

Kinerja Struktur Gedung Baja Tahan Gempa Menggunakan Analisis Pushover Pada Gedung Office Momen Surabaya

Fajar Agung Nugraha¹, Dewi Pertiwi², Eka Susanti³, Jaka Propika⁴, Heri Istiono⁵
Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2,3,4,5}
e-mail: fagung249@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is a country where is the Pacific plates of Eurasian and Indo-Australian meet. Earthquakes cases occurred in Indonesia must be anticipated seriously. The ways are planning earthquake-resistant buildings. Pushover analysis is nonlinier analysis methods used to determine structure behaviors from collaps to elastic, plastic to fall part of the structur. The result is used to determine performance level. The case study used was building "Office Moment Surabaya" which has 10 floors of steel building with SRPMK system and it was designed in 2015. Structural performance would be evaluated using pushover method and the earthquake regulation of SNI 1726: 2019 and the SAP2000 program.. Pushover analysis obtained was ratio deviation with a total score of $x = 0.0062$ and $y = 0.0051$. The values of in-elastic drift were $x = 0.0042$ and $y = 0.0031$. The building was in category (SP-1) Immediate Ocupancy. The actual ductilities in the direction were $x = 3.10$ and $y = 2.61$. The actual R factor in the direction were $x = 9.3$ and $y = 7.8$ which met the estimate of factor planning was 8. So, the building is still in a safe condition if an earthquake occurs.

Keywords: pushover, performance level, ductility

ABSTRAK

Indonesia adalah tempat pertemuan lempeng pasifik, Eurasia dan IndoAustralia. Maka kasus gempa yang terjadi di beberapa wilayah Indonesia harus diantisipasi secara serius yaitu dengan merencanakan gedung tahan terhadap gempa. Analisis Pushover adalah analisis nonlinier pada metode analisis gedung tahan gempa yang digunakan untuk mengetahui perilaku struktur yang runtuh saat elastis, plastis sampai keruntuhan struktur dan hasilnya dipakai menentukan level kinerja. Studi kasus menggunakan gedung "Office Momen Surabaya" yaitu gedung baja 10 lantai dengan sistem SRPMK yang direncanakan tahun 2015 akan dievaluasi kinerja struktur memakai metode pushover dan peraturan gempa SNI 1726 : 2019 dengan program SAP2000. Dari hasil analisis pushover didapat simpangan rasio dengan nilai total drift arah $x = 0,0062$, $y = 0,0051$, nilai in-elastic drift arah $x = 0,0042$, $y = 0,0031$, maka gedung dikategorikan kinerja (SP-1) Immediate Ocupancy, serta daktilitas aktual arah $x = 3,10$ dan $y = 2,61$ dengan faktor R aktual arah $x = 9,3$ dan $y = 7,8$ yang memenuhi faktor R rencana = 8. Maka gedung masih dalam kondisi aman apabila gempa terjadi.

Kata kunci: Analisis pushover, level kinerja, daktilitas.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang menjadi tempat pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia yaitu lempeng pasifik, lempeng Eurasia dan lempeng IndoAustralia. Maka kasus gempa yang terjadi di beberapa wilayah Indonesia harus diantisipasi secara serius yaitu dengan merencanakan suatu gedung yang tahan terhadap gempa yang terjadi. Selain itu, seiring berjalannya waktu, kekuatan gempa yang berada di wilayah Indonesia semakin besar, maka peraturan yang digunakan dalam merencanakan gedung yang tahan gempa harus selalu diperbarui. Agar gedung tetap kuat menahan gempa untuk beberapa tahun yang akan datang.

Ada beberapa jenis metode analisis gedung tahan gempa yang digunakan dalam perencanaan, salah satunya menggunakan metode analisis pushover. Analisis Pushover adalah analisa nonlinier untuk mengetahui terhadap perilaku struktur yang runtuh ketika keadaan elastis, plastis hingga terjadi keruntuhan elemen strukturnya. Dalam analisis Pushover memfokuskan pada komponen balok kolom yaitu dengan cara menunjukan skema terjadinya sendi yang plastis pada kolom balok dan hasilnya dipakai untuk menetapkan nilai level kinerja dan perilaku gedung baja tersebut.

Studi kasus yang digunakan yaitu Gedung perkantoran "Office Momen Surabaya" di Jalan

Manyar Kertoarjo No. 34 Surabaya. Gedung tersebut direncanakan pada tahun 2015 dan saat ini masih dalam proses pembangunan. Berdasarkan data-data yang diperoleh, gedung perkantoran “Office Momen Surabaya” merupakan gedung yang berstruktur baja dengan jumlah 10 lantai yang menggunakan sistem struktur jenis portal dan sistem rangka pemikul menggunakan (SRPMK) karena dilihat dari gambar perencanaan sambungan termasuk tipe sambungan rigid.

Pada kasus ini penulis mengevaluasi kinerja struktur pada gedung perkantoran “Office Momen Surabaya” menggunakan analisis Pushover berdasarkan kinerja ATC 40, serta melakukan kontrol terhadap elemen kolom balok sesuai eksisting gedung. Karena peraturan yang digunakan dalam analisis perencanaan sebelumnya menggunakan peraturan lama, pada kasus ini peraturan yang dipakai dalam analisis diubah sesuai peraturan yang terbaru yaitu SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 1729:2020. Sehingga, dengan mengevaluasi kinerja struktur menggunakan metode analisis pushover pada gedung eksisting “Office Momen Surabaya” dengan peraturan yang terbaru, menunjukkan kondisi benar benar aman terhadap gaya gempa yang terjadi pada struktur gedung tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Umum

Pada artikel membahas tentang evaluasi kinerja pada suatu gedung berstruktur baja menggunakan metode pushover terhadap gedung “Office Momen Surabaya”, berdasarkan peraturan standar nasional Indonesia serta kinerja menggunakan level kinerja ATC .

Konsep Struktur Tahan Gempa

Mekanisme gempa merupakan akibat dari kerja dua gaya secara berlawanan arah pada batuan kerak bumi yang terdeformasi karena sifatnya elastis. Struktur tahan gempa merupakan struktur yang mampu menahan gaya gempa yang direncanakan. Struktur tahan gempa diharapkan harus berperilaku daktail, meski telah mengalami pengurangan kekuatan dan kekakuan pada struktur tersebut ketika gempa terjadi, gedung tidak langsung runtuh dan pengguna gedung dapat menyelamatkan diri. Maka dengan kata lain struktur gedung yang tahan gempa yaitu struktur yang mampu meminimalisir kerugian serta korban jiwa ketika gempa terjadi.

Pembebanan

Analisis pembebanan adalah bagian utama dalam perencanaan kekuatan struktur gedung, apabila salah dalam melakukan perhitungan beban maka akan mengakibatkan resiko kegagalan struktur dan bangunan menjadi tidak aman saat pembangunan dan saat sudah beroperasi. Pembebanan yang digunakan dalam analisis evaluasi kinerja struktur pada gedung “Office Momen Surabaya” yaitu SNI 1727:2020 untuk beban mati dan beban hidup, serta SNI 1726:2019 untuk analisis beban gempa dengan menggunakan metode analisis respon spektrum.

Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan harus direncanakan berdasarkan beban yang membebani struktur gedung tersebut berdasarkan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Berikut kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis :

- 1.4 D
- 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L atau R)
- 1.2 D + 1.6 (L_r atau R) + (L atau 0.5 W)

Kombinasi pembebanan akibat pengaruh gempa :

- 1.2 D + E_v + E_h + L
- 0.9 D – E_v + E_h

Kontrol Perilaku Struktur

Kontrol perilaku struktur terhadap batasan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019. Berikut kontrol terhadap perilaku struktur :

- Kontrol terhadap geser dasar.
- Kontrol terhadap partisipasi massa.
- Kontrol terhadap waktu getar alami fundamental.
- Kontrol terhadap batas simpangan .

Kontrol Elemen Struktur

Kontrol elemen struktur berdasarkan peraturan SNI 1729:2020. Berikut elemen struktur yang dikontrol :

- Kontrol elemen balok
- Kontrol terhadap momen

$$\phi_b . M_n > M_u$$

Kontrol terhadap geser

$$\phi_v . V_n > V_u$$

- Kontrol elemen kolom

Kontrol terhadap gaya aksial

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

Analisis Pushover Berdasarkan kinerja ATC 40

Analisis pushover adalah analisis static nonlinier untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu gedung terhadap gaya gempa. Dimana suatu gempa yang dianalisis menggunakan pushover merupakan beban statis pada tiap lantai yang ditingkatkan melebihi pembebanannya hingga terjadi pelelehan. Hasil dari Analisis pushover adalah gaya geser dasar yang menghasilkan perpindahan atap dari struktur yang dianalisis. Dalam Metode analisis pushover terdapat tiga elemen penting yang harus dianalisa yaitu kurva kapasitas, spectrum demand, titik kinerja yang harus dianalisis sebagai berikut :

- Kurva kapsitas

Dalam kurva kapasitas menggambarkan perpotongan antara gaya dasar terhadap perpindahan yang hasilnya kapasitas kekuatan struktur dan besarnya kekuatan tergantung terhadap komponen suatu struktur dalam menerima momen deformasi yang terjadi.

$$a_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_1)}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{w_i}{g} \right) \right] \left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_1^2)}{g} \right]}$$

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_1)}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_1^2)}{g} \right]}$$

$$S_s = \frac{V / W}{a_1}$$

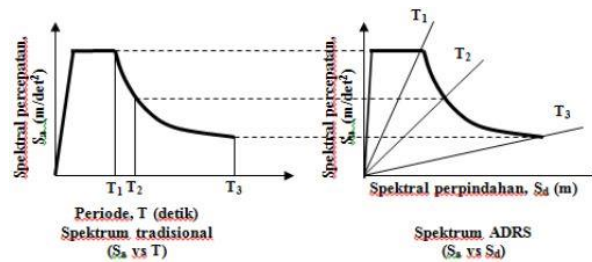
$$S_s = \frac{V / W}{a_1}$$

- Kurva Demand

Kurva Demand merupakan respon maksimum pada struktur terhadap gerakan tanah dasar yang mengakibatkan perpindahan pada lantai akibat dari gempa. Hasil dari Spectrum Demand diperoleh dari spektrum respon elastis kemudian diubah ke dalam format ADRS menggunakan persamaan berdasarkan pada ATC 40. Digunakan dengan rumus :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

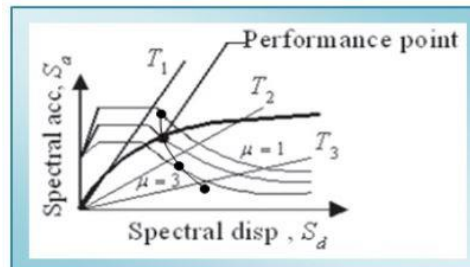
$$S_s = \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 S_a$$



Gambar 1. Kurva Spectrum Demand

- Titik Kinerja

Kinerja dalam analisis Pushover diperoleh dari menggabungkan hasil kurva kapasitas dan kurva spectrum demand, selanjutnya perpotongan kedua kurva akan menghasilkan titik kinerja.



Gambar 2. Kurva Titik Kinerja

- Evaluasi Level kinerja

Dari hasil titik kinerja yang diperoleh dalam analisis Pushover digunakan menentukan level kinerja. Pada penentuan level kinerja ATC 40 dengan menghitung rasio simpangan struktur antara lain :

Rasio simpangan *Total Drift*

$$\frac{\delta_i}{H}$$

Rasio simpangan *in-elastic Drift*

$$\frac{\delta_i - \delta_1}{H}$$

Yang dimana nilai simpangan (δ_i) diperoleh dari hasil simpangan pada kurva titik kinerja dan simpangan pelelehan pertama (δ_1) diperoleh dari kurva kapasitas serta (H) adalah tinggi total gedung dari lantai dasar hingga lantai atap. Dari hasil rasio simpangan yang telah dihitung digunakan untuk menentukan level kinerja struktur.

Tabel 1. Deformation Limit Berbagai Kinerja ATC 40

Interstory Drift Limit	Performance Level			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Maksimum In- Elastic Drift	0,005	0,005 - 0,015	No limit	No limit

Tabel 2. Tingkat Keamanan Level Kinerja Berdasarkan ATC.40

Tingkat Kinerja	Uraian	Keterangan
SP - 1	<i>Immediate occupancy</i> (Penggunaan sedang)	Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
SP - 2	<i>Damage control</i> (Kontrol kerusakan)	Dalam kategori ini, pemodelan bangunan gedung dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yg peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%
SP - 3	<i>Life safety</i> (Aman untuk dihuni)	Bila terjadi gempa, muncul kerusakan yg cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
SP - 4	<i>Limited safety</i> (Keamanan terbatas)	Kondisi bangunan tidak sebaik level <i>life safety</i> dan tidak seburuk level <i>structural stability</i> , termasuk ketika level <i>life safety</i> tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat diuraangi.
SP - 5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas Struktural)	Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
SP - 6	<i>Not Considered</i> (Tidak Diperhitungkan)	Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

Daktilitas

Daktilitas struktur merupakan suatu kemampuan yang sangat vital pada desain suatu gedung, karena bangunan yang daktail pada saat terjadi gempa sering mengalami deformasi secara berulang ulang tetapi strukturnya tidak mengalami keruntuhan. Pada analisis Pushover yang dilakukan akan memperoleh hasil yang akan digunakan untuk mengetahui perilaku seismik dari daktilitas aktual serta faktor reduksi gempa aktual. Untuk batasan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 13.7.3.2 daktilitas aktual struktur $\leq$ daktilitas maksimum . Dalam menentukan daktilitas aktual struktur dan daktilitas maksimum menggunakan rumus sebagai berikut:

- Daktilitas Aktual Struktur

$$\mu \Delta = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

- Daktilitas Maksimum

$$\mu_{maks} = 0,5 \left[\left(\frac{R}{(\Omega_0 I_e)} \right)^2 + 1 \right]$$

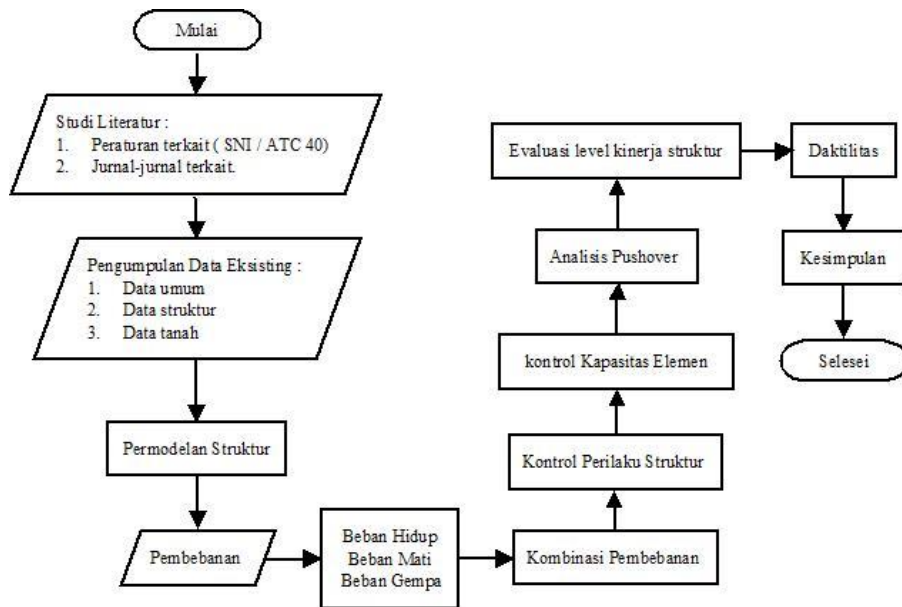
- Faktor Reduksi Gempa

$$R = \Omega_0 \cdot \mu \Delta$$

METODE

Diagram Alir Metodologi Penelitian

Berikut Bagan alir langkah – langkah dan cara yang dilakukan :



Gambar 3. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Data Umum Bangunan

- Nama Bangunan : Office Moment Surabaya
- Lokasi Gedung : Jl. Manyar Kertoarjo No. 34 Surabaya
- Fungsi Bangunan : Perkantoran
- Total Lantai : 9 lantai + 1 lantai atap
- Tahun Perencanaan : 2015

Data Struktur Bangunan

- Struktur Utama : Profil WF (Wide Flange)
- Mutu Baja Profil : BJ37/Fe-360
- Mutu Plat Baja : ST 41
- Mutu Las : E-70xx
- Mutu Beton f_c' : 30 MPa (lantai dasar) & 25 MPa (lantai 2 s/d lantai 10)
- Mutu Baja Tulangan : (Dia $\leq$ 10mm BJTP $f_y = 240$ MPa) dan (Dia $\geq$ 10mm BJTD $f_y = 400$ MPa)
- Struktur lantai : Pelat Beton
- Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
- Struktur atap : Pelat Beton
- Sistem Struktur : Sistem Baja Portal
- Jenis Sambungan : Rigid
- Dimensi Balok

Tabel 3. Dimensi Balok Baja

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Keterangan
1	WF.250	250 x 125 x 6 x 9	Balok Anak
2	WF.300	300 x 150 x 6,5 x 9	Balok Anak
3	WF.350	350 x 175 x 7 x 11	Balok Induk
4	WF.400	400 x 200 x 8 x 13	Balok Induk

5	WF.500	500 x 200 x 10 x 16	Balok Induk
---	--------	---------------------	-------------

- Dimensi Kolom

Tabel 4. Dimensi Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Keterangan
1	H.250	250 x 250 x 9 x 14	Kolom Sekunder
2	KC WF488	488 x 300 x 11 x 18	Kolom Utama

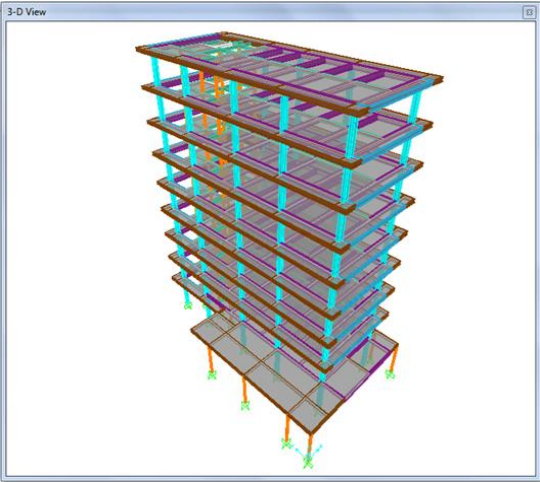
- Dimensi Pelat

Tabel 5. Dimensi Pelat

No	Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Keterangan
1	SA	135	Pelat Lantai
2	S2	135	Pelat Atap

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada permulaan analisis struktur eksisting dimodelkan ulang seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. Permodelan Struktur Gedung

- Rekapitulasi Total Beban Mati Dan Beban Hidup

Tabel 6 Rekapitulasi Total Beban Mati Dan Beban Hidup

No	Unit	Beban Mati (Dead)	Beban Mati Tambahan (Dead+ +)	Beban Hidup (Live)
1	Lantai 1	917,98 KN	-	-
2	Lantai 2	1412,11 KN	1412,87 KN	909,5 KN
3	Lantai 3	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
4	Lantai 4	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
5	Lantai 5	1069,51 KN	1041,76 KN	1338,52 KN
6	Lantai 6	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
7	Lantai 7	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
8	Lantai 8	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
9	Lantai 9	1069,51 KN	1041,76 KN	670,66 KN
10	Lantai Atap	1066,98 KN	678,39 KN	1355,09 KN
Jumlah		10883,64 KN	9383,53 KN	9007,64 KN
Total Berat (W)		2985199,23 KN		

- Beban Gempa Respon Spektrum

Lokasi gedung “Momen Office” terletak di Jl. Manyar Kertoarjo No. 34, Surabaya, Jawa Timur dengan koordinat -7.2801395 S, 112.7652339 E. Berikut Nilai Parameter diperoleh dari Desain Spektra Indonesia setelah memasukan koordinat wilayah yang akan di cari desain respon spektrum.

Tabel 7 Nilai Parameter Desain Spektra Gedung Momen Surabaya

No.	Variable	Nilai
1	PGA (g)	0,333
2	PGAm (g)	0,421
3	S _S (g)	0,715
4	S _I (g)	0,317
5	C _{RS}	0,000
6	C _{RI}	0,000
7	F _A	1,356
8	F _V	2,732
9	S _{MS} (g)	0,970
10	S _{MI} (g)	0,866
11	S _{DS} (g)	0,646
12	S _{DI} (g)	0,577
13	T ₀ (detik)	0,179
14	T _S (detik)	0,893
15	TL (detik)	20

Kontrol Perilaku Struktur

- Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 8 Rasio Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,68136	0,67	0,00172
MODAL	Mode	2	1,38761	0,68	0,8
MODAL	Mode	3	1,28512	0,79	0,82
MODAL	Mode	4	0,54144	0,89	0,82
MODAL	Mode	5	0,45242	0,89	0,93
MODAL	Mode	6	0,41478	0,91	0,93
MODAL	Mode	7	0,3065	0,95	0,93
MODAL	Mode	8	0,2598	0,95	0,97
MODAL	Mode	9	0,23364	0,95	0,97
MODAL	Mode	10	0,20678	0,98	0,97

Diperoleh partisipasi massa arah x pada mode 6 sebesar 0,91 dan arah y pada mode 5 sebesar 0,93. Maka dapat disimpulkan bahwa analisis struktur memenuhi persyaratan dengan partisipasi massa terkombinasi minimal 90 %.

- Kontrol Periode Waktu Getar Alami Fundamental

Tabel 9 Periode Getar Alami Fundamental

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	1,68136	0,5947578
MODAL	Mode	2	1,38761	0,7206645
MODAL	Mode	3	1,28512	0,7781382
MODAL	Mode	4	0,54144	1,8469257
MODAL	Mode	5	0,45242	2,21035
MODAL	Mode	6	0,41478	2,4109255
MODAL	Mode	7	0,3065	3,2626226
MODAL	Mode	8	0,2598	3,8491287
MODAL	Mode	9	0,23364	4,2800455
MODAL	Mode	10	0,20678	4,8360094

Pada perhitungan SAP2000 diperoleh periode (T_c) = 1,68136 detik kurang dari periode maksimal $T_{maks} = C_u T_a = 1,7458$ detik ($T_c < T_{maks} = C_u T_a$), maka dapat disimpulkan bahwa kontrol periode alami fundamental memenuhi persyaratan.

- Kontrol Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar akibat gempa statik (V)

$$V = C_s W$$

$$V = 0,0257 \times 2985199,23 \text{ Kg}$$

$$= 76719,62 \text{ Kg}$$

Gaya geser dasar akibat gempa respon spektrum (V_t)

Pada perhitungan SAP2000 diperoleh gaya geser dasar akibat gempa respon spektrum sebagai berikut :

Tabel 10 Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Respon Spektrum

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Kgf	Kgf
GEMPA RS ARAH X	LinRespSpec	Max	23619,16	2148,99
GEMPA RS ARAH Y	LinRespSpec	Max	2149	31524,84

Kontrol gaya geser dasar

Dari hasil perhitungan diperoleh gempa respon spektrum arah = 37624,78 kg dan arah y = 49601,14 kg,

Arah X

Jadi respon spektrum arah X perlu diperbesar sebesar

$$\frac{V}{V_t} = \frac{76719,62}{23619,16} = 3,25$$

Arah Y

Sedangkan respon spektrum arah Y perlu diperbesar sebesar

$$\frac{V}{V_t} = \frac{76719,62}{31524,84} = 2,43$$

Maka faktor pengali analisis respon dinamik harus diperbesar untuk arah x = 3,25 dan arah y = 2,43, sehingga persyaratan gaya geser gempa dapat terpenuhi. Selanjutnya struktur dianalisis kembali dengan menggunakan nilai respon spektrum yang diperbesar dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 11. Gaya Geser Dasar Akibat Respon Spektrum Yang Dikoreksi

TABLE: Base Reactions			
OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf
GEMPA RS ARAH X	LinRespSpec	76284,5	8076,62
GEMPA RS ARAH Y	LinRespSpec	6057,46	76146,61

Dari perhitungan kontrol terhadap gaya geser dasar, maka dapat disimpulkan gaya gempa respon spektrum terkoreksi yang digunakan sebagai beban gempa untuk membebani gedung tersebut.

- Kontrol Simpangan Antar Lantai

Tabel 12. Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Arah X

Lantai	hx mm	δxe mm	δx mm	Δ mm	Δa mm	Δa/p mm	Δ ≤ Δa/p mm
10	3780	45,34	13,475	6,105	76	76	OK
9	3780	42,89	19,58	5,665	76	76	OK
8	3780	39,33	25,245	4,51	76	76	OK
7	3780	34,74	29,755	3,355	76	76	OK
6	3780	29,33	33,11	2,2	76	76	OK
5	3780	23,31	35,31	0,275	76	76	OK
4	3780	16,89	35,585	3,795	76	76	OK
3	3780	10,42	31,79	6,27	76	76	OK
2	3780	4,64	25,52	25,52	76	76	OK
1	4860	0	0	0	97	97	OK

Tabel 13 Tabel Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Arah Y

Lantai	hx mm	δxe mm	δx mm	Δ mm	Δa mm	Δa/p mm	Δ ≤ Δa/p mm
10	3780	43,29	9,68	6,16	76	76	OK
9	3780	41,53	15,84	5,17	76	76	OK
8	3780	38,65	21,01	4,015	76	76	OK
7	3780	34,83	25,025	3,08	76	76	OK
6	3780	30,28	28,105	2,365	76	76	OK
5	3780	25,17	30,47	1,32	76	76	OK
4	3780	19,63	31,79	1,54	76	76	OK
3	3780	13,85	33,33	9,515	76	76	OK
2	3780	7,79	42,845	42,845	76	76	OK
1	4860	0	0	0	97	97	OK

Dari hasil tabel 4.20 dan 4.21 menunjukkan bahwa simpangan antar lantai telah memenuhi persyaratan.

Kontrol Elemen Struktur

- Kontrol Elemen Balok

Tabel 14. Rekapitulasi Kontrol Elemen Balok

Profil Balok	Arah	Penampang	Momen ($\phi_b.M_n \geq M_u$)				Geser		Lendutan		Ket.
			(Kg.cm)				$(\phi_r.V_n \geq V_u)$		$(\delta_n \leq \delta_{ijin})$		
			Tekuk Lokal		Torsi Lateral		(Kg)		(cm)		
			$\phi_b.M_n$	Mu	$\phi_b.M_n$	Mu	$\phi_r.V_n$	Vu	δ_n	δ_{ijin}	
WF 500.200.10.16	Arah X	Kompak	4527360	2764305,36	3668629,03	2764305,36	72000	13500,07	1,017	2,16	OK
	Arah Y	Kompak	4527360	911207,83	4527360	911207,83	72000	6169,96	0,171	1,6	OK
WF 400.200.8.13	Arah X	Kompak	2777760	98120,71	1278591,93	98120,71	46080	431,71	0,012	2,416	OK
	Arah Y	Kompak	2777760	203167,86	2777760	203167,86	46080	1446,15	0,0032	2,92	OK
WF 350.175.7.11	Arah X	Kompak	1816560	848975,25	1711014,73	848975,25	35280	6726,68	0,4459	1,486	OK
	Arah Y	Kompak	1816560	755205,64	1816560	755205,64	35280	2302,43	0,1796	0,943	OK
WF 300.150.6.5,9	Arah X	Kompak	1127520	228968,04	1021390,78	228968,04	28080	1837,78	0,211	1,416	OK
	Arah Y	Kompak	1127520	100545,94	1127520	100545,94	28080	1659,13	0,0619	0,903	OK
WF 250.125.6.9	Arah X	Kompak	760320	37200,92	660125,56	37200,92	21600	166,39	0,1052	1,416	OK
	Arah Y	Kompak	760320	71558,02	760320	71558,02	21600	373,08	0,0235	0,576	OK

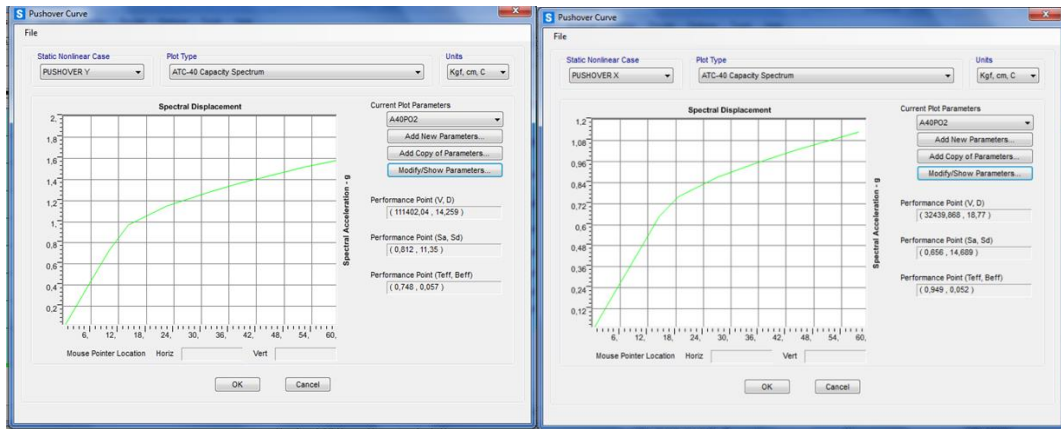
- Kontrol Elemen Kolom

Tabel 15. Rekapitulasi Kontrol Elemen Kolom

Profil Kolom	Lantai	Penampang	Kategori	Gaya Aksial ($\phi_c P_n \geq P_u$) (Kg)		Interaksi Kolom-Balok ($P_r / P_c \geq 0,2$) (Kg)		Rasio Interaksi Kolom-Balok $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$		Ket.
				$\phi_c P_n$	P_u	P_r / P_c	0,2			
KC 488.300.11.18	Lt.1	Kompak	B. Pendek	299230,33	215875,85	0,72	0,2	0,86	1,00	OK
	Lt.2 - 9	Kompak	B. Pendek	348695,47	168631,28	0,48	0,2	0,69	1,00	OK
H 250.250.9.14	Lt.1	Kompak	B. Pendek	188427,02	56999,45	0,3	0,2	0,35	1,00	OK
	Lt.2 - 9	Kompak	B. Pendek	191510,33	48113,7	0,25	0,2	0,35	1,00	OK

Analisis Pushover

- Kurva Kapasitas



Gambar 5. Kurva Kapasitas Arah x Dan y

Tabel 16. Nilai Kurva kapasitas arah x dan y

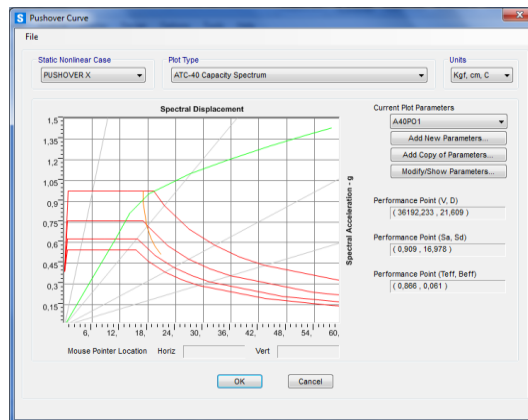
LoadCase Text	Step Unitless	Displacement cm	BaseForce Kgf
PUSHOVER X	1	7,02	12213,32
PUSHOVER X	2	14,04	24426,60
PUSHOVER X	3	18,41	32025,89
PUSHOVER X	4	23,42	37756,02
PUSHOVER X	5	33,61	43683,24
PUSHOVER X	6	43,42	47522,94
PUSHOVER X	7	54,04	51134,21
PUSHOVER X	8	63,11	53782,59
PUSHOVER X	9	70,13	55764,69
PUSHOVER X	10	70,20	55781,27

LoadCase Text	Step Unitless	Displacement cm	BaseForce Kgf
PUSHOVER Y	1	6,98	55809,94
PUSHOVER Y	2	12,36	98615,99
PUSHOVER Y	3	17,56	133668,13
PUSHOVER Y	4	27,28	160249,66
PUSHOVER Y	5	38,17	178316,28
PUSHOVER Y	6	45,45	188827,16
PUSHOVER Y	7	53,57	198451,45
PUSHOVER Y	8	62,06	207762,86
PUSHOVER Y	9	69,87	215317,46
PUSHOVER Y	10	70,16	215588,63

Nilai kurva kapasitas arah x yang diperoleh untuk titik pelelehan pertama didapatkan nilai perpindahan (D) = 7,02 cm dengan gaya geser dasar (V) = 12213,32 Kg, sedangkan untuk titik pelelehan maksimum didapatkan nilai perpindahan (D) = 70,2 cm dengan gaya geser dasar (V) = 55781,27 Kg. Sedangkan untuk nilai kurva kapasitas arah y diperoleh untuk titik pelelehan pertama didapatkan nilai

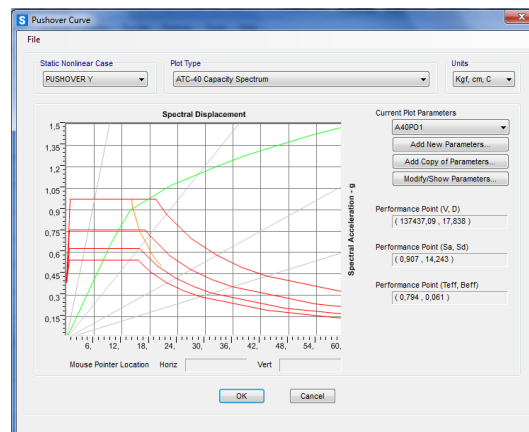
perpindahan (D) = 6,98 cm dengan gaya geser dasar (V) = 55809,94 Kg, sedangkan untuk titik pelelehan maksimum didapatkan nilai perpindahan (D) = 70,2 cm dengan gaya geser dasar (V) = 215588,63 Kg.

- Target Perpindahan



Gambar 6. Kurva Kinerja Arah x

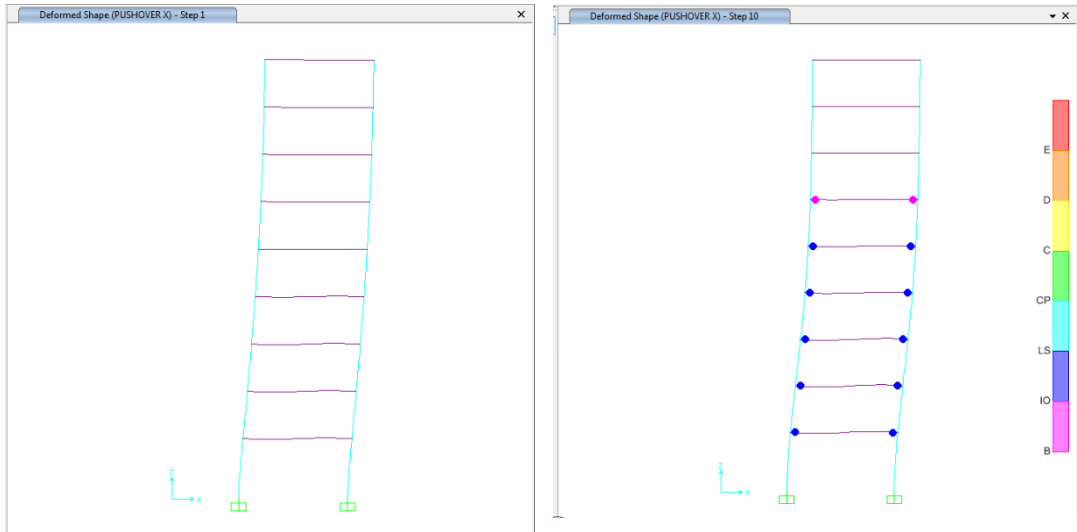
Dari hasil kurva kapasitas pada pushover ATC 40 menghasilkan target perpindahan (δ_t) untuk arah x = 21,61 cm dengan gaya geser dasar (V_T) = 36192,23 Kg < gaya geser dasar gempa rencana (V) = 76719,62 Kg, maka perilaku struktur arah x ketika gempa rencana masih bersifat elastis.



Gambar 7. Kurva Kinerja Arah y

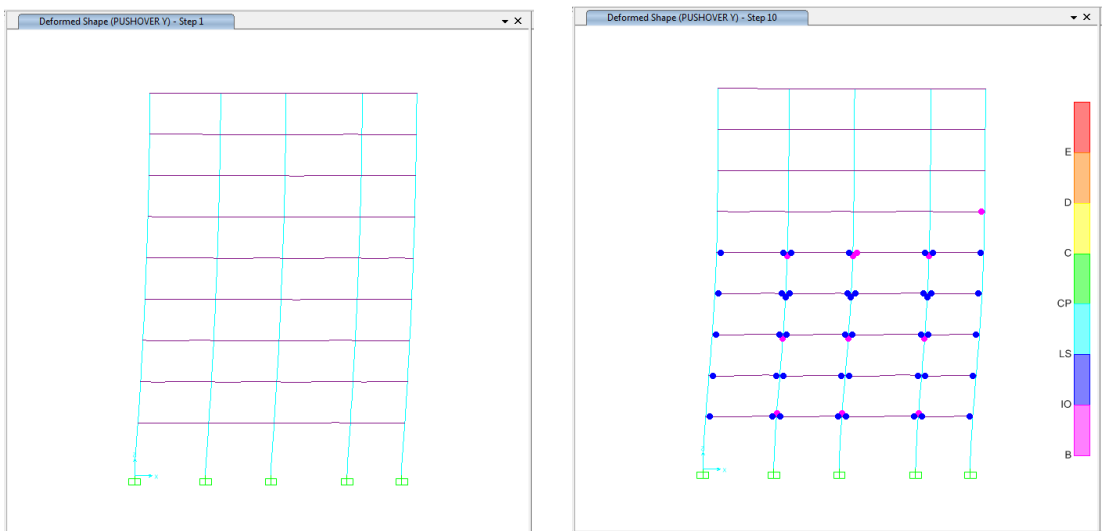
Sedangkan untuk arah y menghasilkan target perpindahan (δ_t) untuk arah y = 17,84 cm dengan gaya geser dasar (V_T) = 137437,09 Kg > gaya geser dasar gempa rencana (V) = 76719,62 Kg, maka perilaku struktur arah y pada gempa rencana telah mengalami kondisi in-elastis yang disebabkan pelelehan pada semua sendi plastisnya.

- Mekanisme Sendi Plastis



Gambar 8. Mekanisme sendi Plastis Arah x

Pelelehan sendi plastis pertama kali pada balok arah x terjadi pada step ke 1 dengan nilai perpindahan = 7,02 cm dan gaya geser dasar = 12213,32 kg, dan berhenti pada step 10 dengan nilai perpindahan = 70,2 cm dan gaya geser dasar = 55781,27 kg.



Gambar 9. Mekanisme sendi Plastis Arah y

Pelelehan sendi plastis pertama kali pada balok terjadi pada step ke 1 dengan nilai perpindahan = 6,98 cm dan gaya geser dasar = 55809,94 kg dan berhenti pada step ke 10 yang ditunjukkan dengan nilai perpindahan = 70,2 cm dan gaya geser dasar = 215588 kg.

- Evaluasi Kinerja Struktur

Untuk rasio simpangan struktur dihitung berdasarkan elevasi titik kontrol perpindahan yang terletak di lantai atap gedung dengan rumus sebagai berikut :

Total Drift arah x

$$\frac{\delta_t}{H} = \frac{21,61}{3510} = 0,0062$$

Total Drift arah y

$$\frac{\delta_t}{H} = \frac{17,84}{3510} = 0,0051$$

In-Elastic Drift arah x

$$\frac{\delta_t - \delta_1}{H} = \frac{21,61 - 7,02}{3510} = 0,0042$$

In-Elastic Drift arah y

$$\frac{\delta_t - \delta_1}{H} = \frac{17,84 - 6,98}{3510} = 0,0031$$

Berdasarkan hasil pada tabel 4.29 diperoleh hasil nilai *total drift* untuk arah x = 0,0062 dan untuk arah y = 0,0051 dan nilai *in-elastic drift* untuk arah x = 0,0042 dan arah y = 0,0031 . Maka berdasarkan tabel *deformation limit* berbagai kinerja yang terdapat pada peraturan ATC 40, gedung termasuk dalam kategori level kinerja SP-1 *Immediate Occupancy*, karena nilai *total drift* kurang dari 1 % dan *in-elastic drift* kurang dari 0,5%. Dimana kategori level kinerja SP-1 *Immediate Occupancy*, bila terjadi gempa hanya terjadi sedikit kerusakan dengan kekuatan dan kekakuan struktur yang sama seperti sebelumnya, sehingga meski sudah mengalami kerusakan karena gempa yang terjadi sebelumnya, gedung masih mampu menerima gaya gempa yang terjadi lagi.

Daktilitas

- Daktilitas Aktual Struktur

Pada perhitungan daktilitas berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 13.7.3.3 persyaratan daktilitas aktual struktur ($\mu\Delta$) $\leq$ daktilitas maksimum (μ_{maks}).

Untuk peralihan atap (δ_t) diperoleh dari target perpindahan dengan metode kurva kapasitas dan peralihan pelehan pertama (δ_y) diperoleh dari tabel kurva kapasitas yang terdapat pada analisis pushover ATC 40 menggunakan program SAP2000,

Daktilitas aktual struktur arah X

$$\mu\Delta_x = \frac{\delta_u}{\delta_x} = \frac{21,61}{7,02} = 3,10$$

Daktilitas aktual struktur arah Y

$$\mu\Delta_y = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{17,84}{6,98} = 2,61$$

Daktilitas maksimum

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 pasal 13.7.3.4, untuk nilai $T_{1d} \leq T_s$, maka daktilitas maksimum dihitung menggunakan rumus :

$$\mu_{maks} = 0,5 \left[\left(\frac{R}{(\Omega_0 \times I_e)} \right)^2 + 1 \right] = 0,5 \left[\left(\frac{8}{(3 \times 1)} \right)^2 + 1 \right] = 4,09$$

Daktilitas aktual struktur ($\mu\Delta$) $\leq$ (μ_{maks}) daktilitas maksimum

Maka dapat disimpulkan daktilitas aktual struktur memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726 : 2019 pasal 13.7.3.3, karena nilai daktilitas aktual tidak melebihi daktilitas maksimum.

- Faktor Reduksi Rencana

Faktor reduksi gempa aktual arah X

$$R = \Omega_0 \cdot \mu \Delta = 3 \times 3,10 = 9,3$$

Faktor reduksi gempa aktual arah Y

$$R = \Omega_0 \cdot \mu \Delta = 3 \times 2,61 = 7,8$$

Dari hasil perhitungan faktor reduksi gempa aktual memperoleh nilai untuk arah X = 9,3 dan arah Y = 7,8, sedangkan faktor reduksi gempa rencana (R) dengan kategori struktur rangka baja dengan sistem struktur pemikul momen khusus (SRPMK) = 8. Maka dapat disimpulkan faktor reduksi gempa aktual gedung Office Momen telah memenuhi perkiraan terhadap faktor reduksi gempa rencana berdasarkan peraturan SNI 1726 : 2019.

KESIMPULAN

Berdasarkan bab analisis perhitungan yang telah dilakukan pada evaluasi kinerja struktur gedung baja tahan gempa pada gedung perkantoran Office Momen Surabaya memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada analisis kontrol terhadap perilaku struktur memperoleh hasil :
 - a. Pada kontrol terhadap partisipasi massa, diperoleh partisipasi massa arah x pada mode 6 sebesar 0,91 dan arah y pada mode 5 sebesar 0,93. Maka dapat disimpulkan bahwa analisis kontrol perilaku terhadap partisipasi massa memenuhi persyaratan SNI 1726 : 2019 pasal 7.9.1 dengan partisipasi massa terkombinasi minimal 90 %.
 - b. Pada kontrol waktu getar alami fundamental dari analisis menggunakan program SAP2000 diperoleh periode (T_c) = 1,68136 detik tidak melebihi periode maksimal yang dihitung persamaan persamaan $T = C_u T_a = 1,7458$ detik, maka kontrol waktu getar alami fundamental telah memenuhi persyaratan SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.2.
 - c. Pada kontrol terhadap gaya geser dasar diperoleh gaya geser dasar $V_{statik} = 76719,62$ kg, sedangkan $V_{dinamik}$ arah x = 23619,16 kg dan arah y = 31524,84 kg, maka gaya geser dasar akibat gempa dinamik diperbesar dengan faktor pengali untuk arah x = 3,25 dan arah y = 2,43 yang kemudian nilai faktor pengali dimasukan ke faktor pengali gempa dinamik pada analisis SAP2000 yang hasil digunakan sebagai beban gempa rencana.
 - d. Pada kontrol terhadap batas simpangan antara lantai diperoleh simpangan yang terjadi pada tiap lantai tidak melebihi dari nilai simpangan ijin yang telah disyaratkan sebesar 76 mm yang dibagi dengan faktor reduksi ($\Delta \leq \Delta_a / \rho$), maka analisis perilaku struktur terhadap batas simpangan antar lantai telah memenuhi persyaratan SNI 1726 : 2019 pasal 7.12.1.
2. Pada analisis kontrol terhadap elemen balok dan kolom memperoleh hasil :
 - a. Balok eksisting dengan profil WF500, WF400, WF350, WF300, WF250 mampu digunakan sebagai elemen struktur gedung baja 10 lantai karena telah memenuhi persyaratan dengan :
 - Momen nominal melebihi momen ultimit ($\phi_b M_n \geq M_u$)
 - Geser nominal melebihi geser ultimit ($\phi_v V_n \geq V_u$)
 - Lendutan nominal tidak melebihi lendutan ijin ($\delta_n \leq \delta$ ijin)
 - b. Kolom eksisting dengan profil Kingcross WF488 dan H250 mampu digunakan sebagai elemen struktur gedung baja 10 lantai karena telah memenuhi persyaratan dengan :
 - Gaya aksial nominal melebihi aksial ultimit ($\phi_c P_n \geq P_u$)
 - Interaksi kolom-balok lebih dari ketentuan yang disyaratkan yaitu (interaksi kolom balok $\geq 0,2$)
 - Rasio Interaksi Kolom-Balok tidak melebihi ketentuan yang disyaratkan yaitu (rasio kolom balok $\leq 1,0$).
3. Dari metode spektrum kapasitas memperoleh target perpindahan untuk arah x = 18,77 cm dan arah y = 14,259 cm.
4. Pada analisis gedung tahan gempa dengan metode *pushover* ATC 40, memperoleh hasil *drift ratio* dengan hasil *total drift* arah X = 0,0062 dan arah Y = 0,0051 dan *in-elastic drift* arah X = 0,0042

dan arah Y = 0,0031. Maka berdasarkan *deformation limit* berbagai kinerja ATC 40 gedung termasuk dalam kategori level kinerja SP-1 (Immediate Occupancy) karena nilai total drift $\leq 1\%$ dan *in-elastic drift* $\leq 0,5\%$.

5. Kategori level kinerja SP-1 (Immediate Occupancy) yang disyaratkan berdasarkan ATC 40 yaitu bila terjadi gempa hanya terjadi sedikit kerusakan dengan kekuatan dan kekakuan struktur yang sama seperti sebelumnya, sehingga meski sudah mengalami kerusakan karena gempa yang terjadi sebelumnya, gedung masih mampu menerima gaya gempa yang terjadi lagi.
6. Pada analisis daktilitas memperoleh hasil daktilitas aktual struktur arah (μ_{Δ_x}) = 3,10 dan arah y (μ_{Δ_y}) = 2,61, sedangkan nilai daktilitas maksimum (μ_{maks}) = 4,09 maka dapat disimpulkan kontrol daktilitas memenuhi karena daktilitas aktual struktur (μ_{Δ}) $\leq$ daktilitas maksimum (μ_{maks}).
7. Nilai faktor reduksi gempa aktual untuk arah X = 9,3 dan arah Y = 7,8 sedangkan faktor reduksi gempa rencana (R) dengan kategori struktur rangka baja dengan sistem struktur pemikul momen khusus (SRPMK) = 8. Maka faktor reduksi gempa rencana sudah sesuai dengan prediksi faktor reduksi gempa aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California. Applied Technology Council.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. SNI No. SNI 1727-2020. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. SNI No. SNI 1726-2019. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- [4] Standarisasi Nasional. 2020. *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT)*. SNI No. SNI 1729-2020. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [5] Tata A, Imran, Fitri Rahma S (2019). *Perilaku Struktur Baja Tahan Gempa Dengan Analisis Pushover (Studi Kasus Bangunan Di Wilayah Ternate)*. Jurnal Sipil Sains, ISSN : 2008-2076, Vol. 09, No.17.
- [6] Muhammad Feri Arifin. 2018. *Evaluasi Kinerja Pada Bangunan Beton Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Gedung Mipa Universitas Brawijaya Menggunakan Analisis Pushover Atc-40*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 – Surabaya.
- [7] A. Yulina, K. Indra, P. Dewi, S. Eka, P. Jaka (2021). *Analisa Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Terhadap Karakterisasi Kelas Situs Batuan Keras (Sa), Batuan (Sb) Dan Batuan Lunak (Sc) Berbasis Response Spectrum*. Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur II FTSP ITATS. Surabaya.
- [8] Mahega Adi Prasetya. 2019. *Analisis Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover Berdasarkan SNI 1726:2019*. Jurnal Skripsi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- [9] Laresi, Yulinda Timur. (2017). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie, Jakarta.
- [10] M. Ima, S. Hasan, L. Christian, H. Try. (2010). “*Evaluasi Kinerja Struktur Baja Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Yang Menggunakan Reduced Beam Section Di Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia*”. Laporan Penelitian Fundamental No: 08 2010
- [11] Wisnumurti, Indra Cahya, dan Ashar Anas. (2008). *Analisa Pushover Pada Gedung Tidak Beraturan Dengan Study Kasus Pada Gedung Baru FIA UNIBRAW*. Jurnal rekayasa sipil, ISSN 1978- 5658, vol 2, no.1.
- [12] Muntafi, Yunalia. (2012). *Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Dpu Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, ISSN : 1412-9612, no 1.
- [13] Sampakang Jusak Jan, Pandaleke R. E., Pangouw J. D, Khosama L. K. 2013. *Perencanaan Sistem*

Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Komponen Balok–Kolom Dan Sambungan Struktur Baja V Gedung BPJN XI. Jurnal Sipil Statik, ISSN: 2337-6732 653, Vol.1 No.10.

- [14] Mamesah , Hizkia Y. I., Wallah, Steenie E., . Windah, Reky S. 2014. *Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story*. Jurnal Sipil Statik, ISSN: 2337-6732, Vol.2 No.4.
- [15] Afandi, Nur Rachmad. 2010. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000*. Jurnal Skripsi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [16] Pangemanan, Syanne , dan Mantiri, Helen G. 2017. *Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko*. Prosiding Simposium II – UNIID 2017 ISBN: 978-979-587-734-9.
- [17] Aribisma, Fajar. 2015. *Evaluasi Gedung Mnc Tower Menggunakan Sni 03-1726-2012 Dengan Metode Pushover Analysis*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan ITS Surabaya