As \times fy \times (d - \frac{a}{2}) \quad (2.50)$$

Dengan,

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \quad (2.51)$$

$$d = h - d' \quad (2.52)$$

Mencari nilai c, untuk menentukan faktor reduksi (ϕ) yang dapat digunakan pada momen nominal.

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.53)$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d-c}{c} \right) \quad (2.54)$$

Jika $\varepsilon_t < 0,002$, maka $\phi = 0,65$ untuk tulangan non-spiral dan $\phi = 0,75$ untuk tulangan spiral.

Jika $0,002 < \varepsilon_t < 0,005$, maka gunakan

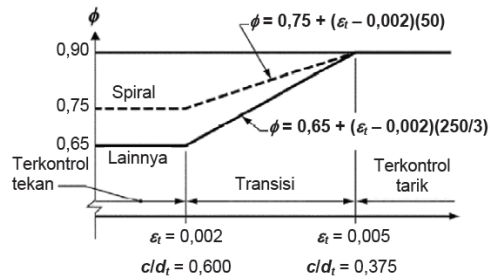
Untuk tulangan spiral

$$\phi = 0,75 + (\varepsilon_t - 0,002)(50) \quad (2.55)$$

Untuk tulangan non-spiral

$$\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002) \left(\frac{250}{3} \right) \quad (2.56)$$

Jika $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,90$



Gambar 2.6 Nilai ϕ terhadap nilai regangan tarik tulangan baja

(Sumber: BSN, 2013)

2. Desain tulangan geser

Kegagalan geser pada balok biasanya terletak pada daerah dekat dengan tumpuan yang menerima gaya geser maksimum. Kegagalan geser ini terjadi apabila sudah muncul retak-retak pada arah diagonal. Untuk menghasilkan balok dengan daktilitas tinggi agar elemen struktur ini tidak runtuh secara tiba-tiba, maka balok harus diperkuat dengan tulangan geser pada daerah-daerah yang mendapatkan tegangan geser tinggi.

Faktor keamanan geser diambil lebih besar daripada faktor keamanan lentur, agar tidak terjadi kegagalan geser sebelum kegagalan lentur. Pada peraturan SNI 2947-2013 dijelaskan batasan untuk reduksi kapasitas geser suatu penampang adalah sebesar $\phi = 0,75$.

Retak diagonal pada daerah dengan gaya geser dan momen lentur tinggi terjadi pada saat gaya geser mencapai nilai berikut:

$$V_{cr} = 0,16 \times b \times d \sqrt{f_c'} \quad (2.57)$$

Kuat geser nominal (V_n) dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, didapatkan dari kekuatan geser beton (V_c) dan kekuatan geser tulangan geser (V_s), sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.58)$$

Sedangkan gaya geser (V_u) yang dihasilkan dari beban terfaktor harus kurang dari atau sama dengan kuat geser nominal yang telah dikalikan dengan faktor reduksi ($\phi = 0,75$)

$$V_u < \phi V_n = \phi(V_c + V_s) \quad (2.59)$$

Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser

Jika $\frac{1}{2}\phi Vc < Vu < \phi Vc$, maka dibutuhkan tulangan geser minimum dan dapat dipasang tulangan sengkang vertikal dengan diameter 10 mm dan jarak maksimum didapat dari:

$$S_{maks} = 250mm \quad (2.60)$$

$$S_{maks} = \frac{d}{2} \leq 600mm, \text{ jika } V_s \leq V_{c1} (= 0,33bd\sqrt{f'c'}) \quad (2.61)$$

$$S_{maks} = \frac{d}{4} \leq 300mm, \text{ jika } V_{c1} < V_s \leq V_{c2} (= 0,66bd\sqrt{f'c'}) \quad (2.62)$$

$$S_{maks} = \frac{Avfy}{0,35b}, \text{ untuk } f'c' \leq 30Mpa \quad (2.63)$$

$$S_{maks} = \frac{Avfy}{0,062b\sqrt{f'c'}}, \text{ untuk } f'c' > 30Mpa \quad (2.64)$$

Jika $Vu > \phi Vc$, maka dibutuhkan tulangan geser, dengan menghitung gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser.

$$V_s = \frac{(Vu - \phi Vc)}{\phi} \quad (2.65)$$

Jarak sengkang yang diperlukan didapat dari persamaan:

$$s = \frac{Avfyd}{V_s} \quad (2.66)$$

$$Av = n_s \times \frac{\pi}{4} \times P \quad (2.67)$$

$$n_s = \frac{b - 2d_s}{25 + D} \quad (2.68)$$

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2} \quad (2.69)$$

Dimana,

t_s = tebal selimut beton

P = diameter sengkang

D = diameter tulangan

Jarak sengkang yang digunakan adalah jarak sengkang terkecil antara jarak sengkang yang diperlukan dan jarak sengkang maksimum.

2.2.6.3 Plat

Pelat beton berfungsi untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau struktur lainnya. Pelat ini ditumpu oleh dinding, balok, kolom atau langsung berada di atas tanah.

Struktur pelat beton dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Pelat satu arah

Pelat satu arah ini adalah pelat yang ditumpu di kedua sisinya sehingga akan mengalami lendutan pada arah tegak lurus dari sisi tumpuan dan beban didistribusikan dalam satu arah yaitu arah tumpuan. Pelat ini dapat ditumpu di keempat sisi dengan rasio bentang panjang dan pendeknya lebih besar atau sama dengan 2.

2. Sistem pelat rusuk (*joint construction*)

Pelat rusuk ini terdiri dari pelat beton dengan tebal 50 hingga 100 mm, yang ditumpu oleh sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk ini memiliki lebar minimum 100 mm dan tinggi tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya, biasanya rusuk ini bersisi miring dan disusun dengan jarak tertentu tidak lebih dari 750 mm.

3. Pelat dua arah

Pelat dua arah ini adalah pelat yang ditumpu di keempat sisinya dengan rasio antar bentang panjang dan bentang pendek kurang dari 2.

Sistem pelat dua arah dapat dibedakan menjadi:

- a. Sistem balok-pelat dua arah
- b. Sistem slab datar (*flat slab*)
- c. Sistem pelat datar (*flat plate*)
- d. Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle*

Analisis pelat dua arah dapat menggunakan metode numerik seperti metode elemen hingga. Pada peraturan SNI dijelaskan dua metode pendekatan untuk menganalisis dan mendesain pelat dua arah, yaitu:

1. Metode perencanaan langsung (*Direct Design Method*), metode ini membatasi untuk pelat yang dibebani oleh beban yang terdistribusi merata dan bertumpu pada kolom dengan jarak yang sama.
2. Metode rangka ekuivalen (*Equivalent Frame Method*), pada metode ini struktur rangka dianalisis terpisah tiap lantainya dalam arah memanjang dan melintang.