

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan referensi yang didapatkan penulis, penelitian tentang perencanaan gedung Hotel El Royale Malioboro Yogyakarta belum pernah dilakukan karena merupakan gedung baru yang sekarang sedang berlangsung pembangunannya. Dalam menulis tugas akhir ini penulis mendapatkan informasi dari beberapa jurnal yang di jelaskan pada paragraph berikutnya yaitu sebagai berikut:

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Desain Struktur Gedung

Rendra dkk. (2015) melakukan penelitian tentang “Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Repon Spektrum dan Time History” Penelitian ini mengkaji kinerja struktur gedung yaitu *story shear*, *displacement* dan simpangan lantai ketika menerima beban gempa. Dalam penelitian ini terdapat dua metode dinamik yang digunakan yaitu metode *respon* spektrum dan *time history*. Struktur yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Gedung Hotel SKA Pekanbaru. *Respon* spektrum yang digunakan adalah *respon* spektrum kota pekanbaru berdasarkan SNI 1726-2012 sedangkan riwayat gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah riwayat Gempa El Centro, Gempa Mentawai, Gempa Aceh dan Gempa Padang. Analisis dengan metode *respon* spektrum menghasilkan level kinerja *Damage Control* (DC) pada arah X maupun arah Y. Analisis dengan menggunakan metode *time history* menghasilkan level kinerja yang berbeda-beda untuk masing-masing gempa. Level kinerja tertinggi yaitu *Structural Stability* (SS) terjadi pada gempa El Centro dan Gempa Padang. Level kinerja *Damage Control* (DC) terjadi pada gempa Aceh. Level kinerja paling rendah yaitu *Immediate Occupancy* (IO) terjadi pada gempa Mentawai. Level kinerja pada arah X dan Y sama untuk setiap data *time history* gempa.

Mistavhirul dkk. (2018) melakukan penelitian tentang “Redesain Struktur Gedung Hotel Citihub Magelang”. Desain struktur Hotel Citihub Magelang merupakan hasil perencanaan yang masih mengacu pada standar lama, antara lain SNI 03-2847-2002 dan SNI 1726-2002. Hal ini menjadi dasar dilakukannya

redesain struktur gedung dengan mengacu pada standar-standar terbaru yaitu SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, menggunakan dimensi balok dan kolom struktur yang sama dengan desain sebelumnya. Redesain struktur dengan menerapkan konfigurasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) bertujuan agar nantinya struktur memiliki tingkat daktilitas yang mampu menahan beban gempa rencana. Analisis struktur menggunakan program SAP2000 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur berdasarkan kombinasi pembebanan yang digunakan. Hasil dari redesain menunjukkan bahwa dengan menggunakan dimensi balok dan kolom struktur yang sama dengan desain sebelumnya, redesain struktur Hotel Citihub Magelang mempunyai perbedaan penulangan balok dan kolom yang bervariasi.

Saputra dkk. (2017) melakukan penelitian tentang “Perencanaan Pembangunan Gedung Beta Corporation Semarang” Perencanaan Struktur Gedung BETA Corporation ini dilakukan untuk mengetahui dimensi struktur utama apabila pembangunan gedung dilakukan dengan menggunakan metode konvensional. Gedung BETA Corp direncanakan dapat menjadi struktur tahan gempa. Pada perencanaan struktur tahan gempa diperlukan analisis beban gempa, pada gedung ini digunakan metode *respon* spektrum yang merupakan analisis dinamik. Berdasarkan Kriteria Desain Seismik (KDS) gedung ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena mempunyai tipe B. Analisis struktur dalam redesain gedung ini berdasarkan pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012) dan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013) dengan menggunakan program struktur untuk mengetahui periode getar struktur dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut. Material beton yang digunakan mempunyai mutu 25 MPa, sedangkan mutu baja tulangan digunakan 400 MPa untuk Tulangan utama dan 294 MPa untuk tulangan sengkang serta plat. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah untuk Gedung BETA Corp ini pondasi yang digunakan tiang pancang

dengan dimensi 500 x 500 mm dan memiliki panjang 10 m dengan menggunakan perhitungan rumus meyerhoff.

Budiwati dan Sukrawa (2017) melakukan penelitian tentang “Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik” Penelitian ini dilakukan guna memperoleh model struktur rangka beton bertulang dengan dinding pengisi (RDP) berlubang, dengan dan tanpa perkuatan di sekitar lubang (lintel), sebagai perkuatan seismik, dengan membandingkan perilaku dan kinerja struktur RDP dengan berbagai rasio lubang. Pada tahap awal dilakukan validasi model dengan membandingkan perilaku struktur yang dimodel menggunakan elemen shell (RDPsh) dan strut diagonal (RDPst) dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Model validasi menunjukkan bahwa RDPsh menghasilkan diagram beban-simpangan lateral yang lebih mendekati hasil tes dibandingkan dengan RDPst. Disamping itu, persamaan lebar strut untuk dinding berlubang tanpa lintel tidak bisa digunakan untuk dinding berlubang dengan lintel karena lintel menambah kekakuan rangka, memperkuat dinding di sekitar lubang dan mengurangi tegangan maksimum pada sudut lubang sampai 40%. Lebar strut diagonal kemudian dimodifikasi untuk mendapatkan model yang menghasilkan *respon* sesuai dengan RDPsh. Kemudian model rangka beton bertulang 3, 4, dan 5 lantai dengan dinding pengisi berlubang sentris dengan lintel di sekeliling lubang dibuat dengan variasi rasio lubang 0 – 100%. Hasil analisis pada RDP 3 lantai menunjukkan bahwa, terjadi pengurangan simpangan lateral masing-masing sebesar 65%, 58%, 43%, 22%, dan 5% untuk rasio lubang 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Persentase pengurangan yang hampir sama juga terjadi pada rangka 4 dan 5 lantai. Untuk rangka 3-lantai, penambahan dinding pengisi dengan rasio lubang terbesar 60% cukup memadai untuk menahan beban gempa yang disyaratkan SNI 1726:2012. Tetapi, untuk rangka 4 dan 5 lantai, diperlukan dinding dengan rasio lubang maksimum 40%. Penambahan dinding pengisi meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya geser dasar akibat gempa. Namun demikian, peningkatan kekuatan ini disertai dengan penurunan daktilitas struktur seiring dengan menurunnya rasio lubang.

Ichwandri (2014) melakukan penelitian tentang “Perencanaan Struktur Gedung Asrama Mahasiswa Universitas Sriwijaya Palembang Dengan Penahan Lateral Dinding Struktur”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dimensi serta penulangan pada plat lantai dan dinding geser pada struktur yang ditinjau. Metode pelaksanaan dari penelitian ini adalah melakukan studi literatur yang kemudian dilanjutkan dengan pemodelan struktur pada *SAP2000* untuk dilakukan analisa yang gaya-gaya dalamnya digunakan untuk mendesain plat lantai dan dinding geser. Adapun hasil yang didapat dari penelitian ini adalah tebal plat lantai ideal adalah 18 cm dengan tulangan tumpuan arah X digunakan tulangan D13 dengan jarak 11 cm dari as ke as untuk setiap 1 meter. Tulangan lapangan arah X digunakan tulangan D13 dengan jarak 22 cm dari as ke as untuk setiap 1 meter. Sedangkan untuk tulangan tumpuan arah Y digunakan tulangan D13 dengan jarak 10 cm dari as ke as untuk setiap 1 meter. Tulangan lapangan arah Y digunakan tulangan D13 dengan jarak 22 cm dari as ke as untuk setiap 1 meter. Pada dinding geser didapatkan penulangan arah X digunakan 2D18 dengan jarak 30 cm dan untuk arah Y digunakan tulangan 2D16 dengan jarak 30 cm.

Ismail (2014) melakukan penelitian tentang “Analisis Kinerja Struktur Atas Gedung 7 lantai Dengan Variasi Dimensi dan Lokasi *Shear wall* Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel”. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari aspek-aspek perencanaan gedung bertingkat beton bertulang untuk diterapkan dalam suatu desain konstruksi, melakukan analisis kinerja gedung yang sama tetapi dibedakan antara menggunakan *shear wall* dengan berbagai macam lokasi dan bentuk dimensi, membandingkan gaya geser, momen dan gaya normal dari berbagai macam alternative, membandingkan antara deformasi yang dihasilkan dan berbagai macam alternatif lokasi *shear wall* dari perhitungan menggunakan *shear wall* dan menggunakan SRPM. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur berupa pengumpulan data-data dengan merangkum dari buku-buku serta data pelengkap dari proyek berupa gambar DED. Selanjutnya dilakukan pemodelan struktur pada *SAP2000* dengan memasukkan pembebanan berupa beban mati, hidup, angin, dan beban gempa yang mengacu pada SNI 03-1726-2002. Kemudian menentukan dimensi kolom dan balok yang akan digunakan yang selanjutnya dilakukan analisis. Dari

penelitian yang dilakukan didapatkan hasil dimensi struktur beton yang akan digunakan, maka selanjutnya dapat dibandingkan hasil output program *SAP2000* berupa perbandingan displacement arah Y, displacement arah X, momen, geser, aksial, dan berat sendiri gedung.

Aribisma dkk. (2015) melakukan penelitian tentang “Evaluasi Gedung MNC Tower Menggunakan SNI 03-1726-2012 dengan Metode *Pushover Analysis*” dengan tujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung terhadap peraturan baru dan mengetahui tingkat keamanan dari gedung dengan menggunakan metode *pushover analysis*. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan pengumpulan data-data yang diperlukan kemudian dilakukan pemodelan struktur pada *SAP2000*. Kemudian dilakukan analisis pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa. Selanjutnya dilakukan analisis struktur dengan metode *pushover analysis*. Hasil analisa pushover pada struktur berupa kurva kapasitas struktur antara *Base reaction Vs Displacement* seperti dalam Gambar 2.9. Gedung MNC tower termasuk kedalam level kinerja LS (*Life Safety*) untuk arah Y gedung dimana seperti data yang tertera diatas perpindahan yang terjadi adalah sebesar 0.454 meter dimana beban yang diberikan sebesar 606 ton, sedangkan untuk arah X gedung perpindahan yang terjadi adalah sebesar 0.295 meter dimana beban yang diberikan sebesar 591 ton sehingga bisa dikatakan gedung MNC tower termasuk dalam kategori aman.

Pangouw dkk. (2015) melakukan penelitian tentang “Studi Komparasi Perhitungan Struktur Bangunan dengan Menggunakan SNI 03-2847-2013 dan British Standard 8110-1997”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan perhitungan struktur bangunan dengan mengkomparasikan metode SNI 03-2847-2013 dengan British Standard 8110-1-1997. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi kepustakaan dengan mencari bahan acuan antara lain, Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan dan gedung SNI 03-2847-2013, *British Standard 8110 - 01 - 1997 Design and construction*, SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk gedung, Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung 1983, serta jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis perhitungan struktur. Kemudian dilakukan preliminary desain atau desain awal

yang di lanjutkan dengan desain tulangan dan analisis penampang berdasarkan SNI 03-2847-2013 dan *British Standard* 8110 -1-1997 untuk selanjutnya dibandingkan hasilnya. Hasil dari penelitian ini adalah pada perhitungan balok dengan dimensi dan beban yang sama didapatkan bahwa penulangan belok berdasarkan SNI 03-2847-2013 lebih ekonomis daripada berdasarkan *British Standard* 8110 -1-1997.

Prins dkk. (2017) melakukan penelitian tentang ‘Studi Komparasi Disain Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa pada 5 Kota di Indonesia’. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil perencanaan dimensi penampang beserta tulangan struktur bangunan beton bertulang yaitu elemen struktur balok, kolom dan pelat pada 5 kota di Indonesia yaitu Kota Pontianak, Kota Balikpapan, Kota Batam, Kota Yogyakarta dan Kota Palu. Adapun metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah yang pertamakali melakukan pengumpulan data perencanaan dan pendimensian awal struktur. Kemudian melakukan pemodelan 3D dengan bantuan program ETABS yang diikuti dengan pembebanan struktur yang meliputi beban tetap, beban tidak tetap, serta memasukkan beban gempa berupa grafik *respons spektrum*. Selanjutnya adalah menganalisis struktur dan didapatkan gaya-gaya yang kemudian melakukan desain tulangan dan analisis penampang. Hasil dari penelitian ini adalah berupa desain akhir tulangan balok dan kolom, desain tulangan lentur pada balok B12 (arah memanjang) dapat dilihat pada Tabel 2.1 sedangkan untuk tulangan gesernya dapat dilihat pada Tabel 2.2. Desain tulangan lentur pada balok B43 (arah melintang) dapat dilihat pada Tabel 2.3, sedangkan untuk tulangan gesernya dapat dilihat pada Tabel 2.4. Untuk hasil desain tulangan lentur pada kolom K15 dapat dilihat pada Tabel 2.5, dengan tulangan gesernya dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 1 Rekapitulasi penulangan lentur balok B12 (arah memanjang) (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Pontianak	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
2	Balikpapan	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
3	Batam	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
4	Yogyakarta	250 x 350	5D19	3D19	2D19	3D19
5	Palu	250 x 400	5D19	3D19	2D19	3D19

Tabel 2. 2 Rekapitulasi penulangan geser balok B12 (arah memanjang) (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	250 x 350	2P10	70	2P10	140
2	Balikpapan	250 x 350	2P10	70	2P10	140
3	Batam	250 x 350	2P10	70	2P10	140
4	Yogyakarta	250 x 350	2P10	65	2P10	140
5	Palu	250 x 400	2P10	70	2P10	170

Tabel 2. 3 Rekapitulasi penulangan lentur balok B43 (arah melintang) (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Pontianak	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
2	Balikpapan	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
3	Batam	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
4	Yogyakarta	250 x 450	7D19	4D19	2D19	3D19
5	Palu	300 x 500	8D19	4D19	2D19	3D19

Tabel 2. 4 Rekapitulasi penulangan geser balok B43 (arah melintang) (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	250 x 400	2P10	55	2P10	170
2	Balikpapan	250 x 400	2P10	55	2P10	170
3	Batam	250 x 400	2P10	55	2P10	170
4	Yogyakarta	250 x 450	2P10	55	2P10	170
5	Palu	300 x 500	2P10	50	2P10	200

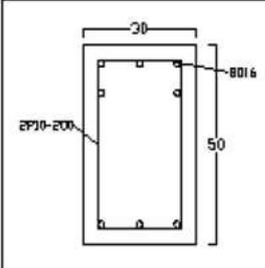
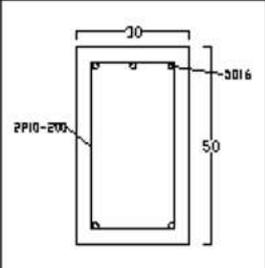
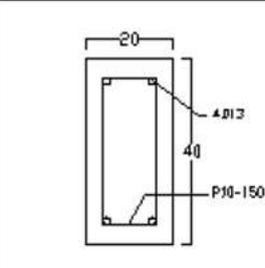
Tabel 2. 5 Rekapitulasi penulangan lentur kolom K15 (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Tulangan Lentur	
		Dimensi	n
1	Pontianak	650 x 650	14D21
2	Balikpapan	650 x 650	14D21
3	Batam	650 x 650	14D21
4	Yogyakarta	750 x 750	18D21
5	Palu	800 x 800	20D21

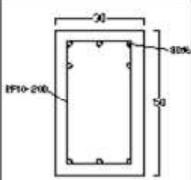
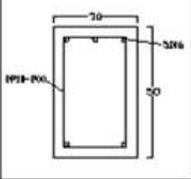
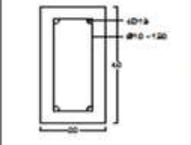
Tabel 2. 6 Rekapitulasi penulangan geser kolom K15 (Dapas dkk., 2017)

No	Lokasi	Sepanjang l_o		Diluar l_o	
		Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	2P10	120	2P10	160
2	Balikpapan	2P10	120	2P10	160
3	Batam	2P10	120	2P10	160
4	Yogyakarta	2P10	120	2P10	160
5	Palu	2P10	120	2P10	160

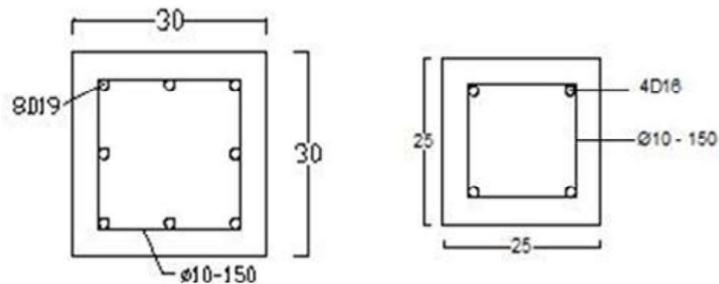
Saruni dkk. (2017) melakukan penelitian tentang “Evaluasi dan Analisis Perkuatan Bangunan yang Bertambah Jumlah Tiangnya”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil evaluasi struktur akibat rencana penambahan tingkat bangunan dan sebagai rekomendasi perencanaan perkuatan pada elemen-elemen struktur eksisting yang dibutuhkan perkuatan. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan kajian literature disertai dengan pengumpulan data-data perencanaan. Kemudian dilakukan pemodelan struktur awal berupa model struktur dengan penambahan tingkat dan model struktur pada kondisi eksisting. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan ETABS dan dapat dilihat hasil evaluasi momen dan geser yang terjadi bisa diketahui elemen mana yang dibutuhkan perkuatan. Kemudian dilakukan Analisa perkuatan struktur dan dilakukan pemodelan. Selanjutnya melakukan evaluasi kemabali struktur yang telah diberi perkuatan. Adapun hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah detail penulangan balok kondisi eksisting dapat dilihat pada Gambar 2.1 Dengan kondisi setelah diperkuat pada Gambar 2.2. Sedangkan detail penulangan kolom kondisi eksisting dapat dilihat pada Gambar 2.3 dengan kondisi setelah diperkat pada Gambar 2.4.

		
Dimensi : 30x50	Dimensi : 30x50	Dimensi : 20x40
Daerah : Tumpuan	Daerah : Lapangan	Daerah : Tumpuan dan Lapangan
Tul.memanjang : 8D16	Tul.memanjang : 5D16	Tul.memanjang : 4D13
Tul.sengkang : 2P10-200	Tul.sengkang : 2P10-200	Tul.sengkang : P10-150

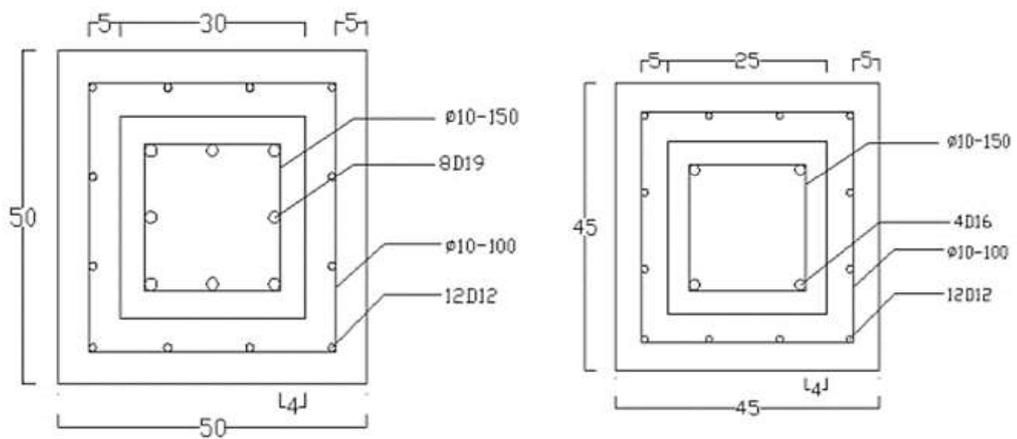
Gambar 2. 1 Detail Elemen Struktur Awal Balok (Saruni dkk., 2017).

Balok	Balok dengan Mu paling besar	Mu (KNm)	ϕM_n (KNm)	Balok dengan Vu paling besar	Vu (KN)	ϕV_n (KN)	Perkuatan
	B19, B20	167.468	207.132	B14, B15	120.55	146.987	-
	B14, B15	75.89	169.343	B19, B20	129.408	146.987	-
	B35, B36 (Tumpuan)	63.704	71.729	B35, B36 (Lapangan)	67.991	76.154	-

Gambar 2. 2 Detail Elemen Struktur Akhir Balok (Saruni dkk., 2017).



Gambar 2. 3 Detail elemen struktur awal kolom (Saruni dkk., 2017).



Gambar 2. 4 Detail elemen struktur akhir kolom (Saruni dkk., 2017).

2.2. Dasar Teori

Dasar teori dan peraturan yang dipakai dalam penelitian ini mengacu pada beberapa buku, jurnal-jurnal terkait, dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

2.2.1. Pembebanan

Merencanakan sebuah struktur tentunya harus kuat terhadap beban-beban yang bekerja pada sebuah struktur yaitu berupa beban statis yang meliputi beban mati beban hidup dan beban juajan. Sedangkan beban dinamis merupakan beban yang bergerak dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis terjadi dari beban gempa dan beban angina. Beban-beban yang digunakan berpedoman pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987) dan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain yaitu sebagai berikut :

a. Beban Mati

Menurut BSN (2013a), beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk lantai, plafon, dinding, atap, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Kemudian harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya dalam penentuan beban mati untuk perancangan, dan jika tidak ada informasi yang jelas mengenai hal tersebut, nilai yang digunakan yaitu nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Dalam tugas akhir ini besaran beban mati yang digunakan masih bersumber dari peraturan lama yaitu BSN (1998). Beban mati yang digunakan antara lain:

1. Beton	= 22	kN/m ³
2. Berat beton bertulang	= 24	kN/m ³
3. Baja	= 78	kN/m ³
4. Berat pasir	= 18	kN/m ³
5. Berat spesi (per cm tebal)	= 21	kN/m ³
6. Berat keramik (per cm tebal)	= 24	kN/m ³
7. Berat langit-langit	= 0,11	kN/m ³
8. Penggantung langit-langit	= 0,07	kN/m ³
9. Waterproofing	= 22	kN/m ³

b. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang berasal dari penggunaan bangunan gedung seperti aktivitas manusia, kendaraan, maupun barang-barang yang dapat berpindah-pindah selama masa operasional bangunan. Menurut BSN (2013a), beban hidup merupakan beban yang ditimbulkan oleh penghuni dan pengguna bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban lingkungan dan beban konstruksi seperti beban gempa, beban banjir, beban hujan, beban angin dan beban mati. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan struktur gedung dan struktur lain merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, namun tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam BSN (2013a).

Pada tugas akhir ini besaran beban hidup yang digunakan dalam perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2. 7 Beban hidup minimum (BSN, 2013a)

Penggunaan	Beban (kN/m ²)
Ruang pribadi dan koridor	1,92
Ruang publik dan koridor	4,79
Garasi/parkir	1,92
Ruang makan dan restoran	4,79
Ruang pertemuan (kursi dapat dipindahkan)	4,79
Tangga dan jalan keluar	4,79
Atap datar, berbubung dan lengkung	0,96

c. Beban Angin

Beban angin adalah beban horizontal yang terjadi akibat gaya luar yang harus di sertakan dalam merancang suatu struktur karena pada beberapa tempat tertentu tekanan angin yang besar bisa merubuhkan suatu struktur. Berdasarkan SNI 1727:2012 langkah untuk mendapatkan beban angin adalah

- 1) tentukan parameter yang sesuai dengan keadaan struktur dan lingkungan sekitarnya seperti
 - a) kecepatan angin pada daerah tersebut

- b) pilih pada tabel 2.8 faktor arah angin (k_d) sesuai tipe struktur
- c) tentukan eksposur yang sesuai, dari muai eksposur B, C dan D. Dimana B adalah daerah perkotaan, hutan atau banyak penghalang, untuk C adalah dataran terbuka atau padang rumput dan untuk D adalah untuk daerah angin yang sangat besar atau untuk bangunan yang sangat tinggi.
- d) Tentukan faktor topografi
- e) Tentukan faktor efek tiupan angin (G) dalam faktor ini di tentukan nilainya adalah 0,85
- f) Tentukan klasifikasi ketertutupan dari bangunan
- g) Tentukan koefisien tekanan internal (G_{cpi}) pada tabel 2.9

Tabel 2. 8 Faktor arah angin (k_d) sesuai tipe struktur (BSN, 2013a)

Tipe Struktur	Faktor arah angin, k_d
Bangunan gedung	
Sistem penahan beban angin utama	0,85
Komponen dan kalding bangunan gedung	0,85
Atap lengkung	0,85
Cerobong asap, tangki dan struktur sama	
Segi empat	0,9
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 batang menara	
Segitiga, segiempat, segi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,85

Tabel 2. 9 Tabel koefisien tekanan internal (BSN, 2013a)

Klasifikasi ketertutupan	(G_{cpi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedug tertutup sebagian	0,55
	-0,55
Bangunan gedung tertutup	0,18
	-0,18

- 2) tentukan koefisien eksposur tekanan velositas (k_z) seperti yang tercantum pada pasal 27.3.1.

$$kz = 2,01 \times \left(\frac{z}{zg}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

kz = koefisien eksposur tekanan

z = tinggi dari elevasi tanah

zg = tinggi batas atmosfer di dapatkan dari tabel 2.10

α = eksponen kecepatan angin di dapatkan dari tabel 2.10

Tabel 2. 10 Konstanta eksposur (BSN, 2013a)

Eksposur	α	Z_g (ft)	\hat{a}	\hat{b}	\bar{a}	\bar{b}	c	$\ell_{(ft)}$	\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

3) tentukan tekanan velositas (q) seperti yang tercantum pada pasal 27.3.2.

$$q = 0,613 \times kz \times kzt \times kd \times V^2 \quad (2.2)$$

Keterangan :

q = tekanan velositas angin

kz = koefisien eksposur tekanan

kzt = faktor sekitar lingkungan

kd = faktor untuk arah pada angin

V = kecepatan angin

4) tentukan tekanan angin sesuai struktur seperti pada gambar 2.5

Dengan menggunakan persamaan seperti pada pasal 27.4.1.

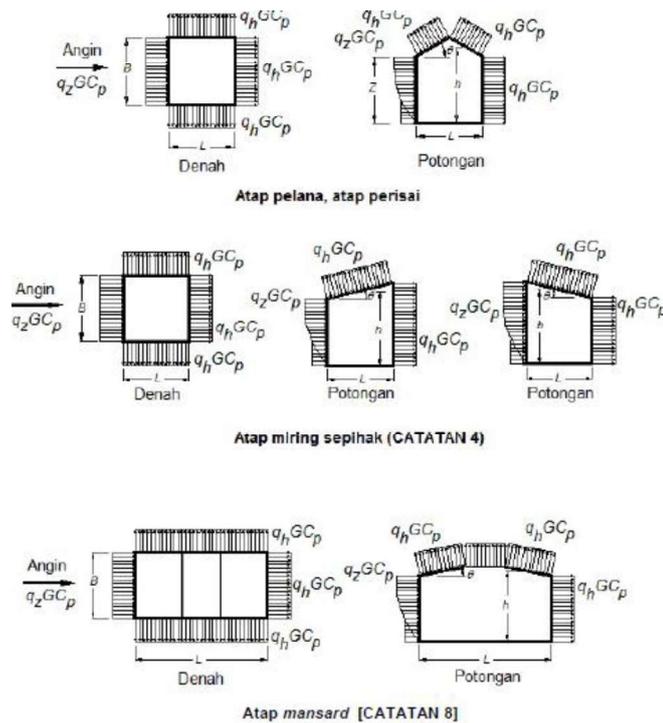
$$P = q \times G \times cp \quad (2.3)$$

Keterangan :

P = teknan angin

q = tekanan velositas angin

cp = koefisien tekanan internal seperti terdapat pada tabel 2.11



Gambar 2. 5 Arah angin pada dinding dan atap (BSN, 2013a).

Tabel 2. 11 Koefisien tekanan internal (BSN, 2013a)

Koefisien tekanan 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	-0,7	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,2	q_h

d. Beban tanah dan tekanan hidrostatik

Menurut BSN (2013), tekanan lateral tanah yang bekerja pada struktur pada bagian samping tanah harus diperhatikan pada saat perancangan.. Jika beban tanah dalam laporan penyelidikan tanah yang disetujui oleh pihak yang berwenang tidak ada maka beban tanah yang diberikan pada Tabel 2.12 harus dipakai sebagai beban lateral minimum.

Tabel 2. 12 Beban tanah lateral rencana (BSN, 2013a)

No	Uraian material timbunan	Klasifikasi jenis tanah	Beban tanah lateral rencana (kN/m ²)
1	Lempung organik dan lempung lanau	OH	<i>d</i>
2	Lempung inorganik plastisitas tinggi	CH	<i>d</i>
3	Lanau lempung inorganik, lanau elastik	MH	<i>d</i>
4	Lanau organik dan lanau lempung plastisitas rendah	OL	<i>d</i>
5	Lempung inorganik dari plastisitas sedang-rendah	CL	15,710
6	Campuran lanau inorganik dan lempung	ML-CL	13,350
7	Lanau inorganik dan lanau lempung	ML	13,350
8	Pasir berlempung campuran pasir berlempung bergradasi baik	SC	13,350
9	Campuran lempung lanau pasir dengan plastik halus	SM-SC	13,350
10	Pasir berlanau, campuran lanau pasir bergradasi buruk	SM	7,070
11	Pasir bersih bergradasi buruk campuran pasir kerikil	SP	5,500
12	Bergradasi baik, pasir bersih, campuran pasir kerikil	SW	5,500
13	Kerikil mengandung lempung, campuran lempung dengan kerikil gradasi buruk	GC	7,070
14	Kerikil mengandung lanau campuran pasir-kerikil gradasi buruk	GM	5,500
15	Kerikil bersih bergradasi buruk campuran pasir kerikil	GP	5,500
16	Bergradasi baik, kerikil bersih	GW	5,500

e. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonika atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut. Struktur harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertical lengkap dengan kekuatan yang cukup untuk menahan gaya gempa desain yang ditetapkan. Beban gempa yang diterapkan bias berupa beban gempa *static ekuivalen*, *time history* dan *respon spectrum*.

2.2.2. Analisis Gempa berdasarkan SNI-1726-2012

a. Gempa Rencana

Peraturan yang menunjukkan hubungan gempa rencana yang digunakan dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara luas. Perencanaan gempa ditentukan berupa gempa dengan persentase terlampaui selama struktur bangunan berumur 50 tahun yaitu sebesar 2 persen.

b. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan jenis kategori resiko strukturgedung dan lainnya akibat gempa rencana terhadapnya perlu dikalikan terhadap faktor keutamaan I_e . Struktur bangunan yang masuk dalam kategori resiko II, jika sewaktu-waktu diperlukan akses yang digunakan untuk keperluan dari struktur bangunan yang disampingnya, maka struktur bangunan yang berada disampingnya tersebut perlu direncanakan sesuai dengan kategori resiko II.

Tabel 2. 13 Faktor Keutamaan Gempa (BSN, 2012)

Kategori Risiko	Faktor Keamanan Gempa I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Tabel 2. 14 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalann termasuk, tapi tidak dibatasi utuk antara lain</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan konstruksi kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lainnya , kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan, rumah roko dan rumah kantor - Pasar gedung dan perkantoran - Gedung apartemen dan rumah susun - Pusat perbenlajaan/ mall - Bangunan industry, fasilitas manufaktur, pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia ketika mengalami kegagalan, seperti :</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 yang tidak tergolong kedalam kategori risiko IV, yang memiliki pengaruh terhadap ekonomi yang besar dan/atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari hari jika terjadi kegagalan , seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pusat pembangkit listrik biasa, - fasilitas penangan air, - fasilitas penanganan limbah, - pusat telekomunikasi 	
<p>Gedung dan non gedung yang bukan tergolong kedalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracun atau bahan peledak yang dapat memicu bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> <p>Gedung dan non gedung yang difungsikan sebagai fasilitas yang penting, seperti :</p>	IV

Tabel 2. 15 (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> - bangunan monumental, - gedung pendidikan, - bangunan yang memiliki bedah dan unut gawar darurat (rumah sakit), - fasilitas pemadam kebakaran, kantor polisi serta garasi kendaraan darurat, tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, - badai dan tempat perlindungan darurat lainnya. - fasilitas kesiapam darurat komunikasi pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat, - pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya, - sytuktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saatkeadaaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yag dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risikoIV.</p>	

c. Simpangan (*Drift*) akibat gaya gempa

Simpangan (drift) merupakan perpindahan antar dua lantai yang berdekatan atau perpindahan secara horizontal yang terjadi di tiap tingkat bangunan.

d. Penentuan simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 03-17-2012 (BSN,2012) simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat masa. Simpangan merupakan perpindahan (translasi) dari suatu titik akibat adanya gaya tang bekerja pada sebuah struktur. Besarnya simpangan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.1)$$

Dengan :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada titik yang di syaratkan akibat gaya gempa desain

I_e = Faktor keutamaan gempa

e. Koefisien modifikasi *respon*

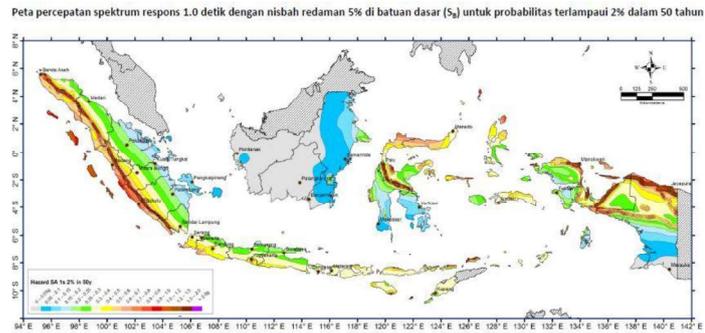
Nilai koefisien modifikasi *respon* (R) dan koefisien kuat lebih *system* (C_d) dari *system* penahan gaya gempa yang berbeda diperbolehkan jika digunakan, untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah ke dua sumbu orthogonal. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam peraturan gempa SNI 1726 2012. Nilai (R) dan (C_d) diperoleh dari Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Faktor R , C_d , dan Ω

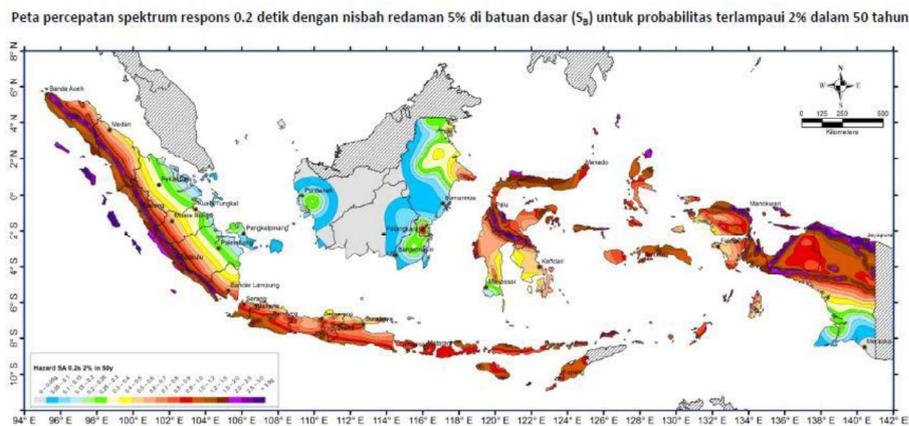
No	Sistem Penahan Gaya Seismik Sistem rangka pemikul momen	R^a	Ω_0^g	C_d
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5
9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5
10.	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5
11.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5
12.	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5

f. Peta Zona Gempa Indonesia

Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) ditentukan berdasarkan *respon* spectral percepatan dalam peta persepatan *seismic* dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun menurut.



Gambar 2. 6 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1)
(Pusat studi gempa nasional, 2017).



Gambar 2. 7 Peta percepatan batuan dasar priode 0,2 (S_2)
(Pusat studi gempa nasional 2017).

g. Klasifikasi Situs

Kadaan lapisan sutau tanah dapat digolongkan menjad beberapa kelas situs, kelas situs berfungsi untuk memberiakan kriteria desain *seismic* berupa factor amplifikasi pada bangunan. Proses penentuan klasifikasi berdasarkan data tanah pada kedalaman hingga 30 m, karena menurut pnelitian lapisan-lapisan tanah sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa. Sedangkan penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726-2012 dalam amplifikasi perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus di klasifikasikan terlebih dahulu sesuai pada table kelas situs, berdasar profil tanah lapisan 30 m paling atas.

h. Bahaya (*hazard*) geologi dan investigasi geoteknik

- a. Ketentuan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik C hingga F

Laporan investigasi geoteknik yang sesuai dengan pasal ini, harus dipersiapkan untuk struktur dengan kategori desain seismik C hingga F. Suatu investigasi harus dilakukan dan laporan yang meliputi evaluasi potensi bahaya geologis dan seismik seperti di bawah ini harus dimasukkan:

1. Ketidakstabilan lereng;
2. Likuifaksi;
3. Penurunan total dan beda penurunan;
4. Perpindahan permukaan akibat patahan atau serakan lateral (*lateral spread*) atau aliran lateral (*lateral flow*) akibat getaran seismik.

Laporan harus berisi rekomendasi untuk desain fondasi atau langkah-langkah penanggulangan lainnya untuk mitigasi bahaya yang dijelaskan di atas.

- b. Persyaratan tambahan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik D hingga F

1. Penentuan tekanan lateral tanah seismik dinamik pada dinding besmen dan dinding penahan akibat gerak tanah gempa rencana;
2. Potensi likuifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_G). Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan (1) studi spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, atau (2) percepatan tanah puncak PGA_M .

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.2)$$

Dengan :

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

PGA = percepatan tanah puncak

F_{PGA} = koefisien situs.

Tabel 2. 17 Koefisien Situs F_{PGA} (BSN,2012)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Catatan : Gunakan interpolasi *linear* untuk mendapatkan nilai PGA antara.

2.2.3. Wilayah Gempa dan *Respons spektrum*

a. Parameter percepatan terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari *respons spektrum* percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan.

b. Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE Dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF

c. Koefisien-koefisien

Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter *respons* spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER). Untuk penentuan *respons spektrum* percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a). Dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum

respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) Yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = Fa \cdot S_s \quad (2.3)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_s = parameter *respons spektrum* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter *respons spektrum* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik. dan koefisien situs Fa dan F_v mengikuti Tabel 2.21 dan Tabel 2.18.

Tabel 2. 18 Koefisien Situs, Fa (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter <i>respons</i> spectral 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			SS^b		

Catatan :

Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan Interpolasi linier.

S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis *respons* situs-spesifik.

Tabel 2. 19 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter <i>respons</i> spectral 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	2,6	2,4
SF			SS^b		

Catatan:

Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan Interpolasi linier,

S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis *respons* situs-spesifik.

d. Parameter percepatan spektrum desain.

Parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.6)$$

e. Spektrum *Respons* Desain

Spektrum *respons* desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum *respons* desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.12 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum *respons* percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum *respons* percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.8)$$

Dengan :

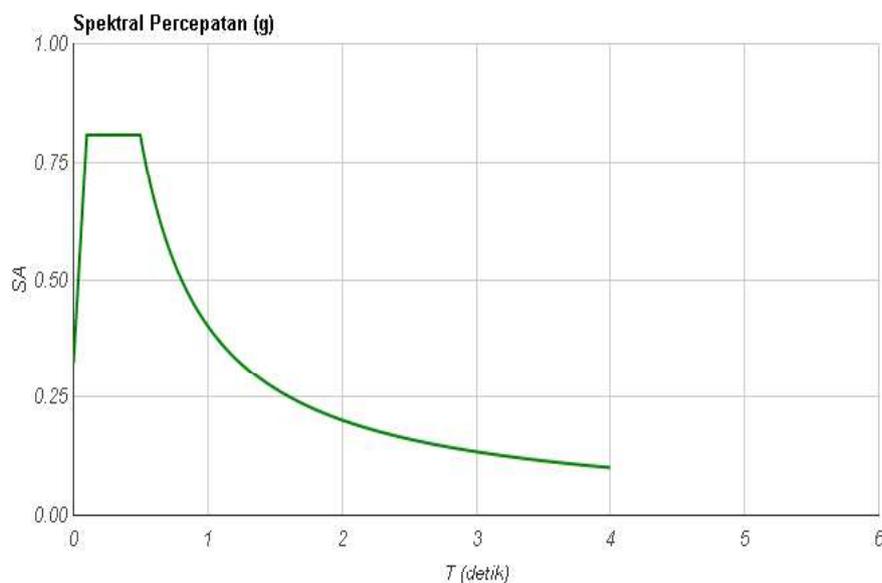
S_{DS} = parameter *respons* spektral percepatan desain pada periode pendek;

S_{D1} = parameter *respons* spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$



Gambar 2. 8 Spektrum *respons* desain (BSN, 2012).

2.2.4. Penentuan periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.20 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 2.11 Sebagai alternative pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai dengan 2.11.

2.2.5. Periode fundamental pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.11)$$

Keterangan :

T_a parameter percepatan *respons spektrum*, h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.24.

Tabel 2. 20 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (BSN, 2012)

Parameter percepatan <i>respons</i> spectral desain pada 1 detik, $SD1$	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2. 21 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (BSN, 2012)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupkan atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defelksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua <i>system</i> struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

2.2.6. Analisis Statik Ekuivalen

Geser Dasar Seismik, V

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan-persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.12)$$

Dimana:

- V : geser dasar seismik,
- C_s : koefisien *respons* seismik ,
- W : berat seismik efektif.

Koefisien *Respons* Seismik, C_s

Koefisien *respons* seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.13 Sedangkan nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 2.13 tidak perlu melebihi persamaan 2.14. Dan nilai C_s tidak boleh kurang dari persamaan 2.14.

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{T_e}\right)} \quad (2.13)$$

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{T_e}\right)} \quad (2.14)$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} \geq I_e 0,01 \quad (2.15)$$

Dengan :

S_{DS} : parameter percepatan spektrum *respons* desain dalam rentang periode pendek,

R : faktor modifikasi *respons*

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.12.

C_s : koefisien *respons* seismik.

1.2.7. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan penting dalam perencanaan sebuah struktur agar struktur mampu menahan setiap beban yang bekerja secara individu maupun secara serentak bersamaan. Untuk Kombinasi pembebanan yang digunakan harus sesuai aturan yang berlaku sebagai berikut:

a. Kuat Perlu

BSN (2013) bahwa kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor seperti pada Persamaan 2.16 hingga Persamaan 2.22 berikut:

$$U = 1,4D \quad (2.16)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (2.17)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.18)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (2.19)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (2.20)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (2.21)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (2.22)$$

kecuali sebagai berikut:

1. Faktor beban pada beban hidup L dalam Persamaan 3.21 sampai 3.20 diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan dengan L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$,
2. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1,6W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $1,0W$ dalam Persamaan 2.19 dan

2.21, dan $0,8W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0,5W$ dalam Persamaan 2.18.

b. Kuat Nominal

Kuat nominal adalah kemampuan komponen struktur dalam menerima beban yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai. Beberapa kuat nominal yang akan dipakai adalah sebagai berikut:

1. Untuk momen, kuat nominal berupa kuat lentur nominal (M_n),
2. Untuk gaya tekan, kuat nominal berupa kuat tekan nominal (P_n),
3. Untuk gaya geser, kuat nominal berupa kuat geser nominal (V_n),
4. Untuk gaya torsi, kuat nominal berupa kuat torsi nominal (T_n).

b. Kekuatan Desain

BSN (2013) menjelaskan bahwa kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari Standar ini (SNI 03-2847-2013), yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi kekuatan yang ditentukan adalah sebagai berikut :

Lentur	= 0,8
Aksial Tarik	= 0,9
Aksial Tekan- <i>Ties</i>	= 0,65
Aksial Tekan- <i>Spiral</i>	= 0,75
Geser	= 0,75

1.2.8. Perancangan Balok

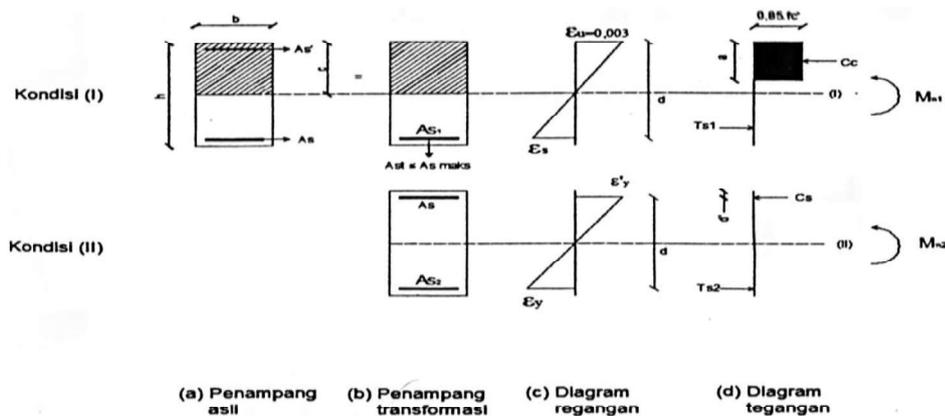
a. Lentur Balok

Perancangan balok bertujuan mengetahui dimensi balok beserta tulangnya. Dimensi balok biasanya sudah diasumsikan sebelumnya sehingga hanya diperlukan perhitungan kebutuhan tulangan. Pemberian tulangan dimaksudkan untuk memperkuat kelemahan beton pada balok, yaitu untuk menanggung beban tarik yang diterima beton saat terjadi gaya lentur karena kekuatan tarik beton tidak sebanding dengan kekuatan tekannya. Jumlah tulangan yang dipasang akan mempengaruhi kinerja balok bila beban yang

dikerjakan melebihi beban ultimitnya. Komposisi antara beton sebagai penahan tekan dan baja sebagai penahan tarik menghasilkan balok yang seimbang sehingga gaya-gaya eksternal dapat ditahan oleh balok. Ada tiga kemungkinan yang terjadi oleh kesetimbangan gaya-gaya internal antara bahan beton dan baja tulangan sebagai berikut:

1. *Underreinforced design*, merupakan suatu kondisi yang penampang balok betonnya memiliki tulangan tarik dengan jumlah lebih sedikit dari yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan seimbang,
2. *Balanced*, merupakan kondisi yang ideal yaitu baja tarik meleleh bersamaan dengan rusaknya beton. Kondisi ini sangat kecil kemungkinannya terjadi,
3. *Overreinforced design*, merupakan kondisi jumlah tulangan berlebihan yang menjadikan beton tekan akan rusak lebih dahulu dan bersifat getas menyebabkan beton mendadak hancur.

Balok dapat dirancang menggunakan dua kondisi, yaitu menggunakan tulangan tunggal maupun tulangan rangkap. Saat melakukan perancangan, balok dibuat menggunakan tulangan tunggal dan bila terdapat kekurangan kemampuan untuk menahan beban yang diterima balok, maka balok dapat dibuat menggunakan tulangan rangkap. Penggunaan tulangan rangkap sebenarnya tidak meningkatkan kekuatan yang signifikan terhadap kemampuan balok, namun pada pelaksanaan, penggunaan tulangan rangkap sangat diperlukan karena tulangan diperlukan untuk mengaitkan tulangan sengkang. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perancangan balok tunggal maupun rangkap sebagai berikut:



Gambar 2. 9 Penampang balok dan diagram tegangan-regangan tulangan rangkap.

Pada kondisi (I)

$$T_S = C_C \quad (2.23)$$

$$A_{S1} < 0,75 A_{Sb} \quad (2.24)$$

$$A_{S1} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \quad (2.25)$$

$$a = \frac{A_{S1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \quad (2.26)$$

$$M_{n1} = T_S \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.27)$$

$$M_{n1} = A_{S1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{S1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \right) \quad (2.28)$$

Pada kondisi (II)

Selisih momen :

$$M_{n2} = T_{s2} \cdot (d - d') \quad (2.29)$$

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1} \quad (2.30)$$

$$f_{s2} = f_y \quad (2.31)$$

$$M_{n2} = A_{S2} \cdot f_{s2} \cdot (d - d') \quad (2.32)$$

$$A_{S'} = A_{S2} = \frac{M_{n2}}{f_{s2} (d - d')} \quad (2.33)$$

Sehingga diperoleh:

$$\text{Tulangan tarik : } A_S = A_{S1} + A_{S2} \quad (2.34)$$

Tulangan tekan : $A_{S'}$

BSN (2013) menjelaskan adanya tambahan bahwa persyaratan komponen struktur penahan lentur (balok) sesuai dengan persamaan 2.35 berikut:

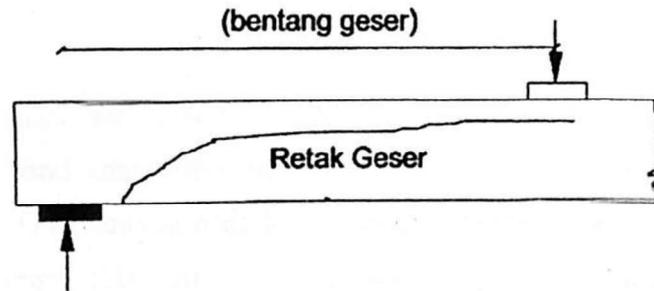
$$A_{S \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \quad (2.35)$$

Namun, nilai $A_{S \min}$ tidak kurang dari $1,4 b_w d / f_y$.

b. Geser pada Balok

Balok dapat rusak oleh beban geser selain kerusakan akibat lentur. Jenis kerusakan geser berkaitan dengan perbandingan antara bentang dan tinggi balok (L/d), atau bisa pula bergantung pada nilai banding antara jarak tumpuan ke beban terpusat dan tinggi balok (a/d). Untuk balok di atas tumpuan sederhana kerusakan geser lentur diawali dengan retak di tengah bentang (pada momen maksimum) kemudian retak itu menyebar ke tumpuan. Bila kekuatan geser terlampaui maka

akan terjadi pembesaran retak di salah satu ujung balok yang kemudian menjalar menuju ke arah beban luarnya. Rusak geser lentur selalu diawali dari sisi tarik balok, karena di tempat ini kemampuan balok menahan geser diperlemah oleh adanya tarik akibat lentur. Untuk geser lentur dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2. 10 Tipikal Kerusakan Geser Lentur.

c. Perencanaan Geser Lentur Balok

Menurut BSN (2013b) dasar perhitungan tulangan geser balok adalah seperti Persamaan 2.36 berikut:

$$V_u \leq \phi V_n ; \phi = 0,75 \quad (2.36)$$

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dengan Persamaan 2.37 berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.37)$$

Dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser. Pada perancangan, yang dihitung adalah jumlah tulangan geser yang diperlukan sehingga yang dicari adalah V_s . BSN (2013b) menjelaskan kuat geser V_s tidak boleh melebihi kuat geser maksimum $V_{s maks}$, yang dirumuskan pada Persamaan 2.38 berikut:

$$V_{s maks} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d \quad (2.38)$$

Menurut BSN (2013b) untuk komponen struktur non prategang yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku:

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} . b . d \quad (2.39)$$

dengan $\lambda = 1$ untuk penggunaan beton normal sesuai Pasal 8.6.1.

Kekuatan geser sengkang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.40 hingga Persamaan 2.42 berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (2.40)$$

$$s_{perlu} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (2.41)$$

$$V_r = \phi (V_s + V_c) \quad (2.42)$$

dengan:

V_u	=	gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau
V_r	=	kuat geser tereduksi
A_v	=	luas tulangan geser tegak lurus dengan tulangan lentur tarik
f_y	=	kuat leleh baja
d	=	jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan
s	=	jarak antar sengkang

Nilai A_v tergantung pada berapa banyak sengkang yang tegak lurus (kaki tulangan) dengan tulangan lentur dikalikan dengan luas tulangan (A_s).

V_u dapat dihitung pada posisi sejauh tinggi efektif (d) dari permukaan tumpuan BSN (2013b) menjelaskan apabila kemampuan beton menahan geser (V_c) melampaui gaya geser lentur rencana, maka perlu dirancang tulangan yang mampu menahan kelebihan gaya geser lentur tersebut. Tulangan itu dapat berupa:

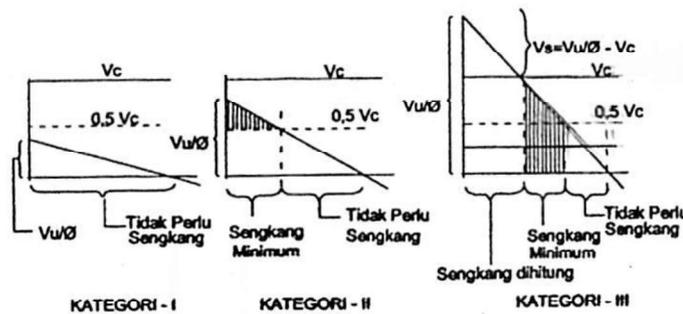
1. Tulangan serong/ miring, yaitu tulangan yang diletakkan pada daerah sekitar tumpuan (gaya geser maksimum) melintang arah retak geser lentur. Tulangan semacam ini hanya untuk balok di atas tumpuan yang hanya memikul beban gravitasi (beban mati dan beban hidup).
2. Tulangan sengkang/begel atau spiral, yaitu tulangan yang umumnya digunakan pada kolom dan balok bangunan gedung karena mampu memikul beban berganti, misalnya oleh gempa atau angin.
3. Jaring tulangan las (*wire mesh*), atau tulangan berupa balok diagonal yang dipasang tersembunyi di dalam balok lain, keduanya biasanya digunakan pada balok tinggi seperti balok perangkai dinding geser.

Diameter sengkang umumnya dibatasi < 12 mm, kecuali pada dinding geser yang diameternya bisa bervariasi sesuai kebutuhan dan justru > 12 mm. Tegangan leleh

baja juga dibatasi < 420 MPa, kecuali jaring tulangan las yang harus > 550 MPa. Gaya geser yang harus dipikul oleh sengkang harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Bila $V_s > 4 V_c$, maka dimensi balok diubah.
2. Bila $4V_c > V_s > 2V_c$, maka tulangan sengkang harus dihitung menggunakan persamaan (2.40) dan jarak antara sengkang (s) memenuhi syarat $s < 300$ mm, $s < d/4$.
 - 1) Bila $2V_c > V_s > V_c$, maka tulangan sengkang harus dihitung menggunakan persamaan (2.40) dan jarak antara sengkang (s) memenuhi syarat $s < 600$ mm, $s < d/2$.
3. Bila $V_c > V_s > 0,5V_c$, maka diperlukan luas tulangan sengkang minimum.
4. Bila $V_u/\phi < 0,5 V_c$, maka tidak diperlukan tulangan sengkang.

Secara grafik syarat tulangan geser tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 22 berikut ini.



Gambar 2. 11 Diagram gaya geser balok.

1.2.9. Perancangan Kolom

a. Prinsip Dasar Perencanaan Desain Kolom

Pada perencanaan kolom terdapat beberapa asumsi yang digunakan menurut BSN (2013) yaitu:

1. Distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (*linear*),
2. Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan,
3. Regangan tekan maksimal beton dibatasi pada kondisi ultimit $\epsilon_{cu}' = 0,003$,
4. Kekuatan tarik beton diabaikan,

5. Tegangan baja tulangan tarik maupun tekan (f_s maupun f_s') yang belum mencapai leleh ($< f_y$) dihitung sebesar modulus elastisitas baja tulangan (E_s) dikalikan dengan regangannya (ε_s maupun ε_s').
6. Menurut Pasal 10.9.1 SNI 03-2847-2013, luas total (A_{st}) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat seperti Persamaan 2.43 berikut:

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,08A_g \quad (2.43)$$

dengan::

A_{st} = luas total tulangan memanjang (mm^2)

A_g = luas bruto penampang kolom (mm^2)

7. Gaya tekan yang ditahan oleh beton sebesar:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B \quad (2.44)$$

Nilai $a = \beta_1 \cdot c$ dan nilai β_1 bergantung pada kualitas beton sesuai dengan persamaan berikut:

Jika $f_c' < 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

Jika $f_c' > 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85 - (f_c' - 30) \cdot 0,008$ dan $\beta_1 > 0,65$

Gaya pada tulangan bergantung pada nilai regangan (ε) yang diperoleh dengan persamaan berikut:

$\varepsilon' = 0,003(c - d')/c$ untuk baja di daerah tekan

$\varepsilon = 0,003(d - c)/c$ untuk baja di daerah tarik

dengan:

d' = penutup beton

d = selisih tinggi beton total dengan tinggi penutup beton

Gaya tarik baja (T_s) dapat dihitung dengan Persamaan 245 sebagai berikut:

$$T_s = A_s f_y \quad (2.45)$$

Bila $\varepsilon > \varepsilon_y$ dengan $\varepsilon_y = f_y/E_s$ dan $E_s = 200.000$ MPa

$$T_s = A_s f_s \quad (2.46)$$

Bila $\varepsilon < \varepsilon_y$ dengan $f_s = \varepsilon \cdot E_s$

Gaya tekan baja (C_s) dapat dihitung dengan Persamaan 2.47 sebagai berikut:

$$C_s = A_s' f_y \quad (2.47)$$

Bila $\varepsilon' > \varepsilon_y$ dengan $\varepsilon_y = f_y/E_s$ dan $E_s = 200.000$ MPa

$$C_t = A_s' f_s \quad (2.48)$$

Bila $\varepsilon' < \varepsilon_y$ dengan $f_s = \varepsilon' E_s$

Selanjutnya dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal, diperoleh gaya aksial sebagai berikut:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (2.49)$$

8. Untuk memperkirakan ukuran kolom diperlukan pengalaman, namun demikian perkiraan ukuran kolom itu dapat didekati dengan Persamaan 2.50 berikut:

$$A_g = \frac{P_n}{0,8f_c'} \quad (2.50)$$

9. Pada persamaan keseimbangan yang disebutkan di atas terlihat bahwa bila letak garis netral c dapat ditentukan maka regangan pada baja tekan dan tarik dapat dihitung sehingga gaya pada baja tarik dan tekan dapat dihitung, lebih jauh lagi nilai gaya aksial dan momen nominal yang dapat didukung (P_n, M_n) dapat ditentukan. Bila nilai c diubah-ubah, maka akan didapatkan nilai momen dan gaya aksial nominal sesuai nilai c yang diambil. Bila nilai tersebut digambarkan dalam sumbu Cartesian maka didapat diagram interaksi kolom.

b. Tinjauan Kolom Biaksial

Menurut ACI 318-2000 analisis kolom biaksial untuk kolom tampang persegi empat, kolom dianggap aman bila memenuhi syarat berikut:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right) + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right) \leq 1 \quad (2.51)$$

Menurut Bresler, kolom dianggap aman bila memenuhi syarat berikut:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^a + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^a \leq 1 \quad (2.52)$$

Menurut Bresler untuk mendapatkan koefisien a , mengaitkannya dengan gaya aksial yang terjadi dan aksial ultimit konsentrik. Tetapi Bresler menyarankan untuk kolom tampang bujur sangkar dapat diambil $a = 1,5$ sampai 2,0 dan untuk tampang empat persegi empat dapat diambil $a = 1,5$

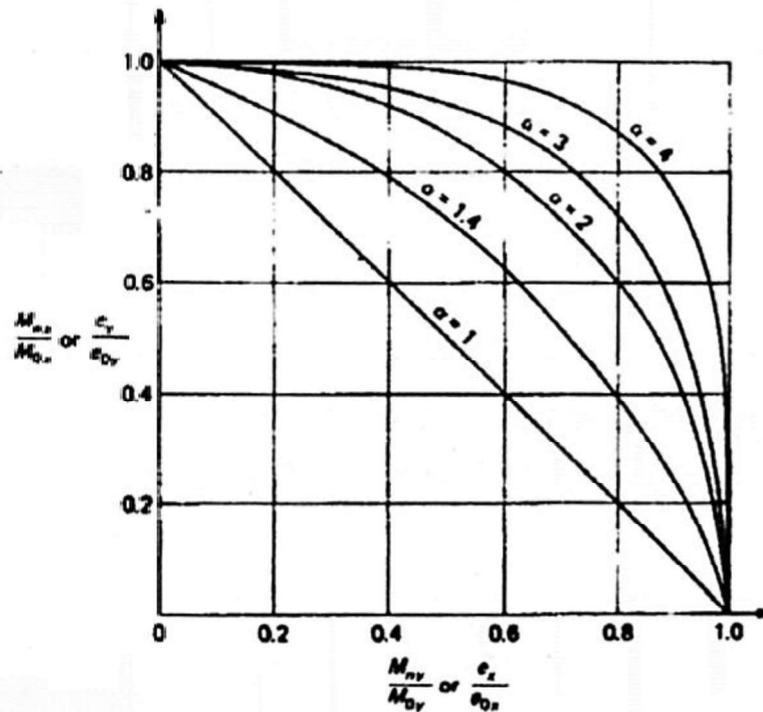
Tabel 2. 22 Koefisien a

P_u/P_o	a
$\leq 0,20$	1,00
0,40	1,33
0,60	1,67
$\geq 0,80$	2,00

dengan:

P_u = beban nominal terfaktor

P_o = beban nominal ultimit konsentrik

Gambar 2. 12 Grafik Nilai a .

2. Kuat Geser Kolom

Menurut BSN (2013b) desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada Persamaan 2.53 berikut:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (2.53)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan Persamaan 2.54 berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.54)$$

dengan V_c adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton.

BSN (2013) Menjelaskan bahwa untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial, V_c dihitung dengan Persamaan 2.55 berikut.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (2.55)$$

Dengan N_u/A_g dalam MPa dan sesuai Pasal 8.6.1, untuk beton normal, $\lambda = 1,0$.

BSN (2013) Menjelaskan bahwa kekuatan geser sengkang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.56 berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.56)$$

Menurut BSN (2013) pasal 11.4.7.9, V_s tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2.57 berikut :

$$0,66 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.57)$$

dengan:

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_r = kuat geser tereduksi

A_v = luas tulangan geser tegak lurus dengan tulangan lentur tarik

f_y = kuat leleh baja

d = jarak dari serat terluar beton tekan ke titik berat tulangan

s = jarak antar sengkang