

Perbandingan Respon Struktur Portal 2 Lantai MRF Dan CBF Terhadap Beban Seismik Dengan *Pushover Analysis*

¹Adi Nugroho Santoso, ²Sumaidi, ³Anna Rumintang

¹Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur,

^{2,3}Dosen Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim

e-mail : (¹adinugrohosantoso200@gmail.com, ²sumaidiwijaya@gmail.com, ³anna.ts@upnjatim.ac.id)

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah yang termasuk wilayah rawan gempa. Oleh karena itu diperlukan pengetahuan konstruksi bangunan tahan gempa dalam mengurangi resiko kerusakan yang diakibatkan gempa bumi. Perencanaan Konstruksi tahan gempa terdapat beberapa metode salah satunya yaitu metode analisis pushover. Pushover adalah metode analisis static nonlinier dimana struktur mengalami pembebanan gravitasi dan beban lateral yang dikendalikan perpindahan yang terus meningkat melalui perilaku elastic dan inelastic hingga kondisi akhir. Salah satu dari bahan konstruksi yang populer dalam perencanaan Struktur adalah konstruksi baja dimana memiliki keunggulan yaitu struktur yang seragam, ringan, kuat, dan mudah dikerjakan. Dalam pemodelan struktur tahan gempa beberapa model yang populer adalah model MRF dan CBF. MRF adalah model konfigurasi struktur yang terkonfigurasi atas balok yang tersambung kokoh dengan kolom. Berdasarkan sambungan balok-kolom yang kaku, bingkai momen tidak dapat dipindahkan secara lateral tanpa menekuk balok atau kolom tergantung pada geometri sambungan. CBF adalah model struktur yang terkonfigurasi atas batang yang diperkuat oleh pengaku (*Braced*). Hasil Studi kasus pada perbandingan kedua model struktur menyimpulkan bahwa dalam perencanaan struktur baja tahan gempa dengan metode *pushover* didapat bahwa struktur MRF memiliki daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan CBF yaitu 2,1 : 1,6.

Kata Kunci : Analisa Pushover, Analisa Struktur, *Concentrically Braced Frame*, gempa, , Konstruksi Baja, *Moment Resisting Frame*

ABSTRACT

Indonesia is an area which is classified as an earthquake prone area. Therefore we need knowledge of earthquake resistant building construction in reducing the risk of damage caused by earthquakes. There are several methods of planning for earthquake resistant construction, one of which is the pushover analysis method. Pushover is a method of static nonlinear analysis in which the structure undergoes gravitational loading and lateral load controlled by displacement that continues to increase through elastic and inelastic behavior to the final condition. One of the most popular construction materials in Structure planning is steel construction which has the advantage of being uniform, lightweight, strong, and easy to do. In modeling earthquake resistant structures some popular models are the MRF and CBF models. MRF is a structural configuration model that is configured on beams that are connected securely to the column. Based on rigid beam-column joints, the moment frame cannot be moved laterally without bending beams or columns depending on the connection geometry. CBF is a structural model configured on stems reinforced by stiffeners (*Braced*). Results Case studies on the comparison of the two structural models concluded that in the planning of earthquake resistant steel structures using the pushover method it was found that the MRF structure had higher ductility compared to CBF which was 2.1: 1.6.

Keyword : *Concentric Braced Frame*, earthquake, *Moment Resisting Frame*, , *Pushover Analysis*, *Structural Analysis*, *Steel Construction*

I. PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia terletak diantara dua sirkum yaitu sirkum pasifik dan mediterania, dimana

menjadikan wilayah Indonesia sangat rawan terhadap gempa. Pada bangunan bertingkat tinggi beban gempa lebih dominan dibanding dengan beban gravitasi

yang bekerja padanya. Ketidakteraturan bentuk dari suatu bangunan menghasilkan suatu Analisa yang lebih rumit dibandingkan dengan bentuk bangunan simetris yang dapat dianalisis secara 2 dimensi. Analisis gempa pada struktur tidak beraturan (asimetris) dapat dilakukan dengan analisis dinamik nonlinear riwayat waktu, tetapi dalam pengerjaannya analisis ini sangat rumit dan tidak banyak program komputer yang memiliki fasilitas untuk analisis ini. Pendekatan analisis gempa dinamik nonlinear ini dapat dilakukan dengan analisis pushover (ATC 40, 1997). Pada dasarnya analisis pushover ini cukup sederhana, yaitu suatu beban statik tertentu diberikan secara incremental dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai dari suatu bangunan hingga tercapai keruntuhan pada elemen struktur atau batasandisplacement-nya terlampaui.

RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah pada kajian ini adalah :

1. Bagaimana menganalisa struktur tahan gempa dengan pushover ?
2. Bagaimana perbandingan kekuatan struktur MRF dan CBF ?
3. Bagaimana hasil output analisis pushover dengan SAP2000 ?

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dalam penulisan Jurnal tentang *Analisa Pushover* ini adalah :

1. Menganalisa Struktur Tahan Gempa dengan Analisa Pushover
2. Mengetahui perbandingan kekuatan antara struktur MRF dan CBF
3. Menambah wawasan tentang Analisa Pushover yang berhubungan dengan Analisa nonlinier

BATASAN MASALAH

1. Merancang Gedung tipikal dengan Panjang @3m
2. Tinjauan hanya terbatas pada pembebanan umum dan gempa nonlinier
3. Pembebanan menggunakan peraturan SNI terbaru tentang Pembebanan gempa sebagai acuan dasar

MANFAAT PENELITIAN

1. Mampu mengembangkan analisis struktur Pushover dengan SAP2000
2. Mampu mengembangkan ilmu struktur baja tahan gempa,
3. Menambah ilmu dan wawasan dalam menganalisis struktur nonlinier,

II. METODE

Analisa Pushover

Menurut **Wiryanto** Analisa statik nonlinier merupakan prosedur Analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa pushover atau analisa beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Beberapa program komputer komersil yang tersedia adalah SAP2000, ETABS, GTStrudl, Adina. [9] Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap. Analisa pushover menghasilkan kurva pushover yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D). Pada proses pushover, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. 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 regular dan tidak tinggi.

Moment Resisting Frame

Michel (2011) menjelaskan bahwa definisi dari *Moment Resisting Frame* adalah Rangka kaku yang terbentuk atas kolom dan balok yang tersambung kokoh dan menerima Momen Lentur dan Gaya geser pada sambungan dan Rangka [7]

Concentrically Braced Frame

Concentrically Braced Frame atau dapat disebut saja sebagai *Braced Frame* adalah Struktur yang di desain untuk menahan gaya Angin dan gaya gempa yang bekerja. Struktur yang bekerja tidak diizinkan untuk

menerima gaya lateral kecuali Batang diagonal yang dirancang khusus untuk menahan gaya lateral tersebut. [7]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah dalam menganalisa Struktur nonlinier dengan Analisa *Pushover* sebagai berikut :

Pengumpulan Data

Data umum penelitian sebagai berikut :

- Nama Proyek : Gedung Tipikal 2 Lantai
- Lokasi Proyek : Denpasar
- Fungsi Bangunan : Gedung Perkantoran
- Jenis Tanah : Tanah Lunak
- Tipe Gedung : *MRF dan CBF*
- Panjang Gedung : 9 meter @3 m

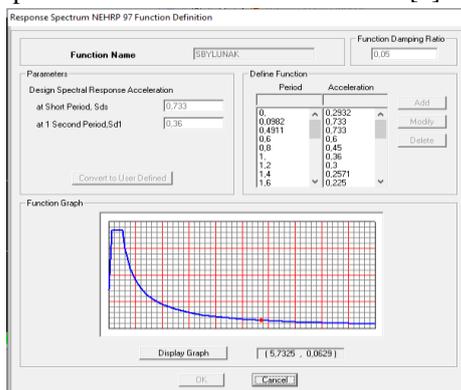
Pengolahan Data

Pembebanan Gedung

Pembebanan Gedung dalam penelitian ini mengacu pada PPIUG 1983 sebagai berikut : [8]

- Beban Mati :
Lantai = 120 kg/m²
Atap = 100 kg/m²
- Beban Hidup :
Lantai = 250 kg/m²
Atap = 100 kg/m²
- Beban Gempa :
Beban Gempa Statik
Beban Gempa Dinamis

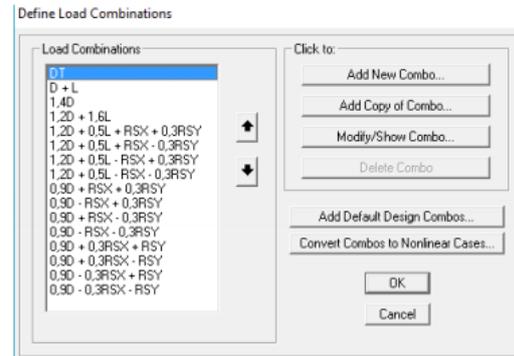
Pada Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen mengacu pada SNI 1726 : 2019 dan UBC 97. [1]



Gambar 1 Respon Spektrum

Pada Perhitungan Beban gempa dinamis mengacu pada SNI 1726 : 2019 dan pada fungsi Respon Spektrum mengacu pada NEHRP 97. [2][3]

Untuk Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1726 : 2019 dan SNI 1727 : 2012 yaitu :



Gambar 2. Kombinasi Pembebanan

Pemodelan Elemen – Elemen Portal dan Pelat Lantai

Setelah melakukan perhitungan pembebanan gedung dan kombinasi pembebanan setelah itu melakukan pendefinisian bahan dan dimensi elemen struktur yaitu sebagai berikut :

- Mutu Beton = 25 MPa
- Mutu Baja = BJ37
- Pelat = 12 mm
- Balok MRF = WF600
- Balok CBF = WF500
- Kolom = WF300
- Braced = WF200

Tahapan Analisis Pushover

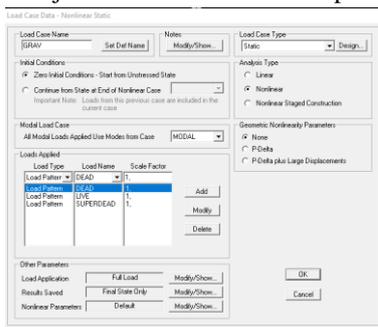
Tahapan Utama dalam Analisa *pushover* menurut **Wiryanto** adalah :

- Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva pushover. [4]
- Membuat kurva pushover dari berbagai pola distribusi gaya lateral yang ekuivalen dengan distribusi gaya inerti, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Karena gempa sifatnya tidak pasti, perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral.
- Estimasi besarnya target perpindahan. Titik kontrol didorong sampai target tersebut, yaitu suatu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan : merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan deformasi dan kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen yang jumlahnya relatif sangat banyak maka proses harus dikerjakan oleh computer (fasilitas pushover dan evaluasi kinerja yang terdapat secara built-in pada program SAP2000, mengacu pada FEMA - 356). Oleh karena itulah mengapa pembahasan perencanaan berbasis kinerja banyak mengacu pada dokumen FEMA.

Masukan analisis *pushover*

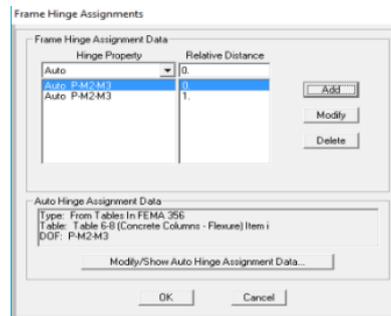
- a. Case Gravitasi Nonlinear Static
Case Gravitasi adalah input pembebanan gravitasi yang bertujuan sebagai data pembebanan yang digunakan dalam masukan data Case Pushover
- b. Case Pushover Nonlinear Static
Case Puhover mengacu pada ATC-40 sebagaimana yang telah dijabarkan yaitu Pembebanan lateral pada suatu titik agar mendapatkan output displacemenr yang hendak ditinjau. Pada case ini terletak pada Joint 422.



Gambar 3 Load Case (Joint Ujung pada Atap) Gravitasi

- c. Sendi Plastis
Untuk dapat mengamati posisi terjadinya sendi plastis baik pada kolom maupun balok maka harus dilakukan pendefinisian titik kontrol sendi plastis (hinge) dengan titik 0 sebagai titik pangkal dan titik 1 sebagai ujung dari elemen struktur. Berdasarkan acuan FEMA 356 maka untuk sendi plastis kolom didefinisikan menanggung beban P – M2 – M3

sedangkan untuk balok hanya menanggung M3 saja.



Gambar 4. Sendi Plastis Kolom

Langkah Langkah Analisis

Menurut **Wiryanto** Analisa beban dorong statik non-linier akan dilaksanakan mengikuti petunjuk FEMA 356, kebetulan program SAP2000 yang digunakan juga mengacu pada dokumen tersebut. [6] Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

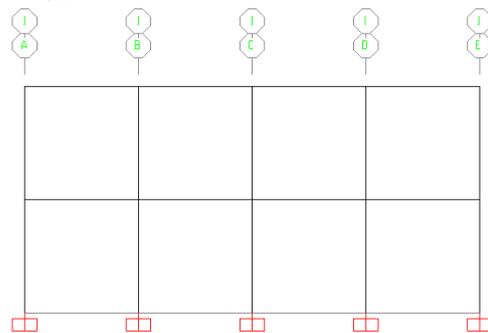
1. Analisa elastis struktur dengan memasukkan semua elemen bangunan yang berkaitan dengan berat, kekuatan, kekakuan, stabilitasnya dan lainnya dan direncanakan memenuhi ketentuan perencanaan bangunan baja Indonesia terbaru. [11]
2. Analisis beban dorong dilakukan dalam dua tahap, yang pertama struktur diberi beban gravitasi (kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi). Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi non-linier. Selanjutnya analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral yang diberikan secara monotonic bertahap. Pola beban lateral minimal dua buah setiap arahnya sesuai ketentuan FEMA agar diperoleh kondisi yang paling kritis. [11]
3. Intensitas pembebanan lateral ditingkatkan sampai komponen struktur yang paling lemah berdeformasi yang menyebabkan kekakuannya berubah secara signifikan (terjadi leleh dari penampang). Kekakuan penampang yang mengalami leleh pada model akan dimodifikasi untuk mengantisipasi perilaku pasca leleh, selanjutnya model struktur yang dimodifikasi diberi pembebanan kembali, baik dengan control beban atau kontrol lendutan menggunakan pola beban yang sama.

4. Langkah ke-3 di atas diulang sebanyak jumlah komponen yang mencapai kondisi batas kekuatannya (leleh). Sebagai catatan, meskipun intensitas pembebanan secara bertahap meningkat tetapi pola beban yang diberikan tetap sama untuk setiap tahapan, meskipun FEMA juga memperbolehkan menggunakan alternatif lain yaitu pola beban adaptive.
5. Untuk setiap tahapan beban, gaya dalam dan deformasi elastis maupun plastis dihitung dan direkam. Gaya dan deformasi untuk semua tahapan beban sebelumnya akan terakumulasi untuk menghasilkan gaya dan deformasi total (elastis dan plastis) dari semua komponen pada semua tahap pembebanan.
6. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik control pada atap.
Note: Langkah 3 - 6 dilakukan secara sistematis dan otomatis oleh program komputer yang mempunyai kemampuan untuk analisa struktur statik non-linier atau pushover, dalam hal ini adalah SAP2000. Prosesnya melalui iterasi yang berulang sampai diperoleh keseimbangan pada gaya-gaya internalnya. Kadang-kadang iterasinya dapat memakan waktu lama tanpa mencapai konvergen, hal tersebut umumnya menunjukkan kondisi struktur yang mencapai keruntuhan, bila belum maka control perpindahan dalam analisis kadang membantu menyelesaikan problem tersebut.
7. Perpindahan titik control versus gaya geser dasar untuk setiap tahapan beban di plotkan untuk menggambarkan respons perilaku non-linier struktur yaitu kurva pushover. Perubahan kemiringan dari kurva tersebut menunjukkan adanya leleh pada komponen.
8. Kurva pushover selanjutnya digunakan untuk menentukan target perpindahan.
9. Selanjutnya akumulasi gaya dan deformasi dievaluasi pada target perpindahan untuk mengetahui kinerja setiap komponen.
 - a. Jika salah satu (a) gaya perlu dalam aksi atau komponen atau elemen yang dikontrol gaya, atau (b) besarnya deformasi yang terjadi dalam aksi, komponen atau elemen yang dikontrol deformasi, melebihi nilai-nilai yang ditetapkan maka dianggap kinerjanya tidak memenuhi

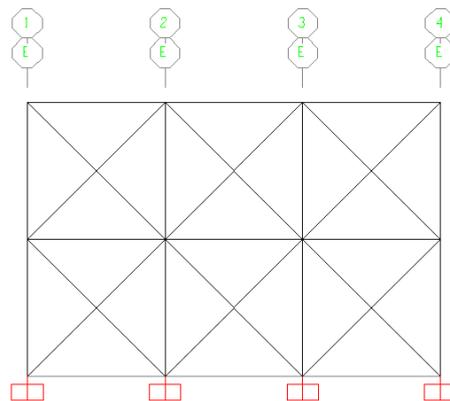
syarat. Note: Langkah 9 dan 10 dilakukan otomatis oleh program komputer, dan hasilnya dapat berupa grafik atau tabel yang menyajikan kondisi setiap komponen.

Deskripsi Bangunan Rencana

Sistem lantai adalah beton bertulang dengan tebal 12 cm, dengan balok anak setiap jarak 3 m (typical). Balok anak terdiri dari profil WF600 sebagai sistem struktur sederhana (simple beam). Hubungan balok dengan lantai diberi tulangan angkur sehingga lantai dapat dianggap sebagai diagfragma kaku pada bidang horizontal. Selanjutnya struktur akan dianalisis sebagai analisa struktur 3D.



Gambar 5. Elevasi Portal MRF



Gambar 6. Elevasi Portal CBF

Kontrol Drift

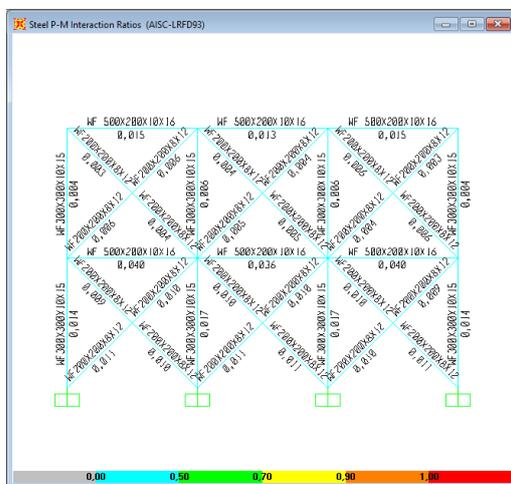
1) Perpindahan Maksimum Struktur MRF

No	Lantai Tingkat	Tinggi Tingkat	Simpangan Terjadi (m)	Simpangan Ijin (m)	Ket.
1	Lantai Atap	3	0,0003	0,075	OK
2	Lantai 1	3	0,00021	0,075	OK
3	Lantai Dasar	3	0	0,075	OK

Gambar 7. Tabel Perpindahan MRF

No	Lantai Tingkat	Tinggi Tingkat	Simpangan Terjadi (m)	Simpangan Ijin (m)	Ket.
1	Lantai Atap	3	0,002528	0,075	OK
2	Lantai 1	3	0,00180759	0,075	OK
3	Lantai Dasar	3	0	0,075	OK

Gambar 8. Tabel Perpindahan CBF



Gambar 9. PM Ratio Portal MRF

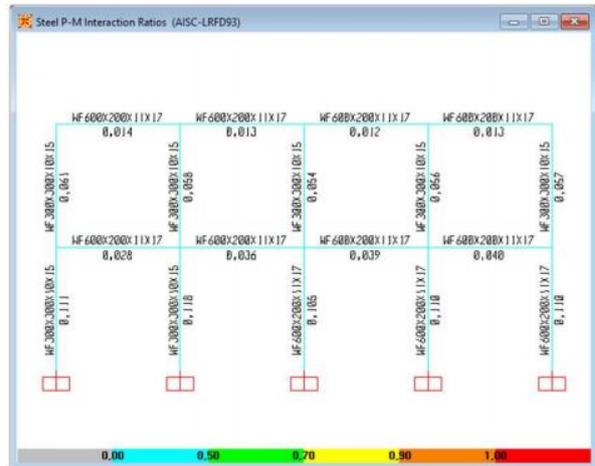
Dari hasil Analisa elastis linear maka didapatkan simpangan antar lantai yang disajikan pada table berikut :

2) Perpindahan Maksimum Struktur CBF

Dari hasil Analisa elastis linear maka didapatkan simpangan antar lantai yang disajikan pada table berikut : Dari perhitungan diatas maka dapat dilihat bahwa kedua struktur telah memenuhi persyaratan simpangan antar lantai maupun simpangan maksimum.

Hasil Perencanaan Struktur Standar

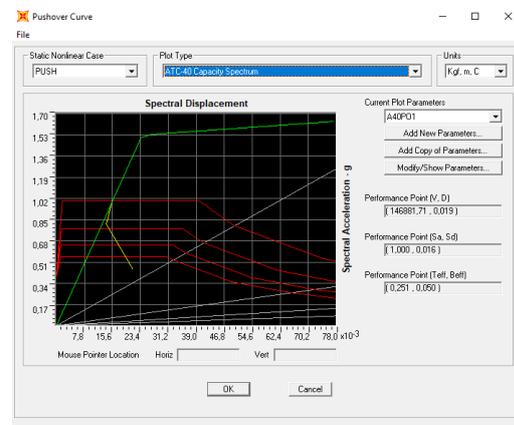
Dalam program SAP 2000 telah menyediakan opsi dalam perencanaan baja dalam code internasional yaitu : AISC – ASD 1989 , AISC – LRFD 1993, AASHTO – LRFD 1997, CAN/CSA-S16.1-94 1995, BS5950 1990, CEN 1992. Dalam perencanaan menggunakan AISC LRFD 1993 yang cukup relevan dengan standar SNI 1729 – 2002. Hasilnya dijabarkan sebagai berikut.



Gambar 10. PM Ratio Portal CBF

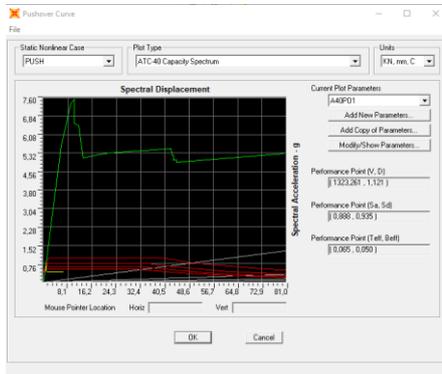
Waktu Getar Alami Struktur Konfigurasi bangunan baja yang memenuhi kriteria LRFD akan dianalis dengan beban dorong static menggunakan SAP2000 sesuai uraian didepan. Sendi platis memakai kurva Beban-Lendutan Umum menurut FEMA 273/356 yang dihitung berdasarkan profil baja yang digunakan dan dapat secara otomatis dihitung oleh program komputer. [7]

Hasil Analisa Pushover MRF



Gambar 11. Grafik Pushover MRF

Dari hasil analisis pushover diperoleh grafik pushover yakni hubungan antara base shear dan roof displacement dan grafik kapasitas spectrum dari ATC-40 yang menggambar kinerja dari struktur yang ditinjau. [7]



Gambar 12. Grafik Pushover CBF

Pembahasan Analisa

Dari Diagram Pushover Disimpulkan:

Base Shear Performance = 1468,8 KN

Displacement = 0,019 m

Periode Efektif = 0,251 s

Redaman Efektif = 5%

Dari Output Displacement didapat simpangan terbesar = 19 mm.

Simpangan Izin = $0,025 * H = 0,025 * 3000 = 75 \text{ mm}$

$\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK)

Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 0,019 / 0,009 = 2,1$

Performance Point terdapat pada step ke 4

Hasil Analisa Pushover CBF

Dari hasil analisis pushover diperoleh grafik pushover yakni hubungan antara base shear dan roof displacement dan grafik kapasitas spectrum dari ATC-40 yang menggambar kinerja dari struktur yang ditinjau.

Pembahasan Analisa

Dari Diagram Pushover Disimpulkan:

Base Shear Performance = 1323 KN

Displacement = 1,121 mm

Periode Efektif = 0,065 s

Redaman Efektif = 5%

Dari Output Displacement didapat simpangan terbesar = 1,121 mm

Simpangan Izin = $0,025 * H = 0,025 * 3000 = 75 \text{ mm}$

$\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK)

Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 1,121 / 0,7 = 1,6$

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan Struktur MRF dan CBF dengan Analisa pushover maka disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah melakukan analisa struktur MRF didapat Base Shear Performance = 1468,8 KN, Displacement = 0,019 m, Periode Efektif = 0,251 s, Redaman Efektif = 5%, Dari Output Displacement didapat simpangan terbesar = 19 mm, Simpangan Izin = $0,025 * H = 0,025 * 3000 = 75 \text{ mm}$. $\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK), Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 0,019 / 0,009 = 2,1$. Performance Point terdapat pada step ke 4
2. Setelah melakukan analisa struktur CBF didapat Base Shear Performance = 1323 KN, Displacement = 1,121 mm, Periode Efektif = 0,065 s, Redaman Efektif = 5%, Dari Output Displacement didapat simpangan terbesar = 1,121 mm, Simpangan Izin = $0,025 * H = 0,025 * 3000 = 75 \text{ mm}$. $\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK). Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 1,121 / 0,7 = 1,6$
3. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur. Dengan demikian sejak awal pemilik bangunan, insinyur perencana maupun pemakai mendapat informasi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa.

Saran

Dalam perancangan struktur dengan metode *Pushover*, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk mengantisipasi keruntuhan bangunan secara keseluruhan akibat terjadinya sendi plastis pada kolom maka perlu dilakukan tindakan teknis dalam upaya peningkatan kekakuan kolom pada lantai dasar dengan cara memasang dinding geser setempat.
2. Perlu dicoba dengan variasi pemodelan bentuk dan jenis struktur yang lain.
3. Perlu diteliti kembali tingkat kinerja struktur berdasarkan metode-metode lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik mengenai perilaku struktur terhadap gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI – 1726 – 2002, “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung”,

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah,
April 2002

- [2] BSN. 2013. SNI 2847:2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- [3] ATC-33 Project.(1997a). “FEMA 273 – NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings” , Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.
- [4] ATC-33 Project.(1997b) “FEMA 274 – NEHRP Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings” , Building Seismic Safety Council, Washington D.C.
- [5] ATC-55 Project.(2004). “FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis
- [6] Dewabroto Wiryanto. 2011). “Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. Universitas Pelita Harapan: Jakarta.
- [7] Applied Technology Council.(1996). “ ATC 40 - Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Redwood City, California, U.S.A.
- [8] Satyarno Irman, Nawangalam Purbolaras, Pratomo Indra. 2012. Belajar SAP 2000. Zamil Publishing: Yogyakarta.
- [9] Dewobroto Wiryanto. 2007 “Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000”.
- [10] Afandi R.N. 2010. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis
- [11] Pushover Menggunakan Program Sap 2000. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.