

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material

2.1.1. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin.

Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya.

Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti sloof dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan.

2.1.2 Balok

Balok adalah bagian dari structural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Selain itu ring balok juga berfungsi sebagai

pengikat kolom-kolom agar apabila terjadi pergerakan kolom-kolom tersebut tetap bersatu padu mempertahankan bentuk dan posisinya semula. Ring balok dibuat dari bahan yang sama dengan kolomnya sehingga hubungan ring balok dengan kolomnya bersifat kaku tidak mudah berubah bentuk. Pola gaya yang tidak seragam dapat mengakibatkan balok melengkung atau defleksi yang harus ditahan oleh kekuatan internal material.

Jenis Jenis Balok

1. Balok sederhana bertumpu pada kolom diujung-ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi dan tidak memiliki momen tahan. Seperti struktur statis lainnya, nilai dari semua reaksi, pergeseran dan momen untuk balok sederhana adalah tidak tergantung bentuk penampang dan materialnya.
2. Kantilever adalah balok yang diproyeksikan atau struktur kaku lainnya didukung hanya pada satu ujung tetap
3. Balok teritisasi adalah balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.
4. Balok dengan ujung-ujung tetap (dikaitkan kuat) menahan translasi dan rotasi
5. Bentangan tersuspensi adalah balok sederhana yang ditopang oleh teritisasi dari dua bentang dengan konstruksi sambungan pin pada momen nol.
6. Balok kontinu memanjang secara menerus melewati lebih dari dua kolom tumpuan untuk menghasilkan kekakuan yang lebih besar dan momen yang lebih kecil dari serangkaian balok tidak menerus dengan panjang dan beban yang sama.

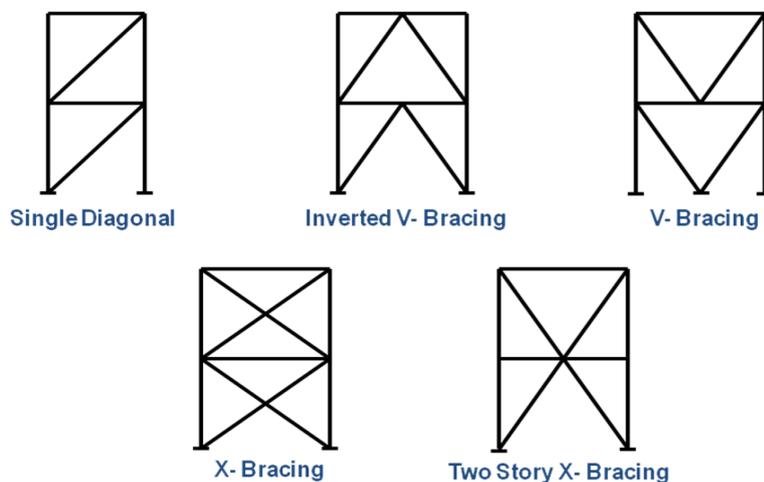
2.1.3 Batang Baja Bresing Eksentrik

Perencanaan struktur baja didasarkan atas sifat material baja yang dapat menahan tegangan tarik, tekan, geser, lentur, torsi, dan kombinasinya. Kekuatan dan daktilitas material baja relatif tinggi, sehingga baja mampu menjalani deformasi

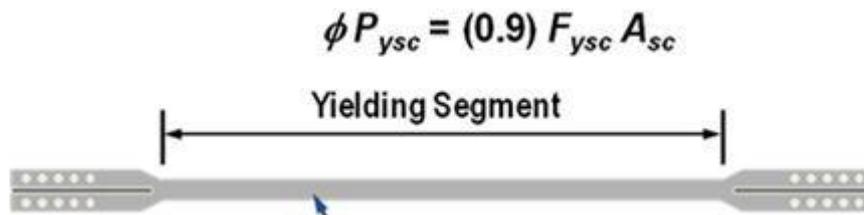
inelastik yang besar tanpa kehilangan kekuatannya Strukturnya ringan sehingga menguntungkan untuk struktur jembatan bentang panjang, bangunan tinggi, ataupun struktur cangkang Waktu pengerjaan relatif singkat (tidak memerlukan *set-up time*) Disain meliputi disain elemen dan sambungan Kelangsingan elemen harus diperhitungkan untuk menghindari hilangnya kekuatan akibat tekuk.

Bresing adalah struktur batang yang dipasang menyilang yang menyambungkan antara kolom dan balok pada sebuah gedung, Bresing berfungsi sebagai pengaku pada sebuah struktur. Batang baja yang dipakai dalam bresing didesain untuk menahan gaya aksial dari bresing secara keseluruhan. dan bresing direncanakan untuk membentuk aksi rangka batang vertikal yang berguna untuk menahan gaya gempa (lateral) melalui truss action

Kuat aksial rencana, (LRFD), ϕP_{ybc} baik tarik maupun tekan, ditentukan berdasarkan batas leleh sebagai berikut: $\phi P_{ybc} = \phi F_{ybc} A_{sc}$ sambungan bresing dan batang yang saling berkaitan didesain untuk menahan gaya berdasarkan kekuatan bresing disesuaikan. Kuat tarik dari bresing ditentukan sebesar $\beta \phi R_y P_{ybc}$. sedangkan kuat tekan bresing adalah $\phi R_y P_{ybc}$. (*Version 1- March 2007*)



Gambar 2.1 macam-macam kerangka bresing
(*Version 1- March 2007*)



Gambar 2.2 area lentur
(Version 1- March 2007)

2.2 PEMBEBANAN

Dalam perencanaan bangunan ada beberapa jenis beban yang harus ditinjau yaitu

2.2.1 Beban mati :

Berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (*PPIUG 1983, Pasal 1.0.1*)

2.2.2 Beban hidup:

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 tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. (*PPIUG 1983, Pasal 1.0.2*)

2.2.3 Beban Hujan

Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya. (*SNI 1727:2013 pasal 8*)

2.2.4 Beban angin

Kecepatan angin dasar, V , yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dan diasumsikan

datang dari segala arah horisontal. Kecepatan angin dasar harus diperbesar jika catatan atau pengalaman menunjukkan bahwa cepat angin lebih tinggi dari pada yang ditentukan (*SNI 1727-2013 pasal 26.5.1*) Parameter Beban Angin yang berikut ditetapkan dalam *Pasal 26 SNI 1727-2013*

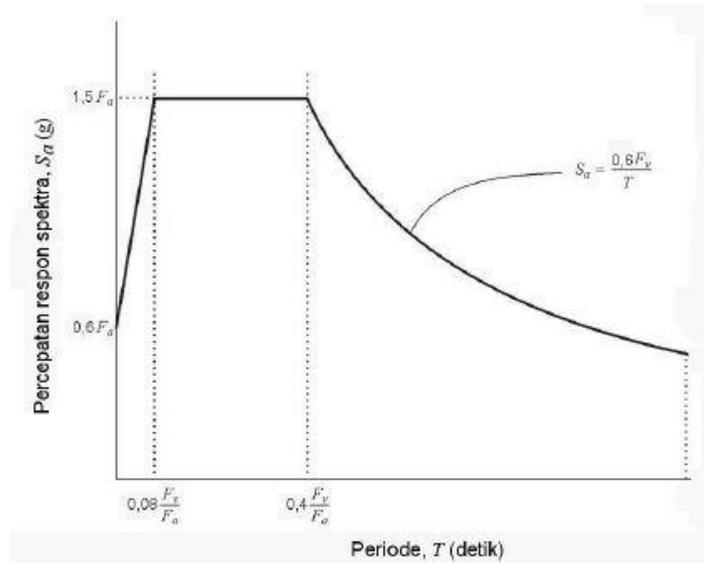
- a. kecepatan angin dasar (Pasal 26.5)
- b. kategori eksposur (Pasal 26.7)
- c. faktor topografi K_{zt} (Pasal 26.8)
- d. klasifikasi ketertutupan (Pasal 26.10)
- e. faktor arah angin K_d (pasal 26.6)
- f. faktor pengaruh tiupan angin (pasal 26.9)
- g. koefisien tekanan internal (GCpi) (pasal 26.11)

2.2.5 Beban gempa:

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah 1 satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi terjadinya gesekan ini disebut *fault zones*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan sehingga gempa bumi mempunyai kecenderungan menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur (*Schodek, 1992*).

Beban gempa nominal, yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh faktor keutamaan yang terkandung di dalam struktur tersebut. Menurut Standart ini, peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 2% dan gempa yang menyebabkannya disebut gempa rencana (dengan periode ulang 500 tahun), tingkat daktilitas struktur gedung dapat ditetapkan sesuai kebutuhan. Dengan demikian, beban gempa nominal adalah beban akibat pengaruh gempa rencana yang

menyebabkan terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung, kemudian direduksi dengan koefisien modifikasi respons R_a . (SNI 1726:2012).



Gambar 2.3 respons spectrum gempa Rencana (SNI -1726-2012)

Tabel 2.1 kategori resiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Fasilitas kesehatan (termasuk rumah sakit) 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 <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	<div style="border: 2px solid red; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">IV</div>

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel1)

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel2)

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

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 $\bar{s}_u < 25$ kPa		

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel3)

Tabel 2.4 Koefisien Situs F_a

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

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel 4)

$$F_a = \frac{F_{a_2} - F_{a_1}}{S_{s_2} - S_{s_1}} (S_s - S_{s_1}) + F_{a_1} \quad (2.1)$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.2)$$

Tabel 2.5 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^{bb}				

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel 5)

$$F_v = \frac{F_{v_2} - F_{v_1}}{S_{1_2} - 1} (S_1 - S_{1_1}) + v \quad (2.3)$$

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

Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

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

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel 6)

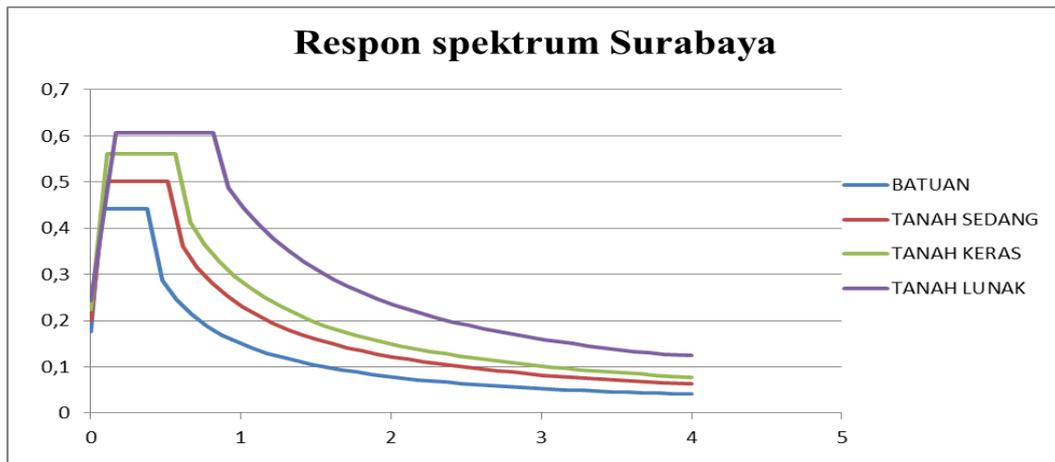
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber SNI 1726-2012, Tabel 7)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$



Gambar 2.4 Grafik RS Surabaya (Puskim.Pu.Go.Id)

2.2.6 Kombinasi Pembebanan

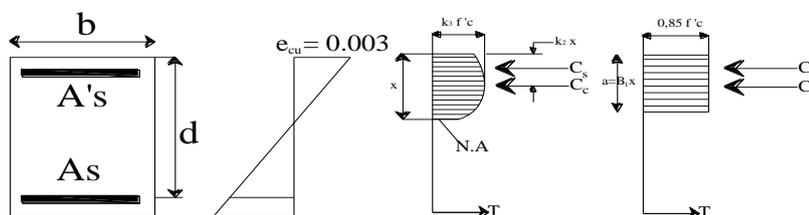
Dalam perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1726-2012 dimana disebutkan bahwa struktur akan menerima beban mati beban hidup beban angin dan beban gempa.

1. 1,4DL
2. 1,2DL + 1,6LL
3. 1,2 DL + 1,0 E + 1,0 LL
4. 0,9 DL + 1,0 E
5. 0,9 DL + 1,0 W

2.3 Menentukan Desain Tulangan

2.3.1 desain tulangan pada balok

2.3.1.1 Tulangan Rangkap



Gambar 2.5 Kondisi-kondisi jika kekuatan lentur nominal tercapai pada perhitungan tulangan rangkap

1) Asumsi nilai $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.1)

$$Mn_{perlu} = \frac{Mu}{\phi} \quad (2.7)$$

2) Nilai X_b , X_{max} , X_{min}

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d \quad x_{max} = 0,75 \times x_b \quad (2.8)$$

$X_{min} = (t_s + \phi_s + \phi_{tulangan\ ultimate})$

3) hitung nilai C_c , M_{nc} , C_s dan M_{ns}

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times b \times a \quad \text{dan} \quad a = x_{rencana} \cdot \beta \quad (2.9)$$

$$M_{nc} = C_c \times \left(d - \frac{B1.rencana}{s} \right) \quad (2.30)$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} \quad (2.31)$$

NB: jika M_{ns} bernilai (-) maka penampang dihitung dengan tulangan tunggal

$$C_s = \frac{M_{ns}}{d - d'} \quad (2.32)$$

4) hitung nilai tegangan yang terjadi pada tulangan tekan

$$f'_s = \left(\frac{x_{rencana} - d'}{x_{rencana}} \right) \times 600 \quad (2.33)$$

bila $f'_s < f_y$ yang di pakai adalah f_s

bila $f'_s > f_y$ yang di pakai adalah f_y

5) hitung nilai $A's$ dan A_s

$$A's = \frac{C_s}{(f'_s - 0,85 f'_c)} \quad \text{atau} \quad A's = \frac{C_s}{(f_y - 0,85 f'_c)} \quad (2.34)$$

$$A_s = \frac{C_c + C_s}{f_y} \quad (2.35)$$

bila $f'_s > f_y$ yang di pakai adalah f_y

6) Tentukan Nilai A_s dan $A's$ yang dipakai

7) cek spasi tulangan

$$s = \frac{bw - (2 \times decking) - (2 \times \phi_{tul.senggang}) - (n \times \phi_{tul.utama})}{n - 1} \quad (2.36)$$

$$s \geq 40\text{mm}$$

8) Cek keserasian Tegangan yang terjadi, dikarenakan nilai A's dan As berubah maka perlu dicek keserasian tegangan

$$C_c = (0,85 \times f'_c \times b \times (x \cdot \beta)) \quad (2.37)$$

$$C_s = A_s \times f_y = \left(\left(\left(\frac{x - d''}{x} \right) \times 600 \right) - 0,85 f'_c \right) \cdot A'_s \quad (2.38)$$

$$T = A_s \cdot f_y \longrightarrow NB = A_s \text{ pakai} \quad (2.39)$$

9) selesaikan dengan persamaan

$$T = C_c + C_s \quad (2.40)$$

persamaan kuadrat X1 dan X2 ambil yang positif

10) Hitung nilai f's yang sebenarnya

$$f'_s = \frac{(x - d') \times 600}{x} \quad (2.41)$$

11) Hitung Kapasitas Momen yang terjadi sesuai tulangan yang terpasang.

$$M_{n1} = (A_s \cdot 1,25 f_y - A'_s \cdot f'_s) x \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.42)$$

$$M_{n2} = (A'_s \cdot f'_s) x (d - d') \longrightarrow M_{nc} \quad T = C_c + C_s \quad (2.43)$$

$$C_c = T - C_s \quad (2.44)$$

$$= (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y) \quad (2.45)$$

12) cek:

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

$$\phi M_n > M_u \dots \text{OK}$$

2.3.1.2 Perhitungan Penulangan Geser

1. Gaya geser akibat gempa saja (yaitu akibat Mpr) > 0,5 total geser (akibat Mpr + beban gravitasi).

$$2. \text{ Gaya aksial tekan } < \frac{(A_g \times f'_c)}{20} \quad (2.47)$$

Berdasarkan pasal 21.3.4.2 bahwa, " Hoops diperlukan sepanjang 2h dari muka kolom pada dua ujung kompone lentur, dengan meletakkan hoop pertama sejarak 50 mm dari muka kolom. Jarak hoops disyaratkan s harus tidak melebihi;

$$S_{max} = d/4$$

= 8 db tulangan longitudinal
 = 24 db Hoops
 = 300mm

Kuat geser beton yang dibebani oleh geser dan lentur $\Phi V_u \geq V_n$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.48)$$

(SNI 2847-2013, Pasal 11.1.1)

$$V_s \text{ max} = 0,66\sqrt{f'c} \times bw \times d \quad (2.49)$$

$$V_s \text{ min} = 1/3 \times bw \times d \quad (2.50)$$

(SNI 2847-2013, Pasal 11.4.7.9)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (2.51)$$

(SNI 2847-2013, Pasal 11.4.7.2)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d \quad (2.52)$$

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

2.3.1.3. Perhitungan Tulangan Torsi

$$A_{cp} = b \times h \quad (2.54)$$

$$A_{oh} = (b-2t_s) \times (h-2t_s) \quad (2.55)$$

$$P_{cp} = 2(b+h) \quad (2.56)$$

$$P_h = 2((b-2t_s) + (h-2t_s)) \quad (2.57)$$

Penampang harus direncanakan mampu menahan geser dan torsi

1. Penampang solit (balok)

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1.7 \times A_{oh}^2}\right)} \leq \frac{\Phi V_c}{b \times d} + \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \quad (2.58)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d \quad (2.59)$$

2. Hitung pengaruh momen punter.

$$T_u \leq \phi \frac{\sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{a_{cp}}{p_{cp}}\right)^2 \quad (2.60)$$

$$A_t \geq \frac{T_u \times s}{\phi \cdot 2A_{oh} \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \quad (2.61)$$

3. Luasan Sengkang Gabungan.

$$A_{total} = A_v + 2A_t \quad (2.62)$$

Cek

$$A_v + 2A_t \geq \frac{75 \times \sqrt{f'c}}{1200} \times \frac{b_w \cdot s}{f_{ys}} \geq \frac{b_w \cdot s}{3f_{yv}} \quad (2.63)$$

4. hitung kebutuhan tulangan memanjang

$$A_{men} = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y - mem} \right) \cot \theta \geq \frac{5\sqrt{f'c} \times A_{cp}}{12 \cdot f_y - mem} - \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yv}}{f_y - mem} \right) \quad (2.64)$$

2.4 Desain Sambungan Baja

2.4.1 Desain Sambungan Las

Pada desain sambungan las tumpul, untuk menghitung kekuatan desain (ϕR_n) diperjelas dengan disediakan pada Tabel J2.5. Pada desain sambungan las sudut, untuk menghitung kekuatan desain (ϕR_n) menurut Pasal J2.4 :

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (2.65)$$

(SNI 1729:2015 J2-4)

$$\phi = 0.75 \quad (2.66)$$

Keterangan :

$$F_{nw} = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin 1,5\theta) \quad (2.67)$$

(SNI 1729:2015 J2-5)

F_{EXX} = kekuatan klasifikasi logam pengisi, ksi (MPa)

θ = sudut pembebanan yang diukur dari sumbu longitudinal las, derajat.

Ukuran minimum las sudut ditentukan dari tebal bagian paling tipis yang tersambung.

2.4.2 Desain Sambungan Baut

Pada desain sambungan baut, untuk menghitung kekuatan geser dan tarik desain menggunakan rumus yang sama (ϕRn) menurut Pasal J3.6 :

$$Rn = FnAb \quad (2.68)$$

(SNI 1729:2015 J3-1)

$$\phi = 0.75 \quad (2.69)$$

Ab = luas tubuh baut tidak berulir nominal
atau bagian berulir, in.2 (mm²)

Fn = tegangan tarik nominal, Fnt , atau
tegangan geser, Fnw dari Tabel J3.2, ksi (MPa)

Pada desain sambungan baut, untuk menghitung kombinasi gaya tarik dan geser dalam sambungan tipe tumpuan menurut Pasal J3.7 :

$$Rn = F'ntAb \quad (2.70)$$

(SNI 1729:2015 J3-2)

$$\phi = 0.75 \quad (2.71)$$

Keterangan :

$F'nt$ = tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser, ksi (MPa)

$$F'nt = 1.3Fnt - Fnt\phi Fnv \text{ frv} \leq Fnt \quad (2.71)$$

(SNI 1729:2015 J3-3a)

Fnt = tegangan tarik nominal dari Tabel J3.2, ksi (MPa)

Fnv = tegangan geser dari Tabel J3.2, ksi (MPa)

frv = tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban,
ksi (MPa)

Untuk Ukuran jarak tepi minimum baut ditentukan diameter baut dapat dilihat pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 Jarak Tepi Minimum Baut

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

^[a]Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diizinkan asalkan ketentuan yang sesuai Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diizinkan tanpa persetujuan dari *Insinyur yang memiliki izin bekerja sebagai perencana*.
^[b]Untuk ukuran-berlebih atau lubang-lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

(Sumber SNI 1729:2015 Tabel J3.4M)

Tabel 2.9 Tipe-Tipe Baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min.(MPa)
4307	6.35 - 104	-	60
4325	12.7 - 25.4	585	825
28,6 - 38,1	510	725	-
A490	12,7-38,1	825	1035

(Sumber tabel 6.1 LRFD)

2.5 Konsep Analisis Statik Nonlinier

Analisis statik nonlinier merupakan analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Analisis nonlinear sangat tepat digunakan karena ketika terjadi gempa yang cukup besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat, sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear, akan tetapi berperilaku nonlinear. Analisis statik nonlinier dikenal pula sebagai analisis *pushover*, digunakan sebagai metode alternatif dalam melaksanakan *performance based earthquake engineering*.

Analisis *pushover* adalah analisis statik nonlinier dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing

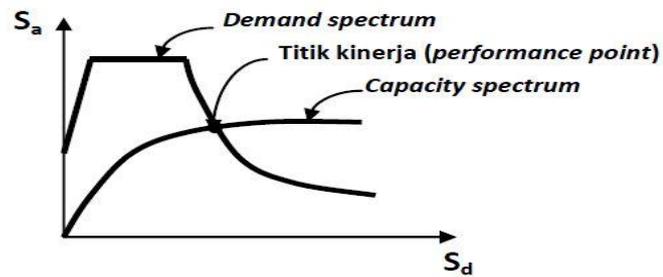
lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastik (Pranata, 2006).

Dewobroto (2006) menyatakan Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu:

1. Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisis nonlinier akan lebih rumit dibanding model analisis linier. Analisis nonlinier harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek P- D.

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Pada FEMA 273 dapat menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur adalah:

- a) Segera dapat dipakai (*IO=Immediate Occupancy*)
- b) Keselamatan penghuni terjamin (*LS=Life Safety*)
- c) Terhindar dari keruntuhan total (*CP=Collapse Prevention*)



Gambar 2.6 Performance Point pada Capacity Spectrum Method

Tabel 2.10 Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terbentuknya Sendi Plastis Dalam Progam Sap2000

keterangan	simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Terjadinya kerusakan struktur yang kecil atau tidak berarti pada struktur,kekakuan struktur hamper sama pada saat sebelum terjadi gempa
LS	●	Terjadi kerusakan dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan srktur berkurang tetepi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur hingga kekuatan dan kekakuanya berkurang banyak
C	●	Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung
D	●	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

(Sumber : NEHRP dan VISION 2000)

Tabel 2.11 Kriteria roof drift ratio dari SRPM dan SRBE untuk menentukan level kinerja

Level Kinerja	SRPMK	SRBE
Immediate Occupancy	0% < Drift < 1%	0% < drift < 0.5%
Life safety	1% < Drift < 2%	0.5% < Drift < 1.5%
Collapse prevention	0% < Drift < 4%	1.5% < Drift < 2%

(Sumber : FEMA 356 table C1-3)

Untuk target perpindahan pada titik kontrol T_e , ditentukan dari rumus berikut:

$$\delta t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_A \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (2.72)$$

$C_1 = 1.0$ untuk $T_e \geq T_s$

$$C_1 = \frac{\left(1 + (R-1) \cdot \frac{T_s}{T_e} \right)}{R} \text{ untuk } T_e < T_s \quad (2.73)$$

rasio kuat elastik perlu

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (2.74)$$

koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P delta

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.75)$$

Menentukan level kinerja struktur

$$\text{Roof drift Ratio} = \frac{\delta t}{H_{total}} \quad (2.76)$$

Tabel 2.12. Koefisien Faktor Bentuk

table 3-2 Values for modification Factor C_01			
	shear buildings ²		Other Buildings
Number of stories	Triangular Load Pattren	Uniform Load pattren	Any Load Pattren
	(1.1 1.2 1.3)	(2.1)	
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

(Sumber : FEMA 356 Table 3-2)

Tabel 2.13 Faktor Massa Efektif

no. of stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-spandrel	Steel Moment frame	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	steel eccentric Braced Frame	other
1 =2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1.0

(Sumber : FEMA 356 Table 3-1)

Tabel 2.14 Perubahan Faktor

Struktur Performance Level	$T \leq 0,1 \text{ seconds}$		$T \leq T_s \text{ seconds}$	
	Framing Type 11	Framing Type 22	Framing Type 11	Framing Type 22
Immediate Occupancy	1,0	1,0	1,0	1,0
Life Safety	1,3	1,0	1,1	1,0
Collapse Prevention	1,5	1,0	1,2	1,0

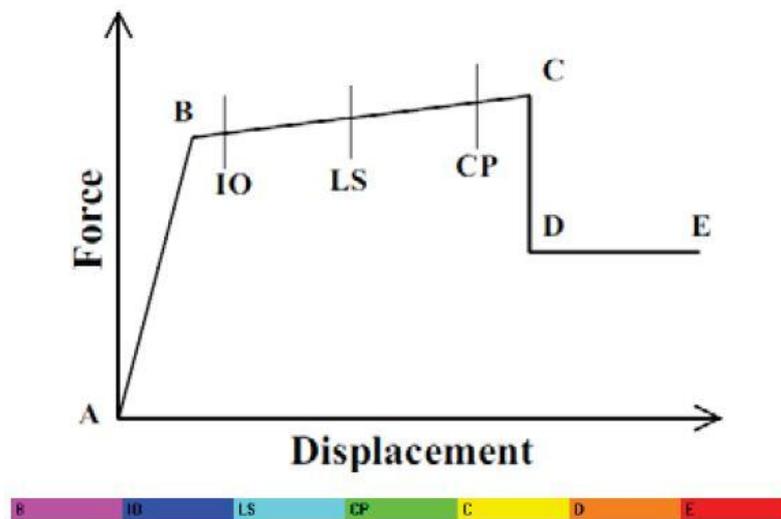
(Sumber : FEMA 356 Table 3-3)

2.5.1 Analisis struktur dan desain

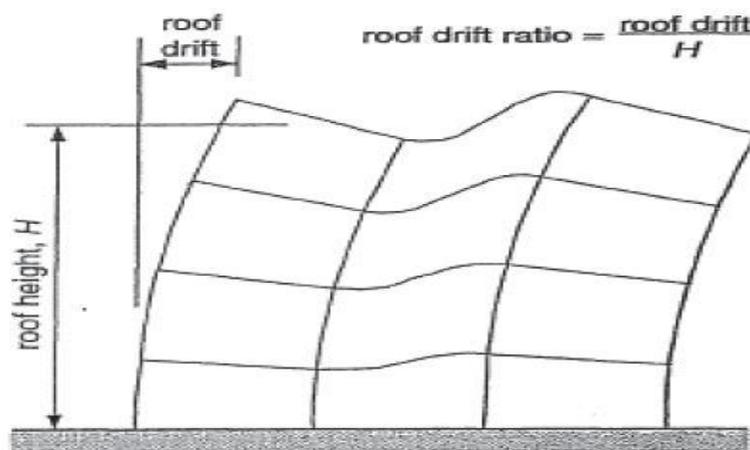
Dalam analisis statik nonlinear pushover, beban gravitasi dikerjakan terlebih dahulu kemudian beban horizontal monotonic secara bertahap dengan perbandingan yang tetap untuk setiap lantainya. Perilaku dari elemen struktur dalam memikul beban didefinisikan dengan terjadinya sendi plastis pada titik tertentu. perilaku sendi plastis pada saat pembebanan mengikuti gambar 2.10. Level kinerja bangunan dievaluasi berdasarkan kriteria *roof drift ratio* sesuai FEMA 356 seperti pada Gambar 2.11. Level kinerja *Life Safety* untuk

SRPMK sebesar 2 % transient dan 1% permanent sedangkan untuk SRBE 1,5% transient dan 1% permanent (FEMA 356 table C1-3)

Proses desain dan analisis untuk evaluasi kinerja dilakukan secara berulang hingga tercapai level kinerja yang sama dari masing-masing struktur yaitu level kinerja *Life Safety*. Setelah tercapai level kinerja yang sama yaitu *life safety* dari masing masing model. Perbandingan antara SRPMK dan SRBE dilakukan setelah model struktur mencapai level kinerja yang sama.



Gambar 2.7 Spektra Kapasitas (Sumber: FEMA 356)



Gambar 2.8 ilustrasi roof drift ratio (Sumber: FEMA 273, 1997)