

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai kinerja Gedung beton bertulang dengan analisis *pushover* telah dilakukan antara lain berikut ini.

1. Evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis *pushover* menggunakan software ETABS (Riantoby dkk.,2014).
2. Penerapan analisis *pushover* untuk menentukan kinerja struktur pada bangunan eksisting gedung beton bertulang (Nugroho, F., 2016).
3. Evaluasi kinerja struktur beton gedung fakultas ekonomi unkhair dengan analisis *pushover* ATC-40 (Tata dkk., 2018).
4. Kajian analisis *pushover* untuk performance based design pada awana condotel yogyakarta (Kurniati 2019).
5. Analisis struktur gedung POP hotel terhadap beban gempa dengan metode *pushover* analysis (Arifin dkk., 2016).
6. Evaluasi kinerja gedung beton bertulang tahan gempa dengan *pushover* analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440) (Pranata 2006).
7. Analisis perbandingan efisiensi struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem rangka bresing eksentrik pada level kinerja yang sama. *Tidak diterbitkan. Laporan Penelitian. Bali: Universitas Udayana Bali* (Sudarsana dkk., 2015).
8. Studi keruntuhan akibat beban siklik dengan metode analisa *pushover* pada portal (Setiawan., 2018).
9. Response of high- rise buildings under long period earthquake ground motions. *Int. J. Struct. Eng. Res.*, (4), 308-314 (Saito., 2016).
10. Kinerja model struktur gedung lima lantai pada kondisi tanah keras di wilayah Banyumas akibat beban gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.(Haryanto dkk., 2015).
11. Perencanaan struktur gedung center of advances science (cas) Institut Teknologi Bandung (Aziz dkk., 2017).

12. Analisis Kinerja Struktur pada bangunan bertingkat beraturan dan tidak beraturan horizontal sesuai SNI 1726:2012 (Purba 2014).

2.1.1. Penelitian terdahulu tentang perencanaan Gedung bertingkat

Saito (2016) menjelaskan pada penelitiannya bahwa *The Building Research Institute* (BRI) telah melakukan pengamatan gerak yang kuat untuk bangunan sejak 1957. Selama 2011 gempa besar Jepang Timur, catatan gerak yang kuat dikumpulkan di Stasiun 54 yang terletak di seluruh Jepang dari Hokkaido ke daerah Kansai. Analisis juga menjelaskan pengurangan periode alami bangunan setelah peristiwa 2011 sebagai akibat dari retak minor pada anggota struktural. Untuk mensimulasikan perilaku bangunan bertingkat tinggi dalam rentang respons *nonlinier* besar dengan menggunakan model analisis konvensional. Dari studi parametrik yang dilakukan oleh STERA_3D, ditemukan bahwa beberapa faktor dalam analisis seperti kontribusi slab untuk fleksibilitas balok, perilaku slip dalam histeresis lentur elemen balok, dan efek P-Delta harus dipertimbangkan untuk mensimulasikan respons nonlinier besar dari bangunan bertingkat tinggi. Pada penelitian Fajar Nugroho (2016) melakukan penelitian pada bangunan gedung sekolah yang dibuat dari struktur rangka beton bertulang dengan kriteria SNI 1726-2012 kinerja struktur pada penelitian tidak ada satupun yang melewati kondisi LS (Life Safety) sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik, Pada kriteria FEMA saat kinerja struktur telah melewati kondisi LS (Life Safety) bahkan akan mengalami collapse sehingga kinerja struktur akan dikatakan tidak baik. Berdasarkan kriteria SNI tersebut maka bangunan dapat menjadi 3 lantai yang semula memiliki 2 lantai. Aziz dkk. (2017) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa untuk mencapai struktur yang kuat, kokoh, ekonomis, dan aman. Dibutuhkan perencanaan struktur dengan benar dan baik penggunaan peraturan perencanaan struktur dan standar teknis yang berlaku. Untuk kombinasi beban struktur yang menggunakan kombinasi beban jika metoda ultimit, sebagaimana: elemen – elemen fondasi, komponen elemen struktur, dan struktur wajib dirancang sebatas kekuatan yang mencapai perencanaan atau sanggup melebihi pengaruh beban terfaktor namun tetap sebanding oleh SNI 1726:2012. Metode tersebut mengaplikasikan perpaduan beban yang bekerja dalam struktur

Bersama faktor beban, hingga mendapat satu taksiran keamanan pada perencanaan struktur. Saat merencanakan struktur gedung ini memakai konsep metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *Strong Column-Weak Beam (SCWB)*, sehingga jika level beban terlangkahi akan menjadikan *joint* kolom dan *joint* balok paling bawah menjadi sendi plastis, yang menjadikan tidak sampai menghadapi keruntuhan total saat gempa terjadi kuat dan syarat balok tidak diizinkan mengalami gagal geser dan sambungan kolom-balok tidak diizinkan gagal saat gaya yang besar diterima melewati balok ke kolom.

2.1.2. Analisis terdahulu mengenai *Non Linear Pushover*

Tata dkk. (2018) pada penelitian ini menjelaskan bahwa *pushover* analysis merupakan sebuah analisis statik nonlinier yang mana menganggap pengaruh suatu gempa rencana pada suatu struktur bangunan gedung yang dijadikan sebagai beban statik yang menempel pada satu pusat massa tiap – tiap lantai saat nilainya telah meningkat secara perlahan hingga melebihi pembebanan yang akan menjadi sebuah pelelehan yang pertama pada suatu struktur bangunan, kemudian meningkatkan beban lebih lanjut yang mengalami transformasi bentuk sesudah elastik yang besarnya telah sampai pada kondisi elastis. Sesudah mencapai pelelehan pada lokasi lain pada struktur bangunan tersebut. Evolusi teknologi kini sungguh membantu saat perencanaan dan analisis akan kinerja struktur gedung. Dengan adanya program ETABS dan SAP 2000 akan mampu mempermudah pemodelan yang lebih dahulu sangat sulit apabila dikerjakan menurut konvensional. Dwi Kurniati (2018) menyatakan bahwa Metode *pushover* merupakan suatu analisis statik non-linier dimana gempa mempengaruhi rencana terhadap struktur bangunan yang dianggap menjadi beban-beban statik pada pusat massa disetiap lantainya, yang peningjatan nilainya secara berangsur-angsur hingga melampaui pembebanan yang menjadi penyebab terjadi pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan gedung yang mana saat terjadi peningkatan beban hingga mengalami perubahan bentuk pasca-elastik hingga mencapai kondisi plastik. Hasil analisis *pushover* yang dilakukan dengan program SAP2000 v.14 non-linier merupakan kurva kapasitas (*Capacity Cruve*) atau skema pelelehan yang berupa Performance Point dan distribusi sendi plastis yang

terjadi. Kurva kapasitas (*Capacity Cruve*) menunjukkan bahwa hubungan antara perpindahan yang terjadi hingga struktur tersebut runtuh dengan gaya gempa. Perpindahan yang ditinjau merupakan gaya geser dasar dan perpindahan gaya atap. Riantoby dkk. (2014) mengungkapkan pada penelitian bahwa sendi plastis merupakan kurang sanggup elemen struktur menahan gaya dalam. Merencanakan gedung yang sesuai pada perencanaan desain kolom kuat balok lemah. Keruntuhan gedung yang terjadi maka balok terlebih dahulu yang runtuh. Keruntuhan struktur langsung akan terjadi jika kolom yang runtuh terlebih dahulu.

Nugroho (2016) metode yang digunakan program ETABS yang merupakan perangkat lunak hasil karya CSI Bekeley, program ini sangat kuat dalam melakukan permodelan struktur analysis, dan desain. Untuk mendapati waktu getar alami konstruksi biasanya memerlukan kupasan nilai eigen. Waktu getar alami sangat pokok untuk mencapai besarnya gaya gempa yang diterima oleh konstruksi. Kupasan nilai eigen dibuat dengan data struktur saat masih pada kondisi elastis linear. Gempa maksimum yang akan terjadi pada kondisi struktur saat mengalami kondisi plastis, saat analisis nilai eigen enggan digunakan. Waktu getar efektif yaitu waktu getar selagi struktur saat kondisi tidak elastis didapat melalui kuva *pushover*. Setiawan (2018) *Capacity spectrum method* mempresentasikan dua buah grafik yang dinamakan spektrum, ialah spektrum kapasitas yang menguraikan kapasitas struktur berbentuk hubungan antara gaya dorong total (base shear) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum demand yang menggambarkan besarnya demand (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu. Grafik yang menunjukkan pada saat perpindahan mencapai 0,005 m kondisi struktur masih bersifat elastis yang kemudian berperilaku in-elastis pada saat perpindahan mencapai 0,300 m. Selanjutnya struktur mengalami keruntuhan ditandai dengan penurunan kurva yang tajam. Titik kinerja menjadikan perpotongan diantara spektrum kapasitas dengan spektrum demand. sehingga titik kinerja membentuk representasi dari dua syarat, yaitu terletak di spektrum kapasitas yang merepresentasikan kekuatan struktur dengan nilai perpindahan tertentu, dan posisi pada kurva demand, mengisyaratkan bahwa kekuatan struktur mampu mengisi demand beban yang diberikan.

Sudarsana (2015) memaparkan hasil penelitian bahwa Kurva produk analisis *pushover* berwujud kurva hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan simpangan horizontal atap dengan masing-masing variasi jumlah tingkat yang ditinjau. Perilaku kurva *pushover* dari model struktur SRPMK untuk 4, 7, dan 10 tingkat memiliki kecenderungan yang sama, begitu juga untuk model struktur Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE). Bagi model struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus SRPMK, saat terjadi beberapa sendi plastis telah mencapai kondisi collapse yang diidentifikasi oleh gaya geser dasar terus meningkat sampai keruntuhan terjadi. Kondisi ini akan berbeda saat karakter model struktur SRBE setelah mencapai gaya geser maksimum, kinerja struktur untuk meredam beban naik-turun (*jagness*). Kondisi *jagness* berawal dari kurva *pushover* model SRBE yang mungkin bias disebabkan oleh interaksi dari bresing. Struktur SRBE menyimpan kekakuan yang lebih besar jika dibandingkan dengan SRPMK untuk semua tingkat yang ditinjau. Demi mencapai level kinerja yang mirip yaitu *life safety* berasal dari model struktur saat dimensi-dimensi yang didapat dari hasil desain sesuai dengan beban berlaku, dapat terlihat saat deformasi horizontal SRPMK lebih besar dari SRBE. Pranata (2006) melakukan Perbandingan pada penelitian dari hasil analisis beban dorong (*pushover analysis*) dengan analisis riwayat waktu untuk gedung beraturan, nilai gaya geser dasar vs maksimum envelope peralihan dinyatakan dalam kurva sebagai berikut. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa untuk gempa El Centro, Flores dan Pacoima nilai maksimum. Envelope peralihan belum melampaui target peralihan sesuai hasil dari analisis beban dorong, sedangkan untuk gempa Bucharest sudah melampaui. Gempa El Centro, Flores, dan Pacoima apabila dibandingkan dengan analisis beban dorong, hasil peralihan, drift dan rotasi sendi plastis yang terjadi jauh lebih kecil, maka analisis beban dorong cukup rasional dan dapat diandalkan untuk evaluasi perilaku seismic Haryanto dkk (2015) memperlihatkan hasil penelitian apabila kinerja struktur akan ditentukan dari hasil story drift yakni rasio simpangan pada titik kontrol (atap) beserta ketinggiannya. Maka hasil analisis akan menunjukkan bahwa story drift yang akan terjadi sebesar 0,31% menurut beban gempa SNI 03-1726-2012 dan 0,26% menurut beban gempa pada SNI 03-1726-2002. Kedua hasil story drift memiliki

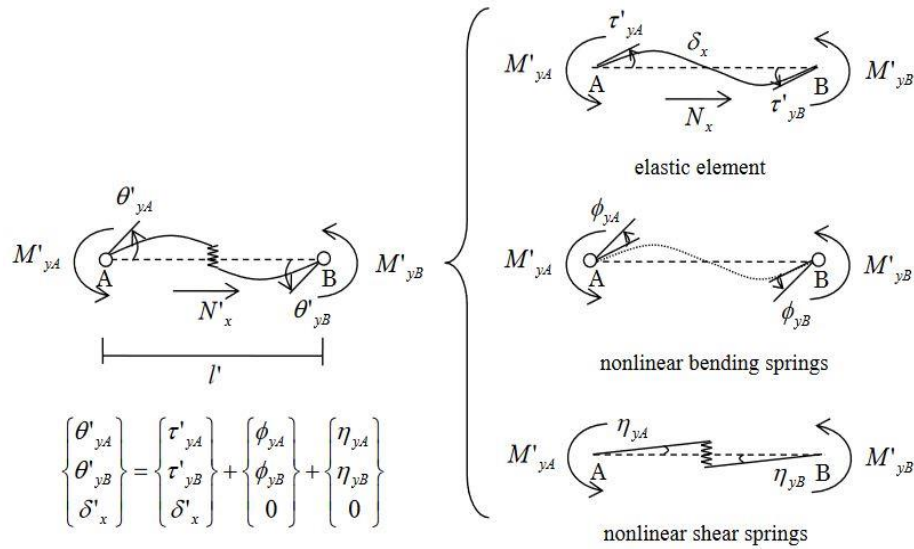
nilai kurang dari 1% jadi kinerja struktur gedung tidak akan mengalami perubahan, akan tetap dengan level Immediate Occupancy saat tidak ada kerusakan yang berarti di struktur, kekakuan dan kekuatannya akan mirip saat kondisi sebelum gempa. Pada komponen nonstruktur saat masih berada pada tempatnya serta sebagian besar yang masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Gedung tidak terganggu dan tetap berfungsi dengan masalah perbaikan. Oleh karena itu untuk model struktur gedung dengan 5 lantai pada tanah keras yang ada pada wilayah Banyumas akan terjadi peningkatan gaya geser dasar senilai 1,48% saat telah mencapai titik kinerja pada beban gempa SNI 03-1726-2002 ke SNI 03-1726-2012. Displacement yang terjadi akan mengalami peningkatan sebesar 19,61% namun daktilitas menghadapi penurunan senilai 43,14%. Pada kinerja struktur gedung yang tidak mendapat perubahan akan konsisten pada level Immediate Occupancy. Arifin dkk. (2016) melakukan analisis beban gempa dengan metode *pushover* pada Gedung POP hotel dengan bantuan program SAP 2000 dilakukan iterasi dengan prosedur B, ATC 40. Didapatkan hasil iterasi yang didasari demand elastic (damping ratio 5%). Serta didapatkan hasil *pushover* arah X yaitu Immediate Occupancy yaitu saat terjadi gempa akan terjadi sedikit kerusakan structural. Kapasitas dan karakteristik penahan gaya lateral dan vertical pada struktur masih aman seakan belum terjadi gempa dan *pushover* arah Y yang terjadi masuk kekategori Damage Control yaitu bangunan yang terkena gempa masih sanggup menahan gempa yang dengan kecilnya korban jiwa manusia. Purba (2014) yang melakukan perbandingan kinerja struktur gedung tidak beraturan horizontal dan gedung beraturan dilihat dari *displacement*, *drift ratio*, *base shear*, level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan berat beton dan tulangan, penelitian ini menggunakan metode statik ekuivalen dalam menganalisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan program SAP 2000.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Persamaan elemen konstitutif

Balok merupakan Elemen yang diwakili oleh model dengan pegas lentur *nonlinear* di kedua ujungnya dan pegas geser *nonlinier* di tengah elemen. Balok

juga memiliki hubungan antara vektor perpindahan dan vektor gaya dari elemen elastis yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Model elemen untuk balok (Saito, 2016)

$$\begin{Bmatrix} \tau'_{yA} \\ \tau'_{yB} \\ \tau'_x \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l'}{3EI_y} & -\frac{l'}{6EI_y} & 0 \\ -\frac{l'}{6EI_y} & \frac{l'}{6EI_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{l'}{EA} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \\ N'_x \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana, E, \$yI\$, A dan '\$l\$' adalah modulus elastisitas, saat inersia dari daerah *Cross-sectional* sepanjang sumbu y, daerah penampang dan panjang elemen. Vektor perpindahan rotasi dari pegas lentur nonlinier.

$$\begin{Bmatrix} \phi_{yA} \\ \phi_{yB} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{yA} & 0 \\ 0 & f_{yB} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

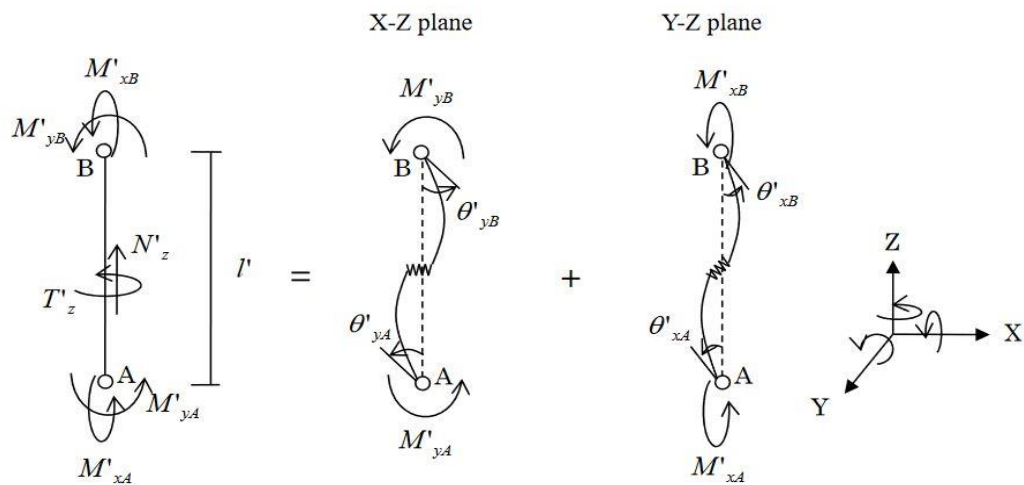
dimana, \$f_{yA}\$ dan \$f_{yB}\$ adalah kekakuan lentur dari nonlinier lentur di kedua ujung elemen. Vektor perpindahan rotasional dari deformasi geser dari pegas geser nonlinier

$$\begin{Bmatrix} \eta_{YA} \\ \eta_{YB} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{k_{Szl'}} & \frac{1}{k_{Szl'}} \\ \frac{1}{k_{Szl'}} & \frac{1}{k_{Szl'}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

Mana \$Szk\$ adalah kekakuan geser dari pegas Shear nonlinier. Kemudian, vektor perpindahan dari elemen balok diperoleh sebagai jumlah dari tiga vektor perpindahan.

Model histeris balok untuk mempertimbangkan perbedaan kapasitas lentur antara sisi positif dan negatif dari balok, model slip tri-linear yang rendah dikembangkan berdasarkan model Takeda untuk model histeresis bending pegas balok.

Kolom merupakan elemen model yang didefinisikan sebagai elemen garis dengan membungkuk nonlinier mata air pada kedua ujungnya dan dua geser nonlinier pegas di tengah elemen dalam x dan y arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Model element untuk kolom (Saito, 2016)

Hubungan kekuatan-perpindahan untuk elemen elastis Dengan cara yang sama seperti elemen balok, hubungan antara vektor perpindahan dan vektor kekuatan dari elemen elastis.

Pada arah X-Z:

$$\begin{Bmatrix} \tau'_{yA} \\ \tau'_{yB} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l'}{3EI_y} & -\frac{l'}{6EI_y} \\ -\frac{l'}{6EI_y} & \frac{l'}{3EI_y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.4)$$

Pada arah Y-Z

$$\begin{Bmatrix} \tau'_{xA} \\ \tau'_{xB} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l'}{3EI_y} & -\frac{l'}{6EI_y} \\ -\frac{l'}{6EI_y} & \frac{l'}{3EI_y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.5)$$

Perpindahan aksial

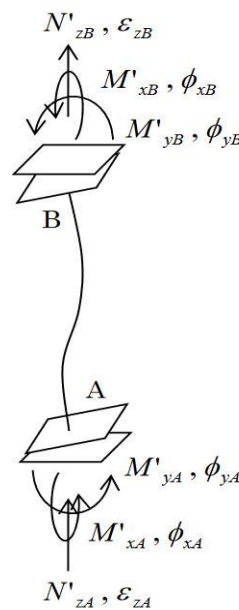
$$\delta''_z = \frac{l'}{EA} N'_z \dots\dots\dots (2.6)$$

Torsi sudut oleh kekuatan Torsi adalah

$$\theta'_z = \frac{l'}{GI_z} T'_z \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana G dan I adalah adalah modulus geser dan saat tiang inersia dari daerah penampang.

Hubungan antara kekuatan dan perpindahan untuk nonlinear pegas lentur yaitu pada interaksi nonlinear $M_z - M_y - N_z$ dianggap pada the nonlinear pegas lentur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Nonlinear dengan pegas lentur (Saito, 2016)

Terletak pada akhiran A

$$\begin{Bmatrix} \phi_{yA} \\ \phi_{xA} \\ \epsilon_{zA} \end{Bmatrix} = [f_{pA}] \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{xA} \\ N'_{zA} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.8)$$

Terletak pada akhiran B

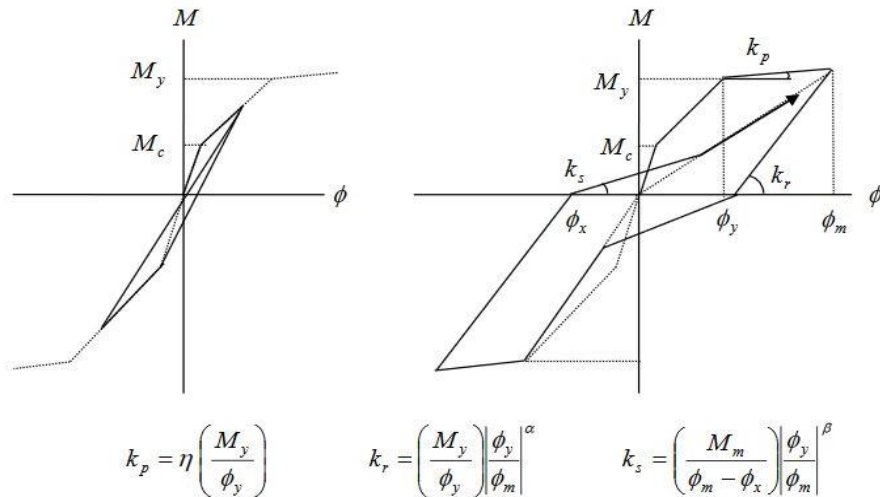
$$\begin{Bmatrix} \phi_{yB} \\ \phi_{xB} \\ \epsilon_{zB} \end{Bmatrix} = [f_{pB}] \begin{Bmatrix} M'_{yB} \\ M'_{xB} \\ N'_{zB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana, $[f_{pA}]$ dan $[f_{pB}]$ adalah matriks kekakuan lentur dari pegas lentur nonlinier. Oleh karena itu, hubungan perpindahan gaya pegas lentur nonlinier adalah

$$\begin{Bmatrix} \phi_{yA} \\ \phi_{xA} \\ \varepsilon_{zA} \\ \phi_{yA} \\ \phi_{xA} \\ \varepsilon_{zA} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [f_{pA}] & 0 \\ 0 & [f_{pA}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{xA} \\ M'_{zA} \\ M'_{yB} \\ M'_{xB} \\ M'_{zB} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.10)$$

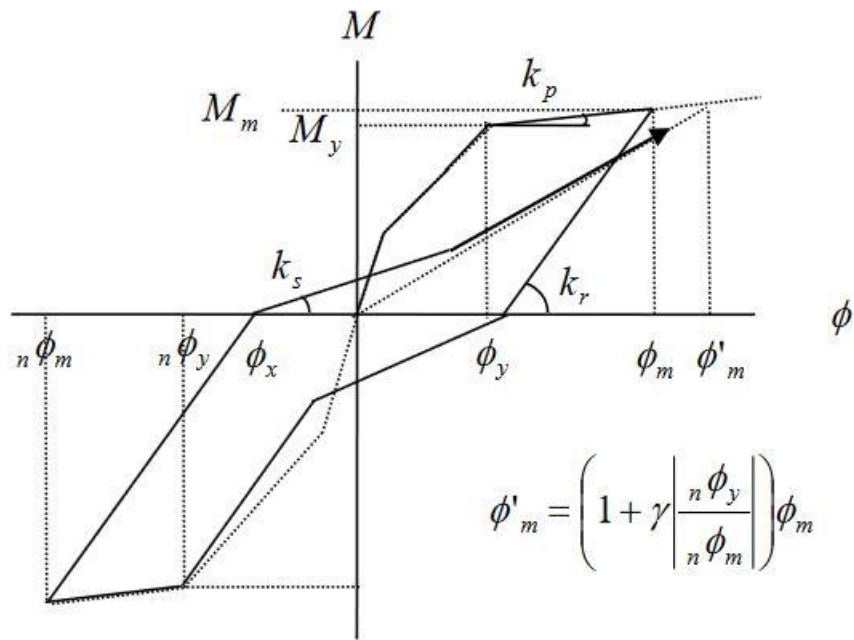
Hubungan pemindahan gaya pada Persamaan (2.9) kemudian dinyatakan sebagai

$$\begin{Bmatrix} \phi_{yA} \\ \phi_{yB} \\ \phi_{xA} \\ \phi_{xB} \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix} = [N_p] \begin{bmatrix} [f_{pA}] & 0 \\ 0 & [f_{pA}] \end{bmatrix} [n_p]^T \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \\ M'_{xA} \\ M'_{xB} \\ N'_z \end{Bmatrix} = [f_p] \begin{Bmatrix} M'_{yA} \\ M'_{yB} \\ M'_{xA} \\ M'_{xB} \\ N'_z \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.11)$$



Gambar 2. 4 Penurunan model *Tri-linear Slip* (Saito, 2016)

Penurunan kekuatan di bawah pemuatan siklik dianggap dengan memanjangkan perpindahan target, ϕ_m , menjadi ϕ'_m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Memasukkan kekuatan degradasi (Saito, 2016)

Operator Splitting method

The Operator *Splitting* (OS) adalah jenis metode integrasi campuran di mana kekakuan dibagi menjadi linear dan nonlinier (Nakashima, 1990). Metode eksplisit prediktor-corrector digunakan untuk integrasi yang terkait dengan kekakuan nonlinier, sedangkan yang stabil tanpa syarat Newmark-β digunakan untuk integrasi yang terkait dengan kekakuan linier. Formulasi digambarkan sebagai berikut: persamaan gerak sistem struktural,

$$[M] \{a_{n+1}\} + [C] \{v_{n+1}\} + [K] \{d_{n+1}\} + (\{f_{n+1}\} - [K] \{d_{n+1}\}) = \{P_{n+1}\} \dots (2.12)$$

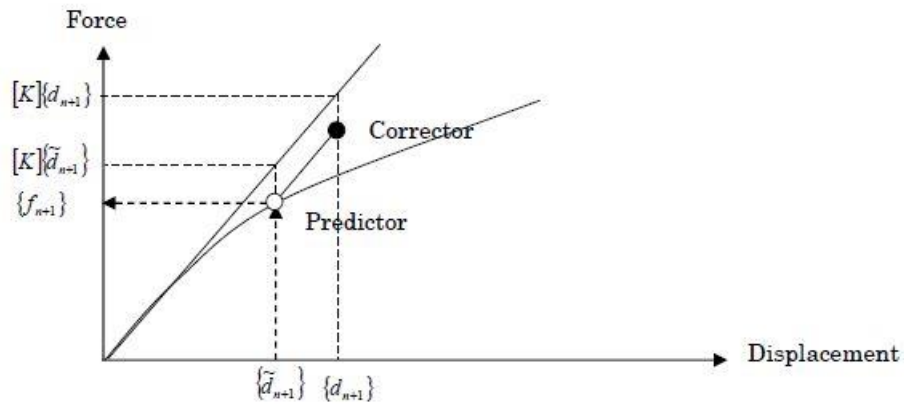
$$\{d_{n+1}\} = \{d_n\} + \{v_n\}(\Delta t) + \frac{1}{4} \{a_n\}(\Delta t)^2 \dots (2.13)$$

$$\{d_{n+1}\} = \{d_n\} + \{v_n\}(\Delta t) + \frac{1}{4} \{a_{n+1}\}(\Delta t)^2 \dots (2.14)$$

$$\{v_{n+1}\} = \{v_n\} + \frac{1}{2} (\{a_n\} + \{a_{n+1}\})\Delta t \dots (2.15)$$

Dimana, [M], [C], dan [K] adalah massa, redaman, kekakuan tangensial awal matriks {d_{n+1}}, {v_{n+1}} dan {a_{n+1}} adalah the displacement, velocity and acceleration vector at time step (n+1). {d_{n+1}} adalah predictor displacement vector.

$\{f_{n+1}\}$ adalah mengembalikan vektor kekuatan yang sesuai $\{d_{n+1}\}$, dan $\{P_{n+1}\}$ adalah gaya luar vector pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Gaya luar vector (Saito, 2016)

Nonlinear Static Push-Over Analysis

Beban *lateral* statis yang mewakili kekuatan gempa diterapkan di pusat gravitasi di setiap lantai. Ada beberapa rumus untuk menentukan distribusi beban di sepanjang ketinggian bangunan. Distribusi STERA_3D berikut ini dipersiapkan untuk

Distribution A_i

Dalam “Hukum bangunan standar” di Jepang, desain gaya geser Setiap Lantai, Q_i , didefinisikan sebagai,

$$Q_i = C_i \sum_{j=i}^n w_j, \quad C_i = ZR_t A_i C_0 \dots\dots\dots(2.16)$$

Jika kita mengatur, $Z = 1.0$ (Tokyo), $R_t = 1,0$ (tanah kaku, sebuah bangunan bertingkat pendek), $C_0 = 1,0$ (desain keselamatan), distribusi gaya geser desain disederhanakan sebagai,

$$Q_i = A_i \sum_{j=i}^n w_j \dots\dots\dots(2.17)$$

Definisi distribusi A_i

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{a_i}} - a_i \right) \frac{2T}{1+3T} \dots\dots\dots(2.18)$$

Jika kita mengatur, $Z = 1.0$ (Tokyo), $R_t = 1,0$ (tanah kaku, sebuah bangunan cerita pendek), $C_0 = 1,0$ (desain keselamatan), distribusi gaya geser desain disederhanakan menjadi,

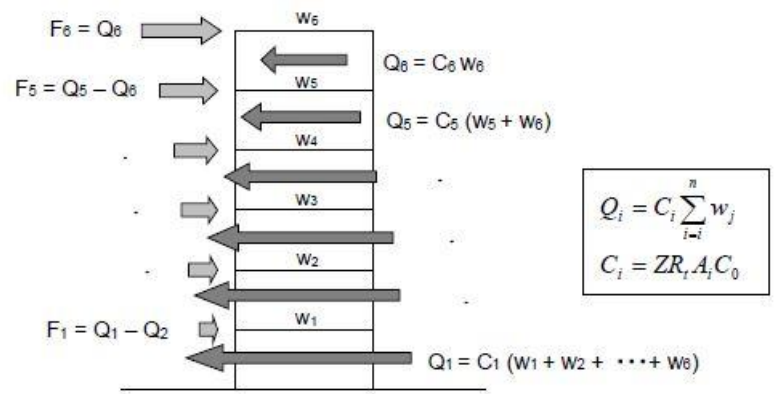
$$Q_i = A_i \sum_{j=i}^n w_j \dots\dots\dots(2.19)$$

Distribusi “ A_i ” didefinisikan sebagai,

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{a_i}} - a_i \right) \frac{2T}{1+3T} \dots\dots\dots(2.20)$$

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, beban lateral statis diperoleh berdasarkan,

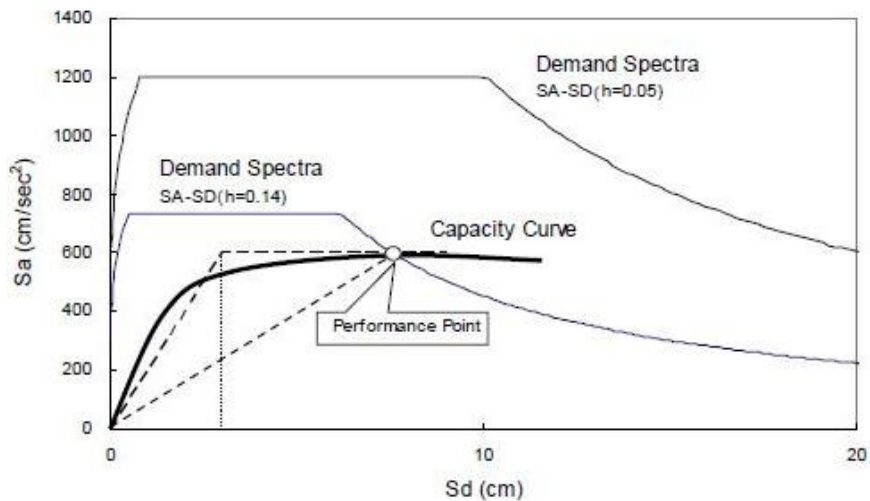
$$F_n = Q_n, F_i = Q_i - Q_{i+1} \quad (i = 1, \dots, n-1) \dots\dots\dots(2.21)$$



Gambar 2. 7 Distribusi A_i (Saito, 2016)

Metode kurva kapasitas diusulkan oleh Freeman [1978] sebagai perkiraan cara untuk memperkirakan respon maksimum struktur di bawah gerakan tanah gempa. Konsep ini dimodifikasi oleh kuramoto et.Al [2000] untuk mengadopsi pembagian perpindahan lantai nonlinier sebagai bentuk mode pertama dalam setiap langkah perhitungan. Metode ini diadopsi sebagai salah satu prosedur evaluasi dalam UU standar bangunan, Jepang.

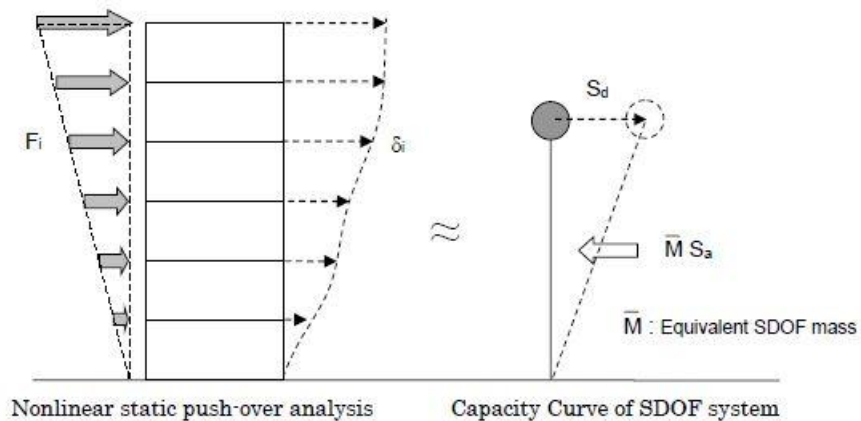
Kunci dari metode kurva kapasitas adalah untuk mengetahui persimpangan antara demand spectra (= hubungan antara S_d (displacement spectra) and S_a (acceleration spectra)) and kurva kapasitas (= kurva *pushover* non-linear yang setara satu derajat dari sistem kebebasan) seperti yang tertera pada Gambar 2.8 dan kurva kapasitas setara dengan sistem SDOF terletak pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Skematik dari konsep metode *capacity spectrum* (Saito, 2016)

“STERA_3D” menyediakan menu dalam analisis statis untuk menunjukkan kurva kapasitas berdasarkan rumus berikut (Kuramoto et.al [2000]):

$$S_a = Q_B \frac{\sum_{i=1}^n m_i \delta_i^2}{(\sum_{i=1}^n m_i \delta_i^2)^2}, S_d = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \delta_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i \delta_i} \dots\dots\dots(2.22)$$



Gambar 2. 9 Kurva kapasitas setara dengan sistem SDOF (Saito, 2016)

Seperti yang ditunjukkan secara schematis pada Gambar 2.3, hasil langkah demi langkah analisis *pushover* nonlinier digunakan untuk mendapatkan kurva kapasitas sistem SDOF.

Batasan Deformasi

Pada Tabel 2.1, Simpangan total maksimum (maximum total drift) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point*

displacement) atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastis maksimum adalah proporsi simpangan total maksimum diluar titik leleh efektif. Untuk *structural stability level*, simpangan total maksimum pada lantai ke-*i* saat titik kinerja harus tidak melebihi $0.33 V_i / P_i$, dimana V_i , adalah total gaya geser pada lantai ke-*i* dan P_i , adalah total gaya gravitasi (seperti beban mati dan beban hidup) pada lantai ke-*i*.

Pada desain bangunan baru, level kinerja yang direkomendasikan adalah *live safety level*, saat simpangan total maksimum 0.02, hal ini dikarenakan pada berbagai eksperimen yang dilakukan menghasilkan respon dengan deformasi yang besar sehingga proporsional untuk detailing pada bangunan baru yang tunjukkan nilainya pada Tabel 2.1. (ATC-40, 1996: 11-5).

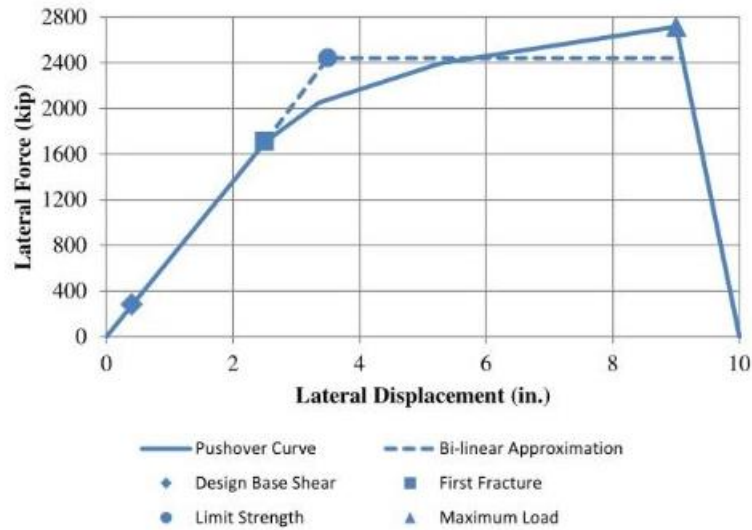
Tabel 2. 1 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996: 11-4)

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i / P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

Hasil *Pushover* Analisis

Kurva defleksi beban untuk *pushover* lateral monotonik, ditunjukkan pada Gambar 2.10, menunjukkan bahwa lantai dasar merespon linear dengan beban lateral sampai beton di fraktur dasar di 180° . Patah tulang beton terus dari 180° sampai 60° dengan meningkatnya beban lateral sampai peningkatan lateral-load lebih lanjut dihentikan oleh patahan tulangan beton jarak pendek di atas pada dasar 0° . tekanan yang dialami baja tidak mencapai tingkat hasil selama analisis *pushover*. Hal ini konsisten dengan ketegangan longitudinal dan hoop dari besaran yang berbeda, menghasilkan perbedaan stres pokok yang besar. Keadaan triaksial stres dalam elemen retak pada beban lateral maksimum juga terletak pada permukaan kegagalan geser, tetapi sebaliknya pada Meridian kompresi. Shear dan

menjungkirbalikkan saat resultan dihitung menggunakan reaksi nodal di dasar untuk fraktur pertama dan beban lateral maksimum. Sebuah pendekatan bilinear dari kurva defleksi beban dikembangkan oleh sekitar menyamakan area positif dan negatif antara kurva pendekatan dan kurva aktual seperti yang dijelaskan dalam ATC-19 (ATC 1995). Kurva pendekatan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Kurva defleksi beban dengan tampilan pendekatan bilinear (Kevit, 2013)

Perhitungan faktor modifikasi respon berdasarkan beban lateral, sama dengan dasar geser, R_v , untuk alas didasarkan pada hasil *pushover* diperoleh dengan model elemen terbatas dan mengikuti desegregasi faktor kelebihan ke dalam tiga komponen yang diusulkan dalam ATC 19 (ATC 1995) dan desegregasi R_{vs} ke tiga subkomponen (seaoc 2008) sebagai berikut

$$R_v = R_{vsd}R_{vsm}R_{vss}R_{v\mu}R_{vr} \dots \dots \dots (2.23)$$

- Dimana, R_{vsd} adalah faktor kekuatan cadangan geser karena desain,
 R_{vsm} adalah faktor kelebihan kekuatan material (sama dengan 1,25 untuk beton bertulang),
 R_{vss} adalah faktor kekuatan cadangan geser sistem,
 $R_{v\mu}$ adalah faktor perdaktan geser, dan
 R_{vr} adalah faktor redundansi geser.

2.2.1. Pembebanan Pada Gedung

1. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang besar dan posisinya tidak tetap. Beban hidup dapat terjadi akibat penggunaan gedung atau penghunian, beban pada lantai yang dapat berpindah, serta sesuatu yang merupakan bagian yang terpisah dari gedung serta dapat diganti selama gedung difungsikan. Sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan pada atap gedung dan plat lantai.

Pada SNI 1727-2013, beban plat lantai dengan fungsi ruang laboratorium, perpustakaan digunakan beban sebesar 4 kN/m^3 . Ruangan yang akan difungsikan sebagai ruang perkuliahan akan mendapatkan beban $2,50 \text{ kN/m}^3$ dan untuk beban atap akan menerima beban sebesar 1 kN/m^3 .

2. Beban Mati

Beban mati adalah sesuatu yang membebani bangunan serta memiliki sifat konstan pada posisi yang tidak berpindah. Beban ini terbagi menjadi beban yang melekat permanen dan beban struktur. Seperti dinding, berat rangka, plat lantai, plumbing, dan sebagainya. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen Gedung diketahui pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen Gedung (BSN,1987)

BAHAN BANGUNAN	BEBAN
Baja	7850 kg/m^3
Batu alam	2600 kg/m^3
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m^3
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m^3
Batu pecah	1450 kg/m^3
Besi uang	7250 kg/m^3
Beton ⁽¹⁾	2200 kg/m^3
Beton bertulang ⁽²⁾	2400 kg/m^3
Kayu (Kelas 1) ⁽³⁾	1000 kg/m^3
Kerikil, koral, (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m^3
Pasangan bata merah	1700 kg/m^3
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m^3
Pasangan batu cetak	2200 kg/m^3
Pasangan batu karang	1450 kg/m^3
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m^3
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m^3
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m^3
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai	1700 kg/m^3

BAHAN BANGUNAN	BEBAN
lembab)	
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11400 kg/m ³

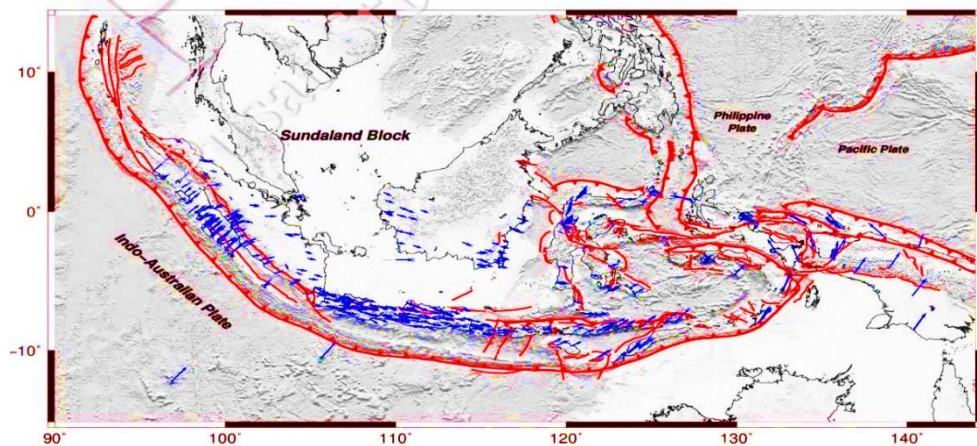
3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan semua beban statik ekwivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. 1987). Beban gempa memiliki gaya-gaya yang bekerja yang meliputi gaya horizontal dan vertikal atau kombinasi keduanya. Gaya tersebut harus diperhitungkan supaya tidak terjadi kerusakan struktur. Sehingga saat terjadi gempa struktur gedung tersebut tidak mengalami kerusakan yang parah. Perhitungan beban gempa juga harus memperkirakan dimana bangunan itu didirikan dan jenis tanahnya

2.2.2. Peta Gempa Indonesia 2017

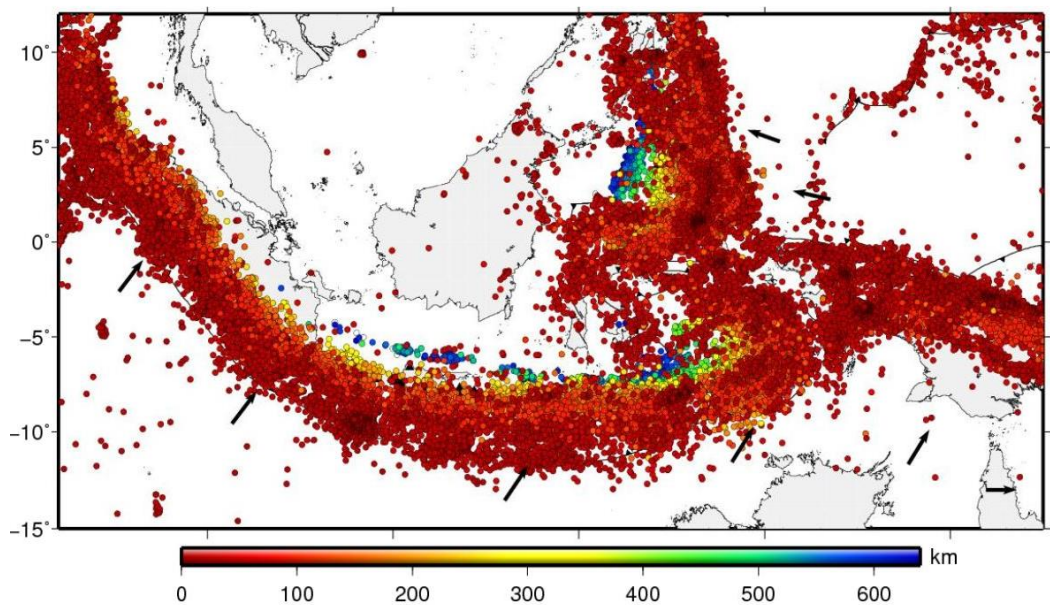
1) Gempa Tektonik Indonesia

Kondisi tektonik di Indonesia terletak di pertemuan lempeng besar dan lempeng kecil atau yang disebut *microblocks* (Bird, 2003), yang akan menyebabkan daerah tersebut dapat berpotensi mengalami kejadian gempa. Indonesia yang dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Laut Filipina. Penelitian lanjutan yang menggunakan informasi dari seismologis, geodetik, dan geologis menunjukkan jika tektonik di Indonesia dibagi menjadi sejumlah lempeng kecil, yaitu sunda, Burma, Laut Maluku, Laut Banda, Kepala Burung, Timor, woodlark, dan Maoke yang digambarkan pada Peta Tektonik Indonesia pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Peta Tektonik Indonesia (Pusgen,2017)

Sebagai hasil dari cara tektonik yang terjadi, kejadian gempa sering berlangsung di beberapa wilayah Indonesia sebagaimana terdapat pada Gambar 2.12, sebagian sumber gempa yang telah dikenali berada di zona subduksi aktif sebelah bagian timur hingga bagian barat Indonesia. Tidak hanya itu, sisa energi yang berasal dari proses benturan antara lempeng tersebut bisa mengakibatkan timbulnya sesar di lautan atau daratan di beberapa laut dan pulau Indonesia.



Gambar 2. 12 Hasil relokasi gempa Indonesia (Pusgen,2017)

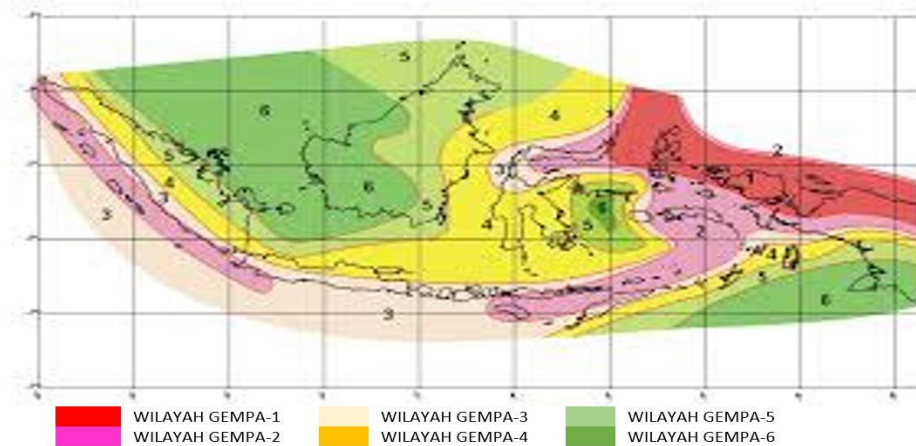
Di sebelah barat Indonesia, reaksi penunjaman Lempeng Indo-Australia kedalam Lempeng Eurasia di sebelah barat Sumatra membangkitkan gempa

beserta nilai magnitudo 9 atau 8, seperti yang telah terjadi saat gempa yang terjadi pada tahun 2005 di Nias (MW= 8,7), di Aceh pada tahun 2004 (Mw = 9,2), di Mentawai tahun 2010 (Mw = 7,8), dan di Bengkulu tahun pada 2007 (Mw = 8,5). Gempa di Aceh pada tahun 2004 merupakan bencana alam terburuk urutan nomor 2 sepanjang masa yang dinilai oleh National Geographic karena berdampak di 14 negara, yang menyebabkan kematian hingga 220.000+ jiwa, kerugian ekonomi 10 billion USD, serta lebih dari 1.5 juta penduduk telah mengalami kerugian tempat tinggal. Ada pun di Selatan Jawa, Pangandaran pada tahun 2006 (Mw = 7,8) yang telah mengakibatkan munculnya gelombang tsunami dengan ketinggian hingga ~20m dan gempa yang terjadi di Pacitan tahun 1994 (Mw = 7,8).

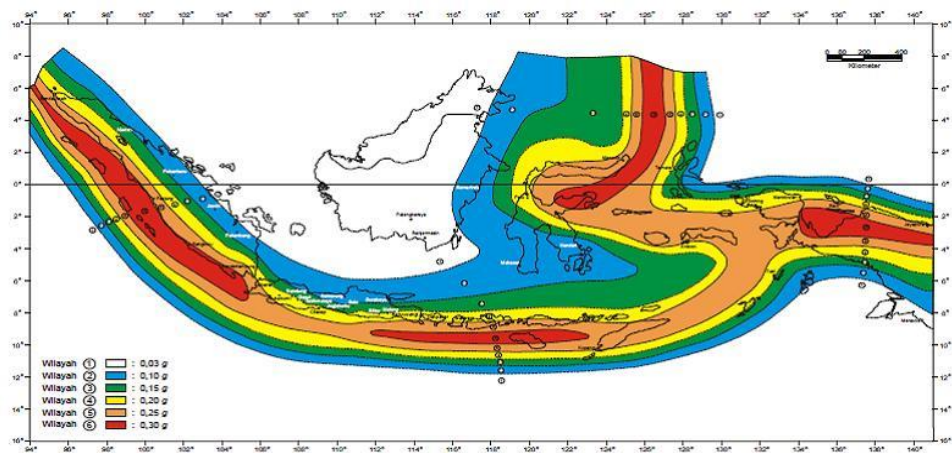
Gempa darat yang terjadi juga merusak pada dekade terakhir seperti gempa yang terjadi di wilayah Yogyakarta pada tahun 2006 (Mw = 6,3), gempa Padang (Mw = 7,6) yang terjadi pada September 2009, dan terakhir gempa Pidie Jaya yang terjadi di Aceh saat Desember 2016 (Mw = 6,5). Gempa yang terjadi saat dekade terakhir telah mengakibatkan korban jiwa dan kerugian material hingga mempengaruhi sektor pembangunan dan ekonomi. Besar kerugian dari segi ekonomi yang terjadi dari tahun 2004 hingga 2010 bervariasi mulai dari US\$ 39 juta hingga US\$ 4,7 Milliar serta menyebabkan lebih dari 250.000 kematian menurut data dari UNISDR dan BNPB.

2) Perkembangan Peta Gempa Indonesia

Indonesia memegang tiga denah hazard gempa yang sudah digunakan secara nasional yang telah diperuntukan untuk perencanaan infrastruktur dan gedung tahan gempa sedari 1983 (Gambar 2.13). Saat tahun 2002 ada empat kelompok peneliti telah menghasilkan peta percepatan puncak pada batuan dasar Indonesia memakai periode ulang 500 tahun diambil dari nilai rata-ratanya dan telah menjadi peta gempa pada SNI 03-1726-2002 (Gambar 2.14). Semenjak diluncurkan SNI 03-1726-2002, sudah terjadi kejadian gempa besar di wilayah Indonesia yang telah memiliki magnitudo besar yang telah di perkiraan sebelumnya, sebagaimana gempa Nias (2005) dan Aceh (2004).



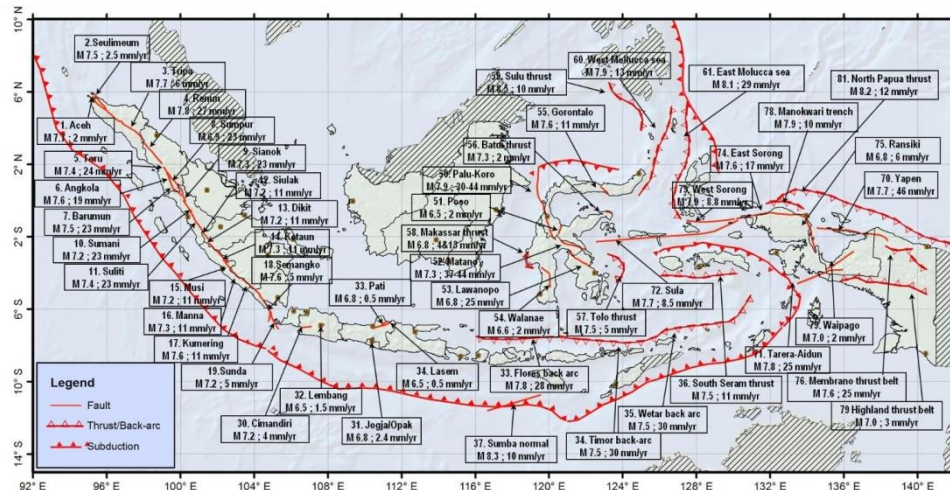
Gambar 2. 13 Peta Percepatan terbesar Indonesia (Pusgen,2017)



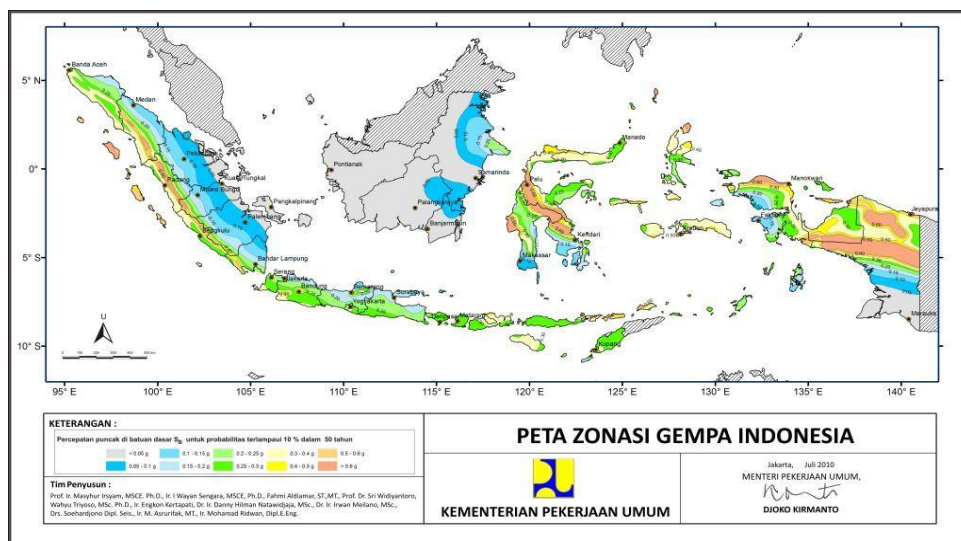
Gambar 2. 14 Peta percepatan terpicuk di batuan dasar (Pusgen,2017)

Kronologis singkat akan upaya yang telah dilakukan oleh peneliti demi menyempurnakan peta zonasi gempa Indonesia hingga tahun 2008 dijelaskan oleh Surahman dkk. (2008). Pada tahun 2006 upaya formal demi menyempurnakan peta gempa Indonesia sudah dimulai. Lantas, saat tahun 2010 Departemen Pekerjaan Umum dengan dukungan dari ITB, LIPI, BMKG, serta asosiasi profesi yang telah berhubungan dengan beberapa industri konstruksi seperti HATTI dan HAKI menobatkan usaha mentemporerkan Peta Gempa Nasional 2010 (Irsyam dkk. 2007). Usaha ini juga menyabet dukungan lewat kerja sama oleh USGS. Selain itu, studi ancaman gempa bagi Pulau Sumatra secara inkorporasi telah dilakukan dengan sokongan penelitian Riset Unggulan Terpadu-KMNRT 6 (Sengara dkk. 2007). beragam pendalaman bahaya kegempaan terusan juga telah dikerjakan oleh anggota tim seperti

Sengara dkk. (2009), Irsyam dkk. (2009), Irsyam dkk. (2010a dan 2010b), Asrurifak dkk. (2010) dan Sengara dkk. (2010). Seluk beluk studi yang dikerjakan melalui kerja sama Tim 9 ini akan menghasilkan Peta Gempa Nasional 2010 seperti pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16.



Gambar 2. 15 Peta basis gempa Indonesia (Pusgen,2017)



Gambar 2. 16 peta percepatan teratas di batuan dasar (Pusgen,2017)

2.2.3. Pengertian dan Analisis Gempa Menurut SNI 1726:2012

Menurut Suharjanto (2013), gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara spontan (*sudden slip*). Pergeseran secara spontan

terjadi sebab adanya sumber gaya sebagai penyebabnya, ada yang bersumber dari alam meskipun dari sumbangsih manusia. Selain disebabkan oleh *sudden slip*, guncangan pada bumi bisa disebabkan dari gejala lain yang bersifat lebih halus maupun berupa guncangan kecil yang sulit dideteksi manusia. Contoh getaran kecil yaitu guncangan yang penyebabnya adalah lalu lintas, kereta api, mobil, tiupan angin yang diterima pohon dan contoh lainnya. Guncangan seperti ini akan dikelompokkan menjadi *mikroseismisitas* atau getaran sangat kecil. Menurut Suharjanto (2013) proses terjadinya gempa bumi ada 5, yaitu:

1. Gempa bumi yang biasanya disebabkan pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Tekanan tersebut semakin lama semakin membesar hingga mencapai keadaan dimana tekanan tersebut sudah tidak dapat ditahan lagi oleh pinggir lempengan sehingga mengakibatkan terjadinya gempa bumi dimana gempa bumi biasanya terjadi pada perbatasan lempengan-lempengan tersebut. Gempa bumi paling parah adalah gempa bumi yang biasanya terjadi pada perbatasan lempengan kompresional dan translasional.
2. Gempa bumi juga dapat terjadi akibat pergerakan magma di dalam gunung berapi yang dapat menjadi tanda-tanda terjadinya letusan gunung berapi dimana jika gunung berapi mulai aktif maka akan terjadi getaran-getaran di permukaan bumi dan salah satunya gempa vulkanik.
3. Gempa bumi yang terjadi akibat menumpuknya massa air yang sangat besar di bendungan, seperti Dam Karibia di Zambia, Afrika walaupun gempa bumi ini jarang terjadi.
4. Gempa bumi yang terjadi karena injeksi atau ekstraksi cairan dari/ke dalam bumi dimana gempa bumi ini juga jarang terjadi. Contoh gempa bumi ini adalah pada beberapa pembangkit listrik tenaga panas bumi dan di Rocky Mountain Arsenal.
5. Gempa bumi yang terjadi akibat ulah manusia yang disebut juga seismisitas terinduksi. Gempa bumi ini terjadi karena peledakan bahan peledak. Hal ini membuat ilmuwan-ilmuwan mengawasi dan melakukan tes rahasia senjata nuklir yang dilakukan oleh pemerintah.

Gempa bumi dapat dikelompokkan menjadi 5 yang berdasarkan proses terjadinya gempa bumi tersebut. Klasifikasi gempa bumi tersebut adalah sebagai berikut (Hartuti, 2009):

1. Gempa tektonik, yaitu gempa bumi yang terjadi pada lapisan litosfer kulit bumi yang dikarenakan adanya tumbukan lempeng-lempeng tektonik.
2. Gempa vulkanik yaitu gempa yang terjadi akibat adanya aktivitas magma di dalam gunung berapi dimana gempa bumi jenis ini hanya terasa pada daerah disekitar gunung berapi pada saat akan meletus, saat meletus dan setelah meletus.
3. Gempa runtuh atau longsoran yaitu gempa yang terjadi karena adanya runtuh pada lapisan tanah ataupun bebatuan baik runtuh pada lereng gunung atau pantai yang curam, runtuh pada dinding atau terowongan pada tambang-tambang bawah tanah yang menyebabkan getaran di sekitar runtuh. Gempa ini dapat menyebabkan tanah longsor.
4. Gempa jatuhan (jarang terjadi) yaitu gempa bumi yang terjadi akibat adanya benda langit seperti meteor yang jatuh ke bumi. Meteor yang mempunyai massa yang cukup besar akan menimbulkan getaran ketika jatuh ke permukaan bumi.
5. Gempa buatan yaitu gempa bumi yang terjadi akibat ulah manusia seperti ledakan nuklir di permukaan bumi yang dapat menimbulkan getaran lokal dan juga percobaan peledakan nuklir di laut maupun bawah tanah yang dapat menimbulkan getaran dimana getaran tersebut akan tercatat oleh seismograf di seluruh permukaan bumi.

Risiko struktur non gedung dan gedung yang sesuai Tabel 2.3 pengaruh guncangan gempa rencana terhadapnya akan dikalikan dengan faktor keutamaan I_e oleh Tabel 2.4. Spesifik untuk struktur bangunan gedung dengan kategori risiko IV, apabila dibutuhkan penghubung untuk operasional dari struktur gedung yang berdekatan, maka struktur gedung yang berdekatan tersebut akan dirancang harmonis dengan kategori risiko IV.

Tabel 2. 3 kategori risiko gempa (SNI 03-1726-2012)

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

Tabel 2. 4 kategori desain seismik (SNI 03-1726-2012)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
IV	1.50

2.2.4. Wilayah Gempa dan Respons Spektrum

a. Parameter Respons Percepatan Gempa Maksimum

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.24)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

S_s = parameter spectrum respons percepatan gempa maksimum periode pendek;

S_1 = parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum 1 detik

Tabel 2. 5 Koefisien situs, F_v (Sni 03-1726-2012)

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

b. Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \dots\dots\dots (2.27)$$

2.2.5. Sistem Struktur Bangunan

Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horizontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat

meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal. Sedangkan sistem horizontal mencakup pengaku-pengaku horizontal atau horizontal *bracing* berupa lantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horizontal. (Majore, 2015). Dalam SNI 1726:2012, telah ditentukan sistem dan sub-sistem dari struktur gedung terdapat 7 klasifikasi. Klasifikasi sistem dan sub sistem seperti berikut ini.

a. Sistem Dinding Penumpu

Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem dinding penumpu ini hanya menggunakan satu buah sistem untuk setiap beban yang dipikul. Sistem ini beban gravitasinya dibebankan pada dinding penyangga dan sistem *bracing*. Meskipun beban lateral hasil gaya gempa dibebankan pada *shearwall* atau rangka *bracing* (SNI 03-1726-2012).

b. Sistem Ganda

Sistem struktur dimana rangka ruang pembebanan beban gravitasi secara menyeluruh. Beban lateral yang disebabkan oleh gempa dibebankan oleh suatu sistem rangka penahan momen dan *shearwall*. Selain itu, gaya gempa pada sistem ini juga bisa dipikul oleh rangka pemikul momen dan rangka *bracing*. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral gempa, dengan memperhatikan interaksi keduanya (SNI 03-1726-2012).

c. Sistem Interaksi Rangka dan Dinding Geser

Sistem struktur ini memakai kombinasi sistem rangka beton bertulang biasa dan dinding geser. Penggunaan beton bertulang dalam konstruksi gedung sudah umum dilakukan. Salah satu kekurangannya adalah bervariasinya kuat tekan beton yang sangat dipengaruhi oleh jenis, kualitas, dan komposisi material pembentuknya (agregat, semen dan air), serta cara pengerjaannya. Oleh sebab itu, kontrol kualitas beton biasanya cukup ketat baik dalam proses pengadukannya, pengecorannya serta perawatan setelah dicor (SNI 03-1726-2012).

d. Sistem Kolom Kantilever

Sistem struktur penumpu gaya gempa, dimana gaya lateral disebabkan oleh gempa yang disalurkan pada kolom. Kolom yang berperilaku menjadi kolom kantilever akan terjepit pada bagian dasar gedung. Kolom kantilever adalah kolom yang salah satu tumpuannya adalah jepit, sementara ujung yang lain bebas. Pada sistem ini, kolom harus dirancang kuat dalam menahan gaya gempa, karena kolom merupakan satu-satunya penahan gaya gempa (SNI 03-1726-2012).

e. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem rangka ruang adalah pengembangan dari sistem struktur rangka batang dengan penambahan rangka batang kearah tiga dimensi. Struktur rangka ruang adalah komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan atau gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem tiga dimensi atau ruang. Pada sistem rangka gedung, beban lateral 16 yang disebabkan oleh gempa ditahan rangka *bresing* atau dinding geser (SNI 03-1726-2012).

f. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frame*) ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar. SRPMM adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. SRPMB adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur (SNI 03-1726-2012).

2.2.6. Perpindahan tingkat (story displacement)

Perpindahan adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai. Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat

desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Jika pusat massa tidak pada posisi segaris dalam arah vertikal, diutamakan untuk memperhitungkan defleksi pada dasar tingkat pada proyeksi vertikal di pusat massa lantai atasnya. Desain tegangan ijin digunakan jika, Δ diperhitungkan dengan gaya gempa hingga kekuatan yang ditetapkan dengan mengabaikan reduksi untuk desain tegangan ijin.

2.2.7. Simpangan antar tingkat (story drift)

Respons struktur bangunan saat terjadi gempa dapat dilihat dengan adanya simpangan antar tingkat (story drift) pada bangunan. Simpangan drift adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai di bawahnya.

Menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.6, penentuan defleksi di dasar tingkat (δx) boleh ditinjau Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya. sesuai pada Gambar 2.21. Defleksi pusat massa di tingkat (δx) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta x = \frac{c_d \delta x_e}{I_e} \dots \dots \dots (2.28)$$

Keterangan:

C_d = faktor amplikasi defleksi,

δx_e = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis, dan

I_e = faktor keutamaan gempa.

2.2.8. Percepatan Gempa

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat. Nilai percepatan tanah yang biasa diperhitungkan pada perencanaan bangunan yaitu percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Semakin besar nilai percepatan tanah maka semakin besar pula risiko gempa bumi yang akan terjadi. Pengukuran percepatan tanah dilakukan secara empiris dengan pendekatan dari beberapa rumus yang diturunkan dari magnitude gempa atau data intensitas.

Parameter pada getaran gelombang gempa yang terjadi dicatat oleh seismograf merupakan simpangan kecepatan pada satuan kine (cm/dt), percepatan dalam satuan gal atau cm/dt^2 , dan simpangan pada satuan mikrometer. Parameter yang terpenting dalam seismologi teknik atau earthquakes engineering adalah nilai percepatan tanah. Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung oleh seismograf khusus atau disebut juga strong motion seismograph atau accelerograf, tetapi jaringan *accelerograf* kurang lengkap dalam hal periode waktu dan tempatnya, oleh karena itu perhitungan secara empiris perlu dibuat. Kapojos dkk. (2015) menyatakan keperluan bangunan yang tahan gempa, nilai percepatan tanah dihitung melalui pendekatan dari informasi historis gempa bumi.