

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Desain struktur merupakan salah satu bagian dalam perencanaan bangunan. Dalam pelaksanaannya faktor sains dan seni yang mendasari. Pertama faktor sains/ilmu dalam *design* struktur memiliki pedoman dan peraturan *design* dimana pedoman tersebut dipergunakan agar bangunan yang direncanakan layak pakai untuk manusia. Yang ke dua unsur seni, dalam desain bangunan kita harus memperhatikan keindahan bangunan untuk mengkolaborasikan bangunan yang baru dengan lingkungan sekitar.

Dalam perencanaan tugas akhir ini, penulis mencoba desain Gedung Dekanat Fakultas Ekonomi Universitas Cenderawasih dengan pemilihan material menggunakan material beton bertulang. Karakteristik umum beton yaitu material yang memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah. Oleh karena itu dipergunakan baja tulangan yang memiliki karakteristik umum memiliki kuat tarik yang tinggi. Sehingga kedua material dipadukan dan menjadi material beton bertulang.

Alasan di gunakan material beton bertulang dikarenakan :

1. Material beton bertulang lebih tahan api dan air.
2. Dari segi bahan mudah didapatkan.
3. Lebih efisien dan ekonomis.
4. Material ini dapat dibuat berbagai macam bentuk.
5. Dari segi pekerja/buruh membutuhkan keahlian yang rendah dibandingkan dengan material lainnya seperti baja.

Dari berbagai macam kelebihan, beton juga memiliki kekurangan diantaranya :

1. Beton memiliki kuat tarik yang rendah.
2. Beton memerlukan bekisting untuk membuat bentuk yang diinginkan.

3. Beton memerlukan penopang sementara selama proses konstruksi.
4. Sifat-sifat beton sangat bervariasi sehingga membuat banyaknya proporsi campuran beton.
5. Stabilitas volume yang sangat rendah.
6. Rendahnya kekuatan beton per satuan berat sehingga mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Hal ini akan sangat berpengaruh pada bentang panjang balok yang akan memiliki beban mati yang besar yang diakibatkan berat sendiri balok.

2.2 Perencanaan

Tujuan utama dari struktur adalah memberikan kekuatan pada suatu bangunan. Struktur bangunan dipengaruhi oleh beban mati (*dead load*) berupa berat sendiri, beban hidup (*live load*) berupa beban akibat penggunaan ruangan dan beban khusus seperti penurunan pondasi, tekanan tanah atau air, pengaruh temperatur dan beban akibat gempa.

Suatu beban yang bertambah dan berkurang menurut waktu secara berkala disebut beban bergoyang, beban ini sangat berbahaya apabila periode penggoyangannya berimpit dengan periode struktur dan apabila beban ini diterapkan pada struktur selama kurun waktu yang cukup lama, dapat menimbulkan lendutan. Lendutan yang melampaui batas yang direncanakan dapat merusak struktur bangunan tersebut.

Ada empat poin yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan sebagai berikut :

1. Estetika

Merupakan dasar keindahan dan keserasian bangunan yang mampu memberikan rasa bangga kepada pemiliknya.

2. Fungsional

Disesuaikan dengan pemanfaatan dan penggunaannya sehingga dalam pemakaiannya dapat memberikan kenikmatan dan kenyamanan.

3. Struktural

Mempunyai struktur yang kuat dan mantap yang dapat memberikan rasa aman untuk tinggal di dalamnya.

4. Ekonomis

Pendimensian elemen bangunan yang proposional dan penggunaan bahan bangunan yang memadai sehingga bangunan awet dan mempunyai umur pakai yang panjang.

Beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam perancangan dan analisis bangunan bertingkat sebagai berikut :

1. Tahap Arsitektural

Penggambaran denah semua lantai tingkat, potongan, tampak, perspektif, detail, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan Bestek (Rencana Kerja dan Syarat/RKS).

2. Tahap Struktural

Menghitung beban-beban yang bekerja, merencanakan denah portal untuk menentukan letak kolom dan balok utamanya, analisa mekanika untuk pendimensian elemen struktur.

3. Tahap Finishing

Memberikan sentuhan akhir untuk keindahan dan melengkapi gedung dengan segala fasilitas alat-alat mekanikal elektrik, sebagai pelayanan kepada penghuninya.

2.3 Pembebanan

Dalam perencanaan suatu struktur, pembeban merupakan hal yang penting untuk diperhatikan karena dalam perencanaan dimensi tiap-tiap struktur sangat tergantung dari beban-beban yang bekerja. Sistem struktur ini dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain ialah panjang bentang, besarnya beban, dan fungsi bangunan tersebut. Pembebanan dilakukan dengan cara konvensional yang artinya pada waktu pelimpahan beban, beban pelat dilimpahkan ke balok yang diteruskan ke kolom dan dari kolom diteruskan ke pondasi.

Beban pada struktur tidak dapat diabaikan dalam perancangan struktur. Seorang desainer struktur harus mengetahui masing-masing karakteristik beban tersebut. Dalam merancang struktur pada dasarnya mengacu pada keadaan batas atau ultimit

Ketentuan mengenai perencanaan didasarkan pada asumsi bahwa struktur direncanakan untuk memikul semua beban kerjanya. Beban kerja diambil berdasarkan SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Dalam perencanaan terhadap beban gempa, seluruh bagian struktur yang membentuk kesatuan harus memenuhi SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Dalam perencanaan struktur bangunan, diharapkan struktur dapat menahan beban yang diterima sehingga memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk memberikan stabilitas struktural, melindungi komponen nonstruktural dan sistem. Pembebanan struktur terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa.

Struktur gedung direncanakan kekuatannya terhadap :

1. Beban Mati (*Dead Load, D*).
2. Beban Hidup (*Live Load, L*).
3. Beban Gempa (*Earthquake Load, E*).

Untuk keadaan tertentu beban mati dan beban hidup dapat dikalikan suatu koefisien reduksi. Pengurangan beban-beban tersebut harus dilakukan apabila hal itu menghasilkan keadaan yang lebih berbahaya untuk struktur atau unsur struktur yang ditinjau.

2.3.1 Beban Mati (Dead Load, D)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural

dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur gedung ini terdiri dari beban mati sendiri elemen struktur yang terdiri dari pelat lantai, balok, kolom dan tangga serta untuk beban mati tambahan meliputi dinding, keramik, dll.

Berdasarkan SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, pasal 3.1.2 Berat bahan dan konstruksi. Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya.

2.3.1.1 Berat Sendiri

Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau dalam menentukan beban mati dari suatu gedung, bisa dilihat di tabel 1 pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987.

Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

2.3.1.2 Reduksi Beban Mati

Apabila beban mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap pengerahan kekuatan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka beban mati harus diambil menurut tabel 2.1 dengan mengalikannya dengan koefisien reduksi 0,9.

2.3.2 Beban Hidup (Live Load, L)

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan

dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Beban hidup yang diperhitungkan adalah beban hidup selama masa layan. Beban hidup yang direncanakan dengan mengikuti peraturan SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

2.3.2.1 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut tabel 2.1 kedalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruangan yang bersangkutan, dan juga dinding-dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100 kg/m². Beban-beban berat, misalnya disebabkan oleh lemari-lemari arsip dan perpustakaan serta oleh alat-alat, mesin-mesin dan barang-barang lain tertentu yang sangat berat, yang harus ditentukan sendiri (PPPURG, 1987).

Tabel 2. 1 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Lantai sekolah, Ruang kuliah, Kantor, Restoran, Hotel, Asrama Dan Rumah sakit	250 kg/m ²
--	--------------------------

Sumber: PPPURG 1987, tabel 2

2.3.2.2 Reduksi Beban Hidup

Reduksi beban hidup dilakukan karena peluang untuk tercapainya suatu presentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada bagian atau unsur struktur yang ditinjau. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka beban hidup tersebut dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Koefisien reduksi beban hidup sesuai dengan Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung 1987, pasal 2.1.2.5, tabel 2.2 adalah :

Tabel 2. 2 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Penggunaan Gedung	Koefisien Reduksi Beban Hidup	
	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
Pendidikan : Sekolah, Ruang kuliah	0,90	0,50

Sumber: PPPURG 1987, tabel 4

Tabel 2. 3 Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif

Jumlah lantai yang dipikul	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
2	1,0

Sumber: PPPURG 1987, tabel 5

2.3.3 Beban Gempa (Earthquake Load, E)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat beban gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Persyaratan struktur bangunan tahan gempa adalah kemungkinan terjadinya risiko kerusakan pada bangunan merupakan hal yang dapat diterima, tetapi keruntuhan total (*collapse*) dari struktur yang dapat mengakibatkan terjadinya korban yang banyak harus dihindari. Di dalam

standar gempa yang baru dicantumkan bahwa, untuk perencanaan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa digunakan gempa rencana.

2.3.3.1 Gempa Rencana

Gempa rencana dalam perancangan struktur gedung ini ditetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2.3.3.2 Faktor Keutamaan Dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai SNI 1726:2019, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan tabel 2.4, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa
(Lanjutan)

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
---	------------

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa
(Lanjutan)

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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 - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV
--	----

Sumber: SNI 1726:2019, Tabel 3

Tabel 2. 5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019, Tabel 4

2.3.3.3 Kombinasi Beban Dan Pengaruh Beban Gempa

Peninjauan dan penghitungan beban pada perancangan gedung ini berdasarkan pada SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, pasal 5.3 dan SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, pasal 4.2.2.1 dan pasal 7.4.

1. $1,4 D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

Dengan pengaruh beban gempa, E ditentukan oleh persamaan (2-01) dan (2-02) :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5

$$E = E_h + E_v \quad (2-01)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7

$$E = E_h - E_v \quad (2-02)$$

Dengan E_h dan E_v ditentukan oleh persamaan (2-03) dan (2-04) :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2-03)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2-04)$$

Dengan :

U = Kuat perlu

D = Beban mati

L = Beban hidup

L_r = Beban hidup pada atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

E_h = Pengaruh beban gempa horizontal

E_v = Pengaruh beban gempa vertikal

ρ = Faktor redundansi

Q_E = Pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

2.3.3.4 Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.6 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam tabel 2.6. kelas situs yang diberlakukan adalah kelas situs yang paling buruk dari hasil analisis.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SB (batuan)	750 sampai 1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SC (tanah keras, sangat padat)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$, 3. Kuat geser niralir, $s_u < 25$ kPa		

Tabel 2.6 Klasifikasi Situs (Lanjutan)

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - rawan dan potensi gagal atau runtuh akibatn beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan, $H > 3 \text{ m}$) - lempung berplastisitas sangat tinggi ($H > 7,5 \text{ m}$, $IP > 75$) lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $s_u < 50 \text{ kPa}$
--	--

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 5

Dalam klasifikasi situs, profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan dari nomor ke-1 hingga ke-n dari atas ke bawah, sehingga ada total n-lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut.

2.3.3.5 Parameter Percepatan Terpetakan

Setelah mengetahui klasifikasi situs dan mengetahui letak lokasi bangunan, langkah berikutnya adalah mengetahui parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Kedua parameter ini bisa diambil dari peta gempa SNI 1726:2019.

2.3.3.6 Parameter Percepatan Gempa

Setelah mengetahui klasifikasi situs dan parameter percepatan batuan dasar, langkah berikutnya adalah menghitung koefisien atau parameter percepatan gempa berdasarkan klas situs terdahulu dan nilai dari peta gempa supaya bisa didapatkan respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko- tertarget (MCE_R).

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di

permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi sesimik 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 getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dari persamaan (2-05) dan (2-06) :

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (2-05)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2-06)$$

Dengan nilai F_a dan F_v ditentukan oleh tabel 2.7 dan 2.8.

Tabel 2. 7 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 6

Tabel 2. 8 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 7

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
2. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan

analisis respons situs spesifik.

2.3.3.7 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, SDS dan pada perioda 1 detik, SD1 harus ditentukan melalui persamaan (2-07) dan (2-08) :

$$SDS = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-07)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-08)$$

2.3.3.8 Kategori Desain Seismik (KDS)

Dari nilai SDS, SD1 dan kategori resiko gedung akan didapatkan dua kategori desain seismik. Nilai yang diambil adalah yang paling besar dari kedua KDS tersebut. Nilai tersebut didapatkan harus dari nilai dalam tabel 2.9 dan tabel 2.10 :

Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Perioda Pendek, SDS

Nilai <i>SDS</i>	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,5$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 8

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Perioda 1 detik, SD1

Nilai <i>SD1</i>	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SD1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD1 < 0,2$	C	D
$0,20 \leq SD1$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 9

2.3.3.9 Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Sistem struktur yang dipilih harus sesuai dengan batasan dan memperhatikan koefisien dalam jenis sistem struktur tersebut dan bisa dilihat pada pasal 7.2.2 Kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda, di tabel 2.12 Faktor R , C_d , Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik.

2.3.3.10 Faktor Redundansi

Struktur penahan beban lateral dengan kategori desain seismik D, E dan F harus dikenakan faktor redundansi, ρ , sebesar 1,3 dalam kombinasi bebannya.

Boleh digunakan faktor redundansi sebesar 1,0 apabila syarat-syarat berikut ini terpenuhi.

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dakan arah yang ditinjau harus sesuai dengan tabel 2.8.
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing- masing arah orthogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi atau dua kalo panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 2. 11 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen pemikul	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).

Tabel 2.11 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (Lanjutan)

Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap	Penghilangan suatu dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di sebarang tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar pada sebarang kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 15

2.3.3.11 Prosedur Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

1. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2-09) :

$$V = C_s W \quad (2-09)$$

Dengan :

C_s = Koefisien respons seismik.

W = Berat seismik efektif (kN)

2. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

$$V = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-10)$$

Dengan :

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang Periode pendek

R = Faktor modifikasi respons yang ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu lebih dari

$$V = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2-11)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2-12)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $S1$ sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$V = \frac{0.5 SD1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2-13)$$

Dengan :

$SD1$ = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

$S1$ = Parameter percepatan spektrum respons maksimum

2.3.3.12 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 batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 2.10 dan periode fundamental pendekatan, T_a yang ditentukan sesuai persamaan (2-14). Sebagai alternatif, pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung dengan persamaan (2-14) berikut :

$$T_a = C_t H_n^x \quad (2-14)$$

Dengan :

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas sampai tingkat tertinggi struktur, dan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x ditentukan dalam tabel 2.13.

Tabel 2. 12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter Percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $SD1$	Koefisien C_u
$> 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$< 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 17

Tabel 2. 13 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau berhubungan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi 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 sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 18

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dan persamaan (2-15) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N \quad (2-15)$$

Dengan N adalah jumlah tingkat.

2.3.3.13 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x), dalam (kN), yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan (2-16) dan (2-17) :

$$F_x = C_{vx} V \quad (2-16)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x H_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i H_i^k} \quad (2-17)$$

Dengan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V	= gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilo newton (kN)
w_i dan w_x	= bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x (kN)
h_i dan h_x	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dalam meter (m)
k	= eksponen yang terkait dengan perioda struktur berikut ini: struktur dengan perioda 0,5 atau kurang, $k=1$ struktur dengan perioda 2,5 atau lebih, $k=2$ struktur dengan perioda 0,5 -2,5 $k=2$, atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

2.3.3.14 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) dalam (kN) harus ditentukan dari persamaan (2-18) :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2-18)$$

Dengan F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i , dalam kilo newton (kN).

Geser tingkat desain gempa (V_x), dalam (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

2.3.3.15 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2012 menyebutkan untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E atau F, simpangan antar

lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) yang dibagi dengan faktor redundansi (ρ) untuk semua tingkat.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2-19) :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2-19)$$

Dengan :

C_d = faktor amplifikasi defleksi
ditentukan oleh jenis struktur penahan gaya gempa terpilih

δ_x = defleksi pada lokasi yang disyaratkan (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa, ditentukan oleh kategori resiko

Simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) diuraikan pada tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Simpangan antar lantai tingkat ijin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025h_{sc}^x$	$0,020h_{sc}^x$	$0,015h_{sc}^x$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sc}^x$	$0,010h_{sc}^x$	$0,010h_{sc}^x$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sc}^x$	$0,007h_{sc}^x$	$0,007h_{sc}^x$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sc}^x$	$0,015h_{sc}^x$	$0,010h_{sc}^x$

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 20

Dengan h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x .

2.3.3.16 Ketidakberaturan Struktur

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2, struktur gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kriteria ini harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

1. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel 2.15 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam tabel 2.15 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2. 15 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

Tabel 2.15 Ketidakberaturan horizontal pada struktur (Lanjutan)

3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu- sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 13

2. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam table 2.16 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan seismik. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam tabel 2.16 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2. 16 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F

Tabel 2.16 Ketidakberaturan vertikal pada struktur (Lanjutan)

2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: SNI 1726:2019, tabel 14

2.4 Struktur Beton Bertulang

2.4.1 Kuat Desain

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 yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi kekuatan ϕ menurut SNI 2847:2019 pasal 21 dapat dilihat pada tabel 2.17.

Tabel 2. 17 Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

No	Gaya atau elemen struktur	ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3

Tabel 2.17 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) (Lanjutan)

b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f)	Bracket dan korbel	0,75	-
g)	Strut, ties, zona nodal dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

Sumber: SNI 2847:2019, pasal 21

2.4.2 Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang sangat memegang peranan penting dalam suatu struktur. Kolom tersebut termasuk elemen vertikal pada struktur yang menerima beban terpusat dari balok di atasnya. Keruntuhan kolom merupakan kondisi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan juga dapat terjadi keruntuhan total seluruh struktur. Menurut SNI 2847:2019 pada pasal 10.4.2 mengatakan bahwa kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Beban bangunan dimulai dari atap dan akan diteruskan ke kolom. Keruntuhan kolom merupakan memperhatikan keadaan batas tegangan (kekuatan) dan kekakuan untuk menghindari deformasi berlebihan dan tekuk. Daktail tulangan yang benar dan penutup beton yang cukup adalah hal yang penting. Perbandingan antara tinggi dan lebar kolom tidak boleh dari 0,4.

Syarat-syarat dalam mendesain kolom antara lain :

1. Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.
2. Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentrisitas karena sebab lainnya juga harus diperhitungkan.
3. Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu (monolit) dengan komponen struktur lainnya.
4. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom diatas atau dibawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekangan pada ujung kolom.

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain untuk SRPMK menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.2 :

1. Dimensi penampang terpendek diukur pada garis lurus yang

melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm.

2. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

Ketentuan-ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur kolom bangunan gedung adalah sebagai berikut :

1. Dimensi batang terpendek tidak boleh $< 300 \text{ mm}$ ($b < 300 \text{ mm}$)
2. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus padanya tidak boleh $< 0,4$ atau $(\frac{b}{h} < 0,4)$
3. Rasio tinggi kolom terhadap dimensi kolom terpendek adalah tidak boleh > 25 , untuk kolom yang dapat mengalami momen yang dapat berbalik tanda rasionya tidak boleh > 16 , untuk kolom kantilever rasionya tidak boleh > 10
4. Jumlah ruas tulangan memanjang untuk rasio tulangan ρ adalah tidak boleh 0,06 dan pada daerah sambungan tidak boleh $> 0,08$ pada perencanaan gempa
5. Tulangan pokok memanjang berpengikat sengkang minimum 4 buah batang tulangan untuk bentuk segiempat dan lingkaran serta 3 buah batang tulangan segitiga dan 6 buah batang tulangan yang dikelilingi spiral
6. Tebal minimum untuk selimut beton adalah 40 mm.

Tahapan-tahapan dalam perencanaan dan perhitungan struktur kolom adalah sebagai berikut :

1. Menentukan pembebanan
$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \quad (2-20)$$
2. Menentukan momen rencana struktur kolom
$$M_u = 1,2 \text{ MDL} + 1,6 \text{ MLL} \quad (2-21)$$
3. Menghitung nilai kekakuan kolom
4. Menghitung momen yang diperbesar untuk balok
5. Cek kelangsingan kolom
6. Menentukan nilai k

7. Mendesain penulangan
8. Menentukan tulangan yang dipakai
9. Memeriksa Pu terhadap beban seimbang
10. Memeriksa kekuatan penampang
11. Menentukan tulangan sengkang

Perhitungan gaya-gaya dalam berupa momen, gaya geser, gaya normal maupun torsi pada kolom menggunakan program SAP 2000. Dari hasil output gaya-gaya dalam tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada kolom.

Penulangan dalam kolom juga merupakan salah satu faktor yang ikut membantu komponen beton dalam mendukung beban yang diterima. Penulangan pada kolom dibagi menjadi dua jenis, diantaranya adalah :

2.4.2.1 Tulangan Utama

Tulangan utama (*longitudinal reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat lentur (*bending*). Pada setiap penampang dari suatu komponen struktur luas, tulangan utama tidak boleh kurang dari :

$$AS_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{2f_y} bd \quad (2-22)$$

Dan tidak lebih kecil dari:

$$AS_{min} = \frac{1,4}{f_y} bd \quad (2-23)$$

dimana:

As = luas tulangan utama

fc' = tegangan nominal dari beton

fy = tegangan leleh dari baja

b = lebar penampang

d = tinggi efektif penampang

Luas tulangan utama komponen struktur tekan nonkomposit tidak boleh kurang dari 0.01 ataupun lebih dari 0.08 kali luas bruto penampang Ag. Jumlah minimum batang tulangan utama pada komponen struktur

tekan dalam sengkang pengikat segiempat atau lingkaran adalah 4 batang.

Penentuan tulangan utama kolom dapat diketahui dengan mengetahui kapasitas penampang kolom terlebih dahulu. Kapasitas penampang kolom dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P – M yang menunjukkan hubungan beban aksial dengan momen lentur pada kondisi batas. Gaya-gaya dalam yang terjadi pada kolom yang berada pada bagian dalam diagram interaksi berarti aman, sedangkan jika berada diluar diagram interaksi menyatakan keruntuhan. Diagram Interaksi kolom dapat diperoleh dari analisa menggunakan SAP 2000.

2.4.2.2 Tulangan Geser

Tulangan geser (*shear reinforcing*) merupakan tulangan yang ikut mendukung beban akibat geser (*shear*). Jenis tulangan geser dapat berupa:

1. Sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur
2. Jaring kawat baja las dengan kawat – kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen

Berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-24)$$

keterangan :

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

V_n = Kuat geser nominal (N)

V_u = Gaya geser ultimate (N)

Nilai ϕ harus ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung sesuai pasal 21.2.

2.4.3 Balok

Balok merupakan element horizontal yang biasanya pada proses pembuatannya menyatu dengan pelat lantai, balok ini sekaligus berfungsi memikul pelat tersebut. Balok ini mempunyai karakteristik sebagai

elemen lentur yang mempunyai pengertian elemen struktur yang paling dominan dalam memikul gaya-gaya yang terdiri gaya lentur dan gaya geser. Sehingga dalam mendesain dimensi balok harus mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat mengakibatkan perlemahan kekuatan pada beban kerja.

Secara umum desain tinggi balok direncanakan ($L/10 - L/15$) dan lebar balok direncanakan ($1/2 h - 2/3 h$). Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok digunakan software SAP 2000. Hasil output berupa gaya-gaya dalam pada balok kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada balok.

Adapun beberapa jenis struktur balok beton bertulang dapat dibedakan berdasarkan perencanaan lentur dan berdasarkan tumpuannya.

- a. Berdasarkan perencanaan lentur jenis balok dibedakan sebagai berikut :

1. Balok persegi dengan tulangan rangkap

Apabila besar penampang suatu balok dibatasi, mungkin dapat terjadi keadaan dimana kekuatan tekan beton tidak dapat memikul tekanan yang timbul akibat bekerjanya.

2. Balok “ T ”

Balok T merupakan balok yang berbentuk huruf T dan bukan berbentuk persegi, sebagian dari pelat akan bekerja sama dengan bagian atas balok untuk memikul tekan.

- b. Berdasarkan tumpuannya, balok dibagi menjadi 2 antara lain :

1. Balok induk

Balok induk adalah balok yang bertumpu pada kolom. Balok ini berguna untuk memperkecil tebal pelat dan mengurangi besarnya lendutan yang terjadi. Balok induk direncanakan berdasarkan gaya maksimum yang bekerja pada balok yang berdimensi sama.

Untuk merencanakan sebuah struktur balok induk perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a) Menentukan mutu beton yang akan digunakan
- b) Menghitung pembebanan yang terjadi, yaitu :

- 1) Beban mati yang bekerja pada balok
- 2) Beban hidup yang bekerja pada balok
- 3) Beban sendiri balok

- c) Menghitung beban ultimate

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \quad (2-25)$$

$$W_u = 1,05 (\text{D} + \text{LR} \pm \text{E}) \quad (2-26)$$

$$W_u = 0,9 (\text{D} \pm \text{E}) \quad (2-27)$$

- d) Perhitungan penulangan balok

Perhitungan penulangan pada balok dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 1) Menentukan momen maksimum
- 2) Menentukan d efektif

$$\text{defektif} = h - p - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{tulangan pokok} \quad (2-28)$$

- 3) Menentukan nilai k

$$K = \frac{M_u}{\emptyset b d} \quad (2-29)$$

- 4) Menentukan ρ (cek daktilitas)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2-30)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho \cdot b = 0,75 \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad (2-31)$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}, \text{ bila } \rho < \rho_{min} \text{ maka dipakai } \rho_{min} \quad (2-32)$$

- 5) Menghitung penulangan

- i. Tentukan defektif = $h - p - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{sengkang}$ (2-33)

- ii. Hitung nilai k

$$K = \frac{M_u}{\phi b d e f f^2} \quad (2-34)$$

menghitung nilai As

$$As = \rho \cdot b \cdot d_{eff} \quad (2-35)$$

iii. Tentukan diameter tulangan yang akan dipakai menggunakan tabel diameter tulangan.

iv. Kontrol jarak tulangan yang digunakan

v. Kontrol momen nominal

$$\alpha = \frac{As \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \quad (2-36)$$

6) Perencanaan perhitungan tulangan geser balok dengan ketentuan :

i. Menentukan gaya lintang maksimum (V_{umaks}) berdasarkan perhitungan portal

$$Vu = \frac{vu}{bd} \quad (2-37)$$

jika $vu > \phi v_c$, maka dipelukan tulangan geser.

Sedangkan $vu < \phi v_c$, maka tidak dipelukan tulangan geser.

ii. Menentukan nilai ϕv_c

$$v_c = \frac{1}{6} f'_c \cdot b w \cdot d \quad (2-38)$$

7) Menentukan tulangan geser yang dipakai dan jaraknya

i. Menentukan tulangan geser yang dipakai dan jaraknya

$$S_{maks} = \frac{d_{eff}}{2} \quad (2-39)$$

$$S_{min} = \frac{av \cdot 12 \cdot f_y}{75 \cdot f'_c \cdot b w} \quad (2-40)$$

2. Balok anak

Balok anak adalah balok yang bertumpu pada balok induk atau tidak bertumpu langsung pada kolom. Balok ini berguna untuk memperkecil tebal pelat dan

mengurangi besarnya lendutan terjadi. Untuk merencanakan balok anak sama halnya dengan perhitungan rencana balok induk.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan perlu menjadi pertimbangan dalam mendesain balok beton bertulang, yaitu :

1. Lokasi tulangan
2. Tinggi minimum balok
3. Selimut beton (*concrete cover*) dan jarak tulangan

2.4.3.1 Lokasi Tulangan

Tulangan dipasang dibagian struktur yang membutuhkan, yaitu pada lokasi dimana beton tidak sanggup melakukan perlawanan akibat beban, yakni di daerah tarik (karena beton lemah dalam menerima tarik). Sehingga kita harus mengetahui dimana bagian balok tersebut yang mengalami tarik maupun yang mengalami tekan.

sedangkan pada balok kantilever dibutuhkan tulangan pada bagian atas, karena serat yang tertarik adalah pada bagian atas. Sedangkan pada balok dua ujung menerus biasanya lokasi tarik paling besar berada pada tumpuan, sehingga pada lokasi ini menggunakan diameter tulangan yang lebih besar daripada di lokasi lapangan.

2.4.3.2 Tinggi Balok

Berdasarkan peraturan SNI Beton pada pasal 9.5 dalam menentukan tinggi minimum ($H_{\min}$) balok yang lebih menekankan perbandingan terhadap panjang bentang :

Tabel 2. 18 Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi perlekatan	Minimum h [1]
Perlekatan sederhana	$L/16$
Menerus satu sisi	$L/18,5$
Menerus dua sisi	$L/21$
Kantilever	$L/8$

Sumber: SNI 2847:2019, pasal 9.3.1.1

2.4.3.3 Selimut Beton Dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian terkecil yang melindungi tulangan. Fungsi dari selimut beton itu sendiri untuk memberikan daya lekat tulangan ke beton, melindungi tulangan dari korosi, serta melindungi tulangan dari panas tinggi jika terjadi kebakaran (panas tinggi dapat menyebabkan menurun/hilangnya kekuatan baja tulangan secara tiba-tiba). Tebal minimum selimut beton adalah 40 mm (SNI Beton pasal 9.7), sedangkan jarak antar tulangan adalah ≤ 25 mm atau $\geq d_b$ dan ≥ 25 mm.

2.4.3.4 Desain Tulangan Lentur dan Geser

Desain Balok Terhadap Lentur

Jika balok dibebani secara bertahap mulai dari beban yang ringan sampai q_u sebagai beban batas, penampang balok mengalami keadaan lentur. Proses peningkatan beban berakibat terjadinya korosi tegangan dan regangan yang berbeda pada tahapan pembebanan.

Desain tulangan lentur ini bertujuan untuk mengetahui jumlah dan besar tulangan yang optimal dalam menahan gaya lentur. Sifat tulangan terlebih dahulu mencapai titik leleh sebelum kehancuran beton inilah yang dikehendaki dalam desain dan disebut perencanaan tulangan lemah penampang. Sebaliknya perencanaan tulangan kuat didefinisikan bila terlebih dahulu beton mencapai tegangan batas sebelum terjadinya kelelahan baja tulangan. Desain dengan tulangan yang kuat sedapat mungkin dihindari dalam perencanaan, karena akan terjadi keruntuhan secara mendadak yang sifatnya destruktif dan berakibat fatal bagi pengguna.

Jenis-jenis keruntuhan lentur :

Dengan data-data penampang yang didapat, mutu beton, dan tulangan yang digunakan, terdapat 3 kemungkinan keruntuhan yang akan terjadi :

1. Keruntuhan tarik (*under reinforced*)

Pada keruntuhan ini tulangan mencapai tegangan lelehnya terlebih dahulu, setelah itu beton baru mencapai regangan batasnya, kemudian struktur runtuh.

2. Keruntuhan tekan (*over reinforced*)

Keruntuhan tekan diakibatkan karena penggunaan tulangan yang terlalu banyak, sehingga beton akan hancur terlebih dahulu. Keruntuhan ini harus dihindari dalam perencanaan karena keruntuhan ini bersifat tiba-tiba.

3. Keruntuhan seimbang (*ballance*)

Pada keruntuhan ini, tulangan baja dan beton secara bersama-sama mencapai regangan batasnya. Jenis keruntuhan ini juga harus dihindari dalam perencanaan karena bersifat tiba-tiba.

Desain Balok Terhadap Geser dan Torsi

Kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka dari itu desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Perilaku balok pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan lentur. Balok yang terkena keruntuhan geser akan langsung runtuh tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, selain itu retak diagonalnya lebih besar dibandingkan dengan retak lenturnya. Oleh sebab itu desain balok terhadap gaya geser harus diperhitungkan secara teliti. Gaya geser dirancang berdasarkan momen ekstrim dan gaya lintang pada balok yang mengalami pembebanan yang paling ekstrim.

Balok selain menerima gaya geser juga menerima beban torsi yang didalam sistem struktur dapat digolongkan atas dua tipe yaitu torsi statis tertentu dan torsi statis tak tentu. Statis tertentu jika jumlah dari torsi yang harus dipikul bisa memenuhi persyaratan statika dan bebas dari kekakuan unsur. Sedangkan torsi tak tentu terjadi dalam keadaan dimana tidak akan ada torsi kalau ketidakentuan statika dihilangkan.

2.4.4 Pelat

Pelat lantai merupakan suatu konstruksi yang menumpu langsung pada balok dan atau dinding geser. Pelat lantai dirancang dapat menahan beban mati dan beban hidup secara bersamaan sesuai kombinasi pembebanan yang bekerja diatasnya.

Langkah-langkah dalam perencanaan pelat adalah :

1. Menentukan syarat batas, tumpuan dan panjang bentang
2. Menentukan beban-beban yang bekerja pada pelat lantai
3. Menentukan tebal pelat lantai.
4. Menentukan kapasitas momen nominal (M_n) yang bekerja pada pelat lantai
5. Menentukan besarnya momen desain (M_u)
6. Untuk daerah yang mengalami tarik harus dipasang tulangan. Tulangan diperlukan untuk menahan tarik yang terjadi pada pelat lantai. Langkah-langkah untuk menentukan tulangan pada daerah tarik, yaitu :
 - a. Menetapkan tebal penutup beton
 - b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah X dan arah Y
 - c. Menentukan tinggi efektif dalam arah X dan arah Y
 - d. Membagi M_u dengan $b \times d^2$
dimana : b = lebar pelat per meter panjang d = tinggi efektif pelat
 - e. Menentukan rasio tulangan (ρ)
 - f. Memeriksa syarat rasio penulangan
 - g. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan pelat

Pelat beton bertulang dalam suatu struktur dipakai pada lantai, pada pelat ruang ditumpu balok pada keempat sisinya terbagi menjadi dua berdasarkan geometrinya, yaitu :

2.4.4.1 Pelat Satu Arah

Ketika perbandingan panjang dan lebar suatu pelat lebih dari dua, maka pelat tersebut termasuk pelat satu arah. Dalam perencanaan struktur pelat satu arah, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Penentuan tebal pelat

Penentuan tebal pelat terlentur satu arah tergantung pada beban atau momen lentur yang bekerja, defleksi yang terjadi, dan kebutuhan kuat geser yang dituntut.

Tabel 2. 19 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kedua ujung menerus	$\ell/10$

Sumber: SNI 2847:2019, pasal 7.3.1

2. Menghitung beban mati pelat termasuk beban sendiri pelat dan beban hidup serta menghitung momen rencana (W_u).

$$W_u = 1,2 WDD + 1,6 WLL \quad (2-41)$$

Keterangan :

WDD = jumlah beban mati pelat (KN/m)

WLL = jumlah beban hidup pelat (KN/m)

3. Menghitung momen rencana (M_u)
4. Perkiraan tinggi efektif (d_{eff}) bisa dilihat pada SNI 2847:2019, pasal 20.6.1 tentang persyaratan selimut beton
5. Menghitung K_{perlu}
6. Menentukan rasio penulangan (ρ)
7. Menghitung A_s yang diperlukan
8. Memilih tulangan pokok yang akan dipasang
 - a. Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki

rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton

- b. Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 450 mm.

2.4.4.2 Pelat Dua Arah

Apabila perbandingan panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua, maka pelat tersebut termasuk pelat dua arah. Ada beberapa jenis pelat dua arah, diantaranya pelat datar, lantai datar, pelat *waffle*, dan sistem pelat dengan balok. Berikut adalah prosedur perencanaan perhitungan pelat dua arah :

1. Menghitung H minimum pelat

Tabel 2. 20 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)

Fy, MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$

Sumber: SNI 2847:2019, pasal 8.3.1

2. Menghitung beban rencana pelat
3. Menghitung momen rencana (M_u)
4. Perkiraan tinggi efektif (d_{eff}) bisa dilihat pada SNI 2847:2019, pasal 20.6.1 tentang persyaratan selimut beton
5. Menghitung K_{perlu}
6. Menentukan rasio penulangan (ρ)
7. Menghitung A_s yang diperlukan
8. Memilih tulangan pokok yang akan dipasang

2.4.5 Tangga

Struktur tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai pada gedung yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.

1. Tangga terdiri dari anak tangga. Anak tangga terdiri dari dua, yaitu :

- a. *Antride* adalah bagian dari anak tangga pada horizontal yang merupakan bidang tempat kaki berpijak.
- b. *Optride* adalah bagian dari anak tangga pada bidang vertikal yang merupakan selisih antara dua buah anak tangga yang berurutan.

- c. Syarat – syarat umum tangga :

- i. Mudah dilewati
- ii. Kuat dan kaku
- iii. Ukuran tangga harus sesuai dengan sifat dan fungsinya
- iv. Material yang digunakan harus baik
- v. Letak tangga harus strategis
- vi. Sudut kemiringan tidak lebih dari 45° .

- d. Syarat – syarat khusus tangga :

- i. Untuk rumah tinggal

1. *Antride* = 25 cm (minimum)
2. *Optride* = 20 cm (maksimum)
3. Lebar tangga = 80 – 100 cm

- ii. Untuk perkantoran dan lain- lain

1. *Antride* = 25 cm (minimum)
2. *Optride* = 17 cm (maksimum)
3. Lebar tangga = 120 – 200 cm

- iii. Sudut kemiringan

1. Maksimum = 45°
 2. Minimum = 25°
- iv. Tinggi bebas diatas anak tangga 2,00 m

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah sebagai berikut :

1. Tinggi antar lantai
2. Tinggi *Antride*
3. Jumlah anak tangga
4. Kemiringan tangga
5. Tebal pelat beton
6. Tinggi *Optrede*
7. Lebar Bordes
8. Lebar anak tangga
9. Tebal selimut beton
10. Tebal pelat tangga

Langkah – langkah perencanaan tangga :

1. Menentukan *antride* dan *optride* setelah diketahui tinggi ruangan
2. Menentukan jumlah *antride* dan *optride*
3. Menentukan panjang tangga
4. Menghitung pembebanan tangga
 - a. Beban mati
 - i. Berat sendiri tangga
 - ii. Berat sendiri bordes
 - iii. Berat spesi dan ubin
 - iv. Beban sandaran
 - b. Beban hidup
5. Dari perhitungan SAP 2000, didapatkan momen pada tumpuan dan lapangan baik pada pelat tangga maupun pada bordes.
6. Merencanakan tulangan.

2.4.6 Baja Tulangan

Beton merupakan komponen utama pada struktur. Dimana beton ini memiliki karakteristik cenderung kuat menahan gaya tekan. Untuk menghasilkan struktur yang kuat oleh karena itu ditambah dengan baja tulangan. Dikarenakan baja tulangan ini memiliki karakteristik kuat dalam menahan gaya tarik.. Agar penggunaan tulangan dapat berjalan dengan efektif, harus diusahakan agar tulangan dan beton dapat mengalami deformasi bersama-sama, yang bertujuan untuk agar ikat-ikatan yang cukup kuat diantara kedua material tersebut untuk memastikan tidak terjadinya gerakan relatif (*slip*) dari tulangan dengan beton yang terdapat disekelilingnya.

Dalam perencanaan, sering digunakan tulangan yang bersifat *balance reinforced* atau tulangan yang berimbang, artinya tulangan leleh pada saat bersamaan dengan hancurnya beton. Perbedaan *Over Reinforced* dan *Under Reinforced* adalah :

Over Reinforced

1. Tulangan banyak
2. Momen nominal (M_n) besar
3. Garis netral besar
4. Tulangan belum leleh saat beton
5. Keruntuhan tekan
6. Keruntuhan bersifat tiba-tiba
7. *Brittle failure*

Under Reinforced

1. Tulangan sedikit
2. Momen nominal (M_n) kecil
3. Garis netral kecil
4. Tulangan sudah hancur saat beton hancur
5. Keruntuhan tarik
6. Keruntuhan bersifat perlahan (didahului retak-retak)

7. *Ductile failure*

Dari dua kondisi tersebut, dalam perancangan beton bertulang tidak disarankan dalam kondisi *over reinforced*, perancangan didesain harus dalam kondisi keruntuhan *under reinforced*.

Kapasitas momen akan meningkat dengan semakin banyaknya tulangan, tetapi tulangan yang semakin banyak juga akan menyebabkan penampang semakin besar yang akan menyebabkan *over reinforced*. Dalam perancangan, penampang dengan kapasitas besar akan tetapi tetap mengalami *under reinforced*. Cara terbaik untuk mengatasinya dengan menggunakan tulangan rangkap, tulangan atas (tekan) dan tulangan bawah (tarik).