BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 Rujukan Yang Pertama

Rujukan yang pertama yaitu skripsi dari Dian Purnia Sari yang berjudul "Analisis Kinerja Struktur Atas Dengan Metode Pushover Pada Perencanaan Gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Mojokerto" menjelaskan bagaimana mengevaluasi struktur dengan Metode Analisis Non-Linier Pushover yang di tinjau berdasarkan *Respons Spektrum* gaya geser gempa terhadap struktur bangunan yang dilihat dari *Displacement, Drifit, dan Base Sear* dengan bantuan software aplikasi SAP2000 dan SPCaCol. Analisis gaya gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, serta analisis syarat kelayakan skturktur atas gedung berdasarkan SNI 03-2847-2013 *Persyaratan Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung*. Struktur yang direncanakan dalam skripsi ini adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus dan Pushover pada gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Mojokerto.

Berdasarkan uraian dan hasil pembahasan pada Tugas Akhir Dian Purnia Sari di dapat kesimpulan bahwa:

Mekanisme sistem keruntuhan struktur atau *performance* struktur berdasarkan ATC-40:

- Nilai daktilitas *displacement* struktur :
  Displacement saat leleh (Δy) adalah= 0,0156 m
  Displacement saat runtuh (Δu) adalah = 0,328 m
- Berdasarkan dari nilai *performance ponit* didapat target perpindahan arah X yaitu sebesar 0,184 m dan target perpindahan arah Y yaitu sebesar 0,00564 m
- Level kinerja struktur berdasarkan *performance point* menunjukan bangunan berada pada kondisi *Immediate Occurpancy* (IO) kondisi dimana struktur bangunan pada saat menerima gempa rencana struktur tidak mengalami kerusakan.

2.1.2 Rujukan Yang kedua

Rujukan yang kedua yaitu penelitian dari Zainal Arifin, Suyadi, Surya Sebayang ; 2015 yang berjudul "Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analisis*" yang menjelaskan untuk struktur gedung dengan tipe *dual system (shearwall* yang dipasang pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) yang merupakan system dengan daktilitas tertinggi dan memiliki persyaratan yang detail dalam perhitungan penulangan komponen struktur aksial, lentur dan geser untuk elemen balok dan kolom, serta ketentuan mengenai hubungan balok kolom yang akan mempengaruhi kinerja bangunan secara keseluruhan ketika system Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan SNI 03 1726-2012 dan evaluasi kinerja struktur dengan *Pushover Analisis* dengan bantuan *software aplikasi* SAP2000 v.14. Struktur yang direncanakan pada penelitian ini berada pada Gedung POP Hotel Bandar Lampung. Terkait diberlakukanya peraturan pembebanan gempa terbaru SNI 03 1726-2012, perlu dilkukanya analisis terhadap tingkat kerawanan gempa dari gedung POP Hotel Bandar Lampung terhadap gempa rencana. Melalui analisis *non-linier (pushover)* dinilai mampu memberikan hasil yang paling representatif terhadap perilaku dan kinerja bangunan. Peninjauan pengaruh kenaikan beban gempa dinilai akan cukup terwakilkan melalui analisis *pushover*.

Berdasarkan hasil studi dari penelitian Zainal Arifin, Suyadi, Surya Sebayang beberapa hasil yang ditinjau, diantaranya:

A. Pembebanan Dan Perilaku Dinamik Model Struktur Untuk Analisis *Pushover*

   Ada beberapa pembebanan lateral yang diberikan untuk analisis *pushover*. Masing – masing pembebanan didefinisikan sebagai *load case* yang berbeda dan akan diawali oleh pembebanan gravitasi yang besarnya disesuaikan dengan massa bangunan (saat gempa). Seperti yang didefinisikan sebelumnya, massa bangunan meliputi 30% beban hidup, 100% beban mati, dan 100% beban mati tambahan.

   - Hasil Analisis *Pushover*

     Hasil analisis yang menjadi perhatian anatara lain; *performance* bangunan dan pola keruntuhan bangunan (distribusi sendi plastis). Dalam menentukan *performance point* bangunan, program SAP2000 v.14 melakukan iterasi prosedur B, ATC 40. Iterasi dilakukan berdasarkan kurva *demand elastik (damping*

ratio 5%). Dalam hal ini *pushover* parameter "respon1" dengan *demand spectrum function of respons spectrum.*
Dari hasil analisis *pushover* didapat nilai – nilai berikut:

2.1 Hasil Analisis *Pushover*

Parameter	**Arah Pembebanan**	***Base Shear* (kN)**	***Displacement* (m)**	***Performance***
ATC 40	X	8042,810	0,21	*Immediate Occupancy*
ATC 40	Y	3997,099	0,47	*Damage Control*

Pada tabel diatas terlihat bahwa kinerja bangunan Gedung POP Hotel Bandar Lampung mengalami kerusakan dengan level kinerja *Damage Control*. Dengan perpindahan sebesar 0,47 meter pada arah Y dan gedung mengalami keruntuhan *beam sway*.

2.2 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

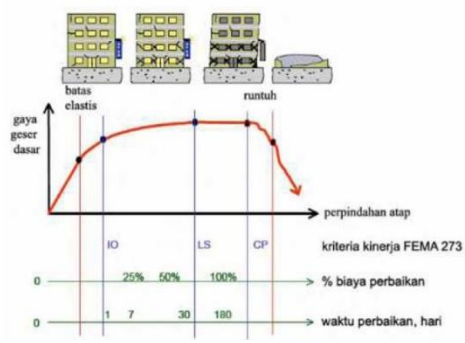
(Dody 2017 menulis Suhaimi 2014 dalam Budiono 2011) mengemukakan bahwa membangun bangunan yang dapat menahan bangunan tahan gempa adalah tidak ekonomis. Oleh karena itu prioritas utama dalam membangun bangunan tahan gempa adalah terciptanya suatu bangunan yang dapat mencegah terjadinya korban, serta memperkecil kerugian harta benda. Dari hal tersebut filosofi bangunan tahan gempa terbagi menjadi 3 macam, antara lain:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan *(serviceable)* sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa moderat atau medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat menimbulkan jumlah korban jiwa.

Dalam merencanakan sebuah bangunan gedung bertingkat tinggi, penting bagi perencana untuk meninjau dan memperhatikan faktor hukum alam yang ada terutama gempa bumi. Hal ini dikarenakan sebuah kejadian gempa bumi sangat berpengaruh pada kondisi kekuatan sebuah bangunan yang berdiri di atas tanah. Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja *(performance based seismic desaign)* merupakan proses yang digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan *(upgrade)* bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistik terhadap resiko keselamatan *(life)*, kesiapan pakai *(occupancy)* dan kerugian harta benda *(economic lo)* yang mungkin terjadi akibat gempa bumi yang akan datang.

Performance levels berdasarkan FEMA 273/356 berturut – turut berdasarkan respons yang paling kecil terjadi, terdiri atas:

1. *Fully Operational* (FO), adalah kondisi yang mana bangunan tetap dapat beroperasi langsung setelah gempa terjadi *(operational state)*. Hal ini terjadi karena elemen struktur utama tidak mengalami kerusakan sama sekali dan elemen non-struktur hanya mengalami kerusakan sangat kecil sehingga tidak terjadi masalah *(damage state)*.
2. *Immediatety Occupancy* (IO) adalah suatu kondisi yang mana struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional segera setelah gempa terjadi *(damage state)*. Ada kerusakan yang sifatnya minor, namun perbaikannya tidak mengganggu pemakai bangunan. Oleh karena itu bangunan pada level ini juga hampir langsung dapat dipakai setelah kejadian gempa.
3. *Life Safety* (LS) adalah suatu kondisi yang mana struktur bangunan mengalami kerusakan sedang *(damage skale)*, sehingga diperlukan perbaikan, namun bangunan masih stabil dan mampu melindungipemakai dengan baik. Bangunan dapat ditempati kembali setelah selesai perbaikan *(operational state)*.
4. *Collapse Prevention* (CP) adalah suatu kondisi yang mana struktur bangunan mengalami kesrusakan parah *(servere)*, tetapi masih tetap berdiri, tidak roboh atau runtuh. Elemen non-struktur sudah runtuh. Pada *performance level* ini bangunan tidak dapat dipakai *(operational state)*.



Sumber: FEMA, ATC 58

Gambar 2.1 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58)

2.3 Beton Bertulang

(Dody 2017 dalam Wikana dan Widayat 2007) menyampaikan dalam konstruksi teknik di definisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari percampuran bahan – bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah atau bahan semacam lainya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatn berlangsung. Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen *portland* (s.p) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar yang dipakai pada umunya adalah krikil atau batu pecah kecil (kricak) dan pasir sebagai agregat halus yang biasa digunakan. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen portland, pasir dan kerkil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton.

Dalam Buku "Konstruksi Beton I" Penulis Pratikto 2009 menjelaskan Beton Bertulang merupakan material baja tulangan yang ditanam di dalam beton. Sifat utama beton adalah sangat kuat di dalam menahan beban tekan (kuat tekan tinggi) tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Baja tulangan di dalam beton berfungsi menahan gaya tarik yang bekerja dan sebagian gaya tekan. Baja tulagan dan beton bekerja sama dalam menahan beban atas dasar beberapa alasan, yaitu:

2.3.1 Sifat – Sifat Mekanis Beton

a. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton diukur dengan silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm atau dengan kubus beton berukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm.

Kuat tekan beton normal antara 20 – 30 Mpa.
Untuk beton prategang, kuat tekanya 35 -42 Mpa.
Untuk beton mutu tinggi *"ready mix"* kuat tekanya dapat mencapai 70 Mpa, biasanya untuk kolom – kolom di tigkat bawah pada bangunan tinggi.

b. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton didefinisikan sebagai kemiringan garis singgung (slope dari garis lurus yang ditarik) dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45 f'c pada kurva tegangan regangan beton.
SK-SNI pada pasal 3.15, modulus elastisitas beton dihitung berdasarkan rumus : $Ec = 0{,}43(wc)^{1,5}\sqrt{f'c}$ ..... (2.1)
Dimana nilai Wc = 1500 – 2500 kg/m^3.
Untuk beton normal, modulus elastisitas beton adalah $Ec = 4700\sqrt{f'c}$.

2.3.2 Baja Tulangan

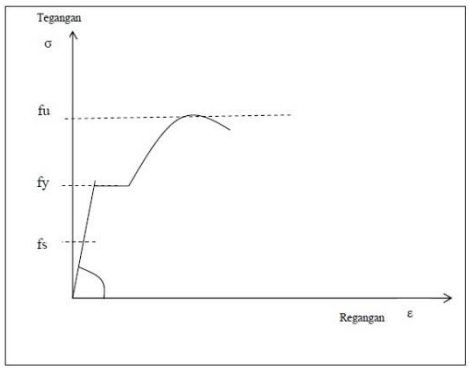
Beton kuat di dalam menahan tekan tetapi lemah di dalam menahan tarik. Oleh karena itu untuk menahan gaya tarik, diperlukan suatu baja tulangan. Bentuk – bentuk baja tulangan untuk beton adalah:

1. Besi /baja, terdiri dari:
   a. Baja tulangan polos. Tegangan leleh minimum pada baja tulangan polos biasanya sebesar 240 Mpa. Diameter tulangan polos di pasaran umumnya adalah Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14 dan Ø16.
   b. Baja tulangan deform (ulir = BJTD). Tegangan leleh minimum pada baja tulangan deform biasanya sebesar 400 Mpa. Diameter tulangan deform di pasaran umumnya adalah ØD10, ØD13, ØD16, ØD19, ØD22, ØD25, ØD28, ØD32, ØD36.
2. Kabel/tendon. Biasanya digunakan untuk prategang.
3. Jaring kawat baja *(wiremash)*, merupakan sekumpulan tulangan polos atau ulir yang dilas satu sama lain sehingga membentuk gird. Biasanya digunakan pada lantai/slab dan dinding.

Sifat – sifat penting pada baja tulangan adalah:

1. Modulus young / modulus elastisitas, Es pada baja tulangan non pratekan sebesar 200.000 Mpa.
2. Kekuatan leleh, fy. Mutu baja yang digunakan biasanya dinyatakan dengan kuat lelehnya. Kuat leleh / tegangan leleh baja pada umumnya adalah fy = 240 Mpa, fy = 300 Mpa dan fy = 400 Mpa.
3. Kekuatan batas, fu.
4. Ukuran / diameter baja tulangan.

Gambar 2.3. merupakan kurva diagram tegangan - regangan baja. Untuk semua jenis baja perilakunya diasumsikan sebagai elastoplastis.



Sumber: Buku "Konstruksi Beton 1" Penulis Pratikto 2009

Gambar 2.2. Diagram Tegangan-Regangan Baja

(metric unit)

Diameter	Unit Weight (Kg/m)		Effective Diameter (mm)	Effective Cross Section Area (Cm^2)	Height of Rings (mm)		Max Distance Between Ring (mm)	Clearance/ Gap between Rings (mm)
	Effective	Tolerance			Min	Max		
D - 10	0.617	± 7%	10	0.785	0.5	1.0	7.0	3.9
D - 13	1.04	± 6%	13	1.33	0.7	1.3	9.1	5.1
D - 16	1.58	± 6%	16	2.01	0.8	1.6	11.2	6.3
D - 19	2.23	± 5%	19	2.84	1.0	1.9	13.3	7.5
D - 22	2.98	± 5%	22	3.80	1.1	2.2	15.4	8.6
D - 25	3.85	± 5%	25	4.91	1.3	2.5	17.5	9.8
D - 29	5.19	± 4%	29	6.61	1.5	2.9	20.3	11.4
D - 32	6.31	± 4%	32	8.04	1.6	3.2	22.4	12.5
D - 36	7.99	± 4%	36	10.20	1.8	3.6	25.2	14.1

Sumber: Buku "Konstruksi Beton 1" Penulis Pratikto 2009

Gambar 2.3. Tulangan Deform Krakatau Steel

2.3.3 Kuat Rencana

Kuat rencana suatu struktur dihitung berdasarkan kuat nominalnya dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Yang dimaksud kuat nominal adalah kekuatan suatu penampang suatu struktur yang dihitung berdasarkan metode perencanaan sebelum dikalikan dengan faktor reduksi.

1. Kuat rencana suatu komponen struktur, sambunganya dengan komponen struktur lainya dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dari tata cara ini, dengan suatu faktor reduksi kekuatan φ.
2. Faktor reduksi kekuatan φ ditentukan sebagai berikut:
   a. Lentur, tanpa beban aksial = 0,80
   b. Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur. (Untuk beban aksial dengan lentur, kedua nilai kuat nominal dari beban aksial dan momen harus dikalikan dengan nilai φ tunggal yang sesuai):
      1) Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur = 0,80
      2) Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
      Komponen struktur dengan tulangan spiral = 0,70
      Komponen struktur lainya = 0,65
3. Geser dan torsi = 0,75
   Kecuali pada strukur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus atau sistem dinding khusus untuk menahan pengaruh gempa:
   a. Faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat geser nominalnya lebih kecil daripada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur.
      Nominalnya = 0,55
   b. Faktor reduksi untuk geser pada diafragma **tidak boleh melebihi** faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertikal dari sistem pemikul beban lateral.
   c. Geser pada hubungan balok – kolom dan pada balok perangkai yang diberi tulangan diagonal = 0,80
4. Tumpuan pada beton kecuali untuk daerah pengangkuran pasca tarik = 0,65
5. Daerah pengangkuran pasca tarik = 0,85
6. Penampang lentur tanpa beban aksial pada komponen struktur pratarik dimana panjang penanaman *starnd*-nya kurang dari panjang penyaluran yang ditetapkan 14.9.1.1 = 0,75
7. Perhitungan panjang penyaluran sesuai dengan pasal 14 tidak memerlukan faktor reduksi φ.
8. Faktor reduksi kekuatan φ untuk lentur, tekan, geser dan tumpu pada beton polos struktural (Pasal 24) harus diambil sebesar = 0,55

2.4 Kriteria Desain

Pada kriteria dalam desain atau perencanaan sebuah bangunan ada beberapa hal yang perlu di tinjau dari kondisi bangunan tersebut, baik dari kondisi tempat yang berhubungan dengan degradasi tanah bahkan sampai dimensi – dimensi struktural atas pada bangunan tersebut. Desain atau perencanaan merupakan perhitungan setelah dilakukanya proses analisis strukturalnya. Lingkup desain pada struktur beton bertulang meliputi pemilihan dimensi elemen dari dan perhitungan tulangan yang diperlukan agar penampang elemen memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban – beban pada kondisi layan *(Service Load)* dan *(Ultimate Load).*

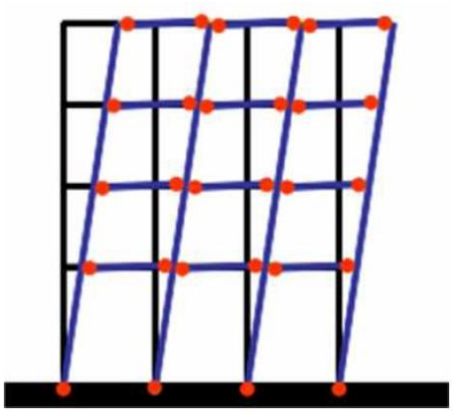
Dari segi struktural, salah satu ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktural agar agarstruktur tahan terhadap gempa, adalah Perencanaan Kapasitas *(Capacity Desaign).*

Sedangkan agar struktur bangunan dapat bernilai lebih ekonomis, tetapi tetap tidak mengalami keruntuhan pada terjadi gempa kuat adalah menggunakan sistem struktur yang bersifat daktail. Dan untuk mendapatkan sifat daktail, terdapat proses prosedur desain kapasitas, yakni elemen dari struktur bengunan yang memancarkan energi gempa melalui mekanisme perubahan bentuk atau deformasi plastis, dapat direncanakan titik – titik penempatanya terlebih dahulu.

Pada sebuah bangunan yang menggunakan struktur beton bertulang, tempat – tempat terjadinya deformasi plastis yaitu tempat – tempat dimana penulangan mengalami pelelehan, disebut dengan sendi plastis. Dimana sendi – sendi plastis dirancang sedemikian rupa, agar kelelehan baja atau beton terjadi pada balok terlebih dahulu, sebelum energi gempa menyebar merata menuju kolom. Maka, dalam hal ini perlu diketahui mekanisme kelelehan yang dapat terjadi pada sistem struktur portal.

Mekanisme kelelehan atau terbentuknya sendi – sendi plastis pada bangunan struktur beton bertulang yang berportal terdapat 2 jenis mekanisme, diantaranya:

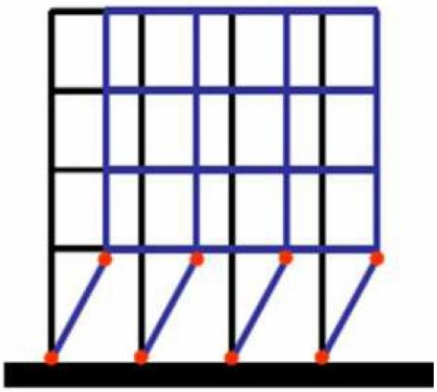
1. Mekanisme kelelehan pada Balok *(Beam Sidesway Mechanism),* yaitu keadaan dimana sendi – sendi plastis terbentuk pada balok – balok dari struktur bangunan, akibat penggunaan kolom – kolom yang kuat *(Strong Column Weak Beam).*



Sumber: FEMA 514B

Gambar 2.4. Mekanisme Kelelehan Pada Balok

2. Mekanisme kelelehan pada Kolom *(Column Sidesway Mechanism)*, yaitu keadaan dimana sendi – sendi plastis terbentuk pada kolom – kolom dari struktur bangunan pada suatu tingkat, akibatnya penggunaan balok – balok yang kaku dan kuat *(Stong Beam Weak Column)*.

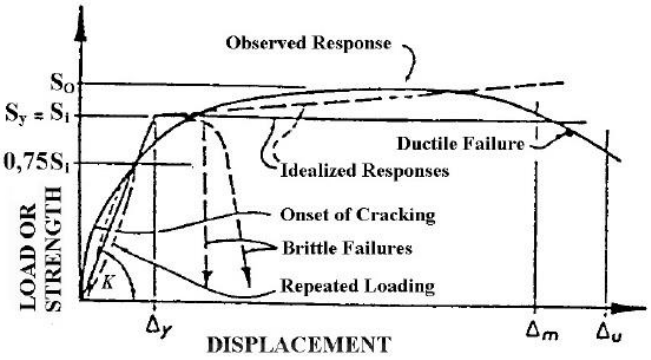


Sumber: FEMA 514B

Gambar 2.5. Mekanisme Kelelehan Pada Kolom

2.5 Daktilitas

Daktalitas adalah kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respons inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi (Paulay dan Prietsley, 1992).



Sumber: Paulay dan Prietsley, 1992

Gambar 2.6. Hubungan Beban – Lendutan

Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga jenis metode perhitungan. Daktilitas dapat ditinjau dari segi regangan *(strain),* Lengkungan *(curvanture),* dan Lendutan *(displacement).*

2.5.1 Daktilitas Regangan

Pengertian dasar dari daktalitas adalah kemampuan untuk material / struktur untuk menahan tegangan plastis tanpa penururnan yang drastis dari tegangan. Daktilitas regangan dapat ditentukan dengan rumus:

$$\mu\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon y} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

Dimana ε adalah total regangan yang terjadi dan ε*y* adalah regangan pada saat leleh. Daktilitas yang sangat berpengaruh pada struktur dapat tercapai pada panjang tertentu pada salah satu bagian dari struktur tersebut. Jika regangan inelastik dibatasi dengan panjang yang sangat pendek, maka akan terjadi penambahan yang besar pada daktilitas regangan. Daktilitas regangan merupakan daktilitas yang dimiliki oleh material yang digunakan.

2.5.2 Daktilitas Kurvatur

Pada umumnya sumber yang paling berpengaruh dari lendutan struktur inelastis adalah rotasi pada sambungan plastis yang paling potensial. Sehingga, ini sangat berguna untuk menghubungkan rotasi per unit panjang *(curvature)*

dengan momen bending ujung. Daktilitas lengkung maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu\phi = \frac{\phi m}{\phi y} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

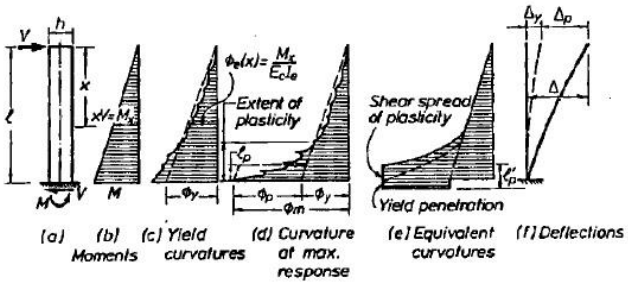
Dimana ϕm adalah lengkungan maksimum yang akan timbul, dan ϕy adalah lengkungan pada saat leleh. *Curvature Ductility* ini merupakan daktilitas yang diberikan oleh penulangan struktur.

2.5.3 Daktilitas Lendutan

Daktalitas lendutan biasanya digunakan pada evaluasi struktur yang diberikan gaya gempa. Daktalitas didefinisikan oleh rasio dari total lendutan yang terjadi Δ dengan lendutan pada awal titik leleh *(yield point)* U_y.

$$\mu\,\Delta = \frac{U}{Uy} \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

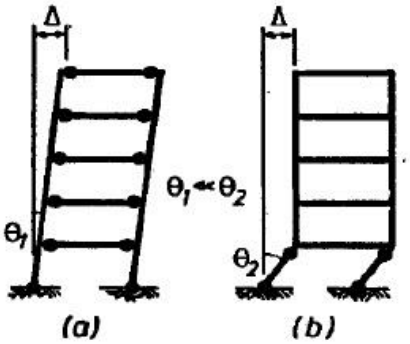
Dimana $U = U_y + U_p$ lendutan pada titik leleh (U_y) dan pada titik plastis (U_p) penuh adalah komponen – komponen dari total lendutan ujung. Untuk sebuah struktur portal, biasanya total defleksi diambil pada bagian teratas (atap), seperti pada Gambar 2.10. Walaupun pada nantinya perhitungan faktor reduksi akan dilihat dari hubungan simpangan dengan tinggi dari bangunan tersebut, kesalahan μ_{Δ} pada bagian atap dapat dinormalkan dengan perbandingan pendekatan yang telah dibuat. Pada saat perancangan, harus diperhatikan daktilitas dihubungkan dengan maksimum antisipasi lendutan $U = U_m$. Sehingga, tidak terlalu diperhatikan lendutan yang terjadi antar lantai. Ini mungin dapat dilihat pada Gambar 2.6 bahwa daktilitas lendutan pada bagian atap seperti yang dibandingkan.



Sumber: Paulay dan Prietsley, 1992

Gambar 2.7. Hubungan Momen, Curvature, dan Lendutan Pada Model Kantilever

Pada kenyataanya kejadian ini sangat berpengaruh. Terjadi perbedaan daktilitas pada kedua kejadian ini. Gambar 2.10. juga menunjukan bahwa kapasitas daktalitas lendutan μ_{Δ} pada struktur seperti itu akan sangat berpengaruh pada kemampuan kapasitas sambungan pada ujung balok atau kolom. Hal itu menuntut kemampuan daktalitas pada kolom dan balok secara individual. Lendutan sampai titik leleh U_y pada kantilever, diasumsikan mengalami *yeild curvature* pada bagian dasarnya. Ini adalah pendekatan yang paling realistis dan penting, karena nilai absolut dari lendutan maksimum $U_m = \mu_{\Delta} \leq U_u$ juga perlu dievaluasi dan dihubungkan dengan tinggi struktur dimana lendutan terjadi.



Sumber: Paulay dan Prietsley, 1992

Gambar 2.8. Defleksi

Pada struktur, ketika respon gempa yang terjadi melebihi beban rencana maka keadaan deformasi inelastis harus tercapai. Ketika struktur mampu untuk merespon keadaan inelastis tanpa penurunan kemampuan yang drastis, maka hal ini akan disebut dalam keadaan daktail. Keadaan daktail yang sempurna terjadi pada saat *ideal elastic / perfectly plastic (elastoplastic).*

2.6 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur – unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh

pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

2.7 Analisis Dinamik Respons Spektrum

Di dalam proses perencanaan analisa beban tehadap terdapat sebuah analisis yang dimana tujuan utamanya adalah seberapa besar pembagian gaya geser yang diperoleh terhadap bangunan. Yaitu analisis dinamik struktur, analisis dinamik merupakan analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di selururh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan terhadap struktur.

Terdapat beberapa kriteria / ragam dari proses analisis dinamik, salah satunya adalah analisis dinamik ragam respons spektrukm diman total respon di dapat melalui superposisi dari respon masing – masing ragam getar. Analisis dinamik untuk perancanaan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya – gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis.

Pengaruh beban gempa pada bangunan gedung dapat dianalisis dengan metode analisis statis atau dinamik. Untuk bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan, pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dapat dianggap sebagai beban – beban gempa nominal statik ekuivalen yang bekerja pada pusat massa lantai – lantai tingkat. Pengaruh beban – beban gempa nominal statik ekuivalen pada bangunan gedung dapat dianalisis dengan Metode Analisis Respon Spektrum.

2.8 Analisis Statik Non-Linier *Pushover*

Sampai saat ini, sudah banyak yang dilakukan penelitian yang membandingkan antara analisis statik *non-linier pushover* dengan analisis dinamik *non-linier* riwayat waktu didalam merencanakan ataupun meramalkan perilaku seismik suatu struktur bangunan, baik secara dua dimensi maupun tiga dimensi, dengan beban gempa satu arah maupun yang dua arah, dan dengan berbagai macam bentuk struktur. Kesemuanya memberikan kesimpulan bahwa analisis *pushover* masih dapat meramalkan perilaku siesmik suatu bangunan dengan cukup baik.

Fat Churrohman 2012, dalam Tugas Akhirnya menerangkan bahwa Analisis statik *non-linier pushover* merupakan salah satu komponen *performanced based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapaistas dari suatu struktur. Dasar dari analisis *pushover* sebenarnya sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik

tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu strktur sampai struktur tersebut mencapai *displacement* tertentu atau mencapai pola kerunturhan tertentu. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai – nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai – nilai yang didapatkan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva kapasitas suatu struktur. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis, dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen – elemen strukturnya.

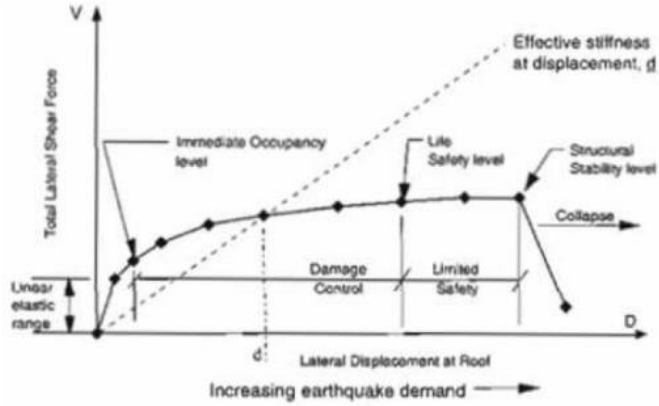
(Dian 2017 dalam Yunalia Muntafi 2012) mengartikan bahwa Analisis statik *non-linier* merupakan analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Analisis *non-linier* sangat tepat digunakan karena ketika terjadi gempa yang cukup besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat, sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linier, akan tetapi berperilaku *non-linier*. Analisis *static non-linier* dikenal pula sebagai analisis *pushover*, digunakan sebagai metode alternatif dalam melaksanakan *performance based erthquake engineering*.

Analisis statik beban dorong *(pushover)* adalah suatu analisis *non-linier* statik dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat masing – masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur – angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama dalam perubahan bentuk paska-elastis yang besar sampai mencapai terget peralihan yang diharapkan atau sampai kondisi plastis (Sudarman, 2014).

Tujuan analisis *pushover* adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual struktur, memperlihatkan kurva kapaistas *(capacity curve)*, dan memperlihatkan skema kelelehan (distribusi sendi plastis) yang terjadi (Pranata, 2006)

Meskipun dasar analisis ini sangat sederhana, informasi yang dihasilkan akan berguna karena mampu menggambarkan respons inelastis bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah – masalah analisis maupun desain, tetapi merupakan suatu langkah maju dengan memperhitungkan karakteristik respons *non-linier* yang dapat dipakai sebagai ukuran *performance* suatu bangunan pada waktu digoncang gempa kuat. Pembuatan model komputer struktur yang akan dianalisis secara dua maupun tiga dimensi.

Metode analisis statik *pushover* merupakan metode dengan pendekatan statik, yang dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Slah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas.



Sumber: Dian Purnia Sari, 2017

Gambar 2.9. Mekanisme Keruntuhan

2.8.1 Tahapan Utama Dalam Analisis *Pushover*

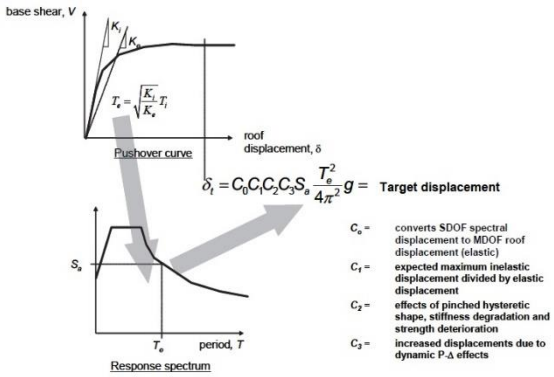
Tahapan utama dalam analisis *pushover* adalah:

1. Menentukan titik kontrol memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral utama yang ekuivalen desain distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena itu sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong samapi taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan, merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awalsudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan dengan bantuan komputer atau aplikasi (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *built-in* pada program SAP2000, mengacu pada FEME – 356). Oleh karena itulah mengapa pembahasan perencanaan berbasis kinerja banyak mengacu pada dokumen FEMA.

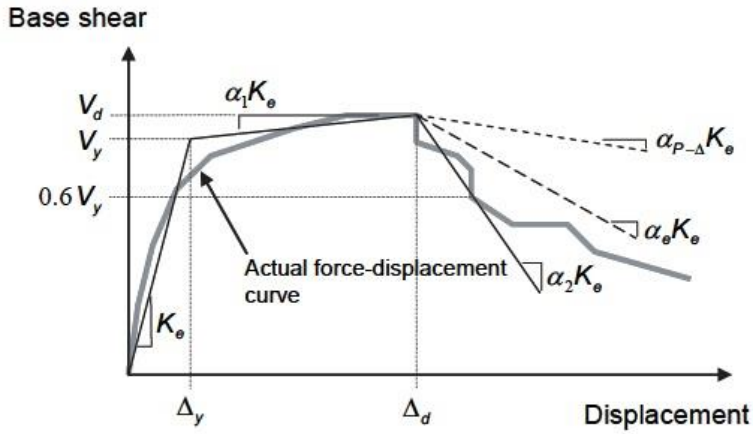
2.8.2 Waktu Getar Alami Efektif

Analisa *eigen-value* pada umunya digunakan untuk mengetahui waktu getar alami bangunan, dimana informasi tersebut sangat penting untuk mendapatkan estimasi besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan tersebut. Analisa *eigen-value* dilaksanakan menggunakan data – data yang masih dalam kondisi elastis linier, padahal pada saat gempa kondisi bangunan mengalami keadaan yang berbeda, yaitu berperilaku in-elastis. Oleh karena itu waktu getar alami banguan pada saat gempa maksimum berbeda dengan hasil analisa *eigen-value*. Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi in-elastis atau waktu getar efektif. Te, dapat diperoleh dengan bantuan kurva hasil analisa *pushover*.



Sumber: FEMA-440

Gambar 2.10. Parameter Waktu Getar Fundamental Efektif dari Kurva *Pushover*



Sumber: FEMA-440

Gambar 2.11. Kurva Perpindahan Untuk Analisis Statik *Non-Linier*

Untuk itu, kurva *pushover* diubah menjadi kurva bilinier untuk mengestimasikan kekauan lateral efektif bangunan, Ke, dan kuat leleh bangunan, Vy. Kekakuan efektif bangunan dapa diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik pototng kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (Ke) dan kondisi inelastis (aKe), maka prosesnya dilakukan secara *trial-error*. Selanjutnya waktu getar alami efektif, Te dihitung dengan rumus:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{Ki}{Ke}} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

Dimana T_i dan K_i adalah perioda alami awal elastis (dalam detik) kekakuan awal bangunan pada arah yang ditinjau.

2.8.3 Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap "perpindahan tertentu" di titik kontrol yang disebut sebagai "target perpindahan" dengan notasi δt dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan

perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan, δt. Permintaan membuat kurva *pushover* sampai minimal 150% target perpindahan adalah agar dapat diliihat perilaku bangunan yang melebihi kondisi rencananya. Perencana harus memahami bahwa target perpindahan hanya merupakan rata – rata nilai dari beban gempa rencana. Perkiraan target perpindahan menjadi kurang benar untuk bangunan yang mempunyai kekuatan lebih rendah dari spektrum elastis rencana. Meskipun tidak didukung oleh data pada saat dokumen FEMA 356 ditulis tetapi diharapkan bahwa 150% target perpindahan adalah perkiraan nilai rata – rata ditambah satu standar deviasi perpindahan dari bangunan dengan kekuatan lateral melebihi 25% dari kekuatan spektrum elastis.

Analisa *pushover* dilakukan dengan memberikan beban lateral pada pola tertentu sebagai simulasi beban gempa, dan harus diberikan bersama – sama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang disyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa untuk setiap tingkat. FEMA 273 mensyaratkan minimal harus diberikan dua pola beban yang berbeda sebagai simulasi beban gempa yang bersifat random, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotorik).

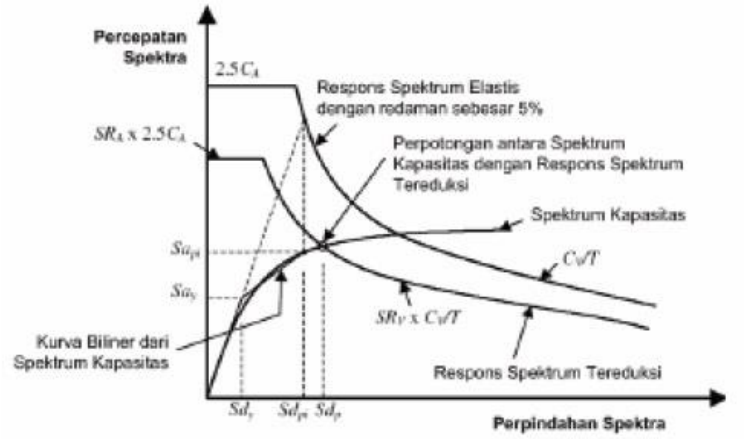
Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δt. Jadi parameter target perpindahan sangat penting perannya bagi perencanaan berbasis kinerja. Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coeficient Method* atau Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA356/440 dan ATC 40) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metode Spektrum Kapasitas (FEMA 274/440, ATC 40). Selain itu ada prsyaratan perpindahan dari SNI 1726-2002 yang dapat dijadikan sebagai kriteria kinerja.

Metode yang akan dipakai dalam analisis *pushover* ini adalah metode spektrum kapasitas yang merupakan metode utama dari ATC 40. Metode ini meskipun dimaksud untuk konstruksi beton bertulang, tetapi ternyata banyak juga diaplikasikan pada konstruksi lain.

Dalam Metode Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa

hasilnya diplot-kan dalam format ADRS *(Acceleration Displacement Response Spectrum)*. Format tersebut adalah konversi sederhana dari kurva hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan lateral titik kontrol dengan menggunakan properti dinamis sistem dan hasilnya disebut sebagai kurva kapsitas struktur. Gerakan tanah gempa juga dikonversikan ke format ADRS. Hal itu menyebabkan kurva kapasitas dapat diplot-kan pada sumbu yang sama sebagai gaya gempa perlu. Pada format tersebut waktu getar ditunjukan sebagai garis radial dari titik pusat sumbu.

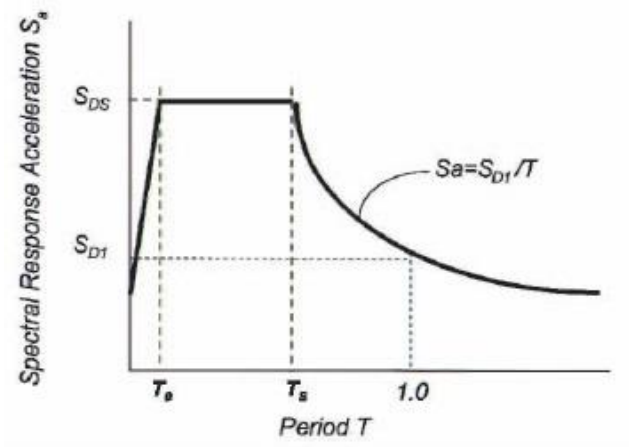
Waktu getar ekuivalen, Te, dianggap sebagai secant aktu agar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekuivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastis maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif. ATC-40 menetapkan batas redaman ekivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat gradual.



Sumber: ATC, 1996

Gambar 2.12. Penentuan Titik Kinerja Menurut Metode Spektrum Kapasitas

Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program aplikasi SAP2000, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukan cukup memberikan kurva Respons Spektrum Rencana dengan parameter sebagai berikut:



Sumber: FEMA-440

Gambar 2.13. Parameter Data Respons Spektrum Rencana

2.9 Analisis Perencanaan Tahan Gempa

2.9.1 Gempa Rencana

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2 persen

2.9.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori gedung bergantung pada kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung yang diharapkan. Pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I).

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainya Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
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 - Failitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,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
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak	III

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainya Untuk Beban Gempa (Lanjutan).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
- Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan / atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari – hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tepi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penangan air - Fasilitas penangan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuang bahan bakar sederhana, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh intansi yang berwewenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebgai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan – bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pedidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat lainya	IV

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainya Untuk Beban Gempa (Lanjutan).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
- Tempat pelindungan terhadap gempa bumu, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainya - Fasilitas kesiapan darurat, kominikasi, 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 diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat - Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori resiko IV.	IV

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

2.9.3 Klasifikasi Kelas Situs Batuan

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus

diklarifikasikan terlebih dahulu. Berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 3 klasifikasi situs untuk desain seismik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Klasifikasi Situs

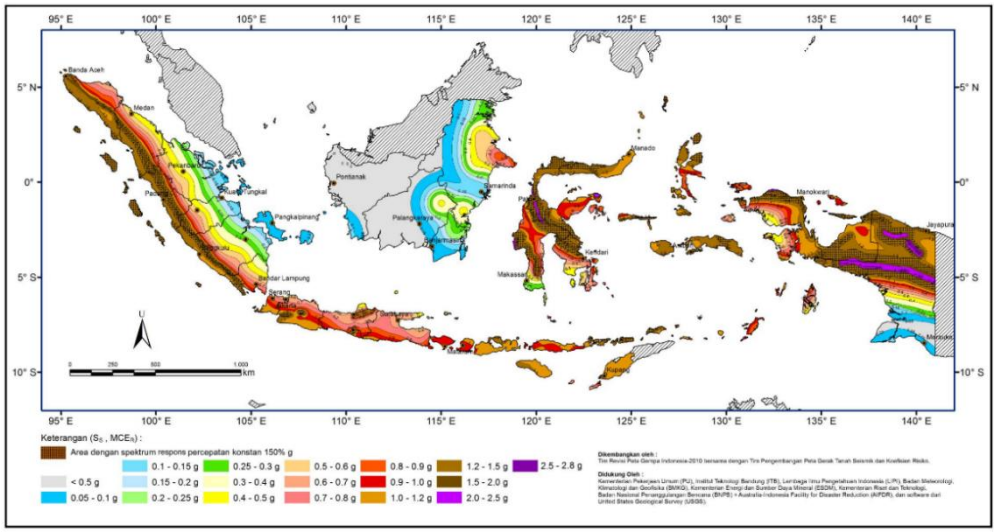
Kelas Situs	**V_s (m/detik)**	**N atau N_{ch}**	**S_u (kPa)**
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	> 175	> 15	> 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar Air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat Geser Niralir $S_u > 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah lukuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan / atau gambut (ketebalan $H > 3$m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H >$ 7,5) dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$m dengan $S_u > 50$ Kpa		

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Catatan : N/A tidak dapat dipakai

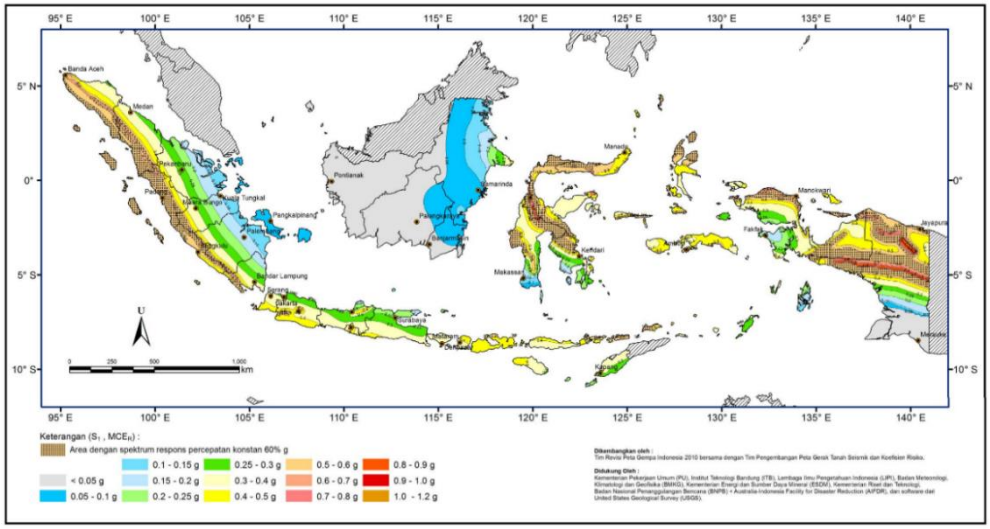
2.9.4 Parameter Percepatan Batuan

Parameter Ss (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan msing – masing dari respons spektral percepatan T = 0,2 detik dan T = 1 detik pada SNI 03-1726-2012 pada pasal 14 mengenai peta – peta gerak tanah seismik, dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0{,}04g$ dan $Ss \leq 0{,}15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam pasal 6.6 mengenai kategori desain seismik A tersebut.



Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Gambar 2.14. Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCER)



Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Gambar 2.15. S_1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCER)

2.9.5 Parameter Percepatan Gempa

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

$S_{MS} = F_a S_s$ ..... (2.6)

$S_{M1} = F_v S_1$ ..... (2.7)

Dimana :

- S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek
- S_1 = Parameter respons spektral percepatan MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, di perlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran

terkait percepatan pada getaran perioda pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (Fv). Koefisien situs yang mengikuti Tabel 2.4. Koefisien situs, Fa dan 2.5. Koefisien situs Fv, Untuk nilai Ss dan S1 yang berada di antara yang disediakan tabel, maka dapat dilakukan interpolasi linear.

Rumus Interpolasi : $y_2 = \frac{(x_2 - x_1)(y_a - y_1)}{(x_a - x_1)} + y_1$ ..... (2.8)

Dimana x1,x3,y1,y2 = disalin dari nilai antara tabel

x2 = nilai acuan untuk interpolasi (Ss,S1)

y2 = nilai hasil dari interpolasi (Fa,Fv)

Tabel 2.5 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik,Ss**				
	Ss ≤ 0,25	**Ss = 0,5**	**Ss = 0,75**	**Ss = 1,0**	**Ss ≥ 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]				

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Catatan :

1. Untuk nilai – nilai antara Ss dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukn investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik yang terdapat pada SNI 1726-2012 Pasal 6.10.

Tabel 2.6 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik,S_1				
	Ss ≤ 0,1	**Ss = 0,2**	**Ss = 0,3**	**Ss = 0,4**	**Ss ≥ 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[b]				

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Catatan :

1. Untuk nilai – nilai antara S1 dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukn investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs – spesifik yang terdapat pada SNI 1726-2012 pasal 6.10.1

2.9.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, SDS dan pada perioda 1 detik, SD1, harus ditentukan memulai perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

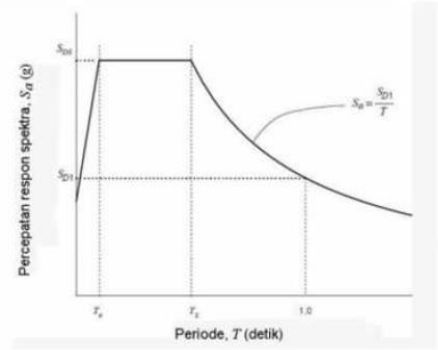
Jika digunakan perhitungan tentang desain struktur yang disederhanakan untuk dinding penumpu atau sistem rangka bangunan sederhana tidak perlu menentukan S_{DS} dan S_{D1}.

2.9.7 Perioda Getar Fundamental Struktur

T = Perioda Getar Fundamental

$$T0 = 0{,}2 \frac{SD1}{SDS} \quad \text{.....} \quad (2.11)$$

$$Ts = \frac{SD1}{SDS} \quad \text{.....} \quad (2.12)$$



Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012)

Gambar 2.16. Spektrum Respons Desain

2.9.8 Spektrum Respons Desain

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0, spektrum respons percepatan desain, S_a, harus diambil dari persamaan:

$$Sa = SDS\ (0{,}4 + 0{,}6\ \frac{T}{T0}) \quad \text{..... (2.13)}$$

Untuk perioda yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts, spektrum respons percepatan desain, Sa, sama dengan S_{DS}. Untuk perioda lebih besar dari Ts, spektrum percepatan desain, Sa, diambil berdasarkan persamaan:

$$Sa = \frac{SD1}{T} \quad \text{..... (2.14)}$$

Dimana :

- S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek
- S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detuk
- T = Perioda Getar Fundamental

2.9.9 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dievaluasi berdasarkan tabel 2.7. dan 2.8., dan yang dipilih adalah yang paling berat dari antara kedua tabel. Semua struktur

bangunan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori resiko bangunan serta nilai S_{DS} dan S_{D1}.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasrkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

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

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasrkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 detik

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

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

Tabel 2.9 Kategori Desain Gempa (KDG) dan Resiko Kegempaan

Kode	Tingkat Resiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726-2012	KDG A,B	KDG C	KDG D,E,F
	SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012)

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2 ½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1 ½	2 ½	1 ½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menegah	4	2 ½	4	TB	TB	12[k]	12[k]	12[k]
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2 ½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata beton khusus	5	2 ½	3 ½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu batabertulang menengah	3 ½	2 ½	2 ¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	2 $^2/_4$	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2 ½	1 ¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1 ½	2 ½	1 ¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 ¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2 ½	2	TB	10	TI	TI	TI

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renpons R°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1 ½	2 ½	1 ½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapis dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6 ½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisis dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6 ½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainya	2	2 ½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3 ½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunana								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
2. Rangka baja dengan bresing kosentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing kosentris biasa	3 ¼	2	3 ¼	TB	TB	10/	10/	TI/
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1 ½	2 ½	1 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2 ½	4 ½	TB	TB	12[k]	12[k]	12[k]
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2 ½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4 ½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6 ½	2 ½	5 ½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit ksusus	6	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit	5	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dending geser batu bata bertulang khusus	5	2 ½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2 ½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2 ½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding baja batu polos didetail	2	2 ½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1 ½	2 ½	1 ¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1 ½	2 ½	1 ¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimasukan untuk tahanan geser	7	2 ½	4 ½	TB	TB	22	22	22

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renpon sR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
23. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimasukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2 ½	4 ½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainya	2 ½	2 ½	2 ½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkengkang tehadap teku	8	2 ½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI’
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10[hj]	TI[h]	TI’
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI[h]	TI[h]	TI’

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusu	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkengkang persial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan bembuatan	3 ½	3°	3 ½	10	10	10	10	10

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 ½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 ½	2 ½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2 ½	6	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2 ½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5 ½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3 ½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dan bresing terkengkang terhadap tekuk	8	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2 ½	6 ½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	10	TI	TI[h,k]
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6 ½	2 ½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2 ½	TB	TB	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 ½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renponsR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5 ½	2 ½	4 ½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3 ½	2 ½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5 ½	2 ½	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4 ½	2 ½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever di detail untuk memenuhi persyaratan untuk:								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2 ½	1 ¼	2 ½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1 ¼	1 ¼	1 ¼	10	10	TI	TI[kj]	TI[kj]

Tabel 2.10 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi renpon sR°	Faktor kuat lebih system Ω_0[g]	Faktor pembesaran defelksi C_d[b]	Beban sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori desain sismik				
				B	C	D[d]	E[d]	F[c]
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2 ½	1 ¼	2 ½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1 ½	1 ¼	1 ½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1 ¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1 ½	1 ½	1 ½	10	10	10	10	10
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan sismic, tidak termasuk system kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012

CATATAN :

- *R* mereduksi gaya sampai tingkat kekuatan, bukan tingkat tegangan ijin
- [ε] Faktor modifikasi respons, *R*, untuk penggunaan pada keseluruhan tata cara
- [b] Faktor pembesar defleksi, C_d, untuk penggunaan dalam 7.8.6, 7.8.7 dan 7.9.2
- [c] TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diijinkan
- [d] Lihat 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggihan 72m atau kurang
- [e] Lihat 7.2.5.4 untuk sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggihan 48m atau kurang
- [f] Rangka pemikul biasa diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti rangka pemikul momen menengah untuk kategori desain seismic B atau C

- [g] Harga tabel faktor kuat-leleh, Ω_0, diijinkan untuk direduksi dengan mengurangi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 2,0 untuk segala struktur, kecuali untuk system kolom kantilever
- [h] Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismik K, D atau E
- [i] Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismic F
- [j] Rangka baja dengan konsentris biasa baja diijinkan pada bangunan satu tingkat sampai ketinggihan 18m dimana beban mati atap tidak melebihi 0,96 KN/m^2 dan pada struktur griya
- [k] Penambahan ketinggihan sampai 13,7m diijinkan untuk fasilitas gedung penyimpanan satu tingkat
- [l] Dinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural
- [m] Definisi "Dinding Struktural Khusus". Termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat
- [n] Definisi "Rangka Momen Khusus", termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat
- [o] secara berurutan, efek beban gempa dengan kuat lebih E_{mh}, diijinkan berdasarkan perkiraan kekuatan yang ditentukan sesuai dengan tata cara yang berlaku
- [P] rangka baca canai dingin pemikul momen khusus dengan pembaitan harus dibatasi untuk bangunan dengan tinggi satu lantai sesuai dengan tata cara yang berlaku

2.10 Jenis Beban

Suatu bentuk beban yang akan ditanggung oleh suatu struktur bangunan atau elemen struktur tidak selalu dapat diramalkan berdasarkan pengalaman –pengalaman yang ada sebelumnya. Meski beban – beban tersebut telah diketahui dengan baik pada salah satu lokasi struktur tertentu, distribusi dari elemen yang satu ke elemen yang lain pada keseluruhan struktur masih membutuhkan beberapa asumsi dan pendekatan yang termisalkan akan terjadi. Jenis beban yang biasa digunakan dalam struktur bangunan gedung meliputi:

2.10.1 Beban Lateral

Terdapat beberapa beban lateral, diantaranya:

1. Beban gempa

   Besarnya simpangan horizontal *(drift)* yang bergantung pada kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Apabila struktur memiliki kekuatan yang sangat besar untuk melawan gaya gempa maka struktur akan mengalami simpangan

horizontal yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak memiliki kekuatan yang cukup besar. Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 15.11.2.3, untuk meramalkan atau mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung baja, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama tetapi efektifitasnya hanya sebesar 30% tapi tidak lebih dari 70%.

2. Beban angin

   Beban angin pada struktur terjadi karena adanya gesekan udara dengan permukaan struktur dan perbedaan tekanan dibagian depan dan belakang struktur. Beban angin tidak memberi kontribusi yang besar terhadap struktur dibandingkan dengan beban lainya. Menurut Schodek (1999), mengemukakan bahwa besarnya tekanan yang diakibatkan angin pada suatu titik akan tegantung kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris srtuktur, besar kecilnya dimensi struktur.

2.10.2 Beban Gravitasi

Terdapat beberapa beban gravitasi, diantaranya:

1. Beban hidup

   Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung 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 gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan pada lantai atap.

   Beban hidup dapat menimbulkan lendutan pada struktur, sehingga harus diperhitungkan menurut perhitungan yang berlaku agar struktur tetap aman. Beban yang disebabkan oleh isi benda – benda di dalam atau diatas suatu bangunan disebut beban penghunian *(occupancy load).* Beban ini mencakup beban peluang untuk berat manusia, perabot partisi yang dapat dipindahkan.

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m^2)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses - Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gedung persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)[a]	
Ruang Pertemuan - Kursi Tetap (terikat dilantai) - Lobi - Kursi dapat dipindahkan - Panggung pertemuan - Lantai podium	 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 150 (7,18)[a]	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100psf (4,79 kN/m^2)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor - Lantai pertama - Lantai lain	100 (2,79) Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)[a]	
Hunian (lihat rumah tinggal)	100 (4,79)[a]	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2inx2in [50mm x 50mm])		300 (1,3)
Kontruksi pelat lantai *finishing* ringan (pada area 1in x 1in [25mmx25mm])		200 (0,89)

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	**Merata Psf (kN/m^2)**	**Terpusat Lb (kN)**
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran - Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/parkir Mobil penumpang saja Truk dan Bus	40 (1,92)[a,b,c] c	
Susuran tangga, rel pengaman, dan batang pegangan	Lihat pasal 4,5	
Helipad	60 (2,87)[de] tidak boleh direduksi	[e,f,g]
Rumah sakit: - Ruang operasi - Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	 60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan - Ruang baca - Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	 60 (2,87) 150 (7,18)[a,h] 80 (3,83)	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Pabrik - Ringan - Berat	 125 (6,00)[a] 250 (11,97)[a]	 2000 (8,90) 3000 (13,40)

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m^2)	Terpusat Lb (kN)
Gedung Perkantoran: - Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian - Lobi dan koridor lantai pertama - Kantor - Koridor diatas lantai pertama	 100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	 2000 (8,90) 2000 (8,90) 2000 (8,90)
Lembaga Hukum - Blok sel - Koridor	 40 (1,92) 100 (4,79)	
Tempat Rekreasi - Tempat Bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama Bangsal dansa dan Ruang dansa Gimnasium Tempat menonton baik terbuka / tertutup - Stadium dan tribun / arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	 75 (3,59)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a,k] 60 (2,87)[a,k]	

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m^2)	Terpusat Lb (kN)
Rumah Tinggal		
Hunian (satu keluarga & dua keluarga)		
- Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)[t]	
- Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)[m]	
- Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
- Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal		
Ruang pribadi dan koridor yang dapat melayanin mereka	40 (1,92)	
- Ruang publik[2] dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)[n] 100 (4,79)	
Atap digunakan untuk taman atap		
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani[a]	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi	5 (0,24)	
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	Tidak boleh direduksi	

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m²)	Terpusat Lb (kN)
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) Tidak boleh direduksi Berdasarkan luas distribusi dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai - Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titk sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
- Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
- Ruang Kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
- Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
- Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak/*scuttles*, rusuk untuk atap kaca langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)

Tabel 2.11 Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m^2)	Terpusat Lb (kN)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)[a,p]	8000 (35,6)[q]
Tangga dan jalan keluar Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300[r] 300[r]
Gedung diatas langit-langit Gedung penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat) - Ringan - Berat	20 (0,96) 125 (6,00)[a] 250 (11,97)[a]	
Toko Eceran - Lantai Pertama - Lantai diatasnya Grosir, disemua lantai	 100 (4,79) 75 (3,59) 125 (6,00)[a]	 1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Penghalang Kendaraan	Lihat Pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki		

Sumber: SNI 1727-2013 "Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain"

Catatan:

- [a] = reduksi beban hidup untuk penggunaan ini tidak diizinkan oleh pasal 4.7 dinyatakan pengecualian secara spesifik

- [b] = lantai dalam garasi atau bagian dari bangunan gedung yang digunakan untuk penyimpanan kendaraan bermotor harus dirancang terhadap beban hidup merata terdistribusi dalam Tabel 2.2 atau beban terpusat berikut:
  a. untuk garasi yang dibatasi untuk kendaraan penumpang yang mengakomodasi tidak lebih dari sembilan penumpang 3000lb (13,35kN) bekerja pada daerah seluas 4,5in x 4,5in. (114mm x 144mm) sebagai jejak dongkrak; dan
  b. untuk struktur parkir mekanik tanpa pelat atau dek yang digunakan untuk penyimpang mobil saja 225lb (10kN0 per-roda
- [c] = desain untuk truk dan bus harus sesuai dengan AASTHO LRFD *Bridge Design Specification;* walaupun demikian ketentuan dari persyaratan beban fatik dan dinamis tidak perlu diterapkan
- [d] = beban merata sebesar 40psf (1,92kN/m^2) merupakan dasar desain helikopter yang memiliki berat pada saat lepas landas maksimum 3000lbs (13,35kN) atau kurang. Beban ini tidak boleh direduksi.
- [e] = pelabelan kapasitas helikopter harus dipasang sesuai dengan pihak yang berwewenang
- [f] = dua beban terpusat tunggal, yang berjarak setiap 8ft (2,44) harus dipasang pada daerah pendaratan (mewakili dua palang utama helikopter, baik tipe palang atau tipe roda) setiap memiliki besarnya 0,75 x berat landas maksimum helikopter dan ditempatkan untuk menghasilkan efek beban maksimum pada elemen struktur yang ditinjau. Beban terpusat harus dipasang meliputi suatu luasan dari 8in x 8in. (200mm x 200mm) dan tidak boleh sepusat dengan beban hidup merata atupun terpusat lainya.
- [g] = suatu beban pusat tunggal sebesar 3000lbs (13,35kN) harus dipasang pada suatu luas 4,5in x 4,5in (114mm x 114mm), ditempatkan sedemikian rupa untuk menghasilkan efek gempa maksimum pada elemen struktur yang ditinjau. Beban terpusat tersebut tidak perlu dianggap bekerja sesuai dengan beban hidup terpusat atau merata lainya.
- [h] = beban yang bekerja pada lantai runag penyimpanan rak yang tidak bergerak dan rak buku perpustakaan dua sisi memiliki batasan berikut:
  a. tinggi nominal rak buku tidak boleh lebih dari 90in. (2290mm);
  b. tebal rak tidak boleh lebih dari 12in (305mm) untuk setiap sisi
  c. rak buku dua sisi yang memiliki baris paralel harus dipisahkan oleh celah yang tidak kurang dari 36in (914mm).
- [k] = sebagai tambahan dari beban hidup vertikal, desai harus termasuk gaya goyang horizontal yang bekerja pada setiap baris baris dari dudukan dipasang beban dudukan 24lb/ft dari dudukan bekerja dalam arah sejajar dari setiap

baris dudukan dan 10lb/ft dari dudukan yang bekerja dalam arah tegak lurus dari setiap baris dudukan. Gaya goyang horizontal, tegak lurus dan paralel tidak perlu bekerja bersamaan

- [l] = ruang dibawah atap yang tidak bisa didiami tanpa gudang adalah tempat dimana tinggi bersih maksimum antara joist dan kasau kurang dari 42in (1,067mm), atau dimana tidak ada dua atau lebih rangka batang yang bersebelahan dengan konfigurasi badan yang mampu mengakomodasi suatu persegi dengan ukuran tinggi 42in (1067mm) lebar 24in (610mm), atau lebih besar, diantara bidang rangka – rangka batang. Beban hidup tidak perlu dipasang sepusat dengan persyaratan beban hidup lain.
- [m] = ruang dibawah atap yang tidak yang tidak bisa didiami tanpa gudang adalah tempa dimana tinggi bersih maksimum antar joist dan kasau kurang dari 42in (1067mm) atau dimana tidak adadua atau lebih rangka batang yang bersebelahan dengan konfigurasi badan yang mampu mengakomodasi suatu persegi dengan ukuran tinggi 42in (1067mm) lebar 24in (610mm), atau lebih besar, diantara bidang dan rangka – rangka batang. Pada rangka batang tersebut beban hidup harus boleh dipasang pada batang – batang bawah dimana dua kondisi harus dipenuhi sebagai berikut:
  a. ruang bawah atap bisa diakses dari bukaan dari ukuran lebar 20in (508mm) dan panjang 30in (762mm) yang ditempatkan pada tinggi bersih 30in (762mm); dan
  b. kemiringan dari batang bagian bawah rangka batang tidak boleh lebih besar dari dua unit vertikal ke 12 unit horizontal (kemiringan 9,5%). Sisa dari bagian bawah rangka batang harus didesain untuk beban hidup tidak terpusat terdistribusi merata tidak kurang dari 10 lb/ft^2 (0,48kN/m^2).
- [n] = bila beban hidup merata direduksi sampai kecil dari 20 lb/ft^2 (0,96 kN/m^2) menurut pasal 8.1 dan digunakan dengan untuk mendesain komponen struktur ditata sedemikian rupa untuk membuat kesenambungan, beban hidup atap yang tereduksi harus dipasang ke bentang – bentang bersebelahan atau alternatif, dipilih yang menghasilakn efek beban terbesar.
- [o] = atap digunakan untuk keperluan lain harus didesain untuk beban – beban yang sesuai sebagaimana yang diminta oleh pihak yang berwewenang
- [p] = beban merata lain sesuai dengan metode yang disetujui, yang berisi sesuai ketentuan untuk pembebanan truk, juga harus dipertimbangkan jika perlu
- [q] = beban roda terpusat harus digunakan pada daerah 4,5in x 4,5in (115mm x 115mm)
- [r] = beban mati terpusat minimum pada pijakan tangga (seluas 2in x 2in [50mm x 50mm]) harus dipasang tidak sepusat dengan beban merata.

2. Beban Mati

Beban Mati (DL) merupakan massa atau berat beban dari semua bagian struktur gedung yang bersifat tetap. Beban mati sendiri terdiri dari dua jenis, yaitu berat struktur itu sendiri dan *superimposed deadload* (SiDL). Diamana beban *superimpossed* adalah beban mati tambahan yang diletakan atau terdapat pada struktur, diantaranya dapat berupa lantai (ubin/keramik), peralatan mekanik elektrikal, alngit – langit dan sebagainya. Perhitungan besarnya beban mati suatu elemen struktur dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volmen elemen. Berat satuan *(unit weight)* material secara empiris telah ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya pada sejumlah standar atau peraturan pembebanan.

2.10.3 Beban Kombinasi

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 2.3.2, kombinasi dasar struktur, komponen, dan pondasi dirancang sedemikian rupa, sehingga kekuatan desainya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor alam kombinasi sebagai berikut:

1. 1,4 DL ..... (2.15)
2. 1,2 DL + 1,6 LL ..... (2.16)
3. 1,2 DL + 1,0 EQ (x) + 1,0 LL ..... (2.17)
4. 1,2 DL + 1,0 EQ (y) + 1,0 LL ..... (2.18)
5. 0,9 DL + 1,0 EQ (x) ..... (2.19)
6. 0,9 DL + 1,0 EQ (y) ..... (2.20)
7. 0,9 DL + 1,0 W ..... (2.21)

2.11 Persyaratan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.11.1 Komponen Struktur Lentur Rangka Momen Khusus

2.11.1.1 Lingkup (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.1)

Komponen Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus yang membentuk bagian system penahan gaya gempa dan diproporsikan terutama untuk menahan lentur. Komponen struktur rangka ini juga harus memenuhi syarat kondisi – kondisi dari Pasal 21.5.1.1 hingga 21.5.1.4, anatar lain:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u tidak boleh melebihi $A_g f_c/10$ ..... (2.22)
2. Bentang bersih untuk komponen struktur, ℓ_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya ..... (2.23)

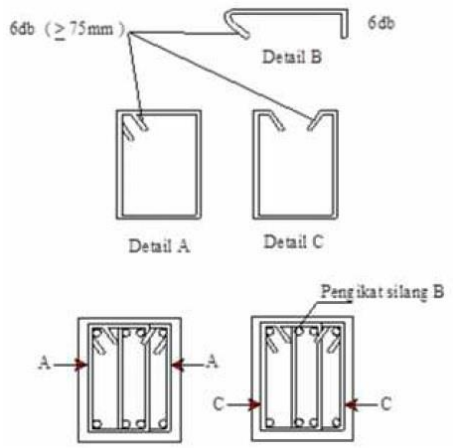
3. Lebar komponen, b_w, tidak boleh kurang dari:
   a. bw > 0,3*h* ..... (2.24)
   b. bw > 250mm ..... (2.25)
4. Lebar komponen struktur, b_w, tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2, ditambah suatu jarak pada masing – masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari:
   (a) dan (b)
   (a) Lebar komponen struktur penumpu, c_2, dan
   (b) 0,75 Kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1

2.11.1.2 Tulangan Longitudinal (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2)

1. Pada sembarang penampang komponen struktur lentur:
   a. Jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari
      $As,min = \frac{0,25\, f'c}{fy} b_w.d$ ..... (2.26)
   b. Dan tidak lebih kecil dari $As,min = 1,4 b_w d/f_y$ ..... (2.27)
   c. Rasio tulangan **ρ** tidak boleh melebihi 0,025 ..... (2.28)
   d. Paling sedikit dua batang harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah
2. Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau posistif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.
3. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatkan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari d/4 dan 100mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan:
   a. Dalam joint
   b. Dalam jarak dua kali tinggi komonen struktur dari muka joint, dan
   c. Bila analisis menunjukan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

2.11.1.3 Tulangan Transversal (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3)

1. Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:
   a. Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu kearah tengah bentang, dikedua ujung komponen struktur lentur
   b. Sepanjang panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dala hubungan dengan perpindahan lateral inelastic rangka



Sumber: Dian Purnia Sari, 2017

Gambar 2.17. Bentuk Sengkang Pada Komponen Struktur

2. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengakng tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):
   a. d/4 ..... (2.29)
   b. 6db dari tulangan longitudinal ..... (2.30)
   c. 150mm ..... (2.31)
3. Bila sengkang tertutup diperlukan, batang tulangan lentur utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus mempunyai tumpuan lateral yang memenuhi SNI 2847-2013 Pasal 7.10.5.3 atau SNI 2847-2013 Pasal 7.10.5.4. Spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara

transversal tidak boleh melebihi 350mm. Tulangan kulit yang disyaratkan oleh SNI 2847-2013 Pasal 10.6.7 tidak perlu tertumpu secara lateral

4. Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari d/2 sepanjang panjang komponen struktur.
5. Sengkang atau pengikat yang diperlukan untuk menahan geser harus berupa sengkang sepanjang panjang komponen struktur dalam SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.1
6. Sengkang pada komponen struktur lentur diizinkan terbentuk dari dua potong tulangan, sebuah sengkang yang meliputi kait gempa pada kedua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang memikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Jika batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikengkang oleh slab hanya pada satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90 derajat harus ditempatkan pada sisi tersebut.

2.11.1.4 Persyaratan Kekuatan Geser (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.4)

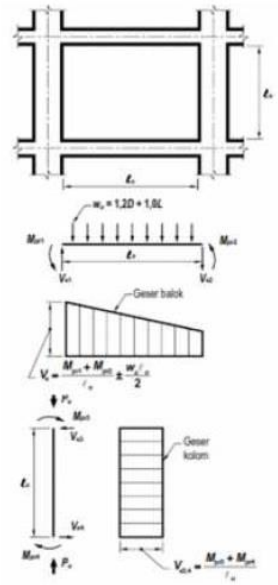
1. **Gaya Desain**

   Gaya geser desain V_e, harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka – muka *joint*. Harus diasumsikan bahwa momen – momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_p, bekerja pada muka – muka *joint* dan bahwa komponen struktur dibebani dengan gravitasi tributari terfaktor panjang bentangnya.

2. **Tulangan Transversal**

   Tulangan Transversal sepanjang yang didefinisikan dalam **SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3.1** harus diproporsikan untuk menahan gaya geser dengan megasumsikan V_e bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

   a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung sesuai dengan **SNI 2847-2013 Pasal 21.5.4.1** mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut
   b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u, termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'c/20$



Sumber: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013

Gambar 2.18. Geser Desain Untuk Balok dan Kolom

Catatan Gambar 2.20:

1. Arah gaya V_e tergantung pada besaran relative beban gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen – momen ujung
2. Momen – momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1{,}25f_y$ adalah kekuatan leleh yang ditetapkan (kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam)
3. Momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen – momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok – balok yang merangka kedalam *joint* balok-kolom. V_e tidak boleh kurang dari yang disyaratkan

2.11.2 Komponen Struktur Rangka Momen Khusus Yang Dikenai Beban Lentur Dan Aksial

2.11.2.1 Lingkup (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.1)

Komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian system penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial

terfaktor P_u akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi $A_g f'c/10$. Komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi (a) dan (b):

a. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300mm ..... (2.32)
b. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4 ..... (2.33)

2.11.2.2 Kekuatan Lentur Minimum Kolom (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2)

1. Kolom harus memenuhi gambar 2.20
2. Kuat lentur kolom harus memenuhi
   - $\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\ \Sigma M_{nb}$ ..... (2.34)
   - ΣM_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka kedalam joint, yang dievaluasi di muka – muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya – gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.
   - ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka kedalam joint, yang divaluasi di muka – muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen – momen dimuka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang didefinisikan dalam **SNI 2847-2013 Pasal 8.12** harus diasumsikan menymbang kepada M_{nb} jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur
3. Jika kuat lentur kolom tidak terpenuhi pada suatu joint, kekuatan lateral dan kekuatan kolom yang merangka kedalam joint tersebut harus diabaikan bilamana menentukan kekuatan dan kekakuan struktur yang dihitung. Kolom – kolom ini harus memenuhi penahan gaya gempa.

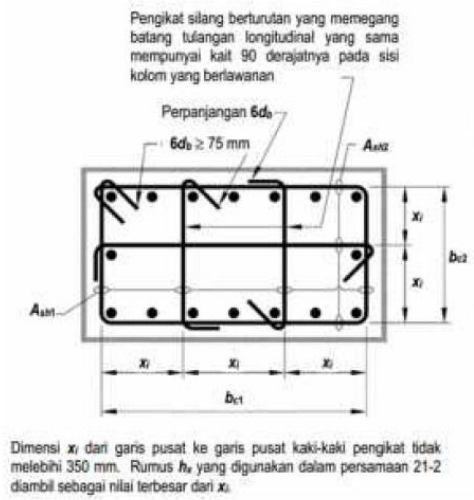
2.11.2.3 Tulangan Memanjang (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.3)

1. Luas tulangan (A_{st}), tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$
2. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah tulangan longitudinal minimum harus 6
3. Sambungan mekanis harus memenuhi paling sedikit 1,25fy dan sambungan las harus memenuhi paling sedikit 1,25 fy. Sambungan lewatan yang diizinkan hanya dalam setengah sambungan lewatan tarik, dan harus dilingkupi dalam tulangan transversal.

2.11.2.4 Tulangan Transversal (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4)

1. Kekuatan mengenai jumlah tulangan transversal panjang l_o tidak boleh kurang dari:
   a. Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur spertinya terjadi
   b. Seperenam bentang bersih komponen struktur
   c. 450mm
2. Tulangan transversal harus disediakan dengan salah satu dari spiral tunggal atau saling tumpuk yang memenuhi **SNI 2847-2013 Pasal 7.10.4**, sengkang bulat atau sengkang persegi, dengan atau tanpa pengikat silang. Pengikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil seperti begelnya yang diizinkan. Setiap ujung pengikat silang harus memegang batang tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus diseling ujung – ujungnya sepanjang tulangan longitudinal. Spasi pengikat atau kaki – kaki persegi (hx), dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350mm ke pusat.
3. Spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_o, komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
   a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum
   b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil
   c. Nilai *So* tidak boleh melebihi 150mm dan tidak boleh kurang dari 100mm.

   $$So = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3}\right) \quad (2.35)$$



Sumber: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013

Gambar 2.19. Tulangan Transversal Pada Kolom

4. Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal
   a. Rasio volame tulangan spiral atau sengkang bulat ρs, tidak boleh melebihi 700Mpa. Untuk f_{yt} lebih besar 420Mpa, sambungan lewatan menurut Pasal 7.10.4.5 tidak boleh digunakan. Dan tidak boleh kurang dari pers 2-16, dan tidak lebih kecil dari pers. 2-17.
      - $\rho s = 0{,}12\ (\frac{f'c}{fyt})$ ..... (2.36)
      - $\rho s = 0{,}45\ (\frac{Ag}{Ach} - 1)\frac{f'c}{fyt}$ ..... (2.37)
   b. Luas penampang total tulangan sengkang persegi (Ash), tidak boleh kurang dari SNI 2847-2013. Pasal 21.4 dan 21.5:
      - $A_{sh} = 0{,}3\ \frac{sbc\ f'c}{fyt}\ \{(\frac{Ag}{Ach}) - 1\}$ ..... (2.38)
      - $A_{sh} = 0{,}09\ \frac{sbc\ f'c}{fyt}$ ..... (2.39)
5. Diluar panjang *lo* yang ditetapkan dalam (a), kolom harus mengandung tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi SNI 2847-2013, Pasal 7.10 dengan spasi pusat ke pusat *S*, tidak melebihi yang lebih kecil dari enam kali diameter batang tulangan kolom longitudinal terkecil dan 150mm, kecuali bila jumlah tulangan

transversal yang lebih besar disyaratkan (jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6 atau memiliki kekuatan geser).

6. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding harus memenuhi:
   a. Tulangan transversal yang seperti yang dosyaratkan pada (b) hinggal (e) harus disediakan sepanjang tinggi keseluruhannya pada semua tingkat dibawah diskontinuitas jika gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini berhubungan dengan pengaruh gempa, melebihi $Ag \cdot f'c_{10}$. Bila gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batasan $Ag \cdot f'c_{10}$ harus ditingkatkan menjadi $Ag \cdot f'c_{4.}$
   b. Tulangan transversal harus menerus kedalam komponen struktur tak menerus paling sedikit jarak sama dengan *ld*, dimana *ld* ditentukan sesuai dengan panjang penyaluran batang tulangan dalam kondisi tarik untuk batang tulangan kolom longitudinal terbesar. Bila ujung bawah kolom berhenti pada suatu dinding, tulangan transversal perlu menerus kedalam dinding paling sedikit *ld* dari batang tulangan kolom longitudinal terbesar di titik pemutusan. Bila kolom berhenti pada pondasi tapak *(footing)*, setempat, atau penutup tiang pondasi, tulangan transversal perlu harus menerus paling sedikit 300mm kedalam pondasi tapak, setempat atau penutup pondasi.
7. Bila selimut beton diluar tulangan transversal pengekang yang ditetapkan (a), (b), dan (g), melebihi 100mm, tulangan transversal tambahan harus disediakan. Selimut beton untuk tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 300mm.

2.11.2.5 Persyaratan Kuat Geser (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.5)

1. Gaya Desain

   Gaya desain *Ve*, harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya – gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka – muka pertemuan – pertemuan *(joints)* di setiap ujung komponen struktur. Gaya – gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin *Mpr*, di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor (Pu), yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak

perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada *Mpr* komponen struktur transversal yang merangka kedalam *joint*. Dalam semua kasus *Ve*, tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis strukutr.

2. Tulangan Transversal
   Tulangan transversal sepanjang panjang *lo*, yang diidentifikasi kedalam (persyaratan transversal (a)) harus diproporsikan untuk menahan geserdengan mengasumsikan *Vc* = 0, bila (a) dan (b) terjadi:
   a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan gaya desain geser, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam *lo*.
   b. Gaya tekan aksial terfaktor Pu, termasuk pengaruh gempa kurang dari $Ag \cdot f'c_{10}$.

2.11.3 Joint Rangka Momen Khusus

2.11.3.1 Ketentuan Umum (SNI 2847-2013 Pasal 21.7.2)

1. Gaya – gaya pada tulangan balok longitudinal dimuka *joint* harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25fy.
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inti kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi tarik
3. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui *joint* balok-kolom dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal *(normal weight)*. Untuk beton ringan *(light weight)*, dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter batang tulangan.

2.11.3.2 Tulangan Transversal (SNI 2847-2013 Pasal 21.7.3)

1. Tulangan transversal *joint* harus memenuhi salah satu dari 2.5.4.2.(4).(d).(a.) atau 2.5.4.2.(4).(d).(b), dan juga harus memenuhi 2.5.4.2.(4).(b), 2.5.4.2.(4).(c), dan 2.5.4.2.(4).(g), kecuali seperti diizinkan dalam 2.5.4.3.(2).(b).
2. Bila komponen – komponen struktur merangka kedalam semua empat sisi *joint* dan bila setiap lebar komponen struktur adalah paling sedikit tiga perempat lebar kolom, jumlah tulangan yang ditetapkan dalam 2.5.4.2.(4).(d).(a) atau 2.5.4.2.(4).(d).(b) diizinkan untuk direduksi

dengan setengahnya, dan spasi yang diisyaratkan dalam 2.5.4.2.(4).(c) diizinkan untuk ditingkatkan sampai 150mm dalam tinggi keseluruhan *h* komponen struktur rangka yang terpendek.

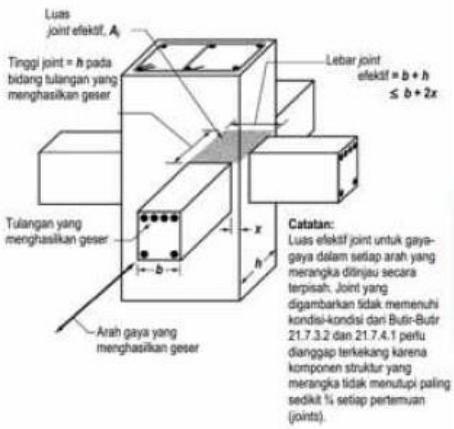
3. Tulangan balok longitudinal diluar inti kolom harus dikekang dengan tulangan transversal yang melewati kolom yang memenuhi persyaratan spasi dari 2.5.4.1.3.(b).(a), dan persyaratan dari 2.5.4.1.3.(b).(c) dan 2.5.4.1.3.(b).(e), jika pengekang tersebut tidak disediakan oleh suatu balok yang merangka ke dalam *joint*.

2.11.3.3 Kekuatan Geser (SNI 2847-2013 Pasal 21.7.4)

1. Untuk beton berat normal *Vn, joint* tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai berikut:
   a. Untuk *joint* yang terkekang oleh balok – balok pada semua empat muka:
      $1{,}7\ f'c\ .\ Aj$ ..... (2.40)
   b. Untuk *joint* yang terkekang oleh balok – balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan:
      $1{,}2\ f'c\ .\ Aj$ ..... (2.41)
   c. Untuk kasus – kasus lainya:
      $1{,}0\ f'c\ .\ Aj$ ..... (2.42)

   Dimana *Aj* adalah luas penampang efektif dalam suatu *joint* yang dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus merupakan tinggi keseluruhan kolom, *h*. Lebar *joint* efektif harus merupakan lebar keseluruhan kolom, kecuali bila suatu balok merangka ke dalam suatu kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari:
   a. Lebar balok ditambah tinggi *joint*
   b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok kesisi kolom

   Suatu balok yang merangka kedalam suatu muka dianggap memberikan pengekangan pada *joint* bila balok tersebut menutupi paling sedikit tiga perempat muka *joint*. Perpanjangn balok paling sedikit satu kali tinggi keseluruhan *h* melewati muka *joint* tersebut.



Sumber: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013

Gambar 2.20. Luas *Joint* Efektif

2. Untuk beton ringan *(lightweight)*, kekuatan geser nominal *joint* tidak boleh melebihi tiga perempat batasan yang diberikan dalam persyaratan 2.5.4.3.(3).(a).

2.11.3.4 Panjang Penyaluran Batang Tulangan Dalam Kondisi Tarik (SNI 2847-2013 Pasal 21.7.5)

1. Untuk ukuran batang tulangan Ø-10 sampai D-36, panjang penyaluran l_{dh}, untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat standar pada beton normal *(normal weight)* tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:
   a. 8*db*
   b. 150mm
   c. $l_{dh} = \frac{fydb}{54\sqrt{f'c}}$ ..... (2.43)

   Untuk beton ringan *(light weight)*, l_{dh} untuk suatu batang tulangan dengan kait 90 derajat standar tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:

   a. 10*db*
   b. 190mm

c. 1,25 . l_{dh}

Kait 90 derajat harus ditempatkan dalam inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu kolom pembatas.

2. Untuk ukuran batang tulangan Ø-10 sampai D-36, l_d panjang penyaluran dalam kondisi tarik untuk batang tulangan lurus, tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari:
   a. Bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat dibawah batang tulangan tidak melebihi 300mm:
      2,5 . l_{dh} ..... (2.44)
   b. Bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat dibawah batang tulangan melebihi 300mm:
      3,5 . l_{dh} ..... (2.45)
3. Batang tulangan yang berhenti pada suatu *joint* harus melewati inti terkekakang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian $l_{d,}$ tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6kali.
4. Bila tulangan berlapis epoksi atau berlapis ganda bahan seng dan epoksi digunakan, panjang penyaluran dalam a hingga c harus dikalikan dengan faktor – faktor yang sesuai dalam SNI 2847-2013, Pasal 12.2.4 atau Pasal 12.5.2.

2.11.4 Konstruksi Satu-Arah (Non-Prategang)

Tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 2.12 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

Tabel 2.12 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Tebal Minimum, *h*				
Komponen strukur	**Tertumpu sederhana**	**Satu ujung menerus**	**Kedua ujung menerus**	**kantilever**
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan			
Pelat masif satu-arah	l_{20}	l_{24}	l_{28}	l_{10}
Balok atau pelat rusuk satu-arah	l_{16}	$l_{18,5}$	l_{21}	l_{8}

CATATAN:
Panjang bentang dalam mm.
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal **(w_c = 2400 kg/m³)** dan tulangan Mutu 420Mpa.

CATATAN:
Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut:

a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis *(equilibrium density)*, w_c, diantara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan **(1,65-0,0003w_c)** tetapi tidak kurang dari 1,09.

Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan **(0,4 + f_y/700**

Sumber: Persyaratan Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a)

Untuk pelat tanpa balok interior (dalam) yang membentang diantara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan Tabel 2.13 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

1. Tanpa panel drop *(drop panels)* seperti yang didefinisikan pada SNI 2847-2013 Pasal 13.2.5 adalah 125mm.
2. Dengan panel drop *(drop panels)* seperti yang didefinisikan pada SNI 2847-2013 Pasal 13.2.5 adalah 100mm.

Tabel 2.13 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan Leleh (*fy*, Mpa)	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel Luar		Panel Dalam	Panel Luar		Panel Dalam
	Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir		Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir	
280	$\ln_{33}$	$\ln_{36}$	$\ln_{36}$	$\ln_{36}$	$\ln_{40}$	$\ln_{40}$
420	$\ln_{30}$	$\ln_{33}$	$\ln_{33}$	$\ln_{33}$	$\ln_{36}$	$\ln_{36}$
520	$\ln_{28}$	$\ln_{31}$	$\ln_{31}$	$\ln_{31}$	$\ln_{34}$	$\ln_{34}$

CATATAN:

- Untuk tulangan dengan tegangan leleh diantara 300 Mpa dan 400 Mpa atau diantara 400 Mpa dan 500 Mpa, gunakan interpolasi linier.
- Pelat dengan balok diantara kolom – kolomnya disepanjang tepi luar. Nilai *a* untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Sumber: Persyaratan Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847-2013 Tabel 9.5(c)