

EVALUASI KINERJA PADA BANGUNAN BETON DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) GEDUNG MIPA UNIVERSITAS BRAWIJAYA MENGGUNAKAN ANALISIS PUSHOVER ATC-40

Muhammad Feri Arifin (431302496)
muhammad.feri.arifin@gmail.com
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas 17 Agustus 1945 – Surabaya

ABSTRAK

Indonesia secara geografis yang berada pada lempeng australia, lempeng pasifik dan lempeng Eurasia yang membuat daerah indonesia menjadi daerah yang rawan gempa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui : (1) Apakah kekuatan yang dapat di pikul oleh beban Balok dan Kolom sesuai dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). (2) Berapa hasil simpangan drift gedung terhadap Beban Gempa dengan Menggunakan Peraturan SNI 1726-2012. (3) Bagaimana Pola Keruntuhan dan Kinerja Seismic pada Struktur Bangunan Beton dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang dengan Metode Pushover Analisis ATC-40.

Isi dari tugas akhir ini adalah mengevaluasi kinerja tahanan gempa gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang untuk mengetahui kapasitas gempa efektif struktur, menentukan level kinerja struktur dan perilakunya dengan memperlihatkan proses terbentuknya sendi plastis pada elemen balok dan kolom dengan metode Pushover berdasarkan syarat Applied Technology Council (ATC-40).

Dari hasil penelitian ini didapatkan yang pertama perhitungan kekuatan balok dan kolom menggunakan SRPMK dengan Syarat aman Momen sebesar 563260604,5 Nmm dan Syarat aman Geser sebesar 5065,33 Nmm. Sedangkan yang kedua telah didapatkan simpangan drift untuk arah X maximum sebesar 12,518 mm dan arah Y maximum sebesar 26,510 mm dengan memenuhi simpangan yang diijinkan. Dan yang ke tiga ialah hasil Gravik kurva kapasitas tinjauan arah Y yang telah didapatkan Performance Level Gedung menurut ATC 40 termasuk katagori Immediate Occupancy (IO) .

Kata kunci : Simpangan, Pushover, Daktilitas

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia ialah negara yang berada di wilayah gempa asia dan wilayah gempa pasifik. Secara geografis Indonesia berada pada lempeng australia, lempeng pasifik dan lempeng Eurasia yang membuat sebagian besar daerah menjadi rawan terjadi gempa.

Merencanakan struktur bangunan gedung terdapat 4 faktor penting yaitu kekakuan, performance, kekuatan dan daktilitasnya. Kekakuan diperlukan supaya bangunan tidak bergoyang secara berlebihan, performace bangunan tahan gempa yang berbasis kinerja dan kekuatan agar bangunan tidak terjadi keruntuhan. Faktor keempat yaitu daktilitas yang sering tidak sering diperhatikan dalam perencanaan, karena faktor ini baru teruji ketika bangunan menerima suatu beban dari luar biasa seperti terjadi gempa bumi yang kuat. Daktilitas juga salah satu dari faktor terpenting dalam perencanaan suatu elemen struktur daripada faktor kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen struktur suatu bangunan yang mempunyai suatu daktilitas besar akan menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan elemen struktur bangunan dengan daktilitas

kecil atau getas. Dalam hal ini daktilitas merupakan hal yang paling penting dari suatu perencanaan struktur bangunan karena dapat menentukan suatu bangunan bila menerima beban gempa dapat mampu berdiri atau tidak. (Yosafat Aji Pranata, 2006)

Dengan dasar tersebut penulis ingin struktur bangunan MIPA Universitas Brawijaya Malang untuk mengetahui tingkat kemandirian struktur bangunan dan kinerja seismik bangunan beton apabila terjadi gempa menggunakan metode Pushover analisis.

Pushover Analysis adalah suatu analisis statik nonlinier di mana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya dapat ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang dapat menyebabkan terjadinya pelelehan atau bias disebut dengan sendi plastis yang pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan meningkatnya beban lebih lanjut sampai mengalami perubahan bentuk pasca-elastik. (Yosafat Aji Pranata, 2006)

Setelah didapatkan hasil evaluasi dengan metode pushover analysis diharapkan dapat

mengetahui simpangan bangunan serta mendapatkan penentuan kinerja seismic bangunan beton dengan system rangka pemikul momen khusus (SRPMK) gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang terhadap beban gempa yang sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012 .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah di latar belakang, maka penulis dapat dirumuskan masalah-masalah yang akan dibahas dalam penelitian adalah:

- a) Apakah kekuatan yang dapat di pikul oleh beban Balok dan Kolom sesuai dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ?
- b) Berapa hasil simpangan drift gedung terhadap Beban Gempa dengan Menggunakan Peraturan SNI 1726-2012 ?
- c) Bagaimana Pola Keruntuhan dan Kinerja Seismic pada Struktur Bangunan Beton dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang dengan Metode Pushover Analisis ATC-40 ?

1.3 Batasan Masalah

- a) Tidak merencanakan metode pelaksanaan pembangunan, RAB, mekanikal, analisa biaya, elektrikal, utilitas gedung dan lain sebagainya.
- b) Tidak memperhitungkan struktur pondasi bangunan, tapi mengikutkan struktur pondasi dalam analisa struktur.
- c) Standar yang dipakai untuk pendetailan struktur adalah SNI 2847-2013.
- d) Standar Peraturan gempa yang dipakai adalah SNI 1726-2012.
- e) Standar yang digunakan untuk Pushover Analisis adalah Apllied Teknologi Council of Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol.1 (ATC-40).
- f) Perencanaan pembebanan menggunakan SNI 1727-2013.
- g) Analisa struktur menggunakan program SAP2000 v16.
- h) Penggambaran teknik menggunakan program Autocad 2013.

1.4 Tujuan Penelitian

Yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah:

- a) Mengetahui apakah kekuatan yang dapat di pikul oleh beban Balok dan Kolom sesuai dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
- b) Mengetahui hasil simpangan drift gedung terhadap Beban Gempa dengan Menggunakan Peraturan SNI 1726-2012.

- c) Mengetahui bagaimana Pola Keruntuhan dan Kinerja Seismic pada Struktur Bangunan Beton dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang dengan Metode Pushover Analisis ATC-40.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Tugas akhir ini untuk penulis adalah untuk sebagai acuan dalam merencanakan beban gempa sesuai dengan peraturan terbaru dan menganalisa tingkat keamanan struktur dengan metode Pushover Analisis ATC-40 pada Bangunan Beton dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) selain itu diharapkan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi calon engineer muda lainnya.

II. TINJAUAN UMUM

2.1 Tinjauan Umum

Desain dan analisis perilaku serta kinerja struktur berdasarkan konsep Performance Based Earthquake Engineering (PBEE) telah cukup sering dilakukan kajian di Indonesia meski masih dalam tahapan modeling, pada aplikasi riil dalam kaitan suatu proses tahapan desain disebabkan belum adanya ketentuan untuk melakukan tinjauan performance struktur hasil desain. Evaluasi sebagai performance struktur di Indonesia telah dilakukan pada beberapa gedung tinggi sebagai bagian dari tuntutan jaminan akan keselamatan terutama dari pihak owner untuk mengetahui sejauh mana tingkat keamanan yang dimiliki dari sebuah gedung.

Yosafat Aji Pranata (2006), Metode analisis statik beban dorong atau bias di sebut dengan static nonlinear dan juga pushover analysis ialah suatu metode analisis, yang mana dari hasil analisis dapat diperoleh informasi berupa kurva kapasitas. Kurva kapasitas adalah hubungan antara gaya geser dasar dengan peralihan atap struktur bangunan gedung. Dari kurva kapasitas lalu telah didapat sebuah daktilitas peralihan atau aktual struktur, yang dimana dapat bergantung pada penentuan titik peralihan pada saat leleh pertama dan titik peralihan ultimit.

2.1.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Perencanaan struktur gedung yang tahan terhadap beban gempa di negara indonesia sangatlah penting. Salah satu penyebab adanya kegagalan struktur bangunan gedung di daerah yang berisiko mengalami gempa adalah pada bagian perencanaan beban lateral pada struktur gedung. (Yosafat Aji Pranata,2006)

Evaluasi sebagai performance struktur di Indonesia telah dilakukan pada beberapa gedung tinggi sebagai bagian dari tuntutan jaminan akan keselamatan terutama dari pihak owner untuk

mengetahui sejauh mana tingkat keamanan yang dimiliki dari sebuah gedung.

2.1.2 Konsep Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa

Agar struktur-struktur bangunan dapat berdeformasi maksimum, maka perlu perancangan sendi-sendi plastis yang akan terjadi pada daerah-daerah yang dapat menunjang tujuan desain bangunan tahan gempa. Dalam perencanaannya, sendi-sendi plastis terjadi pada kedua ujung balok-balok dan kaki kolom lantai dasar. Konsep struktur yang memiliki karakteristik seperti ini adalah konsep kolom kuat-balok lemah atau yang sering disebut sebagai strong column weak beam.

2.1.3 Performance Desain Struktur Bangunan

Evaluasi sebagai performance struktur di Indonesia telah dilakukan pada beberapa gedung tinggi sebagai bagian dari tuntutan jaminan akan keselamatan terutama dari pihak owner untuk mengetahui sejauh mana tingkat keamanan yang dimiliki dari sebuah gedung. Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas.

2.1.4 Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Sistem rangka pemikul momen (SPRM) adalah suatu sistem rangka dimana komponen-komponen struktur dan pada join-joinnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja dari luar yang melalui aksi lentur, geser dan aksial. SPRM dapat dikelompokkan menjadi: SRPMB, SRPMM dan SRPMK. Sistem dinding struktural adalah struktur dinding yang menahan beban yang kombinasi gaya geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan oleh gempa. Suatu "dinding geser" pada dasarnya merupakan dinding struktural. Dinding struktural dapat dikelompokkan menjadi: SDSB dan SDMK.

2.2 Analisa Pembebanan

Melakukan analisis disuatu desain didalam struktur bangunan diperlu adanya gambaran yang sangat jelas tentang mengenai perilaku besar gaya beban yang bekerja pada struktur. Dan hal yang paling di fokuskan adalah tentang pemisahan antara bebanstatis dan beban dinamis. Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya baik yang bersumber dari alam maupun buatan manusia. Beban yang bersumber dari alam ialah seperti angin, gempa bumi, hujan salju dan lain-lain, sedangkan beban yang ditimbulkan oleh manusia ialah seperti akibat dari mobilitas manusia itu sendiri, kendaraan bermotor, mesin dan sebagainya.

2.2.1 Beban Vertikal (Beban Statis)

Beban statis adalah beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat atau konstan. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987 adalah sebagai berikut:

- a) Beban Mati
Sesuai SNI 1727-2013 Pasal 3.1 beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan oleh gedung. yang termasuk beban mati adalah seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga dan finishing.
- b) Beban Hidup
Sesuai SNI 1727-2013 Pasal 4.1 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 terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

2.2.2 Beban Horizontal (Beban Dinamik)

Beban dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis ini terdiri dari beban gempa dan beban angin:

- a) Beban Angin
Beban Angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Dalam tugas akhir ini perhitungan beban angin menggunakan SNI 1727-2013 Pasal 26. Muatan angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m².
- b) Beban Gempa
Beban Gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau pada bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan

berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa Menurut SNI 1726-2012.

2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726 2013 Pasal 2.4.1 untuk Beban kombinasi terfaktor (LRFD) digunakan :

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (La atau H)
- 1,2 D + 1 L + 1,6 Wx
- 1,2 D + 1 L + 1,6 Wy
- 1,2 D + 1 L + 1ρ Ex + 0,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L - 1ρ Ex + 0,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L + 1ρ Ex - 0,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L - 1ρ Ex - 0,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L + 0,3ρ Ex + 1,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L - 0,3ρ Ex + 1,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L + 0,3ρ Ex - 1,3ρ Ey
- 1,2 D + 1 L - 0,3ρ Ex - 1,3ρ Ey

2.3 Pushover Analisis

2.3.1 Analisis Statik Beban Dorong (Statik Pushover Analisis)

Analisis statik beban dorong (pushover) adalah suatu analisis nonlinier statik, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastic.

2.3.2 Kurva Kapasitas

Capacity Curve hasil Analisis Pushover dirubah menjadi capacity spektrum melalui persamaan dibawah ini (ATC 40,1996)

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$$

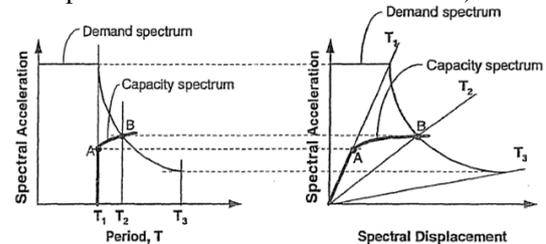
$$S_d = \frac{\Delta_{Roof}}{PF1_{Roof} \cdot 1}$$

$$P_f = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \delta_i) / g}{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \delta_i) / g}$$

$$P_f = \frac{[\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \delta_i) / g]^2}{[\sum_{i=1}^n (w_i / g) [\sum_{i=1}^n (w_i \cdot \delta_i^2) / g]}$$

2.3.3 Spektrum Demand

Respon spectrum elastic adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar alami struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh koefisien Ca (percepatan tanah puncak) dan Cv (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik)

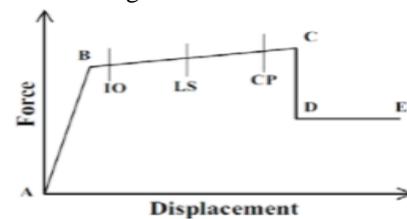


2.3.4 Kriteria Struktur Tahan Gempa

Menurut Applied Technologi Council of Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol.1 (ATC-40). Penentuan level kinerja suatu struktur diukur berdasarkan kriteria roof drift ratio atau drift yaitu rasio perpindahan horizontal atap dibagi dengan tinggi struktur dari taraf penjepitan. Dalam penentuan level kinerja Roof drift ratio dicari berdasarkan target perpindahan struktur yaitu perpindahan maksimum yang terjadi saat struktur menerimagempa rencana. kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :

- Immediate Occupancy (IO) adalah apabila gempa terjadi, struktur gedung dapat mampu menahan gempa, struktur gedung tidak mengalami kerusakan non struktural dan tidak mengalami kerusakan struktural.
- Life Safety (LS) adalah apabila gempa terjadi, struktur gedung dapat mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan structural.
- Collapse Pervention (CP) adalah bila gempa terjadi, struktur gedung mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastik adalah sebagai berikut.



Tabel daftar batas ratio drift menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	Io	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	0,33 Wi/Pi
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005 s/d 0,015	No Limit	No Limit

III. METODOLOGI

3.1 Diagram Alur

Tahap penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada bagan alir seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



3.2 Studi Literatur

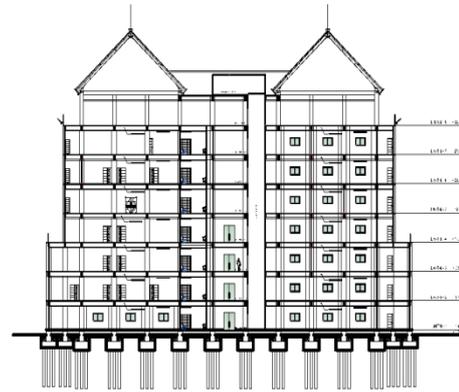
Studi Literatur yang dilakukan antara lain dari buku-buku pustaka, Jurnal maupun peraturan – peraturan yang digunakan untuk perhitungan struktur gedung seperti :

- SNI 2847-2013 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung
- SNI 1726-2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung
- SNI 1727-2013 Tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan
- Standar yang digunakan untuk Pushover Analysis adalah Applied Technology Council of Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol.1 (ATC-40).

3.3 Pengumpulan Data

Data Bangunan Existing :

- Nama Gedung : Gedung MIPA Universitas Brawijaya Malang
- Lokasi : Jalan Veteran, Malang
- Fungsi : Gedung Sekolah dan Fasilitas Pendidikan
- Jumlah Lantai : 9 Lantai (Termasuk Atap)
- Tinggi Gedung : 36.5 Meter
- Struktur Utama : Beton



3.4 Pembebanan

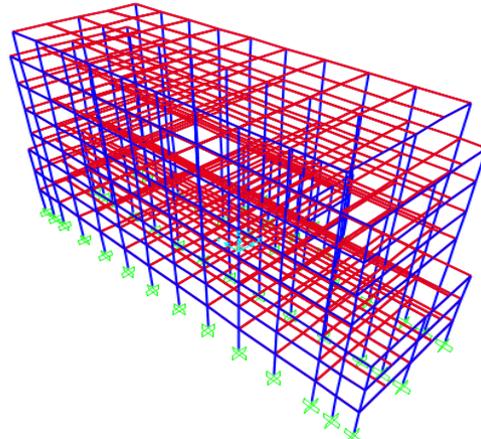
Pembebanan Pada struktur berdasarkan SNI 1727-2013 dan SNI 1726-2012 meliputi Beban Mati, Beban Hidup, Beban Angin dan Beban Gempa pada struktur.

3.5 Perhitungan Beban Gempa

Menghitung serta menganalisa beban gempa yang diterima oleh gedung serta pembebanannya sesuai SNI 1726-2012.

4.2 Permodelan Struktur

Memodelkan struktur secara virtual dengan menginput beban-beban yang telah dihitung kedalam struktur tersebut menggunakan bantuan software SAP2000.



IV. PEMBAHASAN

4.1 Data Struktur Bangunan

4.1.1 Konfigurasi Bangunan

No	Lantai	Tinggi Lantai (mm)	Tinggi Gedung (mm)
1	Atap	5.000	36.500
2	Lantai 8	4.500	31.500
3	Lantai 7	4.500	27.000
4	Lantai 6	4.500	22.500
5	Lantai 5	4.500	18.000
6	Lantai 4	4.500	13.500
7	Lantai 3	4.500	9.000
8	Lantai 2	4.500	4.500
9	Lantai 1	0	0

4.2 Pembebanan

4.2.1 Beban Mati

Beban Mati Sesuai dengan PPURG 1987 tentang beban mati merata terdistribusi secara merata minimum dan terpusat minimum diperoleh beban merata sebagai berikut :

- Pembebanan Lantai 1 s/d Lantai 8
Total = 313 Kg/m² ≈ 350 Kg/m²
- Pembebanan Lantai Atap
Total = 32 Kg/m² ≈ 100 Kg/m²

4.2.2 Beban Hidup

Beban Hidup Sesuai dengan PPURG 1987 tentang beban Hidup merata terdistribusi secara merata minimum dan terpusat minimum diperoleh beban merata sebagai berikut :

- Pembebanan Lantai 1 s/d Lantai 8
Total = 250 Kg/m²
- Pembebanan Lantai Atap
Total = 140 Kg/m² ≈ 150 Kg/m²

4.2.3 Beban Angin

perhitungan beban angin menggunakan SNI 1727-2013 Pasal 26. Muatan angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau.

Arah X Bangunan		Arah Y Bangunan	
Arah Angin	P (Kg/m ²)	Arah Angin	P (Kg/m ²)
Permukaan Bangunan			
Cp qz (Angin Datang)	81,35	Cp qz (Angin Datang)	81,35
Cp qh (Angin Pergi)	-1,627	Cp qh (Angin Pergi)	-39,86
Cp qh (Angin Tepi)	-67,52	Cp qh (Angin Tepi)	-67,52
Atap			
h/L < 45°		h/L < 45°	
Cp qz (Angin Datang)	41,52	Cp qz (Angin Datang)	41,52
Cp qh (Angin Tepi)	-58,20	Cp qh (Angin Tepi)	-58,20

4.2.4 Beban Gempa

Beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa Menurut SNI 1726 2012.

Tingkat	Hi (m)	Wi (kg)	Wi · Hi ²	Cvx	Fx (kg)	Fy (kg)
Atap	36.50	555,901.53	27,056,659	0.135	79,254.48	23,776.34
8	31.50	1,036,273.12	43,017,942	0.215	126,008.33	37,802.50
7	27.00	1,036,273.12	36,420,600	0.182	106,683.37	32,005.01
6	22.50	1,036,273.12	29,911,029	0.149	87,615.51	26,284.65
5	18.00	1,036,273.12	23,505,448	0.117	68,852.26	20,655.68
4	13.50	1,240,923.36	20,630,295	0.103	60,430.34	18,129.10
3	9.00	1,240,923.36	13,314,562	0.067	39,001.07	11,700.32
2	4.50	1,240,923.36	6,298,171	0.031	18,448.63	5,534.59
1	0.00	-	-	0.000	-	-
Total		8,423,764	200,154,706	1.00	586,293.98	175,888.19

4.3 Penulangan Pada Struktur

4.3.1 Penulangan Lentur Balok

Dalam perhitungan penulangan balok, yang perlu diperhatikan adalah balok-balok yang mengalami nilai momen terbesar, nilai gaya geser terbesar, dan nilai torsi/ momen puntir terbesar. Sehingga diharapkan design tulangan yang kita hasilkan mampu menahan gaya-gaya yang terjadi.

Data – data Perencanaan:

$$\mu = 534675895 \text{ Nmm} \quad (\mu \text{ Lantai 1})$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\phi = 0,9$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$\phi_s = 10 \text{ mm}$$

$$t_s = 30 \text{ mm}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$d' = t_s + \phi_s + (0,5 \times D) \\ = 30 + 10 + (0,5 \times 22) \\ = 51 \text{ mm}$$

$$d = h - (t_s + \phi_s + (0,5 \times D)) \\ = 800 - (30 + 10 + (0,5 \times 22)) \\ = 749 \text{ mm}$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

Syarat SPRMK (SNI 2847-2013)

1. Pasal 21.5.2.1

$$\text{As pasang} > \text{As min} \\ 1963,49 > 1048,6 \quad (\text{OK})$$

2. Pasal 21.5.2.2

$$M(+) > 50\% \quad M(-) \\ 380100538,3 > 278955366,6 \quad (\text{OK})$$

4.3.2 Perencanaan Penulangan Geser Balok

Sebagaimana diatur oleh pasal 23.3(4), gaya geser rencana Vc harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada bagian komponen struktur antara dua muaka tumpuan. Mpr harus dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan tarik 1,25fy.

$$\text{Untuk tulangan 6 D 22 As aktual} = 2280,79$$

$$Mpr = 79040,78 \text{ Kg.m}$$

$$\text{Untuk tulangan 4 D 22 As aktual} = 1520,53$$

$$Mpr = 54110,53 \text{ Kg.m}$$

Cek Persyaratan Penulangan SRPMK Geser

1. Pasal 21.5.4.2

$$\text{Gaya geser akibat} > 0,5 \text{ total gaya geser} \\ 18886,71 > 18856,86 \quad (\text{memenuhi})$$

2. Pasal 21.5.3.2

$$\text{Sehingga S yang digunakan } 82,54 < 120 < 150 \text{ mm adalah sepanjang } 120 \text{ mm}$$

3. Pasal 13.5.6.9

$$V_s < V_{smax} \\ 39217,55 < 109398 \quad (\text{memenuhi})$$

4.3.3 Analisa Tulangan Geser Kolom

Analisa tulangan geser lentur dilakukan dengan cara menentukan kuat momen Mpr dari setiap ujung komponen struktur. Mpr ini ditentukan berdasarkan rentang beban aksial terfaktor yang mungkin terjadi dengan $\phi = 1,0$ dan juga diambil dengan momen balance diagram interaksi dari kolom dengan nilai $f_s = 1,25f_y$.

Data yang didiapat :

Tinggi kolom	= 4500 mm
B kolom	= 800 mm
h kolom	= 800 mm
f'c	= 30 Mpa
fy	= 400 Mpa
fys	= 240 Mpa
Dtul	= 22 mm
Øtul.senggang	= 10 mm
ts	= 40 mm
bw balok	= 400 mm
h balok	= 800 mm
As balok	= 2280,8 mm
A's balok	= 1140,4 mm
L balok	= 5400 mm

Didapat nilai terkecil yaitu 136.67 mm. Sehingga jika diambil jarak tulangan geser sebesar 100 mm, maka masih memenuhi persyaratan diatas.

Jika digunakan sengkang tertutup 3 kaki D10-100

Ash pakai = 235,62 mm²

Nilai Ash pakai tidak boleh kurang dari nilai Ash
8,1 < 235,62 OK

4.3.4 Strong Coloumn weak Beam

Persyaratan Strong Coloumn Weak Beam SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2.2

Kontrol Strong Column Weak Beam

13639,38 ≥ 1027 KNm (OK)

4.3.5 Hubungan Balok Kolom (HBK)

Diketahui :

As = 6 D 22 = 2279,64 mm

A's = 4 D 22 = 1519,79 mm

Mpr + = 541105296 = 541,105 KN.m

Mpr - = 790407814 = 790,407 KN.m

T1 = 1139820 N = 1139,82 KN

T2 = 759880 N = 759,88 KN

Kuat geser HBK yang dikengkang keempat sisinya adalah Geser Nominal $\phi >$ Geser Ultimate

5065,33 KN > 1603,8 KN (OK)

4.4 Perhitungan Simpangan Drift

4.4.1 Pemeriksaan Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Nilai respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal dan diakibatkan gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85% V statik sesuai dengan SNI 1726 2012 Pasal 7.9.4.4

Vsx = 586.293,98 Kg x 0,85 = 498.349,88 Kg

Vsy = 586.293,98 Kg x 0,85 = 498.349,88 Kg

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
RSPx	LinRespSpec	Max	529385.64	49527.73	345.22
RSPy	LinRespSpec	Max	47121.14	516678.17	30.73

Vdx = 529.385.64 kg

Vdy = 516.678.17 kg

Untuk arah x :

Vdx ≥ 0,85 Vsx

529.385.64 Kg ≥ 498.349,88 kg(OK)

Untuk arah y :

Vdy ≥ 0,85 Vsy

516.678.17 Kg ≥ 498.349,88 kg.....(OK)

4.4.2 Pemeriksaan Partisipasi Masa

Dari tabel dibawah menunjukkan ragam respon total mencapai lebih dari 90 % pada mode 7. Dengan demikian ketentuan SNI 1726 2012 Pasal 7.9.1 telah terpenuhi.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,17	0,75	0,00	0,00
MODAL	Mode	2	1,11	0,75	0,29	0,00
MODAL	Mode	3	1,09	0,75	0,75	0,00
MODAL	Mode	4	0,39	0,88	0,75	0,00
MODAL	Mode	5	0,38	0,88	0,80	0,00
MODAL	Mode	6	0,37	0,88	0,89	0,00
MODAL	Mode	7	0,21	0,93	0,90	0,00
MODAL	Mode	8	0,20	0,93	0,91	0,00
MODAL	Mode	9	0,20	0,93	0,93	0,00
MODAL	Mode	10	0,13	0,96	0,93	0,00
MODAL	Mode	11	0,13	0,96	0,96	0,00
MODAL	Mode	12	0,12	0,96	0,96	0,00

4.4.3 Metode Penjumlahan Respon Ragam

Menurut SNI 1726 2012 Pasal 7.9.3 untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami dimana ragam berjarak dekat harus dilakukan dengan Metode Kuadratik Lengkapp (CQC). Dan untuk struktur gedung yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam dapat dilakukan dengan Metode Akar Jumlah Kuadrat (SRSS).

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Selish	Prosentase
Text	Text	Unitless	Sec	Sec	Sec
MODAL	Mode	1	1,17	0,06	5,12
MODAL	Mode	2	1,11	0,02	1,8
MODAL	Mode	3	1,09	0,7	64,22
MODAL	Mode	4	0,39	0,01	2,5
MODAL	Mode	5	0,38	0,01	2,6
MODAL	Mode	6	0,37	0,16	43,24
MODAL	Mode	7	0,21	0,01	4,76
MODAL	Mode	8	0,20	0	0
MODAL	Mode	9	0,20	0,07	35
MODAL	Mode	10	0,13	0	0
MODAL	Mode	11	0,13	0,01	7,69
MODAL	Mode	12	0,12	0,12	100

4.4.4 Batas Simpangan Antar Lantai (Drift)

Dari tabel simpangan dibawah dapat dilihat bahwa simpangan untuk arah X dan Y memenuhi simpangan yang diijinkan sehingga memenuhi persyaratan SNI 1726 2012 Pasal 7.3.4.2. Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic D,E, atau F, p harus sama dengan 1.3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana p diijinkan diambil sebesar 1.0

Simpangan Arah X

Level	h	δ	δ_s	$\delta_s^*(Cd / I_e)$	$\Delta a/p$	Periksa
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	36500	22.160	0.370	1.357	45.000	OK
8	31500	21.790	2.970	10.890	45.000	OK
7	27000	18.820	3.080	11.293	45.000	OK
6	22500	15.740	3.280	12.027	45.000	OK
5	18000	12.460	3.414	12.518	45.000	OK
4	13500	9.046	3.356	12.305	45.000	OK
3	9000	5.690	3.170	11.623	45.000	OK
2	4500	2.520	2.520	9.240	45.000	OK
1	0					

Simpangan Arah Y

Level	h	δ	δ_s	$\delta_s^*(Cd / I_e)$	$\Delta a/p$	Periksa
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	36500	37.160	0.690	2.530	45.000	OK
8	31500	36.470	5.620	20.607	45.000	OK
7	27000	30.850	5.680	20.827	45.000	OK
6	22500	25.170	7.230	26.510	45.000	OK
5	18000	17.940	5.560	20.387	45.000	OK
4	13500	12.380	4.950	18.150	45.000	OK
3	9000	7.430	4.220	15.473	45.000	OK
2	4500	3.210	3.210	11.770	45.000	OK
1	0					

4.4.5 Pemeriksaan Terhadap Ketidak Beraturan Torsi

Ketidak beraturan torsi pada struktur tidak diijinkan untuk pada struktur dengan katagori Desain Seismik E dan F. Selain itu pembesaran torsi tak terduga seperti yang diatur dalam SNI 1726 2012 Pasal 7.8.4.3 juga harus ditinjau dengan faktor pembesaran torsi tak terduga $A_x \leq 3$, Berikut perhitungan pemeriksaan terhadap Torsi :

Lantai	δ_1	δ_2	δ_{max}	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	Pengaruh Struktur	Ax	Cek
	mm	mm	mm	mm	mm			
Atap	37.16	36.60	37.16	44.26	51.63	Beraturan	0.71	OK
8	36.47	37.15	37.15	44.17	51.53	Beraturan	0.71	OK
7	30.85	29.22	30.85	36.04	42.05	Beraturan	0.73	OK
6	25.17	24.96	25.17	30.08	35.09	Beraturan	0.70	OK
5	17.94	16.31	17.94	20.55	23.98	Beraturan	0.76	OK
4	12.38	11.40	12.38	14.27	16.65	Beraturan	0.75	OK
3	7.43	6.84	7.43	8.56	9.99	Beraturan	0.75	OK
2	3.21	2.52	3.21	3.44	4.01	Beraturan	0.87	OK
1								

4.4.6 Pemeriksaan Terhadap Pengaruh P-Delta

Menurut FEMA pengaruh P-Delta diperiksa dengan menggunakan Metode Statik Ekuivalen. Namun demikian pengaruh P-Delta dapat diperiksa dengan menggunakan Metode respon Spektrum. Berdasarkan SNI 1726 2012 Pasal 7.8.7 koefisien stabilitas, θ yang ditentukan pada persamaan 35 tidak boleh melebihi dari θ_{max} yang ditentukan pada persamaan 36, jika koefisien stabilitas $\theta > \theta_{max}$, maka struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

P-Delta Arah X

Tingkat	h_{sx}	V_x	Δx	θ	θ_{max}	Cek
	(mm)	(Kn)	(mm)			
Atap	5000.00	777.22	22.16	0.01	0.09	OK
8.00	4500.00	1235.73	21.79	0.02	0.09	OK
7.00	4500.00	1046.21	18.82	0.03	0.09	OK
6.00	4500.00	859.22	15.74	0.04	0.09	OK
5.00	4500.00	675.21	12.46	0.05	0.09	OK
4.00	4500.00	592.62	9.05	0.05	0.09	OK
3.00	4500.00	382.47	5.69	0.06	0.09	OK
2.00	4500.00	180.92	2.52	0.07	0.09	OK
1.00	0.00					

P-Delta Arah Y

Tingkat	h_{sy}	V_y	Δy	θ	θ_{max}	Cek
	(mm)	(Kn)	(mm)			
Atap	5000.00	777.22	37.16	0.01	0.09	OK
8.00	4500.00	1235.73	36.47	0.03	0.09	OK
7.00	4500.00	1046.21	30.85	0.05	0.09	OK
6.00	4500.00	859.22	25.17	0.06	0.09	OK
5.00	4500.00	675.21	17.94	0.07	0.09	OK
4.00	4500.00	592.62	12.38	0.07	0.09	OK
3.00	4500.00	382.47	7.43	0.08	0.09	OK
2.00	4500.00	180.92	3.21	0.09	0.09	OK
1.00	0.00					

4.5 Pushover Analisis

Pada pembahasan ini hanya membahas arah sumbu yang lemah yaitu sumbu Y hal tersebut dapat dilihat pada hasil Pushover Analisis. Sumbu Y mempunyai nilai simpangan terbesar dari pada sumbu X. Maka dapat diuraikan sebagai berikut :

V (ton), D (m)	8.247.257 N ; -100,664 mm
Sa (g), Sd (m)	0,146 g ; 78.117 mm
Teff (Second), β_{eff}	1,465 Second ; 0,204

- Diplacement menurut SNI 1726 2012 Pasal 7.12.1 Tabel 16 adalah Sebesar 2% H = 2% x 36.500mm = 730 mm > D = 100,664 mm, maka simpangan gedung baik.
- Kinerja Gedung Menurut ATC 40 Tabel 11 - 12
 Maksimal Drift = (Dt/H) = (100,664 mm / 36.500 mm) = 0,002757
 Sehingga Level Kinerja Gedung adalah Immadiate Occupancy.
 Maksimal In-elastic Drift = Dt-d1/h = 100,664 - 19,86/36.500 = 0,002214 Sehingga Level Kinerja Gedung Non Linier adalah Immadiate Occupancy.

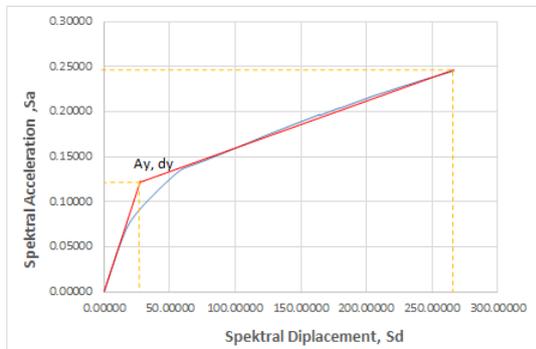
- c) Maka Kinerja gedung Saat mencapai gaya geser dasar sebesar $V : 8.247.257 \text{ N}$ masuk pada level Immediate Occupancy (IO) adalah apabila gempa terjadi, struktur gedung dapat mampu menahan gempa, struktur gedung tidak mengalami kerusakan non struktural dan tidak mengalami kerusakan struktural.

4.5.1 Perhitungan performance point menurut ATC-40 dalam format ADRS

Untuk mendapatkan Nilai A_y dan D_y dapat dilakukan dengan menarik garis bantu pada titik pertama dengan titik sebelum struktur mengalami keruntuhan Pada Kurva Kapasitas.

Dari Itersai Persamaan 1 dan 2 didapat :

$$\begin{aligned} S_d &= 0,0039 \text{ Dpi} \\ S_a/g &= 0,0044 \times 0,0039 + 0,2463 \\ &= 0,2463 \text{ Api} \end{aligned}$$



Dari gambar kurva kapasitas diatas didapatkan Nilai $D_y = 28.738$ dan Nilai $A_y = 0,122$

Koordinat Performance Level Adalah (0,0039 ; 0,2463)

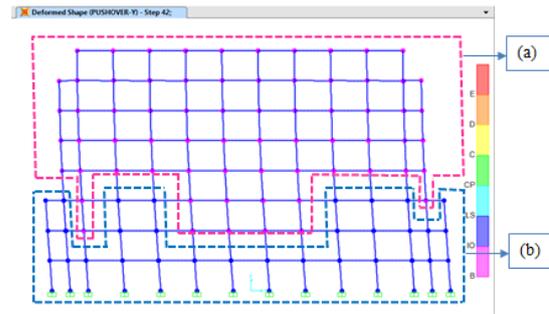
$$\begin{aligned} S_d &= X_{\text{roof}} \\ &= \text{MPF} \times \phi_{\text{roof}} \\ X_{\text{roof}} &= S_d \times \text{MPF} \times \phi_{\text{ro}} \\ &= 0,0039 \times 0,322 \times 34,33 \\ &= 0,04311 \\ X_{\text{roof}} &= 0,04311 \\ h &= 36500 \\ &= 0,000001141 \end{aligned}$$

Sehingga Sesuai ATC 40 Tabel 11 – 12 Level Kinerja Gedung adalah Immadiate Occupancy

4.5.2 Distribusi sendi plastis

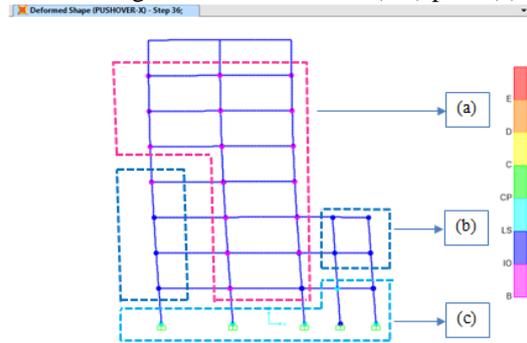
a) Distribusi Sendi Plastis Arah Y

Pada analisis Pushover arah Y step ke 42 nilai displacement 0,3438 m software berhenti melakukan iterasi terjadi sendi plastis pada elemen balok yang masih bersifat elastis hal itu ditandai dengan warna Muda (Level B) pada (a) dan Biru (Io) pada (b)



b) Distribusi Sendi Plastis Arah X

Pada analisis Pushover arah X step ke 36 nilai displacement 0,414 m software berhenti melakukan iterasi terjadi sendi plastis pada elemen balok pada yang telah mengalami pelelehan terakhir yang ditandai dengan warna Biru Muda (Ls) pada (c)



4.6 Daktilitas Peralihan

Tingkat kinerja pada struktur bangunan terdapat hubungan dengan target peralihan yang diharapkan pada tahap pra-desain [ATC, 1996], sehingga dalam hal ini target peralihan atap pada kondisi target peralihan (δ_t) diasumsikan sebagai peralihan ultimit (δ_u) dalam menentukan parameter daktilitas peralihan.

Dari hasil analisis telah didapatkan sebagai memperlihatkan bahwa target peralihan dengan menggunakan metode spektrum kapasitas ATC-40 diperoleh yaitu sebesar $\delta_t = 100,664 \text{ mm}$ dan $V_t = 8.247.257 \text{ N}$ Dan waktu getar alami efektif (T_{eff}) = 1,465 detik.

Nilai target peralihan (δ_t) digunakan sebagai parameter peralihan ultimit (δ_u) dalam perhitungan parameter daktilitas peralihan aktual struktur. Titik leleh pertama (δ_y) ditentukan dengan menggunakan metode luas area ekuivalen atau kurva idealisasi (bilinier) yang sama dengan kurva kapasitas.

Dari garfik diatas diketahui titik leleh pertama pada struktur adalah sebesar 28,738 mm
 $\mu\Delta = \delta_u/\delta_y = (100,664)/28,738 = 3,502$
 $R = f_l \times \mu\Delta = 1,6 \times 3,502 = 5,604$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah menganalisis hasil perhitungan dan mengevaluasi data struktur sebagaimana Bab 4, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) didapat:

Syarat aman Momen Nominal $\emptyset >$ Momen Ultimate dengan nilai

563260604,5 Nmm $>$ 534675895 Nmm (OK)

Syarat aman Geser Nominal $\emptyset >$ Geser Ultimate dengan nilai

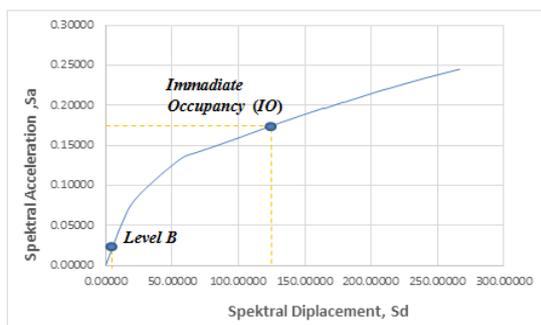
5065,33 KN $>$ 1603.8 KN (OK)

2. Simpangan drift gedung maximum

Level	h (mm)	δ (mm)	δ_s (mm)	$\delta_s^*(Cd / I_e)$ (mm)	$\Delta a / \rho$ (mm)	Periksa
Arah X max	18000	12.460	3.414	12.518	45.000	OK
Arah Y max	22500	25.170	7.230	26.510	45.000	OK

Dari perhitungan tabel simpangan drift untuk arah X maximum dengan nilai 12.518 mm dan arah Y maximum dengan nilai 26.510 mm. Dengan memenuhi simpangan yang diijinkan sehingga memenuhi persyaratan SNI 1726 2012 Pasal 7.3.4.2. maka simpangan drift gedung baik.

3. Gravik kurva kapasitas arah Y



Gravik kurva kapasitas tinjauan arah Y memberikan gambaran perilaku struktur gedung mulai dari tahap kondisi Level B Dan IO. Dari gravik kurva kapasitas diatas Performance Level Gedung menurut ATC 40 termasuk katagori Immediate Occupancy (IO) adalah apabila gempa terjadi, struktur gedung dapat mampu menahan gempa, struktur gedung tidak mengalami kerusakan non struktural dan tidak mengalami kerusakan struktural.

5.2 Saran

Penulis mempunyai beberapa saran, bila dimasa depan dilakukan penelitian lanjutan :

1. Analisis Pushover perlu dicoba dengan Time History Method.
2. Membandingkan dari hasil evaluasi kinerja gempa struktur gedung dengan metode distribusi statik ekuivalen dan metode analisis respon riwayat waktu.
3. Analisis Pushover perlu dicoba menggunakan referensi FEMA 356

VI. DAFTAR PUSTAKA

- 1) SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- 2) Applied Technologi Council of Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol.1 (ATC-40).
- 3) SNI 1727-2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan.
- 4) SNI 2847-2013 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- 5) Aji Pranata, Yosafat .2008 “ Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Analisis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong” Jurnal Teknik Sipil.
- 6) Aji Pranata, Yosafat .2006 “ Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analisis ” Jurnal Teknik Sipil.
- 7) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.
- 8) Desain Spektra Indonesia ” http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_sp_ektra_indonesia_2011/ “. .
- 9) Nur Rachmad Afandi. 2010“Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000” Jurnal Teknik Sipil.
- 10) Amdhani Prihatmoko Wibowo. 2012 “Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Degan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” Jurnal Teknik Sipil.
- 11) SNI 1726-2013 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- 12) Yosafat Aji Pranata. “Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440)”.
- 13) Dewobroto, Wiryanto. “Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000”.