

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan mengenai tentang *Pushover*, antara lain sebagai berikut ini.

- a. Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis *Pushover* menggunakan *software* ETABS (Studi kasus : Hotel di Wilayah Karang Anyar) (Riantoby dkk., 2014).
- b. Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis *Pushover* berdasar pada *Drift* dan *Displacement* menggunakan *software* ETABS (Studi Kasus : Hotel di wilayah Karang Anyar) (Nurhadi dkk., 2014).
- c. Analisa Struktur Gedung Kantor Kepanduan Belawan Terhadap Beban Gempa dengan Analisa *Pushover* (Purba, 2017).
- d. Evaluasi Struktur dengan *Pushover Analysis* pada Gedung Kalibata *Residences* (Tower A) Jakarta (Utomo dkk., 2012)
- e. Analisis *Pushover* untuk *Performance Based Design* (Studi kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya) (Febriana dkk., 2016).
- f. Analisis *Pushover* pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium (Manalip dkk., 2014).
- g. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang tahan Gempa dengan *Pushover Analysis* (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440) (Pranata, 2006).
- h. Analisis *Pushover* Struktur Beton Bertulang (Pednekar dkk., 2015).
- i. Respon Seismik Rangka Baja yang Dirancang untuk Beban Angin (Soltanzadeh dkk., 2015).
- j. Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa (Purwanto dkk., 2010).
- k. Evaluasi Kinerja Bangunan Rencana Gedung Hotel A.N.S dengan Dilatasi (Model B2) di Daerah Rawan Gempa (Nugroho, 2015).
- l. Evaluasi Kinerja Bangunan Akibat Pengaruh Gempa Rencana pada Struktur Gedung 3 Lantai Berdasar SNI 03-1726-2002 (Christiawan, 2010).

- m. *Performance Based Design* Bangunan Gedung untuk Level Kinerja Operasional (Ertanto dkk., 2017).
- n. Analisis Perbandingan Efisiensi Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik pada Level Kinerja yang Sama (Sudarsana, 2015).
- o. Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis *Pushover* (Yunalia, 2012).
- p. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000 (Dewobroto, 2006).
- q. Efek Pembukaan pada Dinding Geser Gedung 30 Lantai (Sharma dkk., 2015).
- r. Analisis *Non Linear Pushover* dari Lempeng Dasar Bangunan menggunakan SAP2000 (Priya dkk., 2012).
- s. Penilaian Seismik dari Bangunan RC menurut FEMA 356 dan *Eurocode* (Giannopoulos, 2009).

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan penulis, tugas akhir dengan judul “Evaluasi Level Kinerja gedung AR Fachruddin dengan Metode *Pushover Analysis*” belum pernah digunakan sebelumnya, sehingga penelitian tugas akhir ini dijamin keaslian penelitiannya.

2.1.1. Pembahasan Tentang Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilaksanakan tidak terlepas dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan sebagai bahan perbandingan kajian. Adapun hasil dari penelitian yang dijadikan bahan perbandingan oleh penulis yaitu tentang evaluasi level kinerja gedung AR Facruddin dengan metode *Pushover Analysis*.

Riantoby dkk. (2014) telah melakukan penelitian “Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis *Pushover* menggunakan *software* ETABS (Studi kasus : Hotel di Wilayah Karang Anyar)”, dengan analisis *static non linear pushover* yang dilandasi pada ATC (1996) & FEMA (2000). Sistem gedung yang ditinjau pada penelitian ini berupa *Dual system Wall-frame* beton bertulang dengan jumlah lantai 11 dan jumlah lantai *basement* 3. Metode ini menggunakan analisis statik *non linear pushover* dengan program ETABS. Beban-beban yang diperhitungkan ialah pada dinding *basement* dengan beban tanahnya serta pada *basement* paling dasar yaitu tekanan *uplift*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

displacement pada gedung tidak melampaui batas izinnya, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Gedung tersebut masuk didalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), dimana kerusakan kecil yang terjadi dapat mengakibatkan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadinya gempa bumi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nurhadi dkk. (2014) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis *Pushover* berdasar pada *Drift* dan *Displacement* menggunakan *software* ETABS (Studi Kasus : Hotel di wilayah Karang Anyar)”. Bangunan gedung hotel 11 lantai dengan sistem struktur SRPMK di evaluasi kinerja gaya gempanya menggunakan analisis *Pushover* mengacu pada ATC (1996). Level kinerja gedung diketahui berlandaskan dari mekanisme yang terbentuk dari sendi plastis di balok kolom. Selain itu, hubungan antara *base shear* dan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand* juga menjadi tujuan dalam penelitian ini. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa konsep desain kolom kuat balok lemah tidak tercapai pada gedung ini. Hal ini menunjukkan elemen kolom membentuk sendi plastis. Sendi plastis terbentuk dari pencapaian pada saat *performance point* mayoritas elemen kolom.

Hasil penelitian Purba (2017) yang berjudul “Analisa Struktur Gedung Kantor Kepanduan Belawan Terhadap Beban Gempa dengan Analisa *Pushover*” menunjukkan bahwa perencanaan struktur bangunan direncanakan guna untuk mendapatkan hasil minimal kinerja *life safety*. Metode analisis yang dipakai ialah analisis *pushover*. Analisis *pushover* bertujuan untuk dapat diperkirakan tingkat maksimum pada gaya deformasi yang akan terjadi dan dapat memprediksi perilaku keruntuhan struktur bangunan. Penelitian berlandaskan BSN (2012), FEMA-440 dan ATC (1996). Struktur gedung 2 lantai menunjukkan level kinerja *Damage Control* berdasarkan level kinerja struktur pada target perpindahan dari metode Koefisien Perpindahan FEMA-440 , sedangkan pada gedung 3 lantai menunjukkan pada level kinerja *Immediate Occupancy*.

Utomo dkk. (2012) meneliti tentang “Evaluasi Struktur dengan *Pushover Analysis* pada Gedung Kalibata *Residences* (Tower A) Jakarta”. Model struktur yang digunakan di dalam analisis ini adalah Kalibata *Residences* (Tower A) Jakarta. Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (BSN,

2002) struktur gedung tinjau berada pada wilayah gempa 3 dengan kategori jenis tanah lunak. Untuk mengetahui perilaku beban seismik suatu struktur dari besarnya daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual, maka pola pembebanan lateral yang diberikan pada analisis *pushover* adalah beban lateral multi-modal, masing-masing gaya dari analisis modal dilakukan *respons* kombinasi dengan metode SRSS (*Square Root of the Sum of Square*). Hasil analisis menunjukkan bahwa daktilitas ($\mu\Delta$) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual yang terjadi sesuai dengan BSN (2002) ($\mu_m = 4,0$ dan $R_m = 6,5$ untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang).

Febriana dkk. (2016) pada penelitiannya yang berjudul “Analisis *Pushover* untuk *Performance Based Design* (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya)”, bertujuan untuk menetapkan kondisi apa yang terjadi pada bangunan saat gempa maksimum terjadi. Bangunan yang ditinjau terdiri dari 13 lantai dan 1 *basement*. Dengan menggunakan program komputer SAP2000 maka akan didapatkan kinerja bangunan yang ditunjukkan dengan titik kinerja untuk mengetahui perpotongan kurva *demand* dan kapasitas. Hasil studi kasus pada gedung ini berdasarkan ATC (1996) disimpulkan bahwa gedung berada dalam tingkat kinerja *Segera Huni/ Immediate Occupancy*.

Manalip dkk. (2014) meneliti judul “Analisis *Pushover* pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium”. Penelitian ini bertujuan berdasarkan beban gempa yang terjadi dapat menentukan jumlah maksimum gaya yang dapat ditahan oleh struktur dan level kinerja, keruntuhan berpola pada struktur gedung bertingkat dengan tipe podium. Non podium, Podium I, II, III, dan IV termasuk pemodelan struktur bangunan. Bangunan berstruktur beton bertulang dengan 12 lantai, tiap lantai memiliki tinggi 4 meter, dan jarak antar bentang 6 meter. Proses ketahanan gempa pada perencanaan bangunan sesuai dengan standar analisis menurut BSN (2012), ATC (1996) dan FEMA (2000). Analisis struktur bangunan ini memakai *software* berupa SAP2000. ATC (1996) pada level kinerja termasuk dalam bagian *Immediate Occupancy*, sedangkan FEMA (2000) termasuk dalam bagian level B, serta dilihat dari BSN (2012) simpangan yang dibatasi setiap lantai terpenuhi. Ideologi untuk kolom kuat dan balok lemah disesuaikan berdasarkan keruntuhan yang berpola pada gedung.

Dalam penelitian Pranata (2006) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang tahan Gempa dengan *Pushover Analysis* (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)” studi yang dilakukan di tiga bangunan gedung berstruktur beton bertulang menggunakan sistem rangka yang berstruktur pemikul momen menengah dan khusus, memiliki 10 lantai dan beraturan. Sistem struktur balok dan kolom pada gedung bertingkat 10 lantai berfungsi sebagai perkantoran ($I = 1$). Lantai dasar memiliki 4 meter, sedangkan untuk lantai 2 dan seterusnya memiliki tinggi 3,6 meter, dengan bentang berjumlah 3x3 tiap bentang memiliki panjang 8 meter. Studi yang dilakukan pada elemen kolom, tipe yang digunakan adalah sendi *default-PMM*, berdasarkan dari hubungan antara gaya aksial dan momen (diagram interaksi P-M) pada elemen kolom. Pada kasus ini tipe sendi *default-M3* digunakan untuk elemen balok, dengan harapan momen keefektifan balok dapat ditahan dalam aliran sumbu yang kuat (sumbu-3), dan balok diharapkan akan mengalami sendi plastis. Asumsi sendi pada elemen balok dan kolom diperkirakan bersumbu di tiap ujungnya. Desain gedung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2874-2002. Evaluasi perilaku seismik gedung berdasarkan evaluasi kinerja dengan menggunakan analisis *pushover* ETABS. Berdasarkan ATC (1996) menghasilkan titik kinerja yang paling kecil pada evaluasi kinerja, sedangkan berdasarkan SNI 03-1726-2002 didapatkan hasil dengan besar 0,728 m pada batas ultimet kinerja di setiap tipe gedung.

Pednekar dkk. (2015) “Analisis *Pushover* Struktur Beton Bertulang”, penelitian ini memberi pemahaman yang lebih baik tentang perilaku struktural pada gerakan tanah gempa yang kuat. Perbandingan respon seismik struktur dalam hal *base shear*, periode waktu dan perpindahan dilakukan dengan melakukan analisis *pushover* statis *non linear*. Hasil analisis diketahui bahwa percepatan, gaya geser dasar dan percepatan spektral berkurang, sedangkan perpindahan, periode waktu, perpindahan spektral meningkat seiring bertambahnya jumlah pertambahan yang terjadi. Analisis ini juga menunjukkan lokasi sendi plastis pada titik kinerja struktur dengan jumlah lantai yang berbeda. Masih ada sisa kekuatan dan kekakuan di semua lantai yang memungkinkan tidak akan ada keruntuhan secara lokal pada tingkat ini.

Soltanzadeh dkk. (2015) yang berjudul "Respon Seismik Rangka Baja yang Dirancang untuk Beban Angin". Penelitian ini menyelidiki perilaku seismik kerangka baja yang dapat menahan gaya momen yang dirancang untuk beban angin dan beban gravitasi. Struktur kinerja seismik yang merupakan *seven story 3 bays frame* dievaluasi melalui analisis *pushover*, yang bertujuan untuk mengukur perilaku struktur rangka yang dikembangkan sesuai dengan beban gravitasi dan beban angin dan terdiri dari tujuh tingkat beton bertulang. Dua pola beban lateral yang berbeda digunakan untuk mendapatkan titik kinerja *frame*. Perangkat lunak SAP2000 digunakan untuk memeriksa kerangka struktur baja dengan *non linear* melakukan analisis statis (*Pushover Analysis*). Pada kriteria penerimaan sifat itu didefinisikan oleh penggunaan yang disarankan untuk analisis akhir, dikarenakan sifat *built* hanya bermanfaat analisis awal. Dengan mempertahankan kekuatan *Pushover* sampai tingkat tertentu, sebuah kasus beban dapat dikontrol atau bisa juga dikontrol dengan mendorong gerakan ke arah perpindahan tertentu.

Purwanto dkk. (2010) telah melakukan penelitian "Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa", dengan menggunakan analisis *static non linear pushover* yang berdasarkan pada NEHRP & FEMA 273. Metode yang digunakan observasi langsung dilapangan, mengumpulkan data perencanaan, data *asbuilt drawing*, membuat model struktur dan analisis *pushover*. Sampel pada penelitian ini ialah sebuah gedung perkantoran bangunan 6 (enam) lantai dengan panjang 36 m dengan lebar 31 m di wilayah Kota Surakarta. Prosedur yang dikerjakan agar dapat mendapatkan hasil peralihan aktual struktur gedung termasuk dalam metode *capacity spectrum* pada konsep desain kinerja struktur. Hasil peralihan aktual akan didapatkan adalah besarnya simpangan atap struktur. Kinerja suatu struktur dapat ditunjukkan dari perbandingan antar simpang atap struktur terhadap tinggi totalnya. Berdasarkan ATC (1996), tahapan desain kinerja struktur yang digunakan adalah metode *capacity spectrum*. Hasil studi menunjukkan bahwa struktur rangka beton bertulang yang ditinjau dalam kondisi level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) menurut kriteria ATC (1996), artinya terdapat kerusakan struktur tapi tidak signifikan, belum terjadi penurunan kekakuan struktur dan bangunan masih layak fungsi meskipun harus dilakukan perbaikan/ perkuatan pada bagian-bagian yang mengalami kerusakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2015) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Bangunan Rencana Gedung Hotel A.N.S dengan Dilatasi (Model B2) di Daerah Rawan Gempa”. Penelitian ini akan ditinjau kinerja bangunan rencana gedung hotel A.N.S yang telah didesain dengan *layout* menyerupai L tanpa dilatasi dan melakukan evaluasi jika bangunan tersebut didesain dengan memberikan dilatasi. Perpindahan ultimit dihitung berdasarkan BSN (2002) dan FEMA (2000). Dari hasil penelitian pada model B2 diperoleh kinerja struktur tidak melewati kondisi *Life Safety* sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik. Untuk mengetahui jarak dilatasi yang diperlukan dihitung berdasarkan nilai perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur.

Hasil penelitian Christiawan (2010) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Bangunan Akibat Pengaruh Gempa Rencana pada Struktur Gedung 3 Lantai Berdasar SNI 03-1726-2002” bertujuan agar pengelola gedung berkaitan dengan kinerja struktur gedung dapat diberikan masukan mengenai pengaruh gempa, diharapkan mengurangi resiko terjadinya korban jiwa yang diakibatkan gempa bumi yang kuat, serta mengurangi kerusakan bangunan yang diakibatkan gempa ringan maupun sedang agar masih dapat diperbaiki dan menghilangkan rasa ketidaknyamanan penghuni gedung pada saat gempa itu terjadi. Penelitian dikerjakan pada gedung bertingkat 3 yang berfungsi sebagai laboratorium dan ruang perkuliahan menggunakan peraturan SNI-2847-2002 dan SNI-03-1726-2002. Sifat karakteristik gedung yang sebenarnya dapat diketahui dari analisis *pushover* ini, yang nantinya akan ditemukan besar nilai daktilitas (μ) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual struktur, yang kemudian digunakan untuk analisis dinamik lebih lanjut. Besar nilai faktor reduksi gempa *representative* (R) dari hasil yang didapat dari analisis *pushover* sebesar 4,8. Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa BSN (2002), evaluasi kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit memenuhi ketentuan, yaitu simpangan antar tingkat kurang dari simpangan ijin.

Ertanto dkk. (2017) meneliti tentang “*Performance Based Design* Bangunan Gedung untuk Level Kinerja Operasional”. Untuk menetapkan dan mengetahui level kinerja dari struktur yang didesain dengan metode *performance based design* berdampak pada biaya pembangunan, biaya perbaikan dan

mengurangi korban jiwa akibat beban gempa. Terdapat dua metode *performance based design* yaitu *pushover* dan *non linear* riwayat waktu (NLTHA). Hasil penggunaan nilai daktilitas sebesar $\mu = 3$ atau $R = 4.8$ dan $I_e = 1.5$, struktur yang didesain memiliki kinerja *operational* (O) saat terjadinya gempa rencana (DBE) dan *Immediate Occupancy* (IO) saat terjadi gempa besar (MCE). Dengan menggunakan penerimaan menurut *capacity spectrum method*, batas penerimaan elemen dan *drift* menurut FEMA (2000).

Sudarsana (2015) pada penelitiannya yang berjudul "Analisis Perbandingan Efisiensi Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik pada Level Kinerja yang Sama", bertujuan bahwa perbandingan efisiensi antara struktur baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan struktur baja dengan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) pada level kinerja yang sama yaitu *Life Safety* yang mengacu pada ketentuan BSN (2012) adalah level kinerja yang sama yaitu *Life Safety*, SRPMK memiliki target perpindahan dan gaya geser seismik yang lebih besar dari SRBE. Semakin tinggi jumlah tingkat maka persentasenya semakin kecil dan untuk SRPMK memiliki nilai berat total material baja yang lebih besar dari SRBE pada level kinerja yang sama yaitu level kinerja *Life Safety*. Semakin tinggi jumlah tingkat maka persentase perbandingan material baja yang digunakan antara kedua struktur semakin kecil.

Yunalia (2012) meneliti judul "Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis *PushOver*". Gedung DPU di Wonogiri yang terdiri dari empat tingkat direncanakan sesuai SNI T-15-1991-03, ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas kurva, pusat kinerja (*performance point*) serta dapat mengenali tahapan-tahapan terjadinya sendi plastis (skema kelelahan) hingga bangunan mengalami keruntuhan. Metode yang digunakan adalah prosedur B yaitu analisis *pushover metode capacity spectrum* ATC (1996). Perhitungan pada analisis yang dilaksanakan dengan pemberian beban lateral berpola statik di struktur bangunan serta peningkatan secara bertahap pada faktor pengalihan hingga mencapai perpindahan lateral dari pusat titik acuan. Hasil yang didapatkan pada analisis mengenai jumlah maksimum gaya lateral yaitu 594,0694 ton yang dialami pada step ke-8 *pushover* analisis. Titik kinerja yaitu dasar gaya geser $V_t = 345,3610$

ton, besar simpangan pada step ke-3 adalah $0,0760 \text{ m} > 0,037 \text{ m}$ (D_1), *life safety* tidak dilewati oleh struktur kinerja, total maksimum *drift* = $0,0021$ dan *inelastic* maksimum *drift* = $0,00155$. Sehingga dapat digambarkan bahwa bangunan yang diteliti merupakan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), dan apabila gempa bumi terjadi bangunan hanya mengalami sedikit kerusakan pada struktur dan non struktur, jadi bangunan akan aman serta dapat berfungsi untuk digunakan oleh penghuni.

Dalam penelitian Dewobroto (2006) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000”. Analisa dan evaluasi kinerja dapat dilakukan dengan analisa *pushover* yang *built-in* pada program SAP2000, sedangkan titik kinerja evaluasi harus ditentukan tersendiri secara manual dengan berbagai metode (kecuali metode Spektrum Kapasitas). Analisa *pushover* (beban dorong statik) adalah analisa statik *non liniear* perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa, sedangkan titik kinerja adalah besarnya perpindahan maksimum struktur saat gempa rencana. Hasil studi pada portal baja 3D bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA (2000) dan Kinerja Batas Ultimit BSN (2002) menghasilkan nilai δ_T yang menentukan.

Dalam penelitian Sharma dkk. (2015) yang berjudul “Efek Pembukaan pada Dinding Geser Gedung 30 Lantai” dilakukan studi pada Bangunan Prototipe bertingkat 30 lantai dengan berbeda jenis bukaan di dinding geser dengan dan tanpa menggabungkan volume dinding geser dikurangi dalam elemen batas dianalisis menggunakan perangkat lunak E-TABS, menggunakan Response metode spektrum (1893 (Bagian-1) -2002) dan metode periode waktu. Hasil dari perpindahan lateral keseluruhan bangunan meningkat dari $0,58\%$ hingga $20,95\%$ dan peningkatan antar lantai meningkat sekitar $1,04\%$ menjadi $23,63\%$ karena ketentuan ukuran yang berbeda dari bukaan di dinding geser dibandingkan dengan bangunan tanpa bukaan di dinding geser. Selain itu dalam kasus kedua, dimana volume dinding geser berkurang karena pembukaan digabungkan dengan meningkatkan ukuran dari elemen batas yang berdekatan, kekakuan cenderung meningkat dibandingkan dengan kasus pertama. Jadi perpindahan lateral secara keseluruhan dan penyimpangan antar gedung menurun masing-masing $0,13\%$ menjadi $17,65\%$ dan $0,34\%$ menjadi $21,45\%$ dibandingkan dengan kasus pertama. Penyediaan bukaan

di dinding geser memperkenalkan tegangan vertikal lokal yang tinggi dan konsentrasi tegangan geser di sekitar sudut bukaan.

Priya dkk. (2012) “Analisis *Non-Linear Pushover* dari Lempeng Dasar Bangunan Menggunakan SAP2000”, penelitian ini untuk memperkuat dan menahan bangunan untuk periode gempa bumi masa depan. Pembentukan sendi plastis dimulai dari kolom dasar bawah, kemudian menyebar ke lantai atas dan melanjutkan dengan menghasilkan interior menengah kolom di lantai atas. Hasil kurva *pushover* yang dihasilkan untuk bangunan G + 2 ditunjukkan pada awalnya linear tetapi mulai menyimpang dari linearitas sebagai kolom menjalani *inelastic* tindakan. Ketika bangunan didorong dengan baik ke kisaran inelastis, kurva menjadi linear lagi tetapi dengan kemiringan yang lebih kecil. Kurva bisa didekati oleh hubungan bilinear. Pembentukan sendi plastis untuk mekanisme bangunan telah diperoleh di tingkat perpindahan yang berbeda. Pola *hinges* diplot pada tingkat yang berbeda di angka 8 hingga 16.

Giannopoulos (2009) yang berjudul ”Penilaian Seismik dari Bangunan RC menurut FEMA (2000) dan *Eurocode*”. Penelitian ini menyelidiki bangunan berlantai lima berbentuk *non-ductile* yang telah didesain mengikuti peraturan seismik sebelumnya di negara Yunani telah dianalisis menggunakan metode *non linear* analisis statis (*pushover*). Beberapa bagian penting dipilih dan rotasi daktilitas parsediaan di berbagai negara terbatas seperti yang diperkirakan oleh FEMA (2000) dan Lampiran A dari EC8 Bagian 3 dihitung. Kedua prediksi tersebut dibandingkan satu sama lain dan dengan hasil dari analisis SAP2000. Hasil dari penelitian dari kurva persediaan rotasi sendi plastis untuk FEMA (2000) dan EC8 itu mengamati bahwa untuk balok negara batas EC8 meningkat dengan atap perpindahan, sementara di kolom mereka tetap hampir konstan. Untuk kolom dihasilkan nilai θ_u sedikit kurang (93%) karena itu benar diberikan oleh EC8 sebagai alternatif dan setara, juga dihasilkan nilai-nilai θ_{pl} dan dari θ_u minus θ_y secara praktis sama. Disisi lain, untuk balok nilai θ_u yang dihasilkan adalah sekitar 40%, dan karena itu tidak diberikan dengan benar oleh EC8 sebagai alternatif dan setara. Perbandingan menunjukkan bahwa ada perbedaan hasil yang dihasilkan oleh dua pendekatan. Perbandingan nilai menunjukkan nilai hampir persis dan oleh

karena itu dua persamaan diberikan dengan benar oleh EC8 sebagai alternatif dan setara.

2.2. Dasar Teori

Beberapa spesifikasi dan standarisasi yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada beberapa buku, peraturan Standart Nasional Indonesia (SNI) dan jurnal-jurnal yang terkait.

2.2.1. Beban Gravitasi

Beban lateral meningkat untuk mempertahankan pola distribusi yang telah ditentukan sebelumnya sepanjang ketinggian bangunan, sampai keadaan keruntuhan dihasilkan dalam analisis statis *non linear* (Stephen, 1988).

Kerusakan yang terjadi mengakibatkan berkurangnya level kinerja struktur secara keseluruhan terhadap degradasi kekuatan yang mengancam bagi pengguna bangunan. (Triwiyono, 2006).

Dalam merancang suatu struktur bangunan harus memenuhi beberapa persyaratan yang telah ditentukan agar tercipta struktur yang kuat dan kokoh, aman serta memiliki durabilitas yang telah direncanakan. Salah satu syarat yang harus terpenuhi salah satunya ialah dalam hal pembebanan yang telah diatur dalam BSN (2013) mengenai beban minimum unntuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Beberapa beban tersebut diantaranya :

1. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari seluruh bagian dari suatu bangunan yang memiliki sifat tetap, termasuk unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang masih bagian dari bangunan.

Tabel 2.1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung (BSN, 1987)

BAHAN BANGUNAN	BEBAN
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi uang	7.250 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2.200 kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2.400 kg/m ³

Kayu (Kelas 1) (³)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral, (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³
KOMPONEN GEDUNG	
BAHAN	
Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang:	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal maksimum 3 - 5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,8 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50 kg/m ²

Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa usuk	40 kg/m ²
	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Catatan :

- (1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.
- (2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat, dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan sendiri.
- (3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat Pedoman Konstruksi Kayu.

2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Tabel 2.2 Beban hidup terdistribusi minimum secara merata (L_o) dan terpusat pada beban hidup minuman (*Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain* (BSN, 2013)).

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2 000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	

Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	150 (7,18) ^a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in.[50 mm x 50mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
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	40 (1,92) ^{a,b,c}	
Truk dan bus		
Susunan tangga, rel pengemandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Haliped	60 (2,8) ^{d,e} tidak boleh direduksi	^{e,f,g}
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)

Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a,h}	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00) ^a	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97) ^a	3000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hokum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) ^a	
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^{a,k}	
Stadium dan tribun/arena dengan duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^{a,k}	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ^l	
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 ruang tinggal lainnya	40 (1,92)	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka		
<hr/>		
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) ⁿ	
Atap digunakan untuk tujuan lain	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya	Sama seperti hunian	i
Awning dan kanopi	dilayani	
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan		
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi	200 (0,89)
	5 (0,24) tidak boleh direduksi berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen stuktur 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		
<hr/>		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)

Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) ^{a,p}	8 000 (35,6) ^q
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 ^r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 ^r
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir, disemua lantai	125 (6,00) ^a	1 000 (4,45)
Penghalang kendaraan		
	Lihat Pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditingikan (selain jalan keluar)		
	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki		
	100 (4,79) ^a	

^aReduksi beban hidup untuk penggunaan ini tidak diizinkan oleh Pasal 4.7 kecuali dinyatakan pengecualian secara spesifik.

^bLantai 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 : (1) untuk garasi yang dibatasi untuk kendaraan penumpang yang mengakomodasi tidak lebih dari sembilan penumpang, 3000 lb (13,35 kN) bekerja pada daerah seluas 4.5 in x 4.5 in. (114 mm kali 114 mm) sebagai jejak dongkrak: dan (2) untuk struktur parkir mekanik tanpa pelat atau dek yang digunakan untuk menyimpang mobil penumpang saja, 2250 lb (10 kN) perioda.

^cDesain untuk truk dan bus harus sesuai dengan AASHTO LRFD *Bridge Specification*; walaupun demikian ketentuan dari persyaratan beban statis dan dinamis perlu diterapkan.

^dBeban merata sebesar 40 psf (1,92 kN/m²) merupakan dasar desain helikopter yang memiliki berat pada saat lepas landas maksimum 3000 lbs (13.35 kN) atau kurang. Beban ini tidak boleh direduksi.

^ePelabelan kapasitas helikopter harus dipasang sesuai dengan pihak yang berwenang

^fDua beban terpusat tunggal, yang berjarak setiap 8 ft (2,44 m) harus dipasang pada daerah pendaratan (mewakilkkan dua palang utama helikopter, baik tipe palang atau tipe roda) setiap memiliki besarnya 0,75 x berat tinggal landas maksimum helikopter dan ditempatkan untuk menghasilkan efek beban maksimum pada elemen struktur yang ditinjau, beban terpusat harus dipasang meliputi suatu luasan 8 in x 8 in (200 mm x 200 mm) dan tidak boleh sepusat dengan beban hidup merata ataupun terpusat lain.

^gSuatu beban pusat tunggal sebesar 3000 lbs (13.35 kN) harus dipasang pada suatu luas 4,5 in x 4,5 in. (114 mm x 114 mm), ditempatkan sedemikian rupa untuk menghasilkan efek beban maksimum pada elemen struktur yang ditinjau, beban terpusat tersebut tidak perlu dianggap bekerja sepusat dengan beban hidup terpusat atau merata lainnya.

^hBeban yang bekerja pada lantai ruang penyimpanan rak yang tidak bergerak dan rak buku perpustakaan dua sisi memiliki batasan berikut : (1) tinggi nominal rak buku tidak boleh lebih dari 90 in (2290 mm); (2) tebal rak tidak lebih dari 12 in (305 mm) untuk setiap sisi; dan (3) rak buku dua sisi yang memiliki baris parallel harus dipisahkan oleh celah yang tidak kurang dari lebar 36 in (914 mm).

^kSebagai tambahan dari beban hidup vertikal, desain harus termasuk gaya goyang horizontal yang bekerja pada setiap baris dari dudukan sebagai berikut ; dipasang beban dudukan 24 lb per ft dari dudukan bekerja dalam arah sejajar dari setiap baris dudukan bekerja dalam arah sejajar dari setiap barisan dudukan dan 10 lb per ft dari dudukan yang bekerja dalam arah tegak lurus dari setiap baris dudukan. Gaya goyang horizontal, tegak lurus dan paralel tidak perlu bekerja bersamaan.

^lRuang dibawah atap yang tidak bisa didiami tanpa gudang adalah tempat dimana tinggi bersih maksimum antara *joints* kasau kurang dari 42 in (1067 mm), atau dimana tidak ada dua atau lebih rangka batang yang bersebelahan dengan konfigurasi badan yang mampu mengakomodasi suatu persegi dengan ukuran tinggi 42 in (1067 mm) lebar 24 in (610 mm), atau dimana tidak ada dua atau lebih 24 in (610 mm), atau lebih besar, diantara bidang rangka-rangka batang. Beban hidup tidak perlu dipasang sepusat dengan persyaratan beban hidup lain.

^mRuang dibawah atap yang tidak bisa didiami tanpa gudang adalah tempat dimana tinggi bersih maksimum antara *joint* dan kasau kurang dari 42 in (1067 mm), atau dimana tidak ada dua atau lebih rangka batang yang bersebelahan dengan konfigurasi badan yang mampu mengakomodasi suatu persegi dengan ukuran tinggi 42 in (1067 mm) lebar 24 in. (610 mm), atau lebih besar, diantara bidang rangka-rangka batang. Pada rangka batang tersebut beban hidup hanya boleh dipasang pada batang-batang bawah dimana dua kondisi harus dipenuhi sebagai berikut:

- i. Ruang bawah atap bisa diakses dari bukaan dari ukuran lebar 20 in. (508 mm) dan panjang 30 in (762 mm); dan
- ii. 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 desain untuk beban hidup tidak terpusat terdistribusi merata tidak kurang dari 10 per ft² (0,48 kN/m²)

ⁿBila beban hidup atap merata direduksi sampai kecil dari 29 lb per ft² (09.96 kN/m²) menurut Pasal 4.8.1 dan digunakan untuk mendesain komponen- komponen struktur ditata sedemikian untuk membuat kesinambungan, beban hidup atap yang tereduksi harus dipasang ke bentang-bentang bersebelahan atau alternatif, dipilih yang menghasilkan efek beban terbesar.

^oAtap digunakan untuk keperluan lain harus didesain untuk beban-beban yang sesuai sebagaimana yang diminta oleh pihak yang berwenang.

^pBeban merata lain sesuai dengan metode yang disetujui, yang berisi ketentuan untuk pembebanan truk, juga harus dipertimbangkan jika perlu.

^qBeban roda terpusat harus digunakan pada daerah 4,5 in x 4,5 in (114 mm x 114 mm).

†Beban terpusat minimum pada pijakan tangga (seluas 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm]) harus dipasangkan tidak sepusat dengan beban merata.

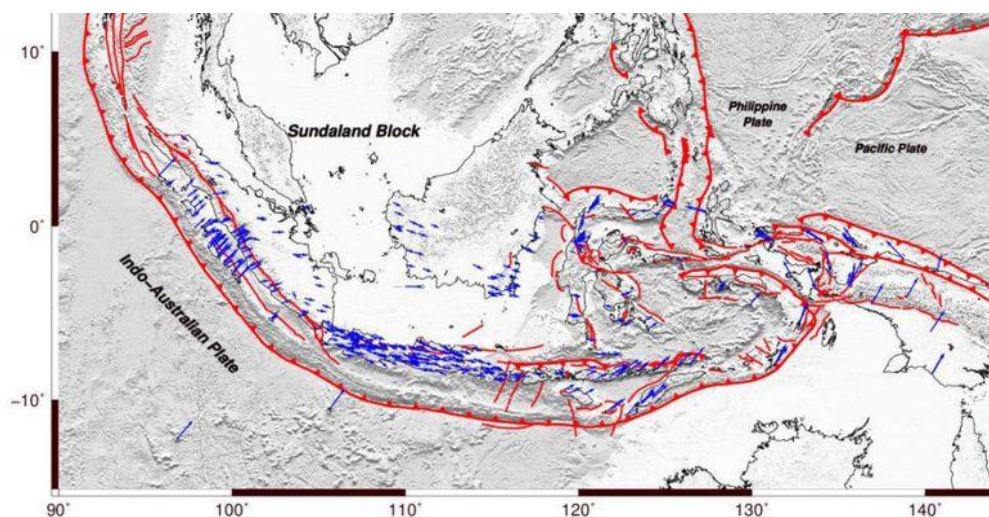
3. Beban Gempa

Beban yang merupakan beban statik ekuivalen, berfungsi pada gedung atau bagian dalam gedung dengan pengaruh dari gerakan tanah yang ditirukan serta akibat gempa itu sendiri.

2.2.2. Peta Gempa Indonesia 2017

1. Sejarah Peta Gempa Indonesia

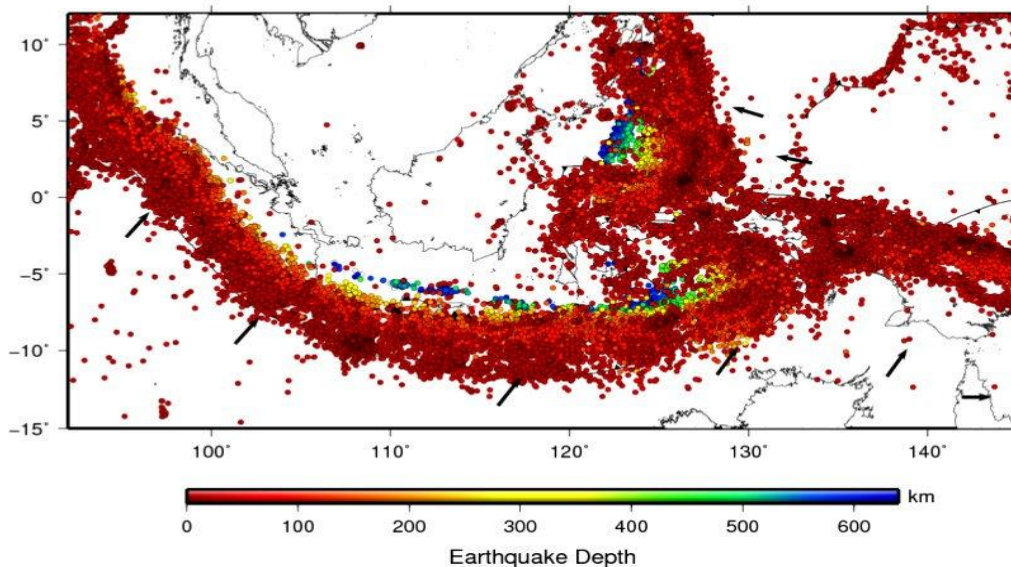
Kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau *microblocks* (Bird, 2003), menyebabkan daerah tersebut berpotensi mengalami banyak kejadian gempa. Indonesia dikelilingi oleh lempeng-lempeng utama. Lempengan tersebut adalah Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Penelitian lanjutan menggunakan informasi geodetik, geologis, dan seismologis menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat dibagi kedalam lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timor, Kepala Burung, Maoke, dan Woodlark (Gambar 2.1)



Gambar 2.1 Peta tektonik wilayah Indonesia dari data geodetik hingga tahun 2016, *vector* kecepatan pada referensi sistem ITRF 2008 (Pusgen, 2017)

Sebagai akibat dari proses tektonik yang terjadi, peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia sebagaimana terlihat pada (Gambar 2.2). Salah satu sumber gempa yang telah jelas teridentifikasi adalah zona subduksi

aktif di bagian barat hingga bagian timur Indonesia. Selain itu sisa energi dari proses tumbukkan antar lempeng tersebut akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan di beberapa pulau dan laut Indonesia.



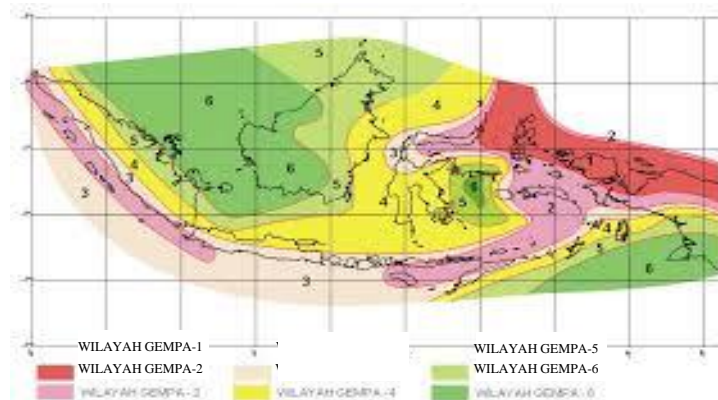
Gambar 2.2 Gempa di Indonesia hasil relokasi hingga 2016 (Pusgen, 2017)

Melalui informasi yang diperoleh dari data geofisika, geodesi, dan kegempaan, zona subduksi (penunjaman/ sesar/ patahan) dapat disebut sebagai zona sumber gempa atau *algerismic source zone* Algermisen dkk., (1982) Adams dan Basham, (1991) Kertapati dkk., (2006). Dari hal ini dapat dikatakan bahwa sumber gempa adalah suatu zona yang dapat diidentifikasi data geologi, geodesi, geofisika, dan dari aspek kegempaan sehingga mempunyai potensi menimbulkan gempa di waktu mendatang. (Asrurifak, 2010).

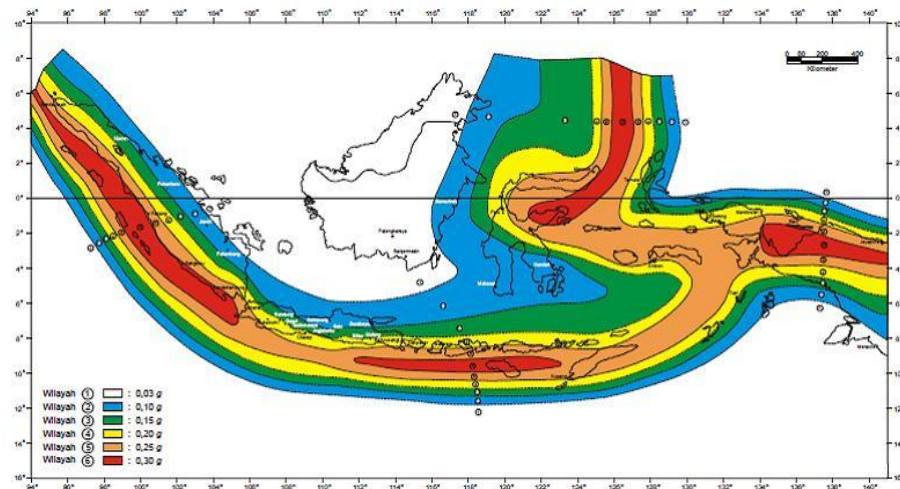
2. Perkembangan Peta Gempa Indonesia

Indonesia memiliki tiga peta *hazard* gempa yang telah digunakan nasional untuk perencanaan gedung dan infrastruktur tahan gempa sejak 1983 (Gambar 2.3). Pada tahun 2002 empat kelompok peneliti menghasilkan peta percepatan puncak di batuan dasar Indonesia dengan periode ulang 500 tahun yang diambil nilai rata-ratanya dan menjadi gempa dalam BSN (2002) (Gambar 2.4). Sejak diterbitkan BSN (2002) sudah mengalami beberapa kasus gempa bumi besar di Indonesia bermagnitudo lebih besar dari perkiraan sebelumnya, contohnya gempa bumi Aceh

(2004) dan Nias (2005). Penyusunan peta gempa pada BSN (2002) digambarkan dalam atenuasi berdasarkan penjalaran gelombang yang dilihat baik dari pada dengan permodelan 2-D. Sehingga, penelitian diperuntukkan secara intensif mengenai sesar aktif di Indonesia sangat dibutuhkan dalam memperbaiki peta gempa Indonesia.



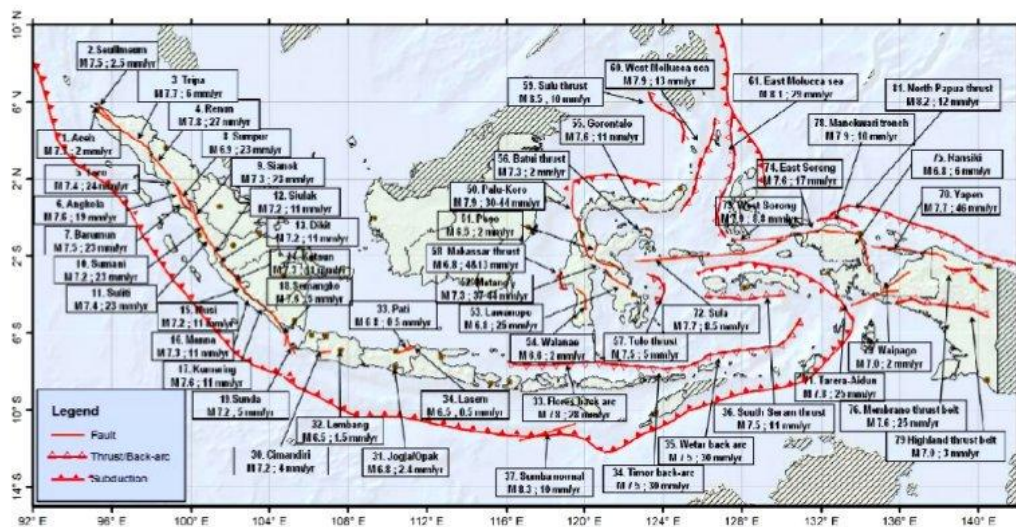
Gambar 2.3 Peta maksimum pada percepatan gempa di Indonesia berdasarkan PPTI-UG (1983) (Pusgen, 2017)



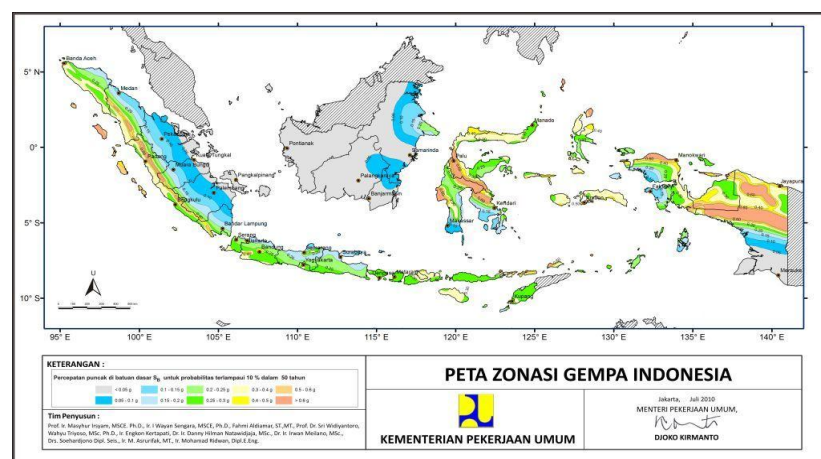
Gambar 2.4 Peta percepatan puncak di batuan dasar Indonesia dengan periode ulang 500 tahun (Pusgen, 2017)

Kronologis terhadap usaha yang sudah dilakukan para peneliti pada peta zonasi gempa yang disempurnakan di Indonesia hingga dengan tahun 2008 dijabarkan pada Surahman dkk. (2008). Setidaknya pada tahun 2006 untuk penyempurnaan peta gempa Indonesia sudah dilaksanakan. Kemudian, pada tahun 2010 DPU dengan bantuan dari ITB, LIPI, BMKG, serta asosiasi profesi yang

berkaitan dengan konstruksi dibidang industri seperti Himpunan Ahli Kontruksi Indonesia (HAKI) menginisiasi usaha pemutakhiran Peta Gempa Nasional 2010 (Irsyam dkk., 2007, 2008a dan 2008b). Usaha ini mendapatkan dukungan dari penelitian Riset Unggulan Terpadu-KMNRT 6 (Sengara dkk., 2007, 2008). Bahaya lanjutan pada kegempaan lanjutan diberbagai studi yang sudah dilaksanakan oleh anggota tim seperti Iryam dkk. (2009), Sengara dkk. (2009), Iryam dkk. (2010a dan 2010b), Sengara dkk. (2010), dan Asrurifak dkk. (2010). Kompilasi studi yang dilanjutkan dengan kerja sama Tim 9 kemudian menghasilkan Peta Gempa Nasional 2010 (Gambar 2.5 dan Gambar 2.6)



Gambar 2.5 Peta sumber Indonesia (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010) (Pusgen, 2017)



Gambar 2.6 Peta percepatan puncak dibatuan dasar Indonesia 2010 untuk *probability of exceedance* 2% dalam 50 tahun (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010) (Pusgen, 2017)

2.2.3. Analisis Gempa menurut SNI 1726:2012

Iskandarsyah (2009) mendefinisikan bahwa gempa bumi adalah gelombang dari suatu tempat yang menyebar kesegala arah yang menyebabkan gerakan tanah secara tiba-tiba. Dalam hubungan suatu wilayah yang terkait mengenai gerakan muka bumi dan pengaruhnya pada gempa bumi terhadap wilayah yang bersangkutan. Setiap wilayah memiliki bentuk dan daerah yang berbeda.

Terjadinya gempa bumi menurut Tjokrodimuljo (1993) merupakan peristiwa vulkanik dimana getaran tanah yang terjadi di sekitar gunung api yang meletus. Sedangkan peristiwa tektonik, merupakan gerakan lempeng atau kerak bumi yang terjadi didalam maupun di permukaan bumi.

1. Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan

Kategori risiko struktur bangunan dapat dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan jenis pemanfaatan ataupun penggunaan gedung tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut ini.

Tabel 2.3 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori
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	I
- Fasilitas sementara	
- Gudang penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
- Perumahan	II
- Rumah toko dan rumah kantor	
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen/ rumah susun	
- Pusat perbelanjaan/ mall	
- Bangunan industri	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadion
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas Manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta 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.

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.3. pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.4. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa (BSN, 2012)

Kategori resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

3. Koefisien Modifikasi Respon, R^a

Koefisien modifikasi respon diketahui dari sistem penahan gaya seismiknya. Koefisien ini didapat berdasarkan Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tabel faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (BSN, 2012)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F ^e
1. dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material	$2^{1/2}$	$2^{1/2}$	$2^{1/2}$	TB	TB	10	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap teluk	8	$2^{1/2}$	5	TB	TB	48	48	30
3. Dinding deser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen		3						
1. Rangka baja pemikul momen	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul	7	3	$5^{1/2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen	$4^{1/2}$	3	4	TB	TB	TI ^b	TI ^b	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen	$3^{1/2}$	3	3	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^b	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4^{1/2}$	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul	3	3	$2^{1/2}$	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momem khusus	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4^{1/2}$	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5^{1/2}$	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	$2^{1/2}$	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingim pemikul momen khusus	$3^{1/2}$	3^0	$3^{1/2}$	10	10	10	10	10

Dimana R^a = Koefisien modifikasi sistem

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

C_d = Faktor pembesaran defleksi

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diizinkan

2.2.4. Penentuan perioda

Perioda fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.7 dan

periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditentukan sesuai dengan 2.2.5. Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T) diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a) yang dihitung sesuai dengan 2.2.4.

2.2.5. Periode fundamental pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.1)$$

Keterangan :

T_a parameter percepatan respon spektra, h_n ialah ketinggian bangunan (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (BSN, 2012)

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefesien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (BSN, 2012)

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

2.2.6. Penentuan simpangan antar lantai

Perpindahan defleksi elastik atau lantai elastik didapatkan dari analisis elastic dengan bantuan *software*, BSN (2012) menjelaskan bahwa defelksi pusat massa pada tingkat x ditentukan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e} \quad (2.2)$$

Keterangan :

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_e = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis.

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan.

δ_x = defleksi yang terjadi

2.2.7. Analisis Statik Ekuivalen

Geser Dasar Seismik (V)

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

$$V = C_s \cdot W \quad (2.3)$$

Dimana:

V : geser dasar seismik,

C_s : koefisien respons seismik ,

W : berat seismik efektif.

Beban geser pada nominal (V) tersebut harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban gempa nominal statik ekuivalen (Fx) pada pusat massa tiap lantai dengan persamaan :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.4)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.5)$$

Dimana:

C_{vx} : faktor distribusi vertikal,

V : gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur,

W_i dan w_x : berat seismik total struktur (W) pada tingkat i atau x,

h_i dan h_x : tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x, dinyatakan dalam meter (m).

k : eksponen terkait periode.

Untuk T sebesar 0.5s maka $k = 1$.

Untuk T sebesar 2.5s maka $k = 2$.

Untuk T antara 0.5–2.5s, $k = 2$ / interpolasi antara 1 & 2.

a. Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien respons seismik (C_s) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.6. Sedangkan nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 2.6 tidak perlu melebihi persamaan 2.7. Dan nilai C_s tidak boleh kurang dari persamaan 2.7.

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.6)$$

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.7)$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} \geq I_e 0,01 \quad (2.8)$$

Dengan :

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

R : faktor modifikasi respons

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.4,

C_s : koefisien respons seismik.

2.2.8. Wilayah Gempa dan Respons Spektrum

a. Parameter Respons Percepatan Gempa Maksimum

$$S_{MS} = F_a.S_s \quad (2.9)$$

$$S_{M1} = F_v.S_1 \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_s = parameter spectrum respons percepatan gempa maksimum periode pendek;

S_1 = parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum 1 detik

Tabel 2.8 Koefisien situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 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		

Tabel 2.9 Koefisien situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,6	2,4
SF			SS^b		

b. Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.11)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.12)$$

Keterangan :

 S_{DS} : parameter percepatan spektral perioda pendek S_{D1} : parameter percepatan spectral perioda 1 detik

c. Respons Spektrum Desain

Spektrum respons desain diperlukan dalam analisis ini, sedangkan tidak menggunakan prosedur gerak tanah dari spesifik situs, sehingga kurva

spektrum respons desain dapat dikembangkan sesuai dengan Gambar 2.7 dan mengikuti langkah-langkah di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , S_a , dihitung dengan persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.13)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S .

$$S_a = S_{DS} \quad (2.14)$$

3. Untuk periode lebih besar dari T_S , S_a , dihitung dengan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.15)$$

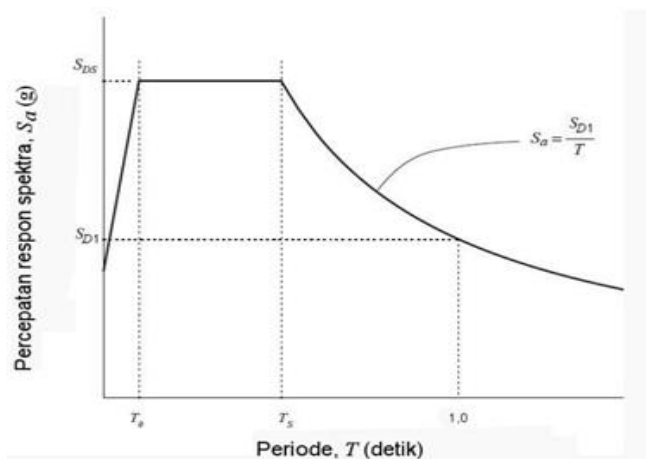
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

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

T = periode (getar)

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.16)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.17)$$



Gambar 2.7 Spektrum respons desain

(BSN, 2012)

2.2.9. Evaluasi Batas Kinerja Struktur

Menurut Powell (2007), peraturan yang ada saat ini tidak jelas dalam memastikan level kinerja dari suatu bangunan yang didesain, dengan menggunakan analisis *performance based design*, level kinerja suatu bangunan dapat dinilai berdasarkan gempa yang direncanakan, sehingga pemilik bangunan dapat memilih level kinerja dari bangunannya, yang berdampak dengan biaya pembangunan dan biaya perbaikan.

Dewobroto (2005), simulasi kinerja terhadap berbagai kejadian gempa didahului dengan pembuatan model rencana struktur bangunan yang merupakan proses evaluasi tahan gempa berbasis kinerja. Informasi yang didapat dari setiap simulasi berupa tingkatan kerusakan, ketahanan struktur agar bisa digunakan untuk memperkirakan kecil besarnya kerugian harta benda (*economic loss*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan keselamatan (*life*) yang terjadi.

Pengaruh gempa terhadap struktur bangunan gedung dapat diperoleh dari evaluasi kinerja. Perihal tersebut berguna sebagai evaluasi perilaku desain seismik pada gedung berstruktur pasca leleh (Pranata, 2006).

Zhihao Lu dkk. (2004) mereka bekerja pada kapasitas dan permintaan prosedur prediksi berdasarkan analisis *pushover* dan ekuivalensi sistem *single-degree-of-freedom (ESDOF)* setara untuk evaluasi kinerja seismik jembatan lengkung baja, serta keterbatasan analisis *non linear* disajikan. Faktor yang harus diperhitungkan kontribusi mode yang lebih tinggi untuk respon seismik diusulkan dan berbagai berlaku menggunakan *pushover* tersebut analisis secara kuantitatif ditentukan.

Menurut Dewobroto (2006), keselamatan dan keamanan bangunan tidak tergantung pada tingkatan kekuatan, namun tetapi juga pada tingkatan energi dan deformasi yang terukur.

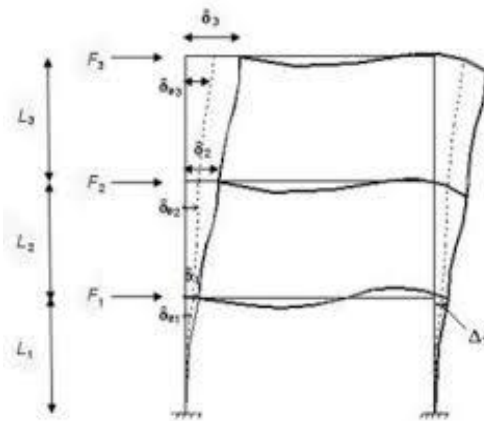
Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_i) seperti dari Tabel 2.10 untuk semua tingkat.

Tabel 2.10 Simpangan antar lantai izin (Δ_i) (BSN, 2012)

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

h_{SX} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

Tingkat 3



Gambar 2.8 Penentuan simpangan antar lateral.

(BSN, 2012)

F_3 : gaya gempa desain tingkat kekuatan,

δ_{e3} : perubahan tempat yang diperhitungkan karena gaya gempa desain berdasarkan tingkat kekuatan.

$$\delta_3 = C_d \delta_{e3} / I_E \quad (2.18)$$

δ_3 : perpindahan yang diperbesar.

$$\Delta_3 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_E \leq \Delta \alpha \quad (2.19)$$

Tingkat 2

F_2 : gaya gempa desain tingkat kekuatan,

δ_{e2} : perubahan tempat yang diperhitungkan karena gaya gempa desain berdasarkan tingkat kekuatan.

$$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_E \quad (2.20)$$

δ_2 : perpindahan yang diperbesar.

$$\Delta_2 = (\delta e_2 - \delta e_1) C_d / I_E \leq \Delta \alpha \quad (2.21)$$

Tingkat 1

F_1 : gaya gempa desain tingkat kekuatan,

δe_1 : perubahan tempat yang diperhitungkan karena gaya gempa desain berdasarkan tingkat kekuatan.

$$\delta_1 = C_d \delta e_1 / I_E \quad (2.22)$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta \alpha \quad (2.23)$$

Δ_1 : defleksi antar lantai.

$$\text{Rasio simpangan antar lantai} = \Delta_i / L_i \quad (2.24)$$

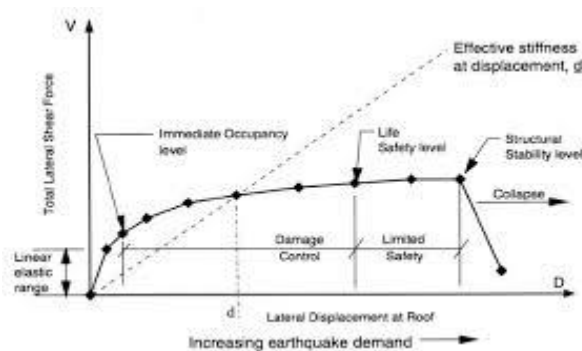
δ_1 : perpindahan total.

2.2.10. Kinerja Struktur Metode ATC-40

Respon bangunan terhadap gerakan tanah akibat gempa menyebabkan perpindahan lateral dan deformasi pada setiap elemen struktur. Pada level rendah, deformasi elemen akan dalam rentang elastis (*linear*) dan tidak akan ada kerusakan yang timbul. Pada level respon tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas *linear* elastis dan bangunan akan mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja seismik yang andal, sistem penahan gaya lateral yang lengkap harus dimiliki oleh suatu bangunan, yang mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter gerakan tanah. (ATC, 1996).

Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai *ATC-40*, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya bekerja atau kurva kapasitas (Gambar 2.9). Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa, “V” pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan dan perpindahan lateral gedung pada atap pada tingkat gaya lateral tertentu.

Kurva kapasitas ini akan menjadi garis lurus dengan kemiringan yang sama jika berperilaku elastis *linear* dengan kekakuan struktur secara keseluruhan. Karena bangunan sebenarnya tidak memiliki kapasitas elastis *linear* di atas, maka kurva kapasitas biasanya terdiri dari serangkaian segmen garis lurus ditarik garis dari asal plot ke *point* dalam kurva pada tingkat perpindahan lateral, “*d*” yang memiliki kekakuan sebagian atau kekakuan “efektif” pada struktur ketika dibebani secara lateral pada tingkat perpindahan tertentu.



Gambar 2.9 Tipikal kurva kapasitas pada berbagai tingkat kinerja struktur (ATC, 1996)

Tujuan utama dari desain berbasis kinerja yaitu untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan dari bangunan. Kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diizinkan (*performance level*) untuk mengidentifikasi bahaya gempa. Pada Gambar 2.9 telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut dapat dideskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang diizinkan terhadap level kinerja tertentu, dan ditabelkan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur (ATC, 1996)

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>SP-1</i>	Bangunan aman saat	Struktur bangunan
<i>Immediate</i>	terjadi gempa, dan	yang mutlak
<i>Occupancy (OI)</i>	tidak terlalu memakan	difungsikan sebagai

	korban jiwa serta kerusakan pada struktur bangunan, sehingga bangunan tidak akan lama dapat digunakan kembali.	sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya Rumah sakit, Gudang bahan bakar/ bahan berbahaya dll.
<i>SP-2 Damage Control (DO)</i>	Merupakan transisi antara <i>Immediate Occupancy (IO) SP-1</i> dan <i>Life Safety (LS) SP-3</i> . Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi resiko korban jiwa manusia sangat kecil	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
<i>SP-3 Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan	Fasilitas-fasilitas umum, Gedung perkantoran, perumahan, gudang dll.

	perbaiki komponen struktural maupun non-struktural.
<i>SP-4 Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-3</i> dan <i>SP-4</i> dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa
<i>SP-5 Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun persial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan.
<i>SP-6 Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau <i>retrofit</i> .

2.2.11. Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40

Dalam metode ATC (1996), metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur adalah dengan metode spektrum kapasitas (*capacity-spectrum*). Metode spektrum kapasitas adalah dengan memplotkan *demand respon*

spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan vs spektra perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS).

Kurva kapasitas (*capacity-curve*) diperoleh dari analisis *pushover*, yaitu dengan memberikan beban lateral statik tertentu pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai suatu kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai suatu batas tertentu atau mengalami kegagalan struktur. Respon struktur terhadap pemberian beban lateral yang diberikan secara bertahap tadi dicatat dan dibuat kurva hubungan gaya geser dasar, “V” dan perpindahan pada atap “ Δ_{atap} ”, kurva tersebut-lah yang disebut kurva kapasitas.

Kurva kapasitas menggambarkan dimana kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Untuk merubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas maka terlebih dahulu memahami tentang hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan, hubungan tersebut digambarkan pada Gambar 2.10 dan untuk merubah kurva kapasitas kedalam format ADRS maka digunakan persamaan 2.25 – 2.28 sebagai berikut

$$PF_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]}{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]} \quad (2.25)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g]^2}{[\sum_{i=1}^N (w_i/g)][\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)g]} \quad (2.26)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2.27)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof.1}} \quad (2.28)$$

Dimana :

PF_1 : faktor partisipasi modal pada *mode* pertama.

α_1 : modal koefisien massa pada *mode* pertama.

w_i/g : massa pada tingkat ke-*i*

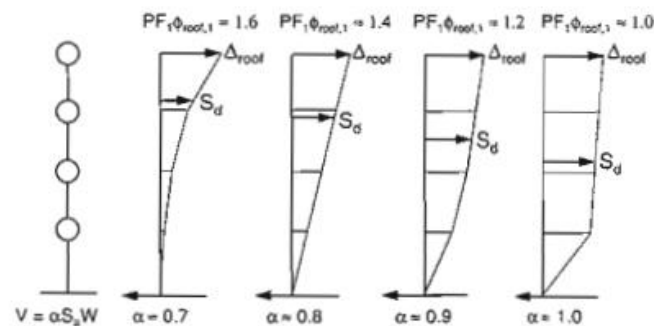
ϕ_{i1} : amplitud *mode*-1 pada tingkat ke-*i*

N : tingkat N , tingkat tertinggi pada proporsi utama struktur

V : gaya geser dasar

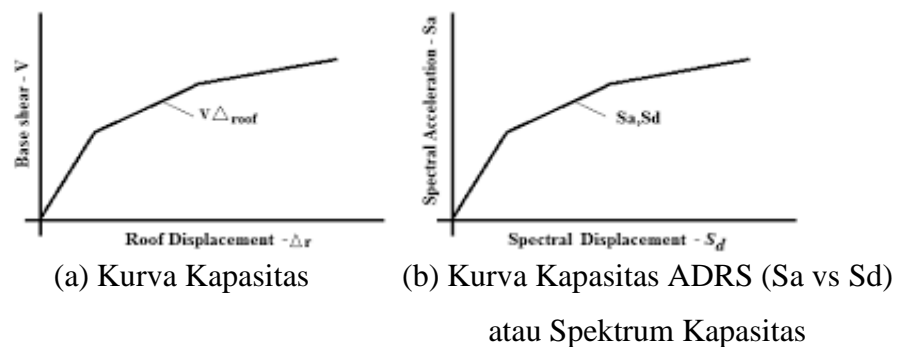
W : massa bangunan (berat sendiri & beban hidup)

Δ_{roof} : perpindahan atap
 S_a : spektra percepatan
 S_d : spektra perpindahan



Gambar 2.10 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa (ATC, 1996)

Pada Gambar 2.10 hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk nilai simpangan antar lantai yang berbeda disetiap ketinggian struktur bangunan. Untuk merubah kurva kapasitas ke format ADRS adalah menghitung nilai faktor partisipasi massa, PF_1 , dan modal koefisien massa, α_1 , dengan persamaan 2.25 dan 2.26. Kemudian setiap *point* pada kurva kapasitas, V dan Δ_{roof} dikonversi ke *point* S_a dan S_d dengan persamaan 2.27 dan 2.28, maka akan didapatkan spektrum kapasitas. Dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 (a) Kurva kapasitas (b) Spektrum kapasitas (ATC-40, 1996: 8 -12)

Demand spektrum didapat dengan merubah respon spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektra percepatan “ S_a ” dan periode “ T ” menjadi format ADRS (S_a, S_d). Untuk mengubah spektra percepatan ke spektra perpindahan digunakan persamaan 3.29 sehingga kurva *demand* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (3.29)$$

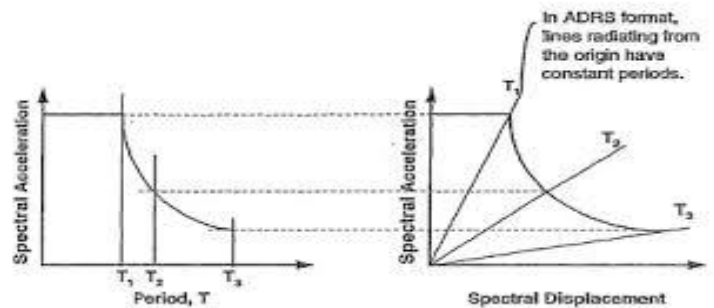
Dimana :

S_a : spektra percepatan, m

S_d : spektra perpindahan, g

g : percepatan gravitasi ($9,81 \text{ mm/s}^2$)

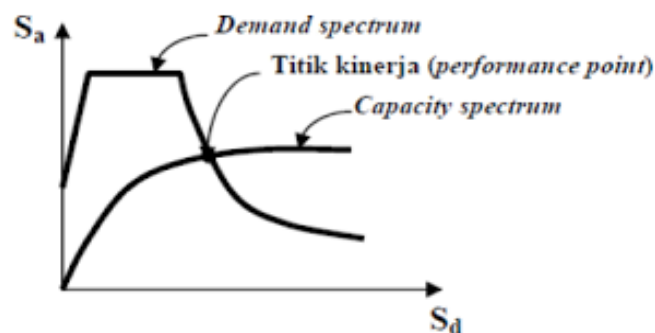
T : periode getar fundamental, detik



(a) Respon Spektrum Standar (b) Respon Spektrum ADRS (S_a vs S_d)

Gambar 2.12 (a) Respon spektrum standar (b) Respon spektrum Format ADRS (ATC, 1996)

Grafik spektrum kapasitas dan spectrum *demand* disajikan dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik dengan format ADRS tersebut akan ada titik perpotongan



Gambar 2.13 Titik kinerja struktur sesuai ATC-40 (Tavio, 2018)

antara spectrum kapasitas dan spectrum *demand* yang disebut sebagai titik kinerja *performance point* (Gambar 2.13).

Redaman yang terjadi saat struktur terkena gerakan gempa pada keadaan inelastik dapat dilihat pada redaman *viscous* yang melekat pada struktur dan redaman histerestik. Redaman histerestik (*hysteristic damping*) berhubungan

dengan area didalam *loop* kurva gaya dan perpindahan akibat gaya gempa. Redaman histerik ini dapat mewakili redaman *viscous* ekuivalen. Dalam ATC-40 redaman *viscous* dirumuskan dengan persamaan 2.30.

$$\beta_{eq} = \beta_o + 0.05 \quad (2.30)$$

Dimana:

β_{eq} : redaman *viscous* ekuivalen struktur

β_o : redaman histerestis yang mewakili redaman *viscous* ekuivalen

0.05 : redaman yang melekat pada struktur (redaman awal)

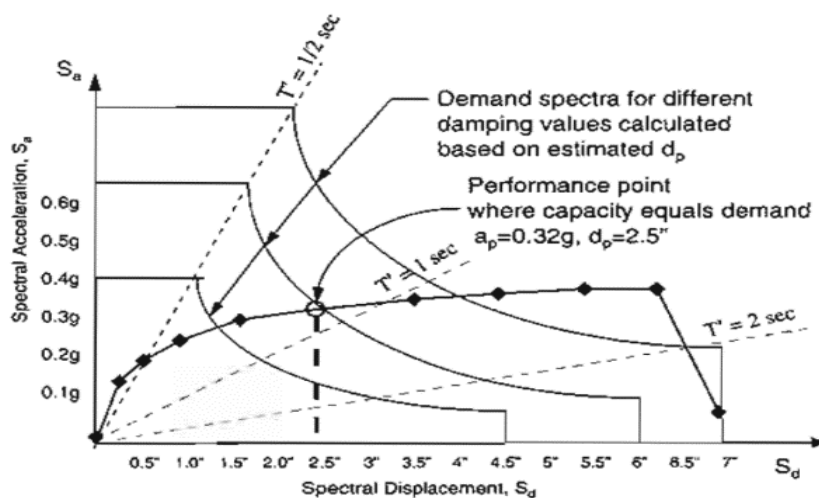
Untuk mengetahui titik kinerja struktur, maka untuk mengetahui redaman *viscous* ekuivalen ini akan dihitung secara otomatis pada program. Sehingga akan tersaji beberapa *demand* spektra pada berbagai tingkat redaman dan spektrum kapasitas dari struktur dan diilustrasikan pada Gambar 2.14. Maka untuk mengetahui titik kinerja dari struktur desainer hanya perlu memasukkan redaman yang melekat pada struktur (*inherent damping*) sebesar 0.05 dan selanjutnya program akan menghitung otomatis nilai redaman histeriknya, β_o sesuai dengan struktur yang dimodelkan.

Selain itu, jika akan menghitung respon spektrum gempa desain menggunakan parameter-parameter dalam SNI 1726:2012 atau ASCE 7-10 maka desainer perlu mengkonversi parameter respon percepatan periode 2.0 detik (S_{MS}) kedalam C_A , dengan persamaan 2.30 dan parameter respon percepatan periode 1.0 dt (S_{M1}) ke dalam C_v , dengan persamaan 2.31 sesuai ATC-40 4.4.3.1 sebagai berikut :

$$C_A = 0.4S_{MS} \quad (2.31)$$

$$C_v = S_{M1} \quad (2.32)$$

Selain parameter nilai C_A dan C_v dan satu parameter lagi yaitu “*Structural Behavior Type*” dipilih sesuai peruntukkan bangunan itu, apakah termasuk bangunan baru atau tidak. Penetapan “*Structural Behavior Type*” tersebut dapat dilihat pada ATC-40 PS.4.4.3.1.



Gambar 2.14 Titik kinerja struktur pada tingkat redaman (ATC, 1996)

2.2.12. Batasan Deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam ATC (1996) bab 11.3.3. Deformasi pada berbagai tingkat kinerja dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Batasan simpangan pada tingkat kinerja struktur (ATC, 1996)

Batas	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	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

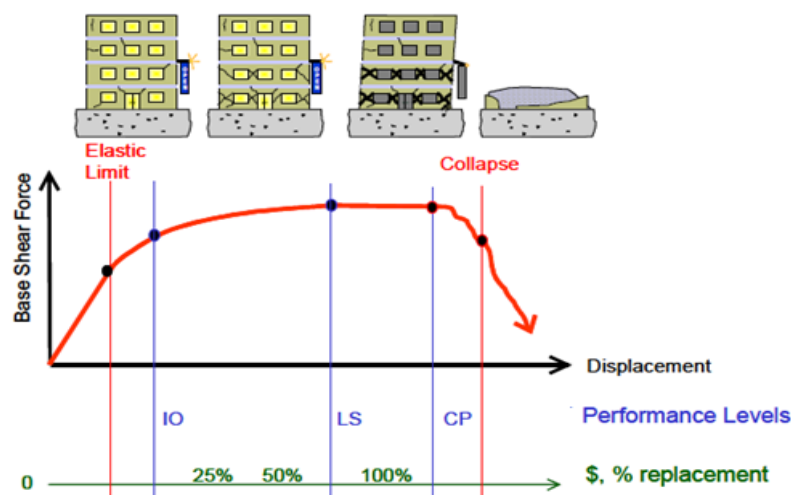
Pada Tabel 2.12 Simpangan total maksimum (*maximum total drift*) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastis maksimum 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 yang merupakan total gaya gravitasi (seperti *dead load*, *live load*) 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 respons dengan deformasi yang besar sehingga proporsional untuk *detailing* pada bangunan baru. (ATC-40, 1996:11-5)

2.2.13. Kinerja Struktur Metode FEMA 356

Berdasarkan *FEMA* (2000) maka kinerja struktur bangunan saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori dan dapat dilihat pada Gambar 2.15. Tingkat kinerja *FEMA* (2000) secara garis besar adalah sama dengan tingkat kinerja dalam ATC (1996). Sedangkan kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur sesuai *FEMA* (2000) dapat dilihat Tabel 2.13

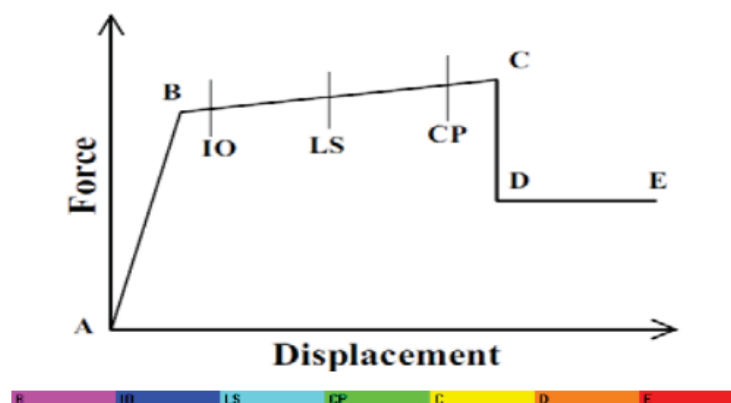


Gambar 2.15 Tingkat kinerja struktur (*FEMA*, 2000)

Tabel 2.13 Kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur (FEMA, 2000)

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>Operational</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Secara spesifik hal ini ditandai dengan tidak ada pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak serta semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.	
<i>Immediate Occupancy</i>	Bangunan tidak ada mengalami kerusakan yang cukup berarti terhadap komponen struktural. Kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa. Pada komponen non-struktural, peralatan, dan isi gedung umumnya masih aman, tetapi secara operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik atau kurangnya utilitas.	Rumah sakit, Gudang bahan bakar/bahan berbahaya dll.
<i>Life Safety</i>	Dalam kategori ini berarti bangunan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekakuannya berkurang. Struktur masih mempunyai kekuatan cukup untuk memikul beban-beban yang terjadi pada ambang keruntuhan. Komponen non-struktural masih ada tetapi tidak dapat berfungsi dan dapat digunakan kembali apabila telah dilakukan perbaikan	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang dll.

Properti sendi plastis atau *plastic hinge properties* yang didasarkan Standar *FEMA 356* yaitu untuk balok pada Tabel 6-7, untuk kolom pada Tabel 6-8, dan untuk dinding geser pada Tabel 6-18 dan Tabel 6-19 masing-masing tertera pada *FEMA 356*. Secara umum kurva hubungan gaya dan perpindahan serta karakteristik sendi plastis sudah *built-in* pada program ETABS seperti terlihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Hubungan perpindahan (*Displacement*) dan terhadap gaya (*Force*) serta karakteristik sendi plastis (FEMA, 2000)

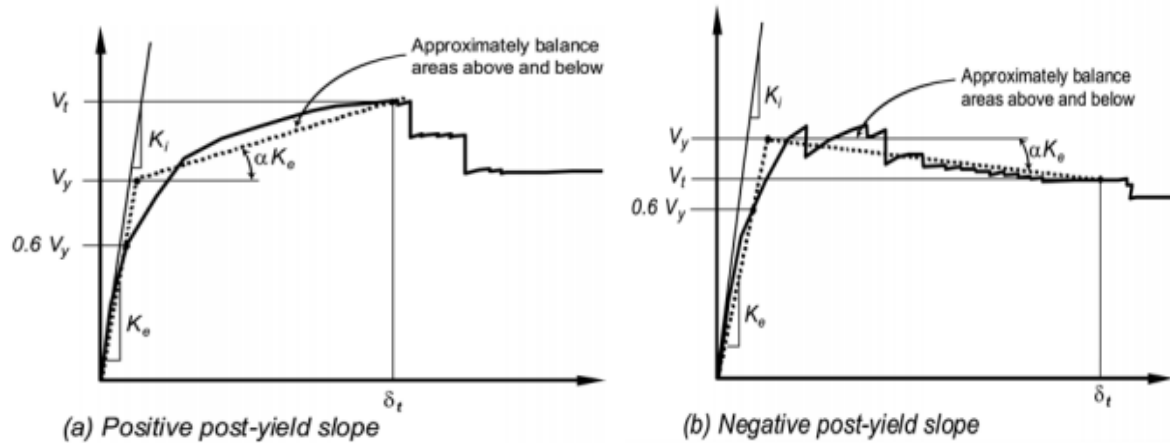
Kurva diatas menunjukkan hubungan gaya dan perpindahan serta karakteristik sendi plastis yang bergerak dari titik A-B-C-D kemudian E. Titik-titik tersebut menunjukkan karakteristik sendi plastis yang timbul pada elemen struktur hasil analisis *pushover*. Titik A adalah titik origin, titik B menandakan pelepasan pertama, titik C menandakan kapasitas ultimit, titik D adalah kekuatan sisa (*residual strength*). Dan titik E menandakan elemen struktur tersebut telah mengalami keruntuhan (*failure*). Level kinerja bangunan (*IO*, *LS*, dan *CP*) terletak diantara sendi plastis leleh pertama sampai mencapai batas ultimitnya. Dan warna yang tertera pada huruf-huruf tersebut merupakan indikator karakteristik sendi plastis yang sudah *built-in* pada ETABS.

2.2.14. Titik Kinerja Struktur Metode FEMA 356

Metode koefisien perpindahan *FEMA* (2000) adalah suatu metode pendekatan yang menyediakan perhitungan numerik langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur. Dengan memperbaharui respon elastis dari program *SDOF* ekuivalen menggunakan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3

didapatkan nilai maksimum pada perpindahan global (elastis dan inelastik) yang diartikan sebagai target perpindahan (δ_T).

Parameter-parameter tersebut diambil dari idealisasi kurva kapasitas struktur atau kurva bilinear struktur. Kurva kapasitas tersebut biasanya memiliki 2 kemungkinan perilaku, yaitu berkemiringan positif dan negatif. Pengambilan garis kurva kapasitas metode *FEMA* (2000) dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Perilaku Pasca Leleh Struktur (*FEMA*, 2000)

Prosedur pertama yaitu ditetapkannya getar efektif dengan satuan waktu (T_e), dengan menyesuaikan kondisi elastik struktur bangunan. Waktu getar efektif didapat dengan persamaan 2.33

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.33)$$

Dimana:

T_e : waktu getar relatif

T_1 : waktu getar elastik

K_i : kekakuan lateral elastik

K_e : kekakuan lateral efektif

Kekakuan lateral efektif ditentukan tergantung dari perilaku struktur. Kekakuan lateral efektif ini sangat tergantung dari penggambaran kurva bilinear dari kurva kapasitas-nya. Kekakuan lateral efektif dihitung dengan persamaan 2.34

$$k_e = \frac{0.6 \times V_y}{0.6 \times \Delta_y} \quad (2.34)$$

Selanjutnya target perpindahan (δ_T) didapat dari modifikasi respon *elastic linear* dari sistem SDOF ekuivalen dengan beberapa faktor koefisien perpindahan dan dihitung dengan persamaan 2.35.

$$\delta_T = C_o C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2.35)$$

Dimana:

T_e : waktu getar relatif

δ_T : target perpindahan

C_o : faktor modifikasi untuk perpindahan spektral menjadi perpindahan atap/ puncak (lantai teratas yang tidak dihuni). Umumnya menggunakan faktor partisipasi ragam pertama sesuai dengan Tabel 3-2 *FEMA* (2000).

C_1 : faktor perubahan untuk mengkaitkan perpindahan maksimum inelastic dengan perhitungan respon *elastic linear* pada perpindahan.

$$C_1 = 1.0 \text{ untuk } T_e \geq T_s \quad (2.36)$$

$$C_1 = [1.0 + R - 1)T_s / T_e]/R \text{ untuk } T_e < T_s \quad (2.37)$$

T_s : waktu geser berdasarkan sifat yang didapatkan dari kurva respon spectrum pada titik yang mengalami transisi dibagian akselerasi konstan ke kecepatan konstanta.

R : rasio yang merupakan elastik kuat yang diperlukanj saat perhitungan kuat leleh .

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (2.38)$$

S_a : akselerasi respon spektrum

V_y : gaya geser yang terjadi saat titik leleh, dimana kurva *pushover* berubah menjadi bilinier.

C_m : faktor massa efektif, dari Tabel 3-1 pada *FEMA* (2000).

C_2 : faktor modifikasi yang mewakili efek dari bentuk histerestik pada perpindahan maksimum, diambil berdasarkan Tabel 3-3 pada *FEMA* (2000).

C_3 : koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat efek *P-Delta*. Jika gedung pada kondisi pasca leleh kekakuan-nya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sednagkan jika perilaku pasca lelehnya negative (kurva menurun) maka,

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha| (R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.39)$$

C_m : rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastic efektif

g : percepatan gravitasi 9.81 m/detik²

Tabel 2.14 Batasan simpangan untuk level kinerja struktur (FEMA, 2000)

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Live Safety</i>	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention</i>	4,0	<i>Transient atau permanent</i>

Tabel 2.15 Modeling parameters and Numerical Acceptance Criteria for Non Linear Reinforced Concrete Beams (FEMA, 2000)

Conditions	Modeling Parameters ⁴			Acceptance Criteria ⁴						
	Plastic Rotation Angle, radians	Residual Strength Ratio	C	Plastic Rotation Angle, radians						
				Performance Level						
	a	b	C	IO	Component Type		CP			
				LS	CP	LS		CP		
	i. Beams controlled by flexure ¹									
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$	a	b	C	IO	LS	CP	LS	CP
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
ii. Beams controlled by shear ¹										
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.02
iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ¹										

Stirrup spacing $\leq d/2$	0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$	0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ¹								
	0.015	0.030	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

- When than one of the conditions I, ii, iii, dan iv occurs for a given componenet, use the minimum appropriate numerical value from the table.
- “C” and “NC” are are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement. A component is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at $\leq d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_s) is at least three-fourths of the design shear. Otherwise, the component is considered nonconforming.
- Linear interpolation between values listed in the table shall be permitted

Tabel 2.16 *Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Non Linear Procedures Reinforced Concrete Columns (FEMA, 2000)*

Conditions	Modeling Parameters ⁴					Acceptance Criteria ⁴				
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio			Plastic Rotation Angle, radians				
						Performance Level				
						IO	Component Type			
							Primary		Secondary	
		A	b	C		LS	CP	LS	CP	
i. Beams controlled by flexure ¹										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans Reinf. ²	$\frac{V}{V_n}$								
≤ 0.1	C	≤ 1.2	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.02	0.02
≤ 0.1	C	≥ 1.5	0.015	0.03	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.015
≥ 0.4	C	≤ 1.2	0.015	0.025	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.015
≥ 0.4	C	≥ 1.5	0.015	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.015
≤ 0.1	NC	≤ 1.2	0.005	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01
≥ 0.4	NC	≤ 1.2	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01
i. Beams controlled by flexure ¹										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans Reinf. ²	$\frac{V}{V_n}$								
≤ 0.1	C	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02

≤ 0.1	C	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	C	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	C	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≤ 1.2	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0075	0.01
≤ 0.1	NC	≥ 1.5	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0075	0.01
≥ 0.4	NC	≤ 1.2	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0075
≥ 0.4	NC	≥ 1.5	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0075

1. "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement. A joint is conforming if hoops are spaced at $\leq hc/3$ within the joint. Otherwise, the component is considered nonconforming.
2. P is the design axial force on the column above the joint and A_g is the gross cross-sectional area of the joint.
3. V is the design shear force and V_n is the shear strength for the joint. The design shear force and shear strength shall be calculated according to Section 6.5.2.3.
4. Linear interpolation between values listed in the table shall be permitted.

2.2.15. Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton (BSN, 2014)

Tabel 2.17 Sifat mekanis baja tulangan beton (BSN, 2014)

Kelas baja tuangan	Nomor batang uji	Uji Tarik			Uji Lengkung		TS/YS
		Kuat luluh minimum N/mm ² (kgf/mm ²)	Kuat tarik minmum N/mm ² (kgf/mm ²)	Regangan minum %	Sudut Lengkung	Diamter pelengkung	
BjTP 24	No. 2	235	380	20	180 ⁰	3 x d	-
	No. 3	(24)	(39)	24			
BjTP 30	No. 2	295	440	18	180 ⁰	$d \leq 16 = 3xd$	-
	No. 3	(30)	(45)	20		$d > 16 = 4xd$	
BjTS 30	No. 2	295	440	18	180 ⁰	$d \leq 16 = 3xd$	-
	No. 3	(30)	(45)	20		$d > 16 = 4xd$	
BjTS 35	No. 2	345	490	18	180 ⁰	$d \leq 16 = 3xd$	-
	No. 3	(35)	(50)	20		$16 < d \leq 40 = 4xd$ $d \geq 40 = 5xd$	
BjTS 40	No. 2	390	560	16	180 ⁰	5 x d	Min 1,2
	No. 3	(40)	(57)	18			
BjTS 50	No. 2	490	620	12	90 ⁰	$d \leq 25 = 5xd$	Min 1,2
		(50)	(63)	14		$d > 25 = 6xd$	

CATATAN :

1. Hasil uji lengkung tidak boleh retak pada sisi luar lengkungan
2. Untuk baja tulangan sirip $\geq S.32$ dikurangi 2 % dari nilai regangan

3. Untuk baja tulangan sirip S.40 dan S.50 dikurangi 4 % dari nilai regangan
 4. $1 \text{ kgf/mm}^2 = 9,81 \text{ N/mm}^2$
 5. Regangan adalah regangan total panjang yang dihitung setelah *sample* ujin putus.
 6. Metode penentuan batas ulur dapat menggunakan metode *offset* dengan nilai *offset* 0,2 %
 7. Batang uji tarik Ni. 2 untuk diameter $\leq 22 \text{ mm}$ dan batang uji tarik No 3 untuk diameter ≥ 25
-

2.2.16. Pushover

Menurut Pranata (2006) Analisis *pushover* ialah analisis statik *non linear* dimana Gempa Rencana dipengaruhi oleh struktur bangunan gedung yang dikaitkan dengan massa statik dalam mencari suatu pusat massa pada tiap lantai, yang terjadi pelelehan sendi plastis pertama yang diakibatkan oleh peningkatan nilai secara berangsur-angsur yang melebihi pembebanan didalam bangunan berstruktur, dimana beban ditingkatkan dan akan terjadi perbedaan bentuk pasca-elastis yang lebih besar hingga kondisi plastis tercapai.

Proses analisis *pushover* dapat didefinisikan sebagai prosedur statis dan *non linear* di mana pola distribusi yang telah ditentukan sepanjang ketinggian bangunan dipertahankan dan besarnya gaya lateral meningkat secara bertahap (Stephen, 1988).

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

1. Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisis *non linear* akan lebih rumit dibanding model analisis *linear*. Analisis *non linear* diperhitungkan berdasarkan sifat inelastik beban deformasi yang diambil dari komponen-komponen penting dan juga dari efek P- Δ