

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Mamesah dkk. (2014) melakukan analisis *pushover* pada bangunan dengan *soft first story*. Penelitian dilakukan menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut. Tipe struktur bangunan yang dimodelkan berupa bangunan *non soft story*, *soft first story 1* dan *soft first story 2*. Bangunan terbuat dari beton bertulang, jarak bentang 6 meter, dengan ketinggian 10 lantai, tinggi tiap lantai 4 meter, dengan variasi ketinggian lantai dasar 6 meter untuk *soft first story 1* dan 7 meter untuk *soft first story 2*. Penelitian mengacu pada SNI 1726-2012, FEMA-356 dan ATC-40.

Pranata (2006) mengevaluasi kinerja gedung beton bertulang tahan gempa dengan *pushover analysis* sesuai ATC-40 (1996), FEMA 356 (2000) dan FEMA 440 (2005) dengan tiga model 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 ditiap 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-40 (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 *ultimate* kinerja di setiap tipe gedung.

Penelitian yang dilakukan oleh Dewobroto (2005) tentang kinerja struktur baja tahan gempa dengan analisa *pushover* yang *built-in* pada program SAP2000, sedangkan titik kinerja untuk evaluasi masih harus ditentukan tersendiri dengan berbagai metoda (kecuali metode Spektrum Kapasitas). Analisa *pushover* (beban dorong statik) adalah analisa statik *nonlinier* perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa, sedangkan titik kinerja adalah besarnya perpindahan maksimum struktur saat gempa rencana. Hasil studi kasus pada portal baja 3D menyimpulkan bahwa titik kinerja yang menentukan adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA-356, sedangkan metode Spektrum Kapasitas (*built-in*) yang mengacu ATC-40 memberikan nilai paling kecil (tidak konservatif). Analisa *pushover* juga menunjukkan bahwa daktilitas portal berbeda dalam arah saling tegak lurus, masukan penting untuk antisipasi gempa besar yang mungkin terjadi diluar gempa rencana.

Wisnumurti dkk. (2008) melakukan analisis *pushover* pada gedung tidak beraturan dengan studi kasus pada gedung baru FIA Universitas Brawijaya. Untuk mendapatkan gaya yang diberikan pada analisis *pushover* dilakukan analisis modal. Masing-masing gaya dari analisis modal dilakukan respon kombinasi dengan CQC (*Complete Quadratic Combination*) atau SRSS (*Square Root of the Sum of Square*). Hasil analisis *pushover* didapatkan besarnya deformasi lateral pada portal A dan G sebesar 11,9 cm dan 10,3 cm. Besarnya *drift ratio* untuk portal A dan G adalah 0,3 %, maka tingkat pelayanan struktur berdasar ACMC 2001 tergolong pada kondisi batas layan (*serviceability limit state*) sedangkan menurut ATC 40 bangunan pada kondisi operasional (*immediate occupancy*).

Riantoby dkk. (2014) melakukan evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan analisis *pushover* dengan studi kasus hotel di wilayah Karanganyar. Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui kinerja gedung

berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Metode yang digunakan adalah analisis statik *nonlinier pushover* dengan menggunakan program ETABS. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi *pushover* pada arah x sebesar 3325,592 ton, arah y sebesar 3832,873 ton. Nilai *displacement* adalah 0,175 m arah x dan 0,261 m arah y. *Displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Maksimum total *drift* adalah 0,00340 arah x dan 0,00507 arah y < 0,01 , Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Prabowo dan Lase (2016) meninjau nilai faktor modifikasi respon (R) dan faktor kuat lebih (Io) pada struktur gabungan rangka baja dan rangka beton bertulang dengan analisis *pushover*. Penelitian tersebut untuk meninjau nilai R serta Io (faktor kuat lebih) pada struktur gabungan rangka momen baja sebagai struktur atas dan struktur rangka beton bertulang sebagai struktur bawah. Tinjauan yang dilakukan terbatas pada struktur yang berada pada kondisi kegempaan seperti di kota Jakarta dengan kondisi tanah lunak (SE). Nilai R pada struktur gabungan ditetapkan terlebih dahulu untuk melakukan perancangan elemen struktur. Kemudian dilakukan analisis *pushover* sehingga diperoleh kurva gaya terhadap deformasi struktur untuk memverifikasi nilai R dan Io yang mampu dicapai. Konsep yang dipakai dalam menghitung nilai R dan Io mengacu ATC-19 dan ATC-34 serta FEMA P-695.

Penelitian yang dilakukan Gunawan dkk. (2004) ini merupakan kelanjutan dari serangkaian penelitian yang dilakukan terhadap keandalan analisa beban dorong statik (*static pushover analysis*) di Universitas Kristen Petra. Penelitian tersebut terdapat dua buah struktur portal terbuka terdiri dari struktur lima, dan sepuluh lantai, dengan *re-entrant corner* sebesar setengah dari inti yang direncanakan. Perilaku seismik ke dua struktur ini dievaluasi menggunakan analisa *static pushover* dan analisa dinamik *nonlinier* riwayat waktu. Untuk analisa riwayat waktu digunakan percepatan gempa sintesis yang telah disesuaikan dengan respons spektrum gempa Indonesia dengan

menggunakan bermacam-macam percepatan tanah maksimum. Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisa *static pushover* kemudian dibandingkan dengan kurva kapasitas yang didapatkan dengan analisa riwayat waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisa *static pushover* masih memberikan prediksi kapasitas struktur yang konservatif dan cukup memadai. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa keandalan analisa *pushover* menurun sejalan dengan bertambahnya pengaruh ragam yang lebih tinggi.

Manalip dkk. (2015) melakukan penelitian tentang penempatan dinding geser pada bangunan beton bertulang dengan analisa *pushover*. Pemodelan pembebanan akibat gempa disesuaikan dengan kelas situs tanah. Hasil penelitian menjelaskan bahwa peningkatan kinerja dari suatu bangunan cenderung turut dipengaruhi oleh kelas situs tanah tempat struktur ini dibangun. Semakin kelas situs tanah mengarah kepada ketidakstabilan, maka cenderung kinerja struktur gedung beton bertulang bertambah secara signifikan, dan diiringi dengan satu fenomena yang terjadi dimana aplikasi gempa ringan relatif terhadap gempa sedang cenderung akan lebih meningkat untuk jenis tanah yang semakin labil.

Penelitian Yanto (2010) di gedung Balai Kota Surakarta bertujuan untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Metode yang digunakan adalah analisis statik *nonlinier pushover* dengan menggunakan program ETABS. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa gedung tersebut termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*. *Displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.

Evaluasi kinerja tahanan gempa gedung Rumah Sakit di Surakarta yang dilakukan oleh Afandi (2010) untuk mengetahui kapasitas gempa efektif struktur dan perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan *code Applied Technology Council (ATC-40)* serta menentukan

level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan *code* tersebut. Pertimbangan penulis memilih gedung Rumah Sakit sebagai obyek penelitian karena fungsi gedung bersifat massal sehingga didesain yang sesuai dengan kuat rencana. Dari hasil penelitian, didapatkan struktur bangunan mampu memberikan perilaku *nonlinear* yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria *Immediate Occupancy (IO)* yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan bangunan dapat segera digunakan kembali.

Pranata dan Wijaya (2009) pada kajian daktilitas struktur gedung beton bertulang dengan analisis riwayat waktu dan analisis beban dorong memberi asumsi bahwa definisi titik peralihan saat pertama leleh dan target peralihan, diantaranya metode terbaru FEMA 440 yaitu metode koefisien peralihan, yang telah diperbaiki dari metode koefisien sebelumnya FEMA 356, serta metode spektrum kapasitas sesuai ATC-40, mengakibatkan penentuan besarnya daktilitas menjadi sangat bervariasi. Tujuan penulisan untuk melakukan analisis statik beban dorong dan analisis inelastik dinamik nonlinier riwayat waktu pada model struktur rangka beton bertulang bertingkat rendah untuk mendapatkan nilai daktilitas peralihan. Studi kasus membahas model struktur tanpa basement yang didesain di wilayah 4 di Indonesia, jenis tanah keras.

Lesmana (2016) melakukan evaluasi sendi plastis dengan analisis *pushover* pada gedung tidak beraturan menggunakan metode *direct displacement based design* untuk menghitung panjang sendi plastis pada balok terbesar yang menghasilkan gaya geser ultimit. Pemodelan struktur pada bangunan menggunakan perangkat lunak ETABS Struktur bangunan yang dimodelkan adalah bangunan yang berfungsi sebagai apartemen setinggi 5 lantai yang berada di wilayah gempa 4 di Indonesia dan di desain menurut SRPMK. Hasil analisis *pushover* menunjukkan level kinerja struktur gedung berada dalam tingkat *Damage Control*.

Analisa *pushover* di gedung yang dilakukan Ismail (2013) pada bagian *flat slab* menggunakan perangkat lunak SAP 2000. Banyak bangunan flat

slab yang ada mungkin tidak dirancang untuk gaya seismik. Oleh karena itu penting untuk mempelajari respon mereka dalam kondisi seismik dan untuk mengevaluasi skema retrofit seismik. Tapi ketika dibandingkan dengan koneksi balok-kolom, flat slab menjadi populer dan ekonomis.

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Metode *Pushover*

Analisis *pushover* yang dijelaskan oleh Utomo dkk. (2012) merupakan sebuah sarana untuk memberikan solusi berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya adalah mencari kapasitas struktur. Prosedur analisis *pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai keruntuhan.

Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perilaku seismik struktur dari daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual. 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*). Dari hasil analisis *pushover* didapatkan daktilitas ($\mu\Delta$) aktual arah x (positif) = 3,85 arah x (negatif) = 3,96 dan daktilitas ($\mu\Delta$) aktual arah y (positif) = 2,97, arah y (negatif) = 3,15. Faktor reduksi gempa (R) aktual arah x (positif) = 6,2, arah x (negatif) = 6,3 dan factor reduksi gempa (R) aktual arah y (positif) = 4,7, arah y (negatif) = 5,0. Hal ini menunjukkan bahwa daktilitas ($\mu\Delta$) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ($\mu_m = 4,0$ dan $R_m = 6,5$ untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang).

2.2. Dasar Teori Sendi Plastis

Daerah sendi plastis adalah panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Ketika terjadi gempa, struktur akan menerima beban siklik dan pada daerah-daerah yang mempunyai momen terbesar (umumnya diujung balok) regangan tarik baja tulangan akan berganti-ganti untuk momen negatif pada tepi atas dan positif pada tepi bawah. Apabila regangan tarik baja sudah leleh, maka beton akan

mulai rusak retak. Kerusakan tersebut didesain terjadi pada sendi plastis. Pada daerah sendi plastis, tulangan harus di detail sedemikian sehingga perilakunya benar-benar daktail. (BSN, 2013)

Struktur bangunan gedung K.H Ibrahim Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menjadi tempat penelitian studi kasus pola pembentukan sendi plastis menggunakan analisis *pushover*. Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetilan atau stabilitasnya.

2.2.1 Bangunan Tahan Gempa

Konsep struktur bangunan tahan gempa yaitu bangunan yang dapat bertahan dari keruntuhan akibat getaran gempa, serta memiliki fleksibilitas untuk meredam getaran. Dari hasil pengamatan di lapangan pada berbagai kejadian gempa, kerusakan yang terjadi pada bangunan diakibatkan oleh abainya penerapan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa di lapangan. Kesalahan yang umum dilakukan adalah terkait dengan abai akan arti pentingnya keberadaan sloof, kolom praktis dan ring balok. Pasti bangunan tersebut roboh bila tidak dipasang sloof, kolom praktis dan ring balok. Berikutnya bila sudah ada struktur sloof kolom dan ring balok, kesalahan yang umum adalah pada detailing, sistem sambungan tulangan sloof, kolom dan balok banyak yang salah karena tidak saling terikat dengan baik, dan yang ketiga mutu bahan yang digunakan banyak yang tidak memenuhi ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Dari kejadian tersebut mengindikasikan diperlukannya penerapan prinsip-prinsip teknologi bangunan tahan gempa sesuai dengan standar yang berlaku. Bangunan tahan gempa itu dapat rusak akibat gempa tapi tidak boleh roboh atau setidaknya memberikan waktu yang cukup bagi pengguna/penghuni untuk melakukan evakuasi ke luar bangunan. Secara umum terdapat 3 hal yang harus diperhatikan untuk penerapan bangunan tahan gempa yaitu kesesuaian *design*, kesesuaian jenis bahan bangunan dan kesesuaian metoda pelaksanaannya itu sendiri.

Dalam SNI-1726-2012 (BSN, 2012) kategori risiko struktur bangunan dikelompokkan menjadi 4 kategori. Kategori I merupakan kategori bangunan gedung dan non-gedung yang mempunyai tingkat keutamaan paling rendah, sedangkan kategori IV adalah kategori dengan keutamaan bangunan paling tinggi. Adapun faktor keutamaan gedung disesuaikan menurut kategori risiko struktur bangunan tersebut. Semakin tinggi kategori struktur bangunan, maka nilai faktor keutamaan juga semakin tinggi. Kategori risiko bangunan dan Faktor keutamaan gedung (*I_e*) dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Kategori resiko bangunan (BSN, 2012)

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk dan tidak dibatasi untuk, antara lain :	
<ul style="list-style-type: none"> a. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gudang penyimpanan d. Rumah jaga dan struktur kecil 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori risiko I, III, IV, termasuk dan tidak dbatasi untuk :	
<ul style="list-style-type: none"> a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/ rumah susun f. Pusat perbelanjaan/ mall g. Bangunan industri h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik 	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, ter masuk dan tidak dibatasi untuk :	
<ul style="list-style-type: none"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit 	

gawat darurat

- e. Fasilitas penitipan anak
- f. Penjara
- g. Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam katagori 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 :

III

- a. Pusat pembangkit listrik biasa
- b. Fasilitas penanganan air
- c. Fasilitas penanganan limbah
- d. Pusat telekomunikasi

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam katagori 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 :

- a. Bangunan- bangunan monumental
- b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- c. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- d. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- e. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- f. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada keadaan darurat
- g. 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 katagori risiko

Tabel 2.2. Faktor keutamaan gempa (I_e) (BSN, 2012)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Trend perencanaan yang terkini yaitu *performance based seismic design*, yang memanfaatkan teknik analisa *non-linier* berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagaimacam intensitas gerakan tanah (gempa), sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis.

2.2.1 Daktilitas

Daktilitas pada desain struktur bangunan tahan gempa sangat penting. Daktilitas secara umum adalah suatu kemampuan pada struktur bangunan gedung untuk mengalami deformasi secara berulang akibat beban gempa hingga tanpa terjadinya keruntuhan.

Ketika mengalami gaya dinamis, struktur tidak dapat elastis kembali, dan tahap berikutnya adalah keruntuhan. Itu akan melalui tahap plastis dimana kekakuan akan menurun dan deformasi akan meningkat secara drastis. Kondisi plastis ini terjadi saat rotasi secara terus menerus akibat adanya penambahan beban pada struktur tersebut dan pada kondisi ini nilai momen tidak mengalami perubahan.

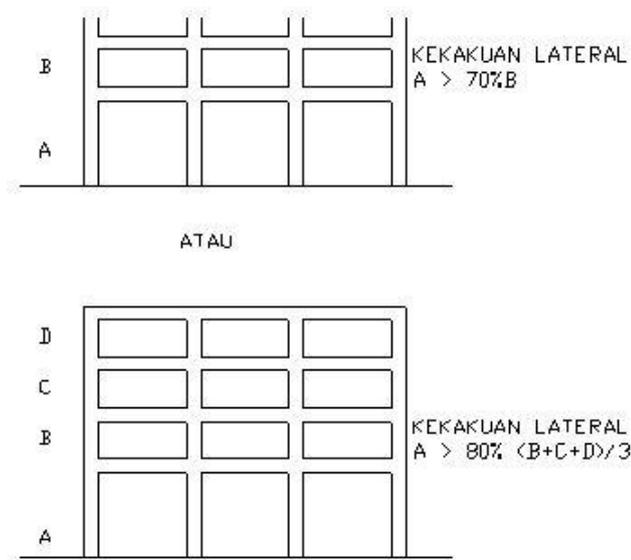
2.2.2 Analisis *Pushover*

Mamesah dkk. (2014), analisis beban dorong statik (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-

masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

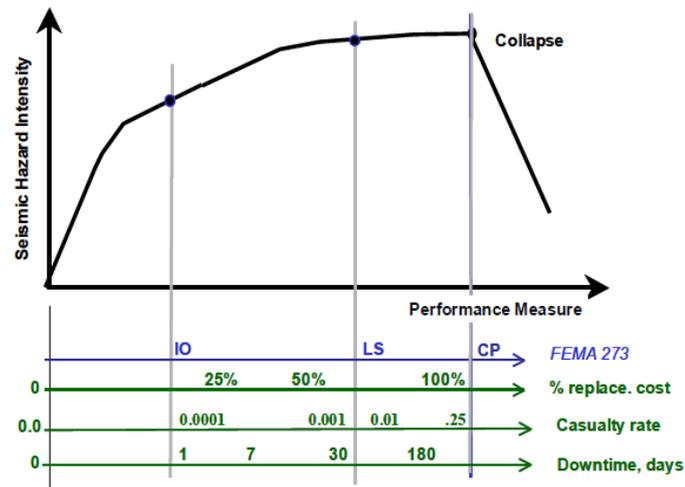
Analisis *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D).

Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.



Gambar 2.1 Bangunan dengan lantai dasar yang memiliki kekakuan tingkat lunak (Mamesah dkk., 2014)

Menurut Nurdianti (2013), tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik *nonlinier* untuk bangunan reguler dan tidak tinggi.



Gambar 2.2 Kurva *Pushover* (FEMA 273/274 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, 1997)

2.2.3 Waktu Getar Alami Efektif

Berdasarkan UBC-1997, dalam menentukan waktu getar alami bangunan menggunakan persamaan:

$$T = C_t (h_n)^{\frac{3}{4}} \quad (1)$$

dimana :

$C_t = 0,0853$ SRPM baja

$C_t = 0,0731$ SRPM beton

$C_t = 0,0488$ untuk sistem struktur lainnya.

2.2.4 Target Perpindahan

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

Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan, δ_t .

Dalam kurva *pushover* sampai minimal 150% target perpindahan adalah agar dapat dilihat perilaku bangunan yang melebihi kondisi

rencananya. Perencana harus memahami bahwa target perpindahan hanya merupakan rata-rata nilai dari beban gempa rencana. Perkiraan target perpindahan menjadi kurang benar untuk bangunan yang mempunyai kekuatan lebih rendah dari spektrum elastis rencana. Meskipun tidak didukung oleh data pada saat dokumen FEMA 356 tetapi diharapkan bahwa 150% target perpindahan adalah perkiraan nilai rata-rata ditambah satu standar deviasi perpindahan dari bangunan dengan kekuatan lateral melebihi 25% dari kekuatan spektrum elastis.

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

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coefficient Method* atau Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA 356 / 440 dan ATC 40) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metoda Spektrum Kapasitas (FEMA 274 / 440, ATC 40). Selain itu ada persyaratan perpindahan dari SNI 1726-2013 yang nantinya digunakan dalam penelitian.

2.2.5 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi

respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t).

Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan (lihat bagian tentang waktu getar alami). Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Jika di-plot-kan pada spektrum respons elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak, S_a , versus waktu getar, T . Rendaman yang digunakan selalu 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai respons pada daerah elastis. Puncak perpindahan spectra elastis, S_d , berhubungan langsung dengan akselerasi spektra, S_a , dengan hubungan berikut:

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (2)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \quad (3)$$

dimana:

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier.

$$= 1.0 \text{ untuk } T_e \geq T_S$$

$$= [1.0 + (R - 1)T_S / T_e] / R \text{ untuk } T_e < T_S \quad (4)$$

T_S = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

R = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (5)$$

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinier.

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun) maka

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (6)$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinier (lihat waktu getar efektif).

g = percepatan gravitasi 9.81 m/s^2

2.2.6 Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method (CSM)* merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Dalam analisis statik *pushover nonlinier* ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini telah *build-in* dalam program SAP2000 yang akan digunakan.

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respon *inelastic* bangunan. Kurva Kapasitas hasil *pushover* diubah menjadi kapasitas spektrum seperti pada gambar 3 melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 Sa &= \frac{V}{\alpha 1} \\
 Sd &= \frac{\Delta_{roof}}{PF 1 \Phi_{roof, 1}} \\
 PF &= \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1}^2)}{g}} \right] \\
 \alpha 1 &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (7)
 \end{aligned}$$

dimana:

Sa = Spectral acceleration

Sd = Spectral displacement

PF = modal participation untuk modal pertama

$\alpha 1$ = modal mass coefficient untuk modal pertama

Φ_{i1} : = amplitude of first untuk level i

V = gaya geser dasar

W = berat mati bangunan ditambah beban atap

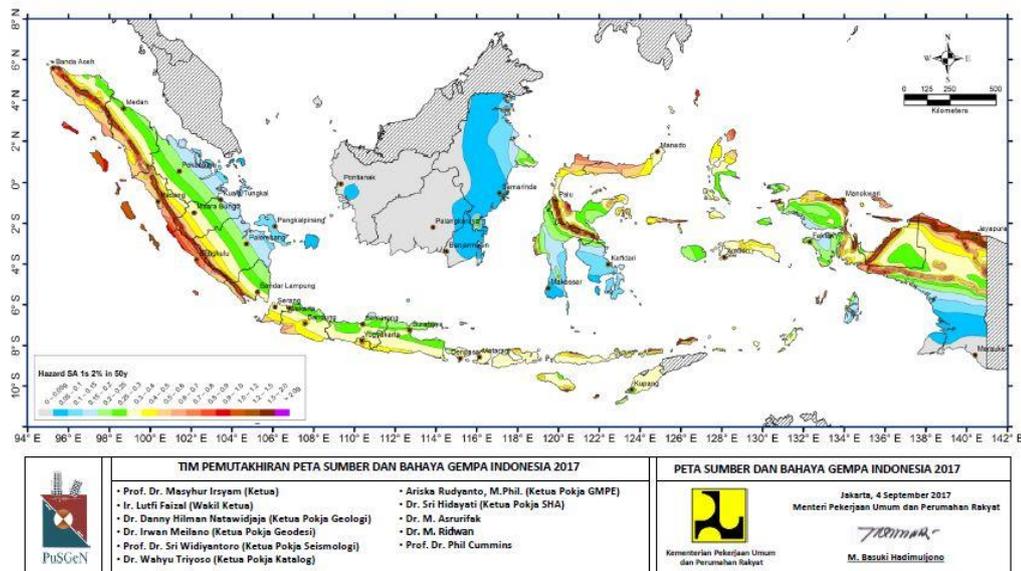
Δ_{roof} = roof displacement

w_i/g = massa pada level i

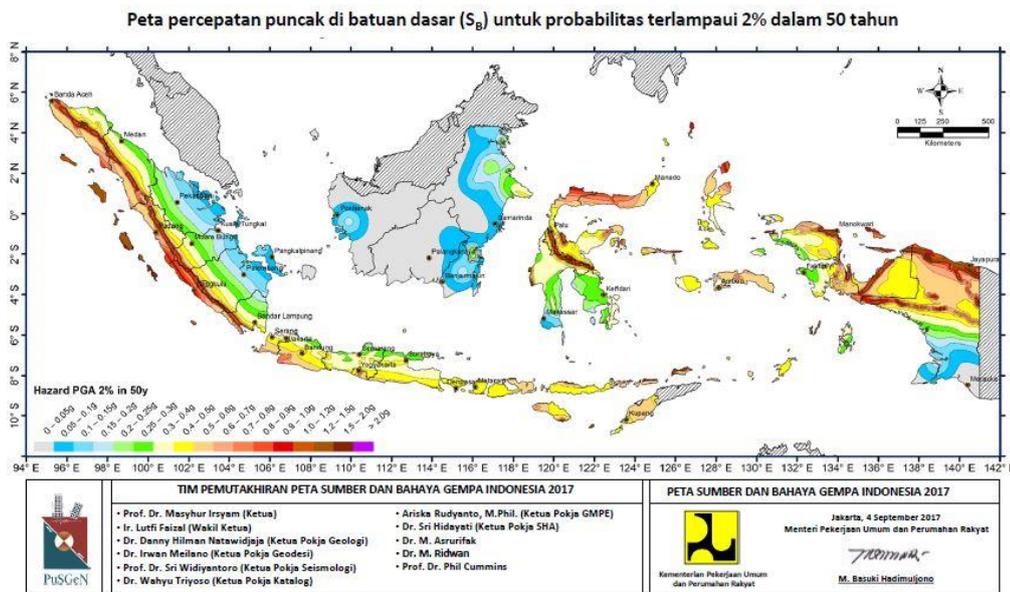
2.2.7 Analisis Gempa Dinamis Respons Spektrum dengan Wilayah Gempa Berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2017.

Diketahui data proyek bahwa kelas situs tanah pada lokasi gedung K.H Ibrahim berada di Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183, berada di tanah sedang (SD), sehingga jika dilihat pada peta zona gempa 2017 didapati nilai S_s adalah 1,1 g dan S_1 adalah 0,45 g seperti terlihat pada gambar sebagai berikut ini.

Peta percepatan spektrum respons 1.0 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar (S_b) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

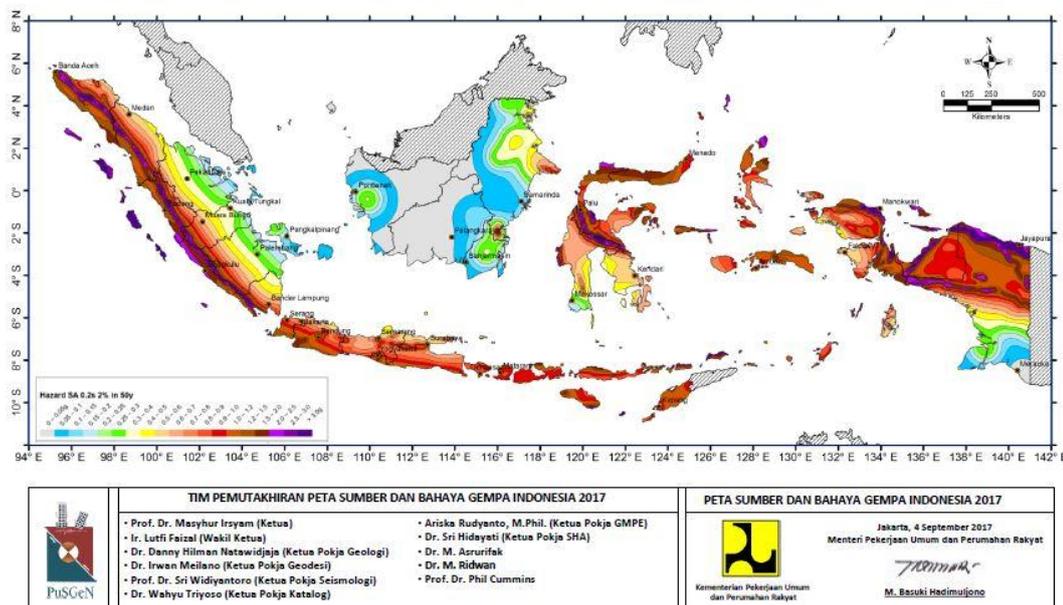


Gambar 2.3 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) 2% dalam 50 tahun. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.4 Peta percepatan batuan dasar (PGA) 2% dalam 50 tahun. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2.5 Peta percepatan batuan dasar periode pendek (S_2) 2% dalam 50 tahun. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)