

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Hermawan dan Indarto (2017) menyatakan bahwa standar gempa baru dan standar gempa lama beban relatif meningkat dua kali lipat, sehingga pada beberapa elemen struktur harus dilakukan retrofit agar dapat meningkatkan kapasitasnya. Evaluasi desain struktur pada Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro yang dilakukan oleh Indarto dkk. (2017) dengan perhitungan ulang yang mengacu pada peraturan yang berlaku saat ini yaitu 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 menunjukkan terjadinya overdesain pada desain eksisting yang telah direncanakan, perbedaan ini terjadi pada struktur kolom dan fondasi, sedangkan untuk beberapa elemen struktur seperti plat pada suatu ruangan tertentu dan tulangan torsi balok desain eksisting tidak memenuhi standar yang berlaku.

Metode statik ekuivalen dengan daktilitas penuh dikatakan dapat menahan beban gempa. Dalam merencanakan sebuah gedung bertingkat diperlukan pengetahuan untuk perencanaan strukturnya, sehingga gedung tersebut tidak roboh. Perencanaan struktur rangka beton bertulang dengan perilaku plastis akan membutuhkan biaya yang besar, sehingga perencanaan struktur ini disarankan menggunakan beban lateral gempa rencana yang lebih kecil daripada gempa besar yang mungkin terjadi. Untuk itu diperlukan struktur rangka beton bertulang yang daktil (Mashemi dan Susanto, 2015).

Menurut Hidayat dkk. (2009) menyebutkan daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang cukup besar secara berulang-ulang dan bolak-balik akibat gempa, sehingga struktur ini masih dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya bahkan ketika sudah berada pada ambang keruntuhan.

Iranata dkk. (2012) berpendapat bahwa perilaku struktur dengan model *open frame* lebih baik daripada struktur dengan model *bracing* tekan, hasil ini ditunjukkan pada nilai perpindahan (*displacement*) saat *performance point* yang lebih besar untuk struktur *open frame*. Agus dan Gushendra (2015) mengatakan

bahwa struktur *open frame* didapat nilai *displacement* dan gaya dalam yang lebih besar dibandingkan dengan model struktur *bracing* dan dinding geser.

Gaya lateral yang disebabkan oleh gempa dapat dihitung dengan dua pendekatan, yaitu analisis statik (statik ekuivalen) dan analisis dinamik (respon spektrum dan *time story*). Bayyinah dan Faimun (2017) berpendapat bahwa ada perbedaan antara respon spektrum dengan *time story*. Perbedaan ini ditunjukkan pada penelitian desain gedung dengan analisis respon spektrum dan *time story* dari tiga nilai terbesar data gempa pada Gempa Kobe yang terjadi di Jepang 1995, Imperial Valley di California 1979 dan Tabas di Iran 1978. Simpangan terbesar terjadi akibat gempa Imperial Valley pada analisis respon spektrum.

Suatu struktur rangka tidak mungkin hanya diisi oleh dinding bata saja tetapi terdapat bukaan atau lubang seperti jendela, pintu dan lain-lain. Bukaan atau lubang tersebut mengakibatkan terjadinya tegangan yang besar pada sudut dinding sehingga perlu diperkuat dengan menggunakan kolom dan balok praktis (Sukrawa, 2015; Budiwanti dan Sukrawa, 2017). Dinding bata dengan bukaan dapat mempengaruhi kekuatan lateral struktur rangka, tetapi besarnya pengaruh tersebut tergantung pada luas bukaan terhadap luas dinding bata (Goutam dan Sudhir, 2008; Maidiawati dkk., 2017).

Dinding pengisi atau dinding bata yang berada diantara komponen struktur beton bertulang akan mengubah sistem transfer beban lateralnya, yaitu sistem transfer beban pada struktur portal menjadi sistem transfer beban pada struktur batang (Maidiawati dan Tanjung, 2016). Kekuatan dan kekakuan lateral struktur rangka dengan dinding bata lebih besar daripada kekuatan dan kekakuan dari struktur rangka tanpa dinding bata. Kekuatan lateral yang dimiliki oleh struktur rangka dengan dinding bata dua kali lebih besar daripada kekuatan lateral struktur rangka tanpa dinding bata (Maidiawati dkk., 2017).

Menurut Budiwanti dan Sukrawa (2017) menyebutkan bahwa penambahan dinding pengisi dengan rasio bukaan sampai 60% untuk struktur rangka 3 lantai masih dapat menahan beban gempa yang disyaratkan pada SNI 1726-2012.

Penelitian yang dilakukan pada skripsi ini mengacu pada beberapa hasil penelitian sebelumnya yaitu menggunakan peraturan-peraturan terbaru karena terdapat beberapa perbedaan antara peraturan lama dan peraturan baru. Peraturan-

peraturan baru yang digunakan antara lain 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. Kemudian pada proses pemodelan struktur bangunan peneliti menggunakan struktur model *open frame* dengan mempertimbangkan bukaan atau lubang-lubang yang ada pada dinding pengisi seminimal mungkin agar bangunan tersebut tetap memiliki daktilitas tinggi yang dapat menahan beban gempa dan juga bangunan sekolah ini memiliki tingkat kenyamanan dan kamanan yang baik untuk penggunanya.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Gempa Bumi

Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Berdasarkan definisi bencana tersebut, maka bencana dibagi menjadi bencana alam, bencana non-alam, dan bencana sosial. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.

Pada penelitian ini fokus pada bencana alam gempa bumi yang sekarang sering terjadi di Indonesia. Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif, aktivitas gunung api atau runtuh batuan.

Dampak dari gempa bumi ini sangat banyak diantaranya adalah banyak kerusakan pada bangunan, kebakaran akibat kerusakan pada aliran listrik, permukaan tanah menjadi retak-retak, guncangan yang dahsyat dapat menyebabkan tanah longsor, banjir akibat rusaknya tanggul untuk daerah-daerah yang menampung air, gempa besar yang terjadi di dasar laut dapat memicu terjadinya tsunami, sehingga menimbulkan banyak korban jiwa dan kerugian-kerugian material yang cukup besar.

Dampak gempa bumi yang tidak dapat dipungkiri lagi adalah kerusakan pada bangunan, baik yang merupakan prasarana umum, perkantoran, rumah tinggal dan bangunan lainnya. Salah satu prasarana umum yang berpotensi mengalami kerusakan akibat gempa bumi adalah bangunan sekolah. Bangunan sekolah sangat beresiko akan jatuhnya korban, karena pada waktu tertentu orang banyak melakukan aktivitasnya disini.

Salah satu cara untuk mengantisipasi kerusakan pada bangunan sekolah yang terjadi akibat gempa adalah perlu direncanakan bangunan sekolah tahan gempa. Bangunan sekolah tahan gempa ini adalah bangunan sekolah yang mampu meredam energi gempa, melalui kombinasi gaya dalam bangunan yang dihasilkan dari komponen struktur dan non-struktur bangunan. Sehingga pada saat gempa terjadi, bangunan ini dapat memberikan perlindungan maksimal kepada penghuninya. Perlindungan maksimal disini berarti penghuni yang berada di dalam bangunan memiliki kesempatan untuk menyelamatkan diri sebelum terjadi keruntuhan atau dapat meminimalisir terjadinya tingkat kerusakan bangunan.

2.2.2. Bangunan Sekolah Tahan Gempa

Berdasarkan Buku Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa, tingkat keamanan bangunan minimum yang terjadi pada bangunan sekolah SMA harus setara dengan bangunan gedung yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu memenuhi kondisi sebagai berikut:

1. Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan sekolah tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
2. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan sekolah tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural (dinding, plafon, penutup atap, dll) tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktur.
3. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat, bangunan sekolah tersebut dapat mengalami dua kondisi:
 - Bangunan sekolah tidak mengalami keruntuhan baik sebagian maupun keseluruhan,
 - Bangunan sekolah tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki,

- Bangunan sekolah boleh mengalami kerusakan, tetapi kerusakan yang terjadi dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali.

Perencanaan bangunan tahan gempa dimaksudkan untuk membangun bangunan sekolah yang dapat meredam gaya gempa yang terjadi dengan kekuatan dan kekakuan struktur bangunan.

Aksi yang berasal dari gaya gempa pada bangunan harus diimbangi atau diredam oleh gaya inersia melalui kombinasi gaya dalam dari kekuatan dan kekakuan komponen struktur (pondasi, sloof, balok, kolom) dan non-struktur (dinding pemikul dan dinding pengisi). Penyaluran gaya gempa pada arah horizontal akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk atau deformasi akibat tegangan-tegangan pada seluruh bangunan terutama pada elemen-elemen pendukungnya.

Pada penelitian ini digunakan sistem struktur rangka sebagai pemikul beban yang artinya kerangka yang dibuat dari beton bertulang ini berfungsi untuk memikul beban-beban yang diakibatkan oleh angin atau gempa, dimana dinding pengisi atau pasangan bata tidak diperhitungkan memikul beban. Pasangan bata atau batako hanya berfungsi sebagai dinding pengisi yang menambah kestabilan dan kekuatan struktur rangka pemikul.

Ketentuan-ketentuan dasar dalam perencanaan bangunan sekolah tahan gempa, yaitu:

1. Tata letak bangunan harus memenuhi konfigurasi struktur bangunan yang sederhana dan simetris pada seluruh bagian bangunan, tidak boleh terlalu panjang. Dan apabila denah bangunan tidak simetris, maka denah tersebut harus dipisahkan dengan alur pemisah atau diberi spasi ± 10 cm agar menjadi denah yang simetris.
2. Distribusi berat bangunan sekolah harus merata.
3. Struktur bangunan yang direncanakan harus sederhana, karena struktur yang sederhana akan tahan pada kondisi gempa bumi yang keras.
4. Tinggi bangunan sekolah sebaiknya tidak melebihi empat kali lebar bangunan.
5. Struktur bangunan sekolah sebaiknya monolit atau menggunakan bahan bangunan yang sama karena pada saat gempa terjadi akan memberikan

kontribusi terhadap kekakuan dan kekuatan struktur bangunan secara keseluruhan.

6. Pondasi harus berada pada tanah yang keras dan sekuat mungkin, tidak boleh berada pada kondisi tanah yang berbeda, sehingga tidak akan menyebabkan patahan pada saat gempa.
7. Pengawasan pada saat pelaksanaan pembangunan bangunan sekolah agar sesuai dengan spesifikasi perencanaan.

Perencanaan bangunan sekolah tahan gempa ini ditujukan agar struktur bangunan sekolah memiliki daktilitas yang baik terhadap beban gempa. Penempatan dan pengaturan tulangan, terutama pada sambungan-sambungan merupakan upaya untuk mengkondisikan struktur rangka yang daktil.

Kriteria minimum yang harus dipenuhi dari bangunan gedung bertingkat dengan struktur beton bertulang, diantaranya:

1. Kekuatan tekan beton minimum 175 kg/cm^2 atau 15 MPa dan kekuatan tarik baja 2400 kg/cm^2 .
2. Diameter tulangan sengkang minimum baik untuk balok maupun kolom adalah 8 mm , jarak sengkang dan luas tulangan atas dan tulangan bawah dari balok dan plat harus dihitung berdasarkan peraturan yang berlaku, begitu juga untuk luas tulangan untuk kolomnya.
3. Pada setiap penampang balok dan kolom harus terpasang minimum empat batang besi tulangan.

2.2.3. Analisis Gempa

Menurut SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung ada beberapa kategori risiko struktur bangunan sesuai dengan pemanfaatannya dapat dilihat pada tabel 2.2. Pengaruh gempa rencana kemudian dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e) pada tabel 2.1 yang didapatkan berdasarkan kategori risiko struktur bangunan ini.

Tabel 2.1 Faktor keutamaan gempa, I_e

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

Sumber: BSN, (2012)

Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung perkantoran – Gedung aparteman/rumah susun – Pusat perbelanjaan/mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo 	III
<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 	

Tabel 2.2 Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<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>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bangunan-bangunan monumental – Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat – Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Sumber: BSN, (2012)

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R dipermukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi ini meliputi 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).

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)

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_v

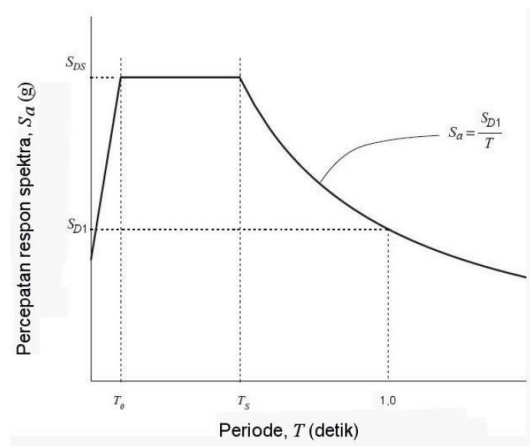
Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4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

Sumber: BSN, (2012)

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

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

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



Gambar 2.1 Respons spektrum desain

(Sumber: BSN, 2012)

Apabila respons spektrum desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva respons spektrum desain seperti pada gambar 2.1 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

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

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7.b)$$

2.2.4. Pembebanan

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:

$$1. \quad 1,4 D \quad (2.8)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.9)$$

$$3. \quad 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.10)$$

$$4. \quad 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.11)$$

$$5. \quad 1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S \quad (2.12)$$

$$6. \quad 0,9 D + 1,0 W \quad (2.13)$$

$$7. \quad 0,9 D + 1,0 E \quad (2.14)$$

Dimana:

D = Beban mati E = Beban gempa

L = Beban hidup W = Beban angin

R = Beban hujan S = Beban salju

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, diantaranya adalah dinding, lantai, atap, plafon, tangga, komponen arsitektural dan struktural lainnya.

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan.

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 langkah-langkah untuk menentukan

beban angin pada SPBAU untuk bangunan gedung 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-menyalin, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya)	IV

Tabel 2.5 Lanjutan

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
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.
3. Menentukan parameter-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	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
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 bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 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 bangunan dengan ketinggian atap rata-rata lebih dari 30 ft (9,1 m), eskposur B berlaku jika kekasaran permukaan berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih dari 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 dari 5000 ft (1524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, dipilih yang paling besar. Eskposur D ini juga berlaku 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} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.15)$$

Keterangan:

K_1 dilihat pada tabel 2.7

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right), \text{ lihat tabel 2.8}$$

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h}, \text{ lihat tabel 2.8}$$

H = tinggi bukit atau tebih relatif terhadap elevasi kawasan di sisi angin datang

- L_h = jarak horizontal pada sisi angin datang, dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi bukit atau tebing
- x = jarak dari puncak ke gedung
- z = ketinggian diatas elevasi tanah
- γ = faktor atenuasi ketinggian
- μ = faktor atenuasi horizontal

Tabel 2.7 Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing

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)

Tabel 2.8 Pengali topografi eksposur C

H/Lh	Pengali K_1			x/Lh	Pengali K_2		x/Lh	Pengali K_3		
	Bukit 2-D	Tebing 2D	Bukit 3-D		Tebing 2D	Seluruh kasus lainnya		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
				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 situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi maka $K_{zt} = 1,0$.

- Faktor efek tiupan angin (G)

Untuk faktor efek tiupan angin pada suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil sebesar 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 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Sumber: BSN, (2013)

- Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Koefisien eksposur tekanan velositas dapat dihitung dengan persamaan

berikut:

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } 15 \text{ ft} \leq z \leq z_g \quad (2.16.a)$$

$$K_z = 2,01(15/z_g)^{2/\alpha} \text{ untuk } z > 15 \text{ ft} \quad (2.16.b)$$

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	$\bar{\epsilon}$	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)

- Menentukan tekanan velositas (q atau q_h) dengan persamaan:

$$q = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(N/m^2), V \text{ dalam m/s}^2 \quad (2.17)$$

- Menentukan koefisien tekanan eksternal (C_p atau C_N), dilihat pada tabel 2.11 dan tabel 2.12

Tabel 2.11 Koefisien tekan atap, C_p untuk digunakan dengan q_h

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 bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*			-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0*		-0,5	-0,5	-0,6
sejajar bubungan untuk semua θ	$\geq 1,0$	-1,3**	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0*		-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18	0,0*	0,2	0,2	0,4	0,01 θ			
Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang												
Tegak lurus terhadap bubungan untuk semua $\theta < 10^\circ$	$\leq 0,5$	0 sampai dengan $h/2$		C_p						*Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.		
		$h/2$ 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								
sejajar bubungan untuk semua θ	$\geq 1,0$	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)

Tabel 2.12 Koefisien tekanan pada dinding, C_p

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

Sumber: BSN, (2013)

7. Menghitung tekanan angin (p) dengan persamaan:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.18)$$

Dimana:

q = q_z untuk dinding di sisi angin datang yang diukur 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

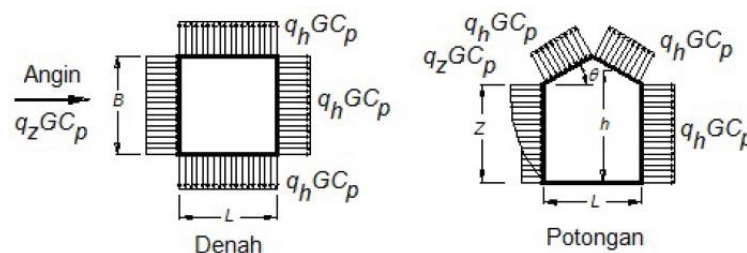
q_i = q_z untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian jika tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif

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 2.2.



Gambar 2.2 Sisi angin datang dan pergi untuk atap pelana dan atap perisai

(Sumber: BSN, 2013)

2.2.5. Perancangan Struktur

2.2.5.1. Balok

Balok adalah suatu bagian struktur yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban horizontal dan beban vertikal. Beban vertikal disini adalah berat sendiri 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.

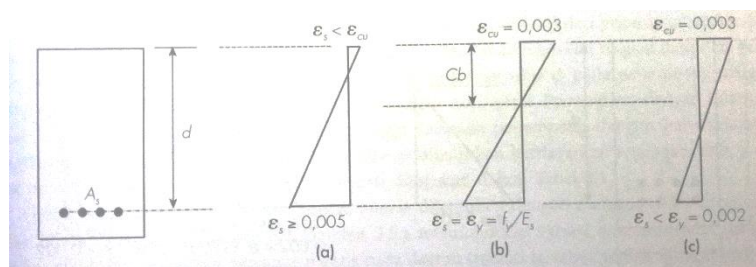
Beberapa asumsi yang diambil dalam mendesain balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau metode ultimit adalah sebagai berikut:

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. Ditunjukkan pada gambar 2.3(a).

2. Tulangan baja akan mencapai kuat luluhnya dan pada saat yang bersamaan beton mencapai regangan ultimitnya yaitu sebesar 0,003. Ditunjukkan pada gambar 2.3(b).
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. Ditunjukkan pada gambar 2.3(c).



Gambar 2.3 Macam-macam keruntuhan lentur balok

(Sumber: Setiawan, 2016)

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

- Untuk penampang terkendali tarik $\phi = 0,90$
- Untuk penampang terkendali tekan
 - Dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$
 - Dengan tulangan non-spiral $\phi = 0,65$
- Untuk geser dan puntir $\phi = 0,75$
- Untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$

1. Desain tulangan momen lentur

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

$$\rho_{min} = \sqrt{\frac{f_c'}{4f_y}} \quad (2.19.a)$$

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

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.19.b)$$

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

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.20)$$

Dimana, faktor β_1 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

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

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

Kemudian untuk menghitung rasio tulangan maksimum digunakan persamaan berikut:

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \quad (2.21)$$

Rasio tulangan yang diperlukan didapat dengan persamaan berikut:

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2Rn}{0,85 f_{c'}}} \right) \quad (2.22)$$

Dimana,

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} \quad (2.23)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.24)$$

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:

$$As = \rho bd \quad (2.25)$$

Untuk jumlah tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan:

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4}D^2} \quad (2.26)$$

Luas tulangan yang terpakai dapat dihitung dengan:

$$As = n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (2.27)$$

Momen nominal rencana dapat dihitung dengan persamaan:

$$\phi Mn = \phi As \times fy \times (d - \frac{a}{2}) \quad (2.28)$$

Dengan,

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \quad (2.29)$$

$$d = h - d' \quad (2.30)$$

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

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.31)$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d-c}{c} \right) \quad (2.32)$$

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:

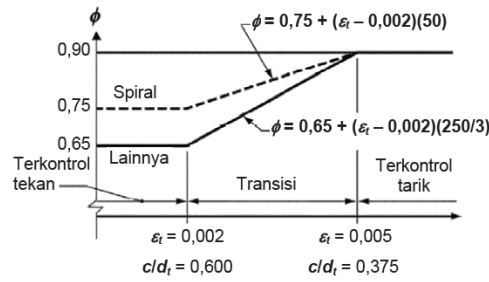
Untuk tulangan spiral

$$\phi = 0,75 + (\varepsilon_t - 0,002)(50) \quad (2.33.a)$$

Untuk tulangan non-spiral

$$\phi = 0,65 + (\varepsilon_t - 0,002) \left(\frac{250}{3} \right) \quad (2.33.b)$$

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



Gambar 2.4 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:

$$V_{cr} = 0,16 \times b \times d \sqrt{f_c'} \quad (2.34)$$

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

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.35)$$

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 ($\phi = 0,75$)

$$V_u < \phi V_n = \phi(V_c + V_s) \quad (2.36)$$

1. Jika $Vu < \frac{1}{2}\phi Vc$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser
2. 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:

$$s_{maks} = 250mm$$

$$s_{maks} = \frac{d}{2} \leq 600mm, \text{ jika } V_s \leq V_{c1} (= 0,33bd\sqrt{f'c'}) \quad (2.37.a)$$

$$s_{maks} = \frac{d}{4} \leq 300mm, \text{ jika } V_{c1} < V_s \leq V_{c2} (= 0,66bd\sqrt{f'c'}) \quad (2.37.b)$$

$$s_{maks} = \frac{Avfy}{0,35b}, \text{ untuk } f'c' \leq 30Mpa \quad (2.37.c)$$

$$s_{maks} = \frac{Avfy}{0,062b\sqrt{f'c'}}, \text{ untuk } f'c' > 30Mpa \quad (2.37.d)$$

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

$$V_s = \frac{(Vu - \phi Vc)}{\phi} \quad (2.38)$$

Jarak sengkang yang diperlukan didapat dari persamaan:

$$s = \frac{Avfyd}{V_s} \quad (2.39)$$

$$Av = n_s x \frac{\pi}{4} x P \quad (2.40)$$

$$n_s = \frac{b - 2d_s}{25 + D} \quad (2.41)$$

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2} \quad (2.42)$$

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.

2.2.5.2. Kolom

Kolom adalah komponen struktur vertikal yang khusus digunakan untuk memikul beban aksial tekan dengan memperhitungkan momen lentur ataupun tidak. Kolom memikul beban vertikal yang dihasilkan dari pelat lantai atau atap yang

kemudian disalurkan ke pondasi. Pada umumnya 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

$$P_o = 0,85f'_c(A_g - A_s) + A_{st}f_y \quad (2.43)$$

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:

$$\phi P_n = \phi 0,8 P_o \quad (2.44)$$

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

$$\phi P_n = \phi 0,85 P_o \quad (2.45)$$

dengan,

$\phi = 0,65$ untuk sengkang persegi

$\phi = 0,75$ untuk sengkang spiral

Analisis penampang kolom, biasanya diklasifikasikan berdasarkan eksentrisitasnya. Kolom dengan eksentrisitas kecil, beton akan mencapai regangan ultimit sebelum tulangan baja tarik mencapai luluh, tulangan pada sisi yang jauh dari beban akan mengalami beban tekan.

Kolom dengan eksentrisitas yang besar, keruntuhan ditandai oleh luluhnya tulangan tarik. Saat beton mengalami regangan ultimit, luluhnya tulangan baja ditentukan dari kompatibilitas dari regangan.

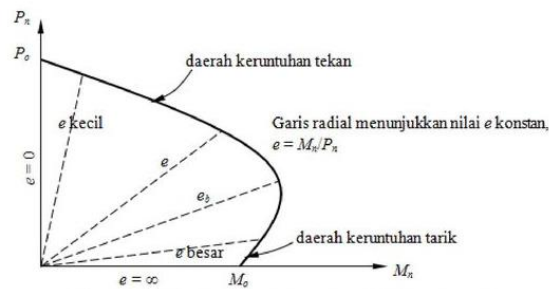
Desain kolom dihitung dengan beban terfaktor, tidak boleh lebih besar dari kuat rencana penampang.

$$\phi M_n > M_u$$

$$\phi P_n > P_u$$

Metode yang baik digunakan untuk desain adalah dengan menggunakan diagram interaksi, yang memberikan beban runtuh dan momen runtuh pada penampang kolom untuk setiap nilai eksentrisitas dari nol sampai tak terhingga. Dari

nilai eksentrisitas ini dihasilkan P_n dan M_n yang kemudian diplotkan dalam suatu diagram seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram interaksi kolom

(Sumber: Setiawan, 2016)

Beberapa asumsi desain kolom yang disyaratkan dalam SNI 2874-2013, sebagai berikut:

- Regangan pada beton dan baja dianggap proporsional terhadap jarak ke sumbu netral,
- Kesetimbangan gaya dan kompatibilitas regangan harus dipenuhi,
- Regangan tekan maksimum pada beton dibatasi sebesar 0,003,
- Kekuatan beton di daerah tarik dapat diabaikan,
- Tegangan pada tulangan baja, $f_s = \epsilon E_s < f_y$,
- Blok tegangan beton dianggap memiliki bentuk persegi sebesar $0,85f_c'$ dengan distribusi merata dari serat tekan terluar hingga setinggi $\alpha = \beta_1 c$, c adalah jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral penampang, nilai β_1 adalah 0,85 untuk $f_c' < 30\text{Mpa}$, nilai β_1 berkurang 0,05 pada setiap kenaikan 7 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.

Kondisi seimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_b bekerja pada penampang menghasilkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton, pada saat bersamaan tulangan baja mengalami luluh atau regangannya mencapai $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$. Jika beban eksentris yang ada lebih besar daripada P_b , maka kolom mengalami keruntuhan tekan. Sedangkan jika beban eksentris yang ada lebih kecil daripada P_b , maka kolom mengalami keruntuhan tarik.

Analisis penampang kolom pada keadaan seimbang dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan berikut:

Mencari tinggi blok tegangan tekan beton:

$$\alpha_b = \beta_1 c_b \quad (2.46)$$

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (2.47)$$

$$d = h - ts - P - \frac{D}{2} \quad (2.48)$$

Dengan:

h = lebar kolom

ts = selimut beton

P = diameter sengkang

D = diameter tulangan

$\beta_1 = 0,85$, jika $f_c' \leq 30$ Mpa, dan berkurang 0,05 tiap kenaikan f_c' sebesar 7 Mpa

Dari kesetimbangan gaya arah horizontal didapat persamaan:

$$\Sigma H = 0 \quad (2.49)$$

$$Pb - Cc - Cs + T = 0 \quad (2.50)$$

$$Cc = 0,85 f_c' a_b b \quad (2.51)$$

$$T = As f_y \quad (2.52)$$

$$Cs = As' (f_s' - 0,85 f_c') \quad (2.53)$$

$$f_s' = 600 \frac{(c_b - d')}{c_b} \leq f_y \quad (2.54)$$

f_s' diambil sama dengan f_y , jika tulangan tekan sudah luluh.

Persamaan kesetimbangan gaya arah horizontal dapat ditulis kembali menjadi:

$$Pb = 0,85 f_c' a_b b + As' (f_s' - 0,85 f_c') - As f_y \quad (2.55)$$

$$Mb = 0,85 f_c' a_b b \left(d - \frac{a}{2} - d'' \right) + As' (f_y - 0,85 f_c') (d - d' - d'') + As f_y d'' \quad (2.56)$$

$$d' = ts + P + \frac{D}{2} \quad (2.57)$$

$$d'' = \frac{h}{2} - ts - P - \frac{D}{2} \quad (2.58)$$

Nilai eksentrisitas pada keadaan seimbang didapat dari:

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} \quad (2.59)$$

Gaya tekan dan momen pada keadaan seimbang harus dikalikan dengan faktor reduksi ($\phi = 0,65$).

$$P_n = \phi P_b \quad (2.60)$$

$$M_n = \phi M_b \quad (2.61)$$

Kolom akan mengalami keruntukan tarik, jika kuat tekan nominal (P_n) akan lebih kecil dari P_b , atau eksentrisitas (e) lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang (e_b). Jika terjadi keruntuhan tarik, maka tulangan tarik luluh dan tegangannya $f_s = f_y$, asumsikan tegangan pada tulangan tekan adalah $f_s' = f_y$.

Kolom akan mengalami keruntuhan tekan, jika gaya tekan (P_n) lebih dari gaya tekan pada kondisi seimbang (P_b), atau pada saat eksentrisitas (e) lebih kecil daripada eksentrisitas pada kondisi seimbang (e_b).

Nilai P_n dari kondisi seimbang:

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (2.62)$$

$$C_c = 0,85 f_c' a b \quad (2.63)$$

$$T = A_s f_y \quad (2.64)$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 f_c') \quad (2.65)$$

Ambil jumlah momen terhadap A_s , maka didapat persamaan:

$$P_n e' = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (2.66)$$

$$e' = e + d'' \quad (2.67)$$

Persamaan (2.62) digabungkan dengan persamaan (2.66) dan didapat persamaan:

$$C_c + C_s - T = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \quad (2.68)$$

Dari persamaan diatas dihasilkan persamaan kuadrat untuk nilai a . Kemudian dapat subsitusikan C_c , C_s dan T untuk mendapatkan nilai a .

Persamaan kuadrat tersebut dapat disederhanakan seperti berikut:

$$Aa^2 + Ba + C = 0 \quad (2.69)$$

Dengan,

$$A = 0,425fc'b \quad (2.70)$$

$$B = 0,85fc'b(e' - d) = 2A(e' - d) \quad (2.71)$$

$$C = As'(fy - 0,85fc')(e' - d + d') - Asfyd' \quad (2.72)$$

Kemudian nilai a dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (2.73)$$

Cek tulangan tekan

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2.74)$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c-d'}{c} 0,003 \quad (2.75)$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es} \quad (2.76)$$

Jika $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$, maka tulangan tekan sudah luluh.

Cek regangan pada tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} 0,003 \quad (2.77)$$

Dari nilai regangan tarik dapat ditentukan faktor reduksi (ϕ) untuk kemudian dikalikan dengan hasil P_n dan M_n . Faktor reduksi (ϕ) bervariasi antara 0,90 dan 0,65 (atau 0,75).

Diagram interaksi dibuat dengan kurva yang menunjukkan hubungan antara P_n dan M_n untuk berbagai nilai eksentrisitas, mulai dari $e = 0$ (aksial murni, $M_n = 0$) hingga $e = \infty$ (lentur murni, $P_n = 0$).

Untuk $e = 0$ (aksial murni, $M_n = 0$) maka P_n untuk kolom dengan sengkang persegi didapat dari:

$$P_n = 0,8P_o = 0,8[0,85fc'Ag + As(fy - 0,85fc')] \quad (2.78)$$

Untuk $e = \infty$ (lentur murni, $P_n = 0$), dalam menentukan M_n tulangan tekan diabaikan, seperti pada penampang balok.

$$a = \frac{Asfy}{0,85fc'b} \quad (2.79)$$

$$Mn = Asfy(d - \frac{a}{2}) \quad (2.80)$$

2.2.5.3. Plat

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

Struktur plat beton dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Plat satu arah

Plat 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. Plat ini dapat ditumpu di keempat sisi dengan rasio bentang panjang dan pendeknya lebih besar atau sama dengan 2.

$$\frac{Ly}{Lx} \geq 2$$

2. Sistem plat rusuk (*joint construction*)

Plat rusuk ini terdiri dari plat 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. Plat dua arah

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

$$\frac{Ly}{Lx} < 2$$

Sistem plat dua arah dapat dibedakan menjadi:

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

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

1. Metode perencanaan langsung (*Direct Design Method*), metode ini membatasi untuk plat 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.

Sama seperti perhitungan desain balok, pada desain plat ini diperlukan rasio tulangan yang diperlukan (ρ) untuk mendapatkan luas tulangan (A_s) dan jarak antar tulangan (s) yang diperlukan.

Lendutan yang dapat terjadi pada plat harus dikontrol, agar tidak menyebabkan keruntuhan yang dapat membahayakan. Syarat yang harus dipenuhi untuk lendutan ini adalah:

$$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240} \quad (2.81)$$

Dimana,

$$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g \quad (2.82)$$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\delta_e = \frac{5}{384} Q \frac{Lx^4}{E_c I_e} \quad (2.83)$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkakan dan susut

$$\delta_g = \frac{5}{384} \lambda Q \frac{Lx^4}{E_c I_e} \quad (2.84)$$

Beban merata pada plat

$$Q = Q_D + Q_L \quad (2.85)$$

Momen elastistas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (2.86)$$

Momen elastisitas tulangan

$$E_s = 200000 \text{ MPa} \quad (2.87)$$

Inersia efektif

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (2.88)$$

Momen inersia bruto plat

$$I_g = \frac{1}{12} b h^3 \quad (2.89)$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasi ke beton

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b c^3 + n A_s (d - c)^2 \quad (2.90)$$

Perbandingan modulus elastisitas, $n = \frac{E_s}{E_c}$

Jarak garis netral ke sisi atas beton, $c = \frac{n A_s}{b}$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t} \quad (2.91)$$

Modulus keruntuhan lentur beton, $f_r = 0,7 \sqrt{f_c'}$

Garis tengah plat, $Y_t = \frac{h}{2}$

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8} Q L x^2 \quad (2.92)$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati, $\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho}$

Rasio tulangan slab, $\rho = \frac{A_s}{bd}$

Keterangan:

Q_D = beban mati

Q_L = beban hidup

L_x = Panjang bentang plat arah x

L_y = Panjang bentang plat arah y

h = tebal plat

b = lebar plat yang ditinjau

d = tebal efektif plat lantai

$\zeta = 2,0$

Jika lendutan pada plat memenuhi syarat $\left(\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}\right)$, maka desain plat dapat digunakan. Tetapi jika tidak memenuhi syarat, maka plat dapat lebih ditebalkan dari sebelumnya.