

COMPARISON OF MRF AND CBF STRUCTURAL RESPONSE TO EARTQUAKE IN OFFICE BUILDING SURABAYA

Adi Nugroho Santoso ^[1], Sumaidi ^[2]

^[1] Student, Civil Engineering Department, UPN Veteran Jawa Timur, Indonesia

^[2] Lecturer, Civil Engineering Department, UPN Veteran Jawa Timur, Indonesia

Email: adinugrohosantoso200@gmail.com, sumaidiwijaya@gmail.com

Received: 18 May 2021 / Accepted: 14 July 2021

DOI [10.28932/jts.v18i1.3623](https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.3623)

How to cited this article:

Santoso, A.N., Sumaidi, (2022). Perbandingan Respon Struktur MRF dan CBF Terhadap Gempa pada Gedung Perkantoran Surabaya. Jurnal Teknik Sipil, 18(1), 152–165. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.3623>

ABSTRACT

Indonesia is a country that prone earthquakes. Therefore, knowledge of earthquake-resistant building construction is needed in reducing the risk of damage caused by earthquakes. There are several methods of earthquake-resistant construction planning, one of which is the pushover analysis method. Pushover is a nonlinear static analysis method in which the structure is subjected to gravity loading and displacement-controlled lateral loads which continue to increase through elastic and inelastic behavior until the final condition. One of the popular construction materials in structural planning is steel construction, which has a uniform structure, lightweight, strong, and easy to work with. In modeling earthquake-resistant structures, several popular models are the MRF and CBF models. MRF is a structural configuration model configured on beams that are firmly connected to columns. Based on a rigid beam-column connection, the moment frame cannot be moved laterally without bending the beam or column depending on the connection geometry. Results The case study on the comparison of the two structural models concluded that in the design of earthquake-resistant steel structures using the pushover method, it was found that the MRF structure had higher ductility than the CBF, namely 2.1:1.6.

Keywords: Concentrically Braced Frame, Earthquake, Moment Resisting Frame, Pushover Analysis.

PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR MRF DAN CBF TERHADAP GEMPA PADA GEDUNG PERKANTORAN SURABAYA

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 elastis dan inelastis 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: *Concentrically Braced Frame, Gempa, Moment Resisting Frame, Pushover Analysis.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering dilanda bencana gempa. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak diantara tiga sirkum bumi yaitu sirkum Pasifik, Eurasia, dan Australia. Dalam waktu 5 tahun terakhir, Indonesia telah dilanda gempa besar diantaranya gempa bumi Jogjakarta pada tahun 2020, gempa bumi di Palu pada tahun 2019, dan gempa bumi di Malang pada tahun 2021. Maka dari itu, diperlukan suatu desain yang tepat untuk menghindari kegagalan struktur akibat gaya gempa yang akan terjadi.

Dalam upaya mengantisipasi kegagalan struktur yang terjadi, praktisi dan peneliti teknik sipil di dunia telah menetapkan filosofi kinerja struktur yang terdiri dari:

a. *Operational Level:*

Pada kinerja *operational level*, bangunan diharapkan tidak mengalami kegagalan dalam elemen struktural dan elemen non struktural saat gempa terjadi. Bangunan pada level kinerja ini tidak memiliki resiko membahayakan manusia didalamnya. (ATC - 40, 1996)

b. *Immediate Occupancy:*

Pada kinerja *immediate occupancy*, bangunan diharapkan tidak mengalami kegagalan dalam elemen struktural dan mengalami kerusakan ringan pada elemen non struktural saat gempa terjadi. Bangunan pada level kinerja ini tidak memiliki resiko membahayakan manusia didalamnya. (ATC - 40, 1996)

c. *Life Safety:*

Pada kinerja *life safety*, bangunan diharapkan hanya mengalami kerusakan kecil dalam elemen struktural dan mengalami kerusakan ringan pada elemen non struktural saat gempa terjadi. Bangunan pada level kinerja ini memiliki resiko rendah membahayakan manusia didalamnya. (ATC - 40, 1996)

d. *Collapse Prevention:*

Pada kinerja *collapse prevention*, bangunan mengalami kerusakan cukup besar dalam elemen struktural dan mengalami kerusakan pada elemen non struktural saat gempa terjadi. Bangunan pada level kinerja ini tidak memperhitungkan kerusakan elemen non struktural, kecuali komponen tersebut cukup berat. Bangunan tingkat ini dipilih karena biaya pembangunannya dapat ditekan dengan murah. (ATC - 40, 1996)

Diperlukan pengkajian sistem struktur, sehingga dapat diketahui sistem struktur yang terbaik dalam memikul gaya gempa yang terjadi. Sistem struktur yang ditinjau pada penelitian ini adalah struktur baja *Moment Resistant Frame* (MRF) sebagai sistem struktur eksisting dan *Concentrically Braced Frame* (CBF) sebagai sistem struktur pembanding.

Kinerja struktur *Moment Resisting Frame* dipengaruhi oleh hubungan balok dan kolom yang dihubungkan secara kaku sehingga tiap sambungan ikut menanggung momen yang terjadi. Kinerja struktur *Concentrically Braced Frame* dipengaruhi oleh *bracing* sebagai *connector* antar kolom sehingga struktur tersebut bersifat rangka batang. Sambungan diharapkan gagal terlebih dahulu dibandingkan dengan balok dan kolomnya supaya dapat dilakukan antisipasi pada kegagalan struktur yang terjadi. Maka dari itu, dibuatlah penelitian untuk melihat respon struktur yang terjadi pada struktur baja yang didesain dengan kedua sistem struktur tersebut.

Melalui penelitian ini, dengan mengetahui perbandingan kinerja kedua sistem struktur baja dapat dijadikan masukan atau pertimbangan bagi para perencana struktur baja dalam pengambilan keputusan perencanaan struktur baja tahan gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisa *Pushover*

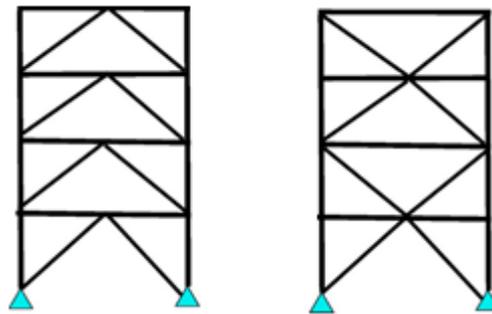
Analisa *pushover* adalah suatu prosedur analisis statik nonlinear yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar struktur dapat berdeformasi secara inelastik sebelum terjadinya keruntuhan (FEMA 356: (2000), 2000). Prosedur analisis dilakukan dengan permodelan struktur yang hendak dianalisis pada program komputer, kemudian menganalisis deformasi yang terjadi akibat beban kerja. Selanjutnya, pola gaya lateral diaplikasikan pada struktur sebagai simulasi atas pergerakan gaya gempa di dasar tanah, dan deformasi dapat dihitung. Gaya lateral yang telah diaplikasikan kemudian ditingkatkan secara bertahap untuk mengetahui hubungan antara gaya lateral dengan deformasi yang ditimbulkan akibat beban lateral tersebut. Hasil dari analisis ini adalah faktor daktilitas struktur dan *performance point* dari struktur. (Sandhi & Ari , 2018)

2.2. *Concentrically Braced Frame*

Concentrically braced frame adalah salah satu konfigurasi struktur baja yang cukup populer untuk mengantisipasi gaya gempa pada daerah dengan frekuensi gempa tinggi. Konsep dari sistem struktur ini adalah setiap elemen struktur (*brace*, balok, kolom) bertemu pada satu titik sehingga deformasi elastis yang diharapkan pada CBF hanya

berpusat pada deformasi aksial (tarik/tekan), dimana hal ini menjadi alasan utama mengapa CBF memiliki kekakuan yang tinggi terhadap gaya gempa. Disamping itu, terdapat ruang terbuka di antara *braced* juga cukup menarik bagi arsitek dan pemilik gedung. (Setiawan, 2008)

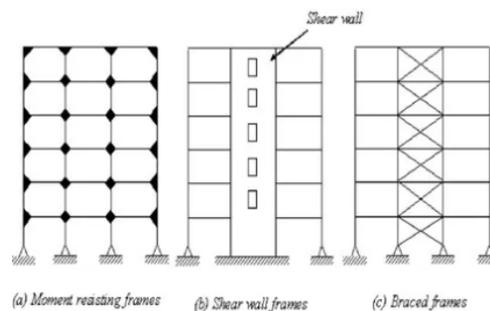
Terdapat dua tipe struktur CBF seperti pada Gambar 1, yaitu *Chevron* dan *X-Bracing* yang merupakan pilihan umum dalam mendesain struktur CBF. *Chevron braced frame* adalah struktur dimana elemen struktur *braced* bertemu pada titik di tengah bentang balok sehingga membentuk *V-Shape/Inverted V-Shape*. *X-Bracing Frame* adalah struktur dimana elemen struktur *braced* saling menyilang dan bertemu pada tengah bentang sehingga membentuk huruf X. (Setiawan, 2008)



Gambar 1. *Chevron Braced Frame* (left); *X-Bracing Frame* (right)

2.3. *Moment Resisting Frame*

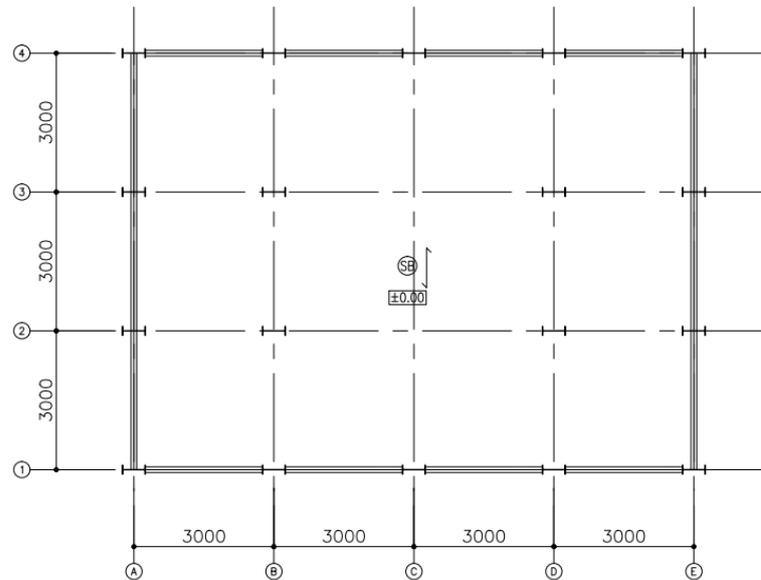
Konsep dari *Moment Resisting Frame* (MRF) dengan beberapa contoh seperti pada Gambar 2, adalah struktur yang terdiri dari elemen balok dan kolom. Balok dan kolom tersambung secara *rigid* (dapat menerima momen). Ketahanan terhadap gaya gempa bergantung pada distribusi momen setiap elemen struktur yang bekerja. Oleh karenanya tiap elemen struktur perlu didesain mampu menahan momen yang bekerja. Disamping itu, elemen struktur juga perlu didesain terhadap gaya geser yang terjadi. (Setiawan, 2008)



Gambar 2. *Moment Resisting Frame*

3. METODOLOGI

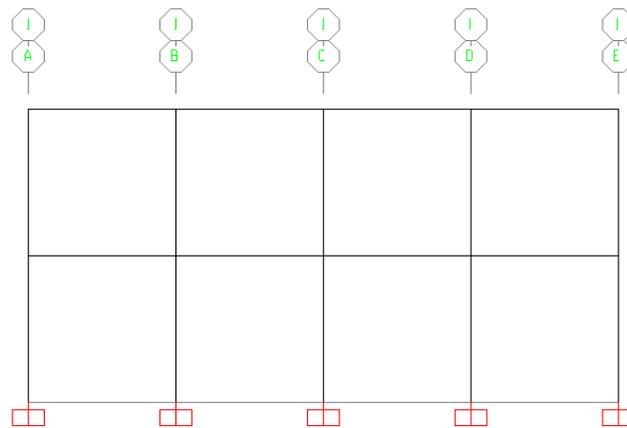
- a. Nama Proyek : Gedung Perkantoran 2 Lantai Surabaya
- b. Lokasi : Rungkut Madya no 32, Surabaya
- c. Fungsi : Gedung Perkantoran
- d. Jenis Tanah : Tanah Lunak
- e. Dimensi : 9 meter @ 3 meter



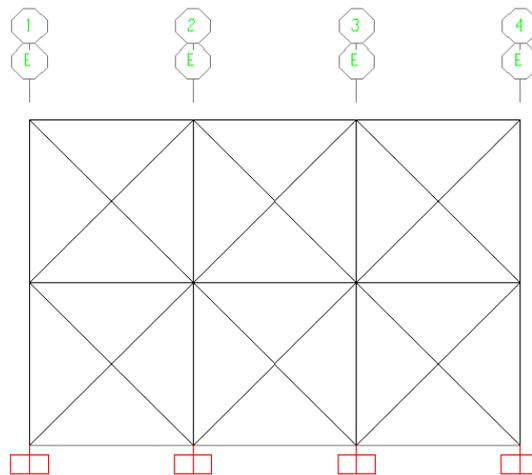
Gambar 3. Denah eksisting gedung penelitian

Bangunan didirikan dengan menggunakan sistem struktur baja yang dikombinasikan dengan sistem lantai pelat beton bertulang setebal 12 cm. Balok direncanakan menggunakan profil WF 600.200.11.17 sebagai struktur statis tertentu (*simple beam*). Kolom baja direncanakan menggunakan profil WF 300.150.6,5.9. Mutu baja direncanakan menggunakan BJ37 dan mutu beton direncanakan menggunakan $F_c'25$. Hubungan antara balok dan pelat menggunakan *shear connector* sehingga pelat dapat berperan sebagai diafragma kaku dalam menahan gaya horizontal akibat gempa. Pada sistem struktur pembanding yaitu *Concentrically Braced Frame*, digunakan balok baja WF 500.200.10.16 sebagai batang tarik/tekan. Sedangkan *bracing* menggunakan WF 200.100.5,5.8 yang diidealisasikan sebagai batang tarik. Penentuan dimensi profil pada struktur CBF didasarkan agar massa struktur pada struktur pembanding terhadap struktur eksisting dapat mendekati sama, sehingga hasil penelitian dapat lebih obyektif.

Penelitian ini berdasarkan data sekunder yang dilakukan secara numerik. Idealisasi struktur Gambar 4 dan Gambar 5, dengan analisa struktur dihitung menggunakan program bantu analisa struktur ETABS 2016 dan program pengolahan data Microsoft Excel. ETABS 2016 merupakan program berbasis metode analisa matriks elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan analisa numerik yang didasarkan pada pendekatan analisa struktur aktual dan dihitung dengan perhitungan matrik yang berdasarkan *Degree of Freedom (DOF)* struktur tersebut. Penggunaan metode elemen hingga cukup baik untuk diaplikasikan pada program komputer karena program komputer didasarkan pada program matrik.



Gambar 4. Idealisasi Struktur MRF Gedung Perkantoran Surabaya



Gambar 5. Idealisasi Struktur CBF Gedung Perkantoran Surabaya

Tahapan awal pada penelitian ini diawali dengan *preliminary design* yang terdiri dari pendefinisian dimensi profil baja dan definisi mutu bahan yang digunakan.

Selanjutnya, dilakukan pengkajian perbedaan antara *Moment Resisting Frame* (MRF) dan *Concentrically Braced Frame* (CBF). Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui batasan batasan dalam kedua jenis metode sistem struktur. Selanjutnya, dilakukan permodelan struktur gedung yang ditinjau. Permodelan struktur terdiri dari permodelan balok, kolom, pelat, dan elemen penunjang lainnya. Permodelan gedung ini mengacu pada peraturan baja Indonesia SNI 1729:2020 “Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural” (SNI 1729:2020, 2020).

Pembuatan model struktur bangunan dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari gambar DED. Oleh karena itu dalam pemodelannya harus mengikuti konsep sebagai berikut:

a. Elemen-elemen Portal dan Pelat Lantai

Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan semua jenis dan ukuran penampang elemen portal yang digunakan. Setelah tahapan ini selesai, masing - masing elemen portal harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran penampang yang dibuat. Tahapan kedua adalah pembuatan pelat yang merupakan satu kesatuan struktur bangunan.

b. *Diaphragm Constraint*

Tahapan ini dilakukan secara manual dalam ETABS 2016. *Diaphragm constraint* ini menyebabkan semua *joint* pada satu lantai diberi *constraint* bergerak secara bersamaan sebagai diafragma planar yang bersifat kaku (*rigid*) terhadap semua deformasi yang mungkin terjadi. Asumsi *diaphragm constraint* sangat tepat untuk fenomena terbentuknya *rigid floor* di mana lantai struktur bergerak bersamaan ketika suatu struktur mengalami gempa. (Dewobroto, 2002)

c. Perletakkan

Tahapan yang dilakukan adalah mendefinisikan tipe perletakkan sesuai dengan kondisi aktual yang ada di lapangan (*engineering judgement*). Pada penelitian ini, pondasi yang digunakan adalah pondasi *Spun Pile*. Pertemuan kolom dengan *Pile Cap* dihubungkan secara monolit, sehingga perletakkan dapat dikategorikan sebagai perletakkan jepit, karena pondasi dianggap menanggung distribusi momen dari kolom di atasnya.

Tahapan selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan struktur yang terdiri dari pembebanan gravitasi dan perhitungan pembebanan gempa. Perhitungan gravitasi dihitung dengan mengacu pada SNI 1727:2013 “Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur lain”. Sedangkan, pembebanan gempa dihitung dengan mengacu pada SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 5.3 tentang faktor beban dan kombinasi beban. Pada kombinasi pembebanan gempa, mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 4.2.2 lalu dibandingkan dengan kombinasi pembebanan pada SNI 1726:2012 pasal 4.2.2.

Metode perhitungan beban gempa dalam penelitian ini menggunakan respons struktur sebagai perhitungan gaya gempa dasar yang terjadi. *Pushover analysis* bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur yang terjadi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan gaya gempa statik ekuivalen sebagai kontrol terhadap gaya gempa dasar dari perhitungan respons spektrum untuk menentukan faktor skala yang diperlukan dalam perhitungan gaya gempa respons spektrum supaya gaya yang dihasilkan lebih dari 100% perhitungan gaya gempa statik ekuivalen. (Astawa, Tavio, & Raka, 2011)

Perhitungan beban gempa, sebagai berikut:

1. Beban Mati:

Lantai : 120 kg/m²
Atap : 100 kg/m²

2. Beban Hidup (SNI 1727:2013, 2013):

Lantai : 250 kg/m²
Atap : 120 kg/m²

3. Gaya Gempa:

Nama Kota	: Surabaya (P)		
Bujur / Longitude	: 112.4412 Degrees		
Lintang / Latitude	: -7.1455 Degrees		
Kelas Situs	: SE - Tanah Lunak		
PGA	= 0.323804 g	PGAm	= 0.502671 g
Ss	= 0.704649 g	S1	= 0.304513 g
TL	= 20.000000 detik	Fa	= 1.372561
Fv	= 2.781947	Sms	= 0.967174 g
Sm1	= 0.847140 g	Sds	= 0.644783 g
Sd1	= 0.564760 g	T0	= 0.175178 detik
Ts	= 0.875891 detik		

Tahapan selanjutnya dilakukan analisa struktur gedung yang bertujuan untuk mengetahui besar simpangan yang terjadi dan hasil analisa *pushover*.

4. HASIL ANALISIS

4.1. Kontrol *Drift*

4.1.1. Simpangan Maksimum Struktur MRF

Berdasarkan hasil analisa gempa respon spektrum, didapatkan hasil simpangan maksimum antar lantai pada sistem struktur MRF pada gedung yang ditinjau seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Simpangan Maksimum antar lantai struktur MRF

No.	Lantai Tingkat	Tinggi Tingkat (m)	Simpangan Terjadi (m)	Simpangan Ijin (m)	Keterangan
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

4.1.2. Simpangan Maksimum Struktur CBF

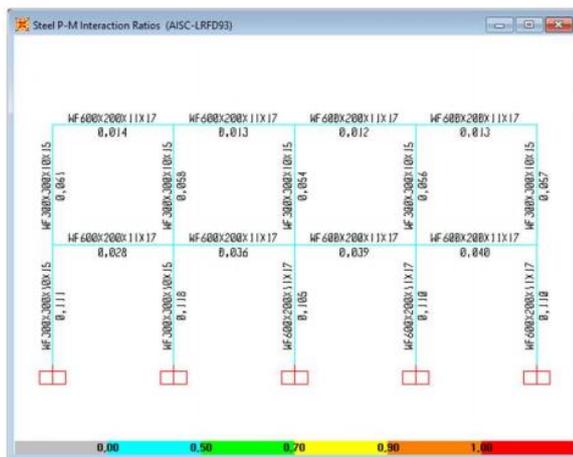
Berdasarkan hasil analisa gempa respons spektrum, maka didapatkan hasil simpangan maksimum antar lantai pada sistem struktur CBF pada gedung yang ditinjau seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Simpangan Maksimum antar lantai struktur CBF

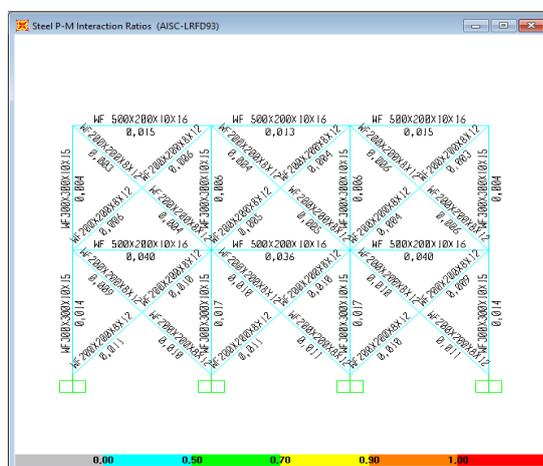
No.	Lantai Tingkat	Tinggi Tingkat (m)	Simpangan Terjadi (m)	Simpangan Ijin (m)	Keterangan
1	Lantai atap	3	0,0003	0,075	Ok
2	Lantai 1	3	0,00021	0,075	Ok
3	Lantai dasar	3	0	0,075	Ok

4.2. Kontrol Kapasitas Profil Baja

Berdasarkan hasil analisa linear struktur, maka dilakukan kontrol kapasitas profil baja yang digunakan untuk mengetahui apakah profil tersebut mampu menanggung berat yang ditimbulkan oleh berat sendiri elemen struktur dan beban layan gedung. Program SAP2000 memiliki fitur dalam melakukan *checking* kapasitas profil baja yang mengacu pada AISC 341 yang merupakan acuan peraturan SNI 1729 – 2020 di Indonesia (SNI 1729:2020, 2020). Hasil kontrol kapasitas dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Kontrol kapasitas profil baja struktur MRF

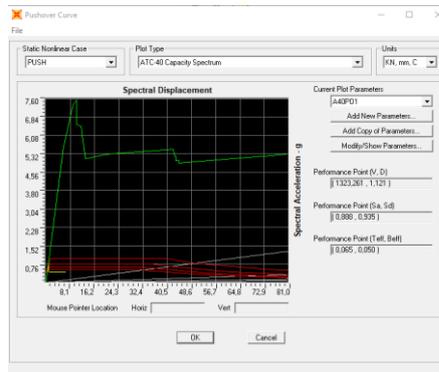


Gambar 7. Kontrol kapasitas profil baja struktur CBF

4.3. Hasil Analisa Pushover

Berdasarkan hasil analisa statik *nonlinear* dengan *Pushover Analysis* didapatkan hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan maksimum struktur yang mengacu pada peraturan *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building (ATC-40)* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja dari struktur.

4.3.1. Hasil Analisa *Pushover* MRF



Gambar 8. Grafik hasil analisa *Pushover* MRF

4.3.2. Pembahasan Analisa *Pushover* MRF

Berdasarkan grafik analisa *pushover* Gambar 8, dapat diketahui:

- a. *Base Shear Performance* : 1468,8 kN
- b. *Displaement* : 19 mm
- c. *Effective Period* : 0,251 dt
- d. *Effective Damping* : 5%
- e. Faktor Daktilitas : $\Delta_{max} / \Delta_1 = 0,019 / 0,009 = 2,1$

Dilakukan kontrol terhadap *displacement* yang terjadi menurut Persamaan 1, yang menurut peraturan AISC 7-10 mensyaratkan bahwa simpangan izin pada struktur sebesar 2,5% dari tinggi struktur.

$$\Delta_{izin} = 0,025 \times H \quad (1)$$

Keterangan:

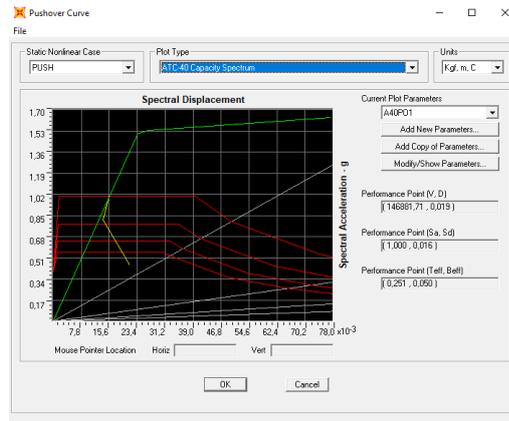
Δ_{izin} : Simpangan yang diizinkan

H : Tinggi struktur

$$\Delta_{izin} = 0,025 \times 3000 = 75 \text{ mm} > 19 \text{ mm (OK!!)}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa struktur gedung dengan menggunakan sistem MRF cukup kuat dalam menahan gaya gempa yang terjadi.

4.3.3. Hasil Analisa *Pushover* CBF



Gambar 9. Grafik hasil analisa *Pushover* CBF

4.3.4. Pembahasan Analisa *Pushover* CBF

Berdasarkan grafik analisa *pushover* diatas, maka dapat diketahui :

- a. *Base Shear Performance* : 1323 kN
- b. *Displacement* : 1,121 mm
- c. *Effective Period* : 0,065 dt
- d. *Effective Damping* : 5%
- e. Faktor Daktilitas : $\Delta_{max} / \Delta_1 = 1,121 / 0,7 = 1,6$

Dilakukan kontrol terhadap *displacement* yang terjadi menurut Persamaan 1, yang menurut peraturan AISC 7-10 mensyaratkan bahwa simpangan izin pada struktur sebesar 2,5% dari tinggi struktur.

$$\Delta_{izin} = 0,025 \times 3000 = 75 \text{ mm} > 1,125 \text{ mm (OK!!)}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa struktur gedung dengan menggunakan sistem CBF cukup kuat dalam menahan gaya gempa yang terjadi.

Tabel 3. Perbandingan Output Hasil Analisis

Keterangan	MRF	CBF
Base Shear (kN)	1468,8 kN	1323 kN
Displacement (mm)	19 mm	1,11 mm
Periode Efektif (s)	0,251 s	0,065 s
Redaman Efektif (%)	5%	5%
Daktilitas	2,1	1,6

5. DISKUSI

Dari hasil analisa yang telah dibahas pada bab sebelumnya, dapat dilakukan pembahasan mengenai efektifitas penggunaan CBF pada struktur baja di Surabaya. Berdasarkan hasil analisa terhadap *maximum drift* antar tingkat dapat diketahui bahwa *drift* yang dihasilkan oleh CBF lebih kecil apabila dibandingkan dengan *drift* yang dihasilkan oleh MRF. Hal ini disebabkan karena CBF memiliki elemen struktur tambahan yaitu elemen struktur *bracing* yang mampu berperan untuk menahan gempa terlebih dahulu daripada balok dan kolom. Sedangkan elemen balok kolom pada struktur MRF harus menahan gaya gempa dan gaya gravitasi yang terjadi, sehingga beban yang dipikul lebih besar daripada elemen struktur utama pada CBF.

Pada kontrol kapasitas elemen struktur CBF memiliki angka PM yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan elemen struktur MRF. Penyebab utamanya disebabkan juga karena elemen struktur utama MRF memikul beban lebih besar daripada elemen struktur utama CBF.

Pada analisa *pushover* ditunjukkan bahwa MRF memiliki daktilitas lebih besar daripada CBF. Hal ini disebabkan karena MRF memiliki simpangan yang lebih besar hingga pada akhirnya struktur pada level *life safety*, sedangkan CBF memiliki simpangan yang lebih kecil hingga pada akhirnya struktur pada level *life safety*.

Berdasarkan pembahasan diatas, maka penggunaan CBF dinilai dapat lebih efisien dalam menahan gaya gempa yang terjadi (NEHRP 2020, 2020). Alasan yang cukup umum mengapa sistem struktur CBF jarang digunakan apabila dibandingkan dengan frekuensi penggunaan sistem MRF pada struktur baja karena model arsitekturnya yang kurang baik dan menghalangi sirkulasi pada gedung tersebut.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan perhitungan struktur MRF dan CBF pada gedung perkantoran Surabaya, maka dapat 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 = $0,025 \cdot H = 0,025 \cdot 3000 = 75 \text{ mm}$. $\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK). Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 0,019 / 0,009 = 2,1$. *Performance Point* terdapat pada step ke 4 dengan *level performance Immediate Occupancy*.

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 = $0,025 \cdot H = 0,025 \cdot 3000 = 75\text{mm}$. $\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{ijin}}$ (OK). Faktor Daktilitas = $\Delta_{\text{max}} / \Delta_1 = 1,121 / 0,7 = 1,6$ dengan *level performance Immediate Occupancy*.
3. Kesimpulan akhir bahwa MRF memiliki daktilitas lebih tinggi daripada CBF, namun CBF dinilai memiliki kekakuan yang lebih tinggi karena deformasi yang ditimbulkan lebih kecil daripada deformasi yang ditimbulkan MRF.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Astawa, M. D., Tavo, & Raka. (2011). Elemen Struktur Hubungan Balok Beton Pratekan Parsial - Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa yang Handal dan Daktail pada SRPMK. *Indonesian Structural Engineering And Material Symposium*, 1-9.
- ATC - 40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. California: California Seismic Safety Commission.
- Dewobroto, W. (2002). *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*. Jakarta: Dapur Buku.
- FEMA 356: (2000). (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. United States of America : FEMA.
- NEHRP 2020. (2020). *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*. United States of America: National Earthquake Hazard Reduction Programs.
- Purba, H. (2014). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal sesuai SNI 03-1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 710.
- Sandhi, R. D., & Ari, W. (2018). *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design Pada Gedung Fakultas Ilmu Sosial Dan Politik (Fisip) Universitas Brawijaya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- SNI 1727:2013. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1729:2020. (2020). *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.