

## ANALISIS PERILAKU STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA BRESING CANGGAH WANG DENGAN VARIASI EKSENTRISITAS

I Made Sastra Wibawa, I Gede Gegiranang Wiryadi, I Wayan Soma Adi Pratama

*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar*

*Email: gegiranangwiryadi@unmas.ac.id*

**ABSTRAK:** Desain struktur bangunan didasarkan pada fungsi, material, metode konstruksi, tampilan, dan risiko gempa. Fungsi gedung sangat penting karena menentukan beban yang harus ditahan setiap lantai. Adapun struktur gedung yang dianalisis yaitu bangunan dengan 12 lantai berfungsi sebagai apartement yang terletak di kota palu dan berdiri diatas tanah (kelas situs) sedang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur beton dan bresing baja *Canggih Wang* (CW) dengan variasi eksentrisitas dalam menahan beban gempa sebagai bencana yang tak terduga. Model gedung yang akan ditinjau berjumlah lima model gedung dengan struktur beton dan bresing baja, level kinerja ditentukan berdasarkan nilai analisis statik non linier *pushover* dengan metode ATC-40. Berdasarkan analisis program software SAP 2000 dengan analisis statik nonlinear *pushover* dengan metode ATC-40 didapatkan hasil struktur gedung RT (Rangka Terbuka), CW 40% , CW 60%, CW 80%, dan CW 100% memiliki level kinerja yang sama yaitu tergolong ke level kinerja Damage Control (IO) dimana Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa, dan yang paling efisien dalam menerima beban gempa adalah struktur model CW 100% karena dapat menerima gaya geser sebesar 1643,072 kN arah X dan arah Y sebesar 1642,997 kN.

**Kata kunci:** *Kinerja struktur, ATC-40, bresing, canggah wang*

**ABSTRACT:** *The design of building structures is based on function, materials, construction methods, appearance, and earthquake risk. The function of the building is very important because it determines the load that each floor must withstand. The structure of the building analyzed is a building with 12 floors that functions as a shophouse located in the city of Palu and stands on medium ground (site class). This study aims to determine the performance of Canggih Wang (CW) steel concrete and bresing structures with variations in eccentricity in bearing earthquake loads as unexpected disasters. The building models to be reviewed are five building models with concrete structures and steel brakes, the performance level is determined based on the value of non-linear static analysis pushover using the ATC-40 method. Based on the analysis of SAP 2000 software program with nonlinear pushover static analysis using the ATC-40 method, the results of the RT (Open Frame), CW 40%, CW 60%, CW 80%, and CW 100% building structures have the same performance level, namely classified as the Damage Control (IO) performance level where there is a small or insignificant disruption to the structure almost the same when there is no earthquake. and the most efficient in receiving earthquake loads is the 100% CW model structure because it can accept a shear force of 1643.072 kN in the X direction and 1642.997 kN in the Y direction.*

**Keywords:** *Structure performance, ATC-40, bracing, canggah wang*

### PENDAHULUAN

Dalam desain struktur, penilaian kinerja bangunan terhadap gempa menjadi sangat penting untuk memastikan keamana suatu bangunan dan keberlanjutan bangunan tersebut. ATC-40 atau *Seismic Evolution and Retrofit of Concrete Buildings* adalah panduan yang dikembangkan oleh Applied Technology Council yang menawarkan metode evaluasi dan peningkatan kinerja gedung terhadap gempa (ATC-40, 2012). Pedoman ini memiliki kategori kinerja dengan beberapa level kondisi gedung yang bertujuan untuk memberikan gambaran tentang seberapa baik struktur mampu bertahan dan berfungsi setelah mengalami gempa bumi. Kategori ini mencakup mulai dari kondisi operasional, dimana kerusakan signifikan terjadi dan struktur mungkin tidak layak untuk tidak digunakan lagi. Pendekatan berbasis kinerja ini merupakan alternatif analisis yang lebih efektif merancang struktur yang mampu memenuhi kebutuhan keselamatan dan fungsi pasca-gempa (Tubuh et al., 2023).

Struktur paling sederhana yang adalah rangka terbuka yang mana sistem penahan gempa utama terdiri dari balok dan kolom. Struktur rangka terbuka biasanya memiliki kekakuan yang rendah dan jika semakin tinggi bangunan memerlukan dimensi semakin besar (Sudarsana et al., 2021). Seringkali struktur rangka terbuka diberikan perkuatan seperti dinding geser, bresing, maupun dinding pengisi untuk meningkatkan kekakuan dan efisiensi dimensinya (Wiryadi et al., 2024, 2022). Bresing pendek (*knee brace*) atau di bangunan tradisional Bali disebut *Canggih Wang* merupakan pengaku lateral pada join balok kolom (Susila et al., 2012). Sistem ini banyak ditemukan di bangunan-bangunan kayu dan dapat menjadi alternatif perkuatan pada struktur bangunan tinggi (Wiryadi et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Wiryadi et al., (2023) hanya menganalisis perilaku dengan satu variasi pemasangan *Canggih Wang*, sehingga sedikit informasi yang didapatkan. Penelitian bertujuan untuk meninjau kinerja struktur rangka terbuka (RT) yang diberikan perkuatan *canggih wang* (CW) dengan variasi posisi terhadap join balok-kolom yang diperkuat. Kinerja struktur ditentukan berdasarkan analisis *non-linear push over* dan tingkat kinerja berdasarkan ketentuan ATC-40. Hasil yang ditasajikan berupa kurva *push over*, mekanisme terjadinya asendi plastis, dan tingkat kinerja struktur.

### Analisis Statis Nonlinier Pushover

Analisis Pushover digunakan untuk menentukan kekuatan dan kelemahan struktur bangunan dalam menghadapi peristiwa gempa. Menurut peraturan gempa Indonesia, SNI 1726 2019 (BSN, 2019), analisis beban dorong adalah metode non-linear yang mensimulasikan efek gempa pada struktur dengan cara memberikan beban statik yang meningkat secara bertahap hingga struktur mencapai kondisi plastis. Analisis ini dilakukan dengan cara terus-menerus menambah beban lateral pada struktur secara bertahap hingga struktur mencapai deformasi tertentu. Saat beban dinaikkan secara bertahap, bagian tertentu dari struktur akan mulai mengalami deformasi plastis (meleleh) lebih dulu. Jika beban terus ditambah, seluruh struktur akan mengalami perubahan bentuk yang signifikan dan tidak dapat kembali ke bentuk semula hingga mencapai kondisi plastis sepenuhnya.

#### 1. Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode ini menghasilkan kurva kapasitas yang memperhitungkan perilaku inelastis struktur. Kurva kapasitas, hasil analisis pushover diubah menjadi spectrum kapasitas dalam format ADRS melalui persamaan berikut:

$$S_a = \frac{V/W}{a_1} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{atap}}{PF_1 \Phi_{atap,1}} \quad (2)$$

$$PF = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g} \right]}{\left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N w_i / g} \right] \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g}{\sum_{i=1}^N w_i / g} \right]} \quad (3)$$

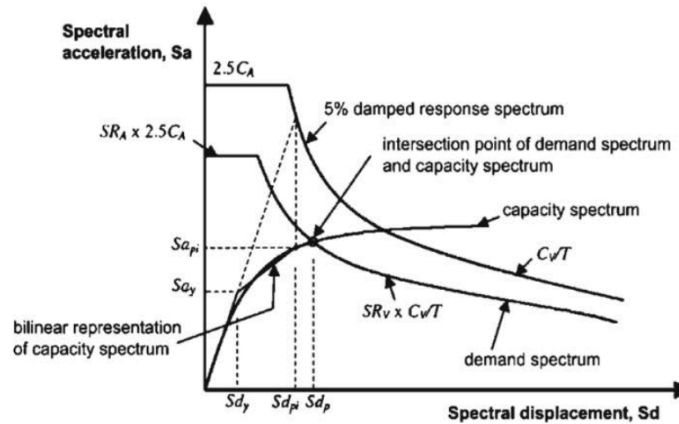
$$a_1 = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N w_i / g} \right]^2}{\left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g}{\sum_{i=1}^N w_i / g} \right]} \quad (4)$$

Dimana:

- PF1 = faktor partipasi ragam untuk ragam
- $a_1$  = koefisien massa ragam untuk ragam ke-1
- $w_i/g$  = massa lantai i
- $\Phi_{i1}$  = perpindahan pada lantai I ragam ke-1
- N = jumlah lantai
- V = gaya geser dasar
- W = berat struktur (DL dan LL tereduksi)
- $\Delta_{atap}$  = perpindahan atap
- $S_a$  = spektrum percepatan
- $S_d$  = spektrum perpindahan

## 2. Performance Point

Pada performance point dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif dari perubahan kekakuan struktur setelah sendi plastis.

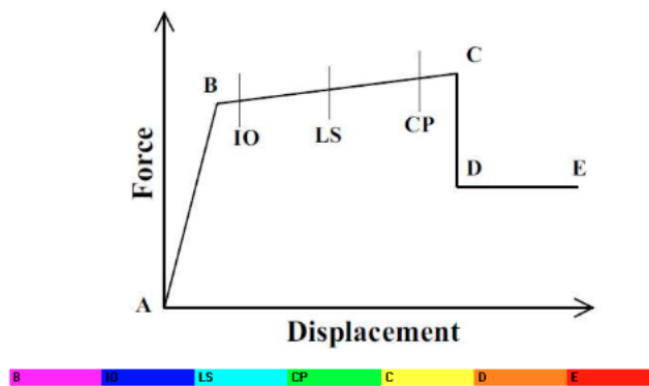


**Gambar 1** Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas  
(Sumber: ATC-40, 2012)

Hasil analisis push over menunjukkan data seperti besarnya pergeseran tingkat (*drift*) dan lokasi sendi plastis yang terbentuk. Metode ATC-40 memerlukan konversi kurva respons spektrum dan kurva kapasitas ke dalam format Spektrum Respons Percepatan-Perpindahan (ADRS).

## 3. Properti Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan posisi leleh pada elemen struktur yang menjadi titik rotasi secara terus-menerus. Pada balok dan kolom yang terjepit atau memiliki hubungan jepit seperti pada struktur rangka terbuka, sendi plastis ditempatkan pada kedua ujungnya. Sedangkan pada bresing yang ditempatkan secara diagonal hanya menerima beban aksial, sehingga sendi plastis ditempatkan ditengah bentang. Sendi plastis akan muncul ketika elemen struktur tersebut berada pada fase plastis. Fase plastis merupakan fase dimana kondisi elastis terlewati, atau desain kapasitas sudah terlewati. Desain kapasitas merupakan desain elemen struktur yang menahan beban-beban rencana berdasarkan standar yang berlaku. Dalam hal ini, beban gempa rencana terlewati sehingga struktur dalam fase plastis hingga mencapai keruntuhan. Dalam fase ini diharapkan struktur masih mampu bertahan atau berdeformasi dan menahan beban tetapi tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba. Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastik adalah sebagai berikut.



**Gambar 2** Kurva Properti Sendi Plastis  
(Sumber: FEMA, 1997)

Tabel 1. Tingkat Kerusakan Struktur Berbasis Sendi Plastis

Ket	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur IO
IO	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil atau tidak berarti pada struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa.
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kerusakan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatannya berkurang.
C	●	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung.
D	●	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse.
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

Sumber: ((FEMA, 1997))

### Kinerja Struktur

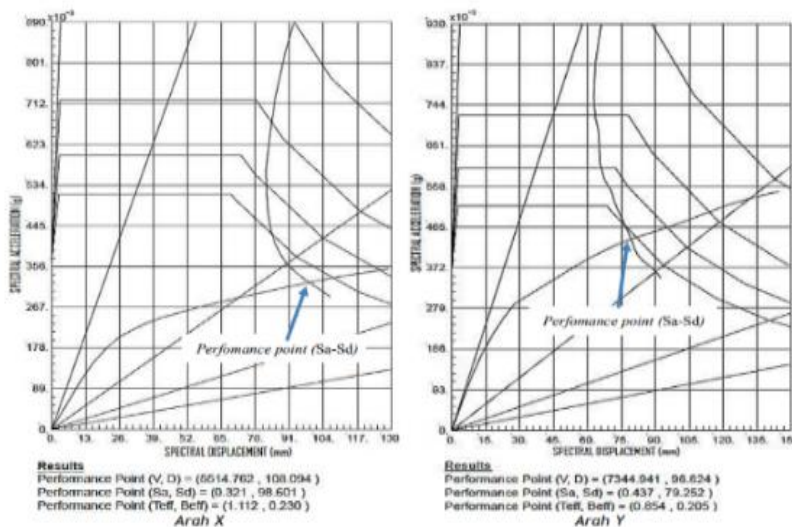
Dalam rekayasa gempa berdasarkan kinerja analisis *pushover* yang dikenal juga sebagai analisis *nonlinier*, disajikan dalam bentuk kurva kapasitas (*capacity*) dan kebutuhan (*demand*). Untuk menentukan batasan-batasan *drift ratio* dan batasan-batasan pada tipe bangunan yang di evaluasi pada titik performanya yaitu berdasarkan ATC 40.

Tabel 2. Batasan *Drift Ratio* Sesuai ATC-40

Parameter	Level Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Dammage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maksimum Total Drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,033
<i>Maksimum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 – 0,015	Tidak Dibatasi	Tidak Dibatasi

(Sumber: ATC-40, 2012)

Pada batasan *Drift Ratio* sesuai ATC-40, parameter level kinerja yang batasannya itu *Maksimum Total Drift* (MTD) dan *Maksimum Inelastic Drift* (MID) dengan 4 kategori level kinerja. Penentuan level kinerja berdasarkan nilai (MTD) 0,01 dan (MID) 0,05 adalah *Immediante Occupancy*, (MTD) 0,01 - 0,02 dan (MID) 0,005 – 0,015 adalah kategori *Dammage Control*, (MTD) 0,02 dan (MID) yang nilainya tidak dibatasi adalah kategori *Life Safety*, (MTD) 0,033 dan (MID) yang nilainya juga tidak dibatasi masuk ke dalam kategori *Structural Stability*. Berikut adalah contoh ilustrasi kurva *pushover* pada spectrum percepatan ATC-40 yang sudah di teliti oleh (Tubuh et al., 2023).

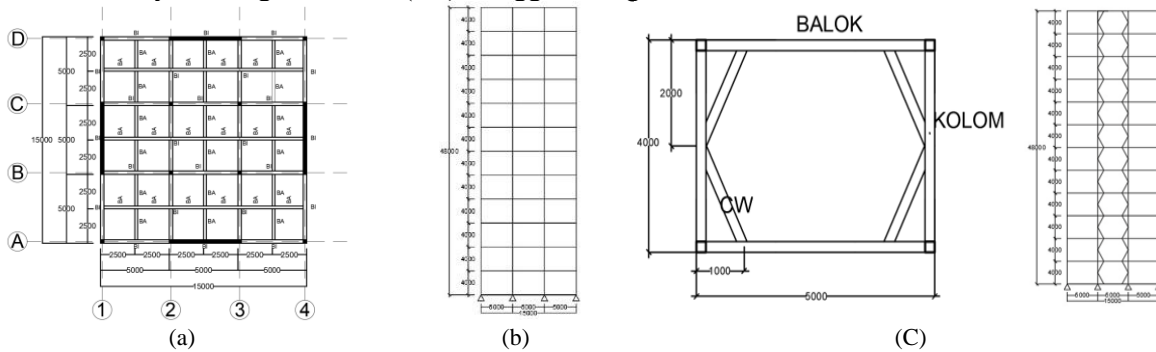


Gambar 3 Kurva Pushover Pada Spectrum percepatan ATC-40

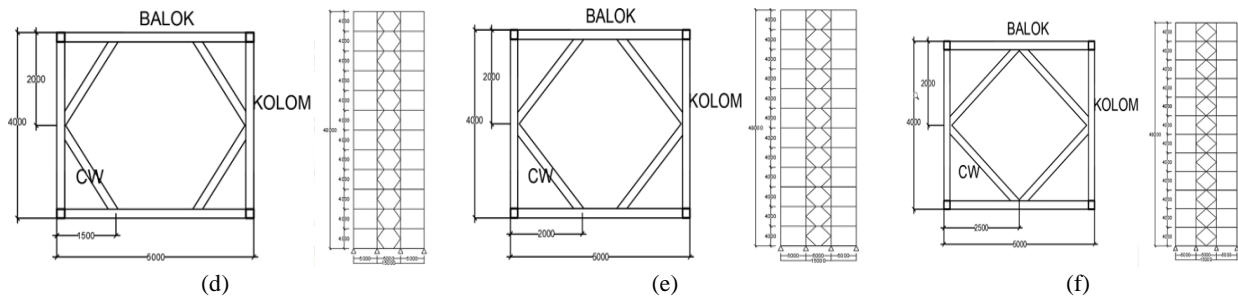
(Sumber: Tubuh et al., 2023)

**Metode Penelitian**

Penelitian sebelumnya menunjukkan keberadaan canggah wang (CW) mampu meningkatkan kekakuan struktur dan menambah kapasitas beban gempa yang dapat diterima (Wiryadi et al., 2023). Tetapi penelitian tersebut masih terbatas pada analisis linier saja. Sehingga pada penelitian ini dilanjutkan untuk analisis non-linier dan variasi ukuran serta penempatan canggah wang. Gedung yang ditinjau memiliki ketinggian 48 m dengan tinggi antar lantai 4 m dan jumlah lantai 12 tingkat, fungsi gedung sebagai apartemen yang berlokasi di Kota Palu. Material yang digunakan adalah Beton dengan mutu 30 MPa dan Baja BJ37, untuk material besi tulangan utama menggunakan BjTS 420 dan material besi tulangan geser menggunakan BjTP 280. Variasi penempatan canggah wang dapat dilihat pada Gambar 5, penentuan persentasi berdasarkan perbandingan jarak canggah wang dari kolom ke tengah balok pada kedua sisinya dengan total bentang balok dimana canggah wang ditempatkan. Seluruh balok, kolom, dan canggah wang diberikan sendi plastis untuk mengetahui perubahan dan distribusi yang terjadi akibat penambahan perkuatan ini. Penamaan model secara berurutan yaitu rangka terbuka (RT), canggah wang CW40%, CW 60%, CW80%, dan CW100%.



**Gambar 4** a) Gambar denah b) Gambar portal struktur rangka terbuka, c) Gambar portal struktur eksentrisitas 40%



**Gambar 5** c) Gambar portal struktur eksentrisitas 60%, d) Gambar portal struktur eksentrisitas 80%, e) Gambar portal struktur eksentrisitas 100%

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Statik Nonlinier Pushover**

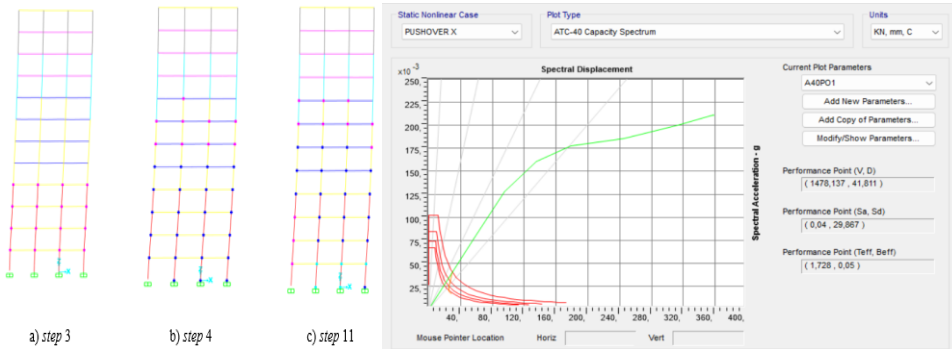
Analisis Pushover menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk memodelkan dan menganalisis seluruh beban, desain hingga analisis pushover. Hasil analisis *pushover* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara perpindahan maksimum suatu titik tertentu pada struktur dan gaya geser total yang bekerja pada dasar struktur. Kurva ini menggambarkan bagaimana struktur berubah dari kondisi elastis (linier) menjadi kondisi plastis (non-linier) hingga mencapai batas kerusakan yang telah ditentukan. Analisis Pushover dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur dan mengidentifikasi bagian-bagian yang perlu diperkuat. Berikut ini adalah tabel hasil analisis *Statik Nonlinear Pushover* dengan program *software SAP2000*.

1. Struktur Rangka Terbuka

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah X pada struktur gedung Rangka Terbuka (R-T) dengan program software SAP 2000, yaitu:

**Tabel 3** Distribusi Sendi Plastis Arah X pada Gedung Rangka Terbuka (R-T)

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	-0,011468	0	1608	0	0	0	0	0	0	0	1608
1	79,988532	2827,447	1608	0	0	0	0	0	0	0	1608
2	132,711169	4690,828	1600	8	0	0	0	0	0	0	1608
3	186,791764	6085,148	1508	100	0	0	0	0	0	0	1608
4	242,253389	6912,81	1472	76	60	0	0	0	0	0	1608
5	324,797223	7569,699	1448	48	109	0	3	0	0	0	1608
6	408,073405	8242,916	1420	52	130	0	6	0	0	0	1608
7	463,942193	8704,32	1392	64	119	27	6	0	0	0	1608
8	463,942233	8701,493	1392	64	119	27	6	0	0	0	1608
9	463,942313	8701,495	1392	64	119	27	6	0	0	0	1608
10	464,022313	8702,523	1392	64	119	27	6	0	0	0	1608
11	464,023793	8702,558	1392	64	119	27	6	0	0	0	1608



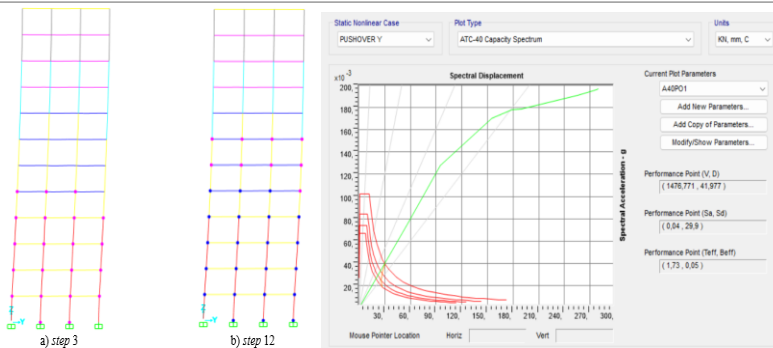
Gambar 6 Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Terbuka (R-T) arah X

Tabel diatas menampilkan analisis pushover arah X pada struktur rangka terbuka, diperoleh hasil bahwa sendi plastis mencapai kondisi maksimum pada langkah ke-11. Pada langkah ini, struktur mengalami perpindahan sebesar 464,023793 mm dan gaya dasar sebesar 8702,558 kN.

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah Y pada struktur gedung Rangka Terbuka (R-T) dengan program software SAP 2000, yaitu:

Tabel 4 Distribusi Sendi Plastis Arah Y pada Gedung Rangka Terbuka (R-T).

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	0,043211	0	1608	0	0	0	0	0	0	0	1608
1	80,043211	2817,335	1608	0	0	0	0	0	0	0	1608
2	133,469292	4698,825	1600	8	0	0	0	0	0	0	1608
3	212,770105	6523,396	1492	116	0	0	0	0	0	0	1608
4	242,904653	6922,214	1472	76	60	0	0	0	0	0	1608
5	256,367694	7011,963	1470	65	73	0	0	0	0	0	1608
6	337,469584	7736,889	1434	62	108	0	4	0	0	0	1608
7	362,407974	7946,409	1425	57	122	0	4	0	0	0	1608
8	362,408094	7946,412	1425	57	122	0	4	0	0	0	1608
9	364,897415	7974,062	1423	59	122	0	4	0	0	0	1608
10	364,897455	7971,835	1423	59	122	0	4	0	0	0	1608
11	364,898735	7971,865	1423	59	122	0	4	0	0	0	1608
12	367,520175	8002,412	1423	57	124	0	4	0	0	0	1608



Gambar 7 Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Terbuka (R-T) arah Y

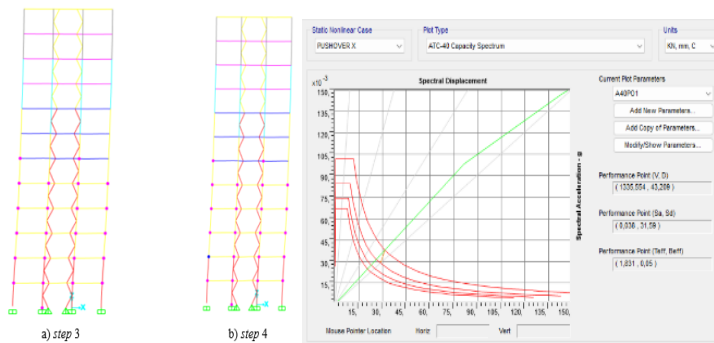
Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung Rangka Terbuka. Hasil analisis berhenti pada langkah ke-12, di mana pergeseran mencapai 367,52 mm dan gaya dasar mencapai 8002,41 kN. Ini menunjukkan bahwa sendi plastis telah mencapai kapasitas maksimumnya.

**2. Struktur B्रेसing CW 40%**

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah X pada struktur gedung Rangka B्रेसing 40% dengan program software SAP 2000, yaitu:

**Tabel 5** Distribusi Sendi Plastis Arah X Struktur B्रेसing CW 40%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	-0,011829	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	79,988171	2472,04	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	111,873023	3457,297	1986	6	0	0	0	0	0	0	1992
3	192,217705	5314,131	1874	118	0	0	0	0	0	0	1992
4	197,060494	5403,772	1870	120	2	0	0	0	0	0	1992



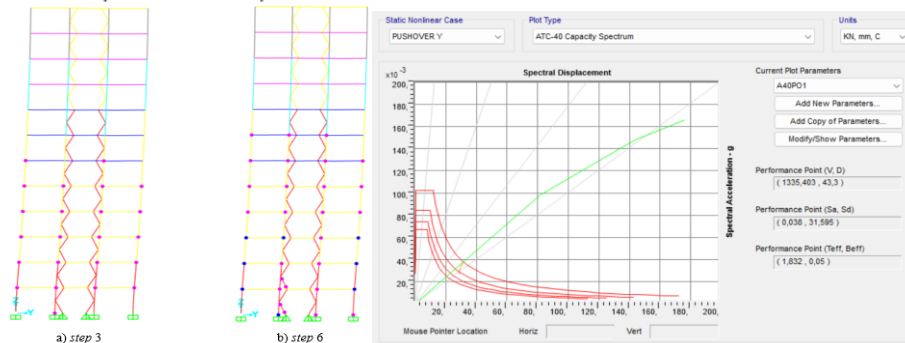
**Gambar 8** Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka B्रेसing Canggih Wang 40% (CW 40%) arah X

Tabel diatas menampilkan bahwa analisis Pushover arah X pada gedung dengan b्रेसing CW 40% menunjukkan bahwa sendi-sendi plastis mencapai kondisi terburuk pada langkah ke-4. Pada kondisi ini, gedung mengalami pergeseran sebesar 197,06 mm dan gaya dasar sebesar 5403,77 kN.

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah Y pada struktur gedung Rangka B्रेसing 40% dengan program software SAP 2000, yaitu:

**Tabel 6** Distribusi Sendi Plastis Arah Y Struktur B्रेसing CW 40%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	0,034662	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	80,034662	2469,208	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	112,193878	3461,805	1986	6	0	0	0	0	0	0	1992
3	192,304453	5315,492	1874	118	0	0	0	0	0	0	1992
4	197,408758	5410,568	1870	120	2	0	0	0	0	0	1992
5	197,419253	5410,863	1870	120	2	0	0	0	0	0	1992
6	235,008606	6038,432	1822	122	48	0	0	0	0	0	1992



**Gambar 9** Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka B्रेसing Canggih Wang 40% (CW 40%) arah Y

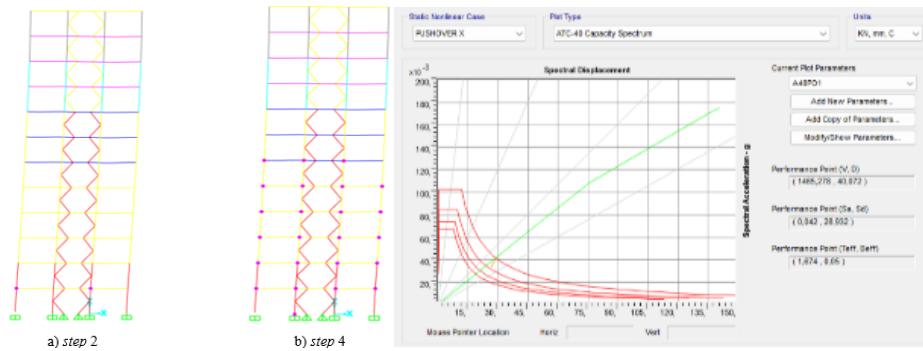
Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung bresing CW 40%. Hasil analisis dihentikan pada tahap ke-6. Saat itu, benda telah mengalami pergeseran sejauh 235,008606 mm dan gaya yang bekerja padanya mencapai 6038,432 kN. Ini artinya, kerusakan akibat lenturan (sendi plastis) sudah mencapai batas maksimumnya.

3. Struktur Bresing CW 60%

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah X pada struktur gedung Rangka Bresing 60% dengan program software SAP 2000, yaitu:

Tabel 7 Distribusi Sendi Plastis Arah X Struktur Bresing CW 60%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	-0,011631	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	79,988369	2924,471	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	104,361932	3815,468	1987	5	0	0	0	0	0	0	1992
3	185,629031	6133,858	1868	124	0	0	0	0	0	0	1992
4	191,60941	6270,693	1850	142	0	0	0	0	0	0	1992



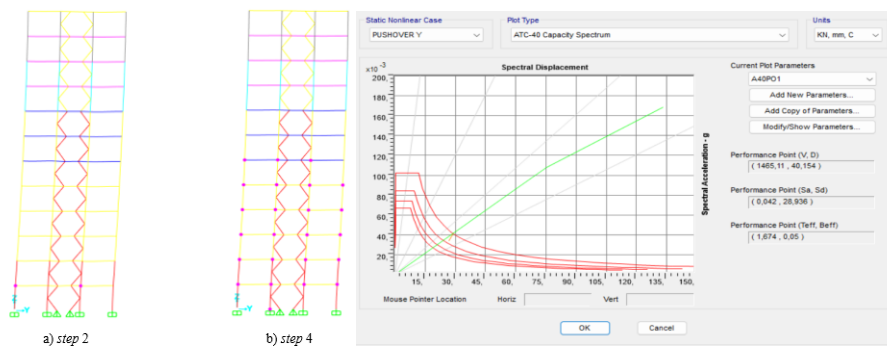
Gambar 10 Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing *Canggih Wang* 60% (CW 60%) arah X

Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah X pada struktur gedung bresing CW 60%. Hasil analisis struktur gedung dengan menggunakan metode Pushover pada arah X menunjukkan bahwa sendi-sendi plastis mencapai kondisi maksimum pada langkah ke-4. Saat itu, pergeseran (displacement) mencapai 191,61 mm dan gaya dasar (base force) mencapai 6270,69 kN.

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah Y pada struktur gedung Rangka Bresing 60% dengan program software SAP 2000, yaitu:

Tabel 8 Distribusi Sendi Plastis Arah Y Struktur Bresing CW 60%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	I-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	0,032562	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	80,032562	2921,373	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	104,64771	3820,249	1988	4	0	0	0	0	0	0	1992
3	181,851479	6051,056	1874	118	0	0	0	0	0	0	1992
4	181,851519	6042,272	1872	120	0	0	0	0	0	0	1992



Gambar 11 Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing *Canggih Wang* 60% (CW 60%) arah Y



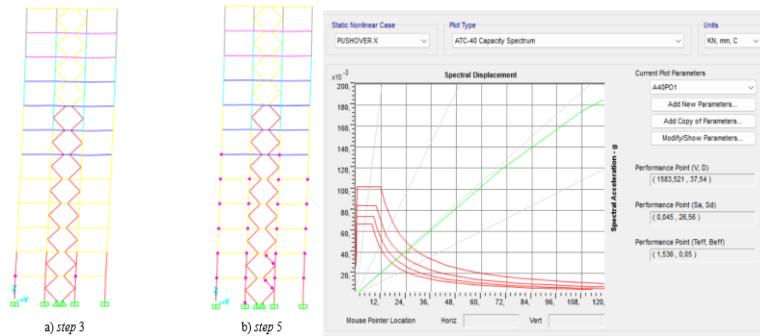
Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung bresing CW 60%. Analisis berhenti pada tahap ke-4, dengan pergerakan maksimum sebesar 181,851519 mm dan gaya dasar mencapai 6042,272 kN. Kondisi ini menunjukkan bahwa sendi plastis telah mencapai kapasitas maksimumnya.

**4. Struktur Bresing CW 80%**

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah X pada struktur gedung Rangka Bresing 80% dengan program software SAP 2000, yaitu:

**Tabel 9** Distribusi Sendi Plastis Arah X Struktur Bresing CW 80%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	-0,010884	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	49,989116	2108,499	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	99,989116	4216,998	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
3	101,473997	4279,615	1988	4	0	0	0	0	0	0	1992
4	151,669178	6153,866	1891	101	0	0	0	0	0	0	1992
5	165,918919	6560,009	1852	140	0	0	0	0	0	0	1992



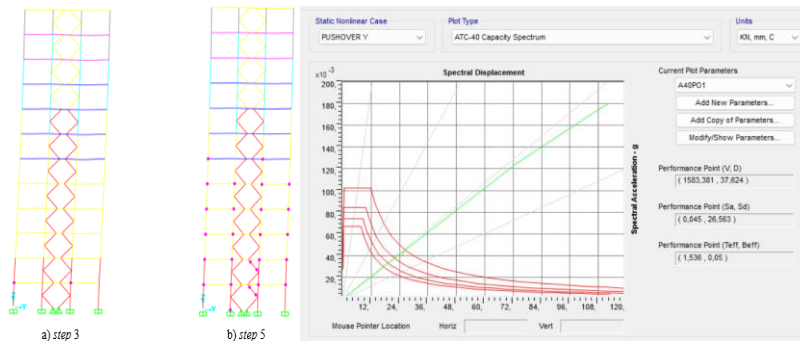
**Gambar 12** Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing Canggih Wang 80% (CW 80%) arah X

Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah X pada struktur gedung bresing CW 80%. Hasil analisis berhenti pada langkah ke-5, dengan pergeseran maksimum sebesar 165,918919 mm dan gaya dasar mencapai 6560,009 kN. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sendi plastis telah mencapai kapasitas maksimumnya.

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah Y pada struktur gedung Rangka Bresing 80% dengan program software SAP 2000, yaitu:

**Tabel 10** Distribusi Sendi Plastis Arah Y Struktur Bresing CW 80%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	0,036811	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	50,036811	2106,279	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	100,036811	4212,558	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
3	102,376247	4311,108	1988	4	0	0	0	0	0	0	1992
4	153,619197	6215,592	1886	106	0	0	0	0	0	0	1992
5	157,358713	6329,538	1878	114	0	0	0	0	0	0	1992



**Gambar 13** Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing Canggih Wang 80% (CW 80%) arah Y

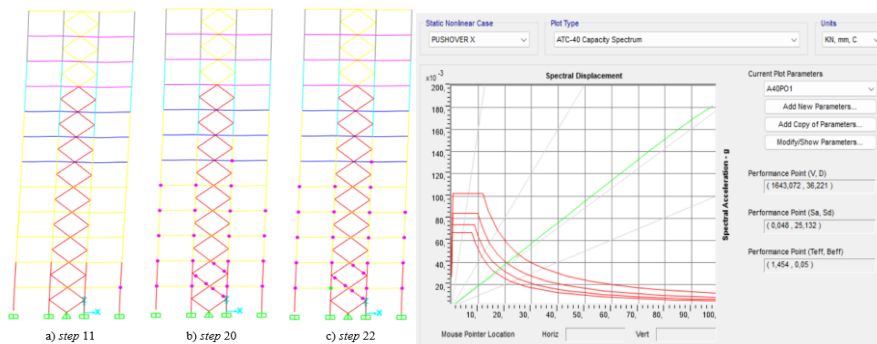
Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung bresing CW 80%. Hasil analisis dihentikan pada tahap ke-5. Pada titik ini, pergerakan struktur mencapai 157,358713 mm dan gaya yang diterima dasar struktur sebesar 6329,528 kN. Kondisi ini menunjukkan kerusakan sendi plastis yang paling parah.

5. Struktur Bresing CW 100%

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah X pada struktur gedung Rangka Bresing 100% dengan program software SAP 2000, yaitu:

Tabel 11 Distribusi Sendi Plastis Arah X Struktur Bresing CW 100%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	-0,011752	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	9,988248	453,479	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	19,988248	906,959	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
3	29,988248	1360,438	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
17	139,285838	6211,439	1909	83	0	0	0	0	0	0	1992
18	139,295838	6211,323	1909	83	0	0	0	0	0	0	1992
19	146,232821	6454,563	1880	112	0	0	0	0	0	0	1992
20	146,232826	6450,316	1880	111	0	0	1	0	0	0	1992
21	146,261165	6450,371	1880	110	0	0	2	0	0	0	1992
22	146,559703	6460,401	1878	112	0	0	2	0	0	0	1992



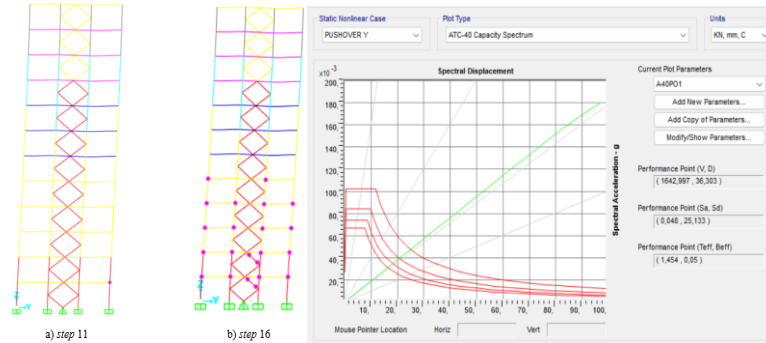
Gambar 14 Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing *Cangguh Wang* 100% (CW 100%) arah X

Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung bresing CW 100%. Hasil analisis dihentikan pada tahap ke-22. Pada titik ini, pergerakan maksimum yang tercatat adalah 146,56 mm dan gaya yang bekerja pada dasar mencapai 6469,401 kN. Ini menandakan bahwa sendi plastis telah mencapai batas kemampuannya.

Berikut adalah tabel hasil analisis *statik Nonlinear Pushover* arah Y pada struktur gedung Rangka Bresing 100% dengan program software SAP 2000, yaitu:

Tabel 12 Distribusi Sendi Plastis Arah Y Struktur Bresing CW 100%

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Beyond E	Total
0	0,037036	0	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
1	10,037036	453,038	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
2	20,037036	906,077	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
3	30,037036	1359,115	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
8	80,037036	3624,307	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
9	90,037036	4077,345	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
10	100,037036	4530,638	1992	0	0	0	0	0	0	0	1992
11	108,44664	4911,626	1990	2	0	0	0	0	0	0	1992
12	120,596092	5446,468	1964	28	0	0	0	0	0	0	1992
13	132,43956	5939,757	1934	58	0	0	0	0	0	0	1992
14	139,479699	6217,076	1910	82	0	0	0	0	0	0	1992
15	139,47976	6216,446	1910	82	0	0	0	0	0	0	1992
16	143,668476	6364,397	1896	96	0	0	0	0	0	0	1992



**Gambar 15** Sendi Plastis pada Struktur Gedung Rangka Bresing *Canggih Wang* 100% (CW 100%) arah Y  
Tabel diatas menampilkan hasil sendi plastis hasil klasifikasi analisis Pushover arah Y pada struktur gedung bresing CW 100%. Hasil Analisis berhenti pada iterasi ke-16, di mana perpindahan maksimum tercatat sebesar 143,668 mm dan gaya dasar mencapai 6364,397 kN. Kondisi ini mengindikasikan bahwa deformasi plastis pada sambungan telah mencapai maksimumnya.

### HASIL KAPASITAS SPECTRUM ATC 40

**Tabel 13** Level Kinerja

Parameter	Level Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<b>Maksimum Total Drift</b>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,033
<b>Maksimum Inelastic Drift</b>	0,005	0,005 – 0,015	Tidak Dibatasi	Tidak Dibatasi

Berdasarkan Analisis pushover nonlinier statik dengan metode ATC-40 menggunakan software SAP2000 menunjukkan bahwa kelima model struktur gedung mencapai level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini berarti struktur bangunan tidak mengalami kerusakan signifikan, kekuatan dan kekakuan struktur hampir sama dengan kondisi awal, dan komponen non-struktur sebagian besar masih berfungsi. Bangunan masih dapat digunakan tanpa perlu perbaikan besar-besaran.

### PERBANDINGAN HASIL KINERJA STRUKTUR

Berikut merupakan tabel perbandingan hasil kapsitas respon spektrum dari masing-masing model struktur.

**Tabel 14.** Perbandingan Hasil Kinerja Struktur

NO	Model	Arah	V	W	D	Level Kinerja
			kN	kN	mm	
1	R.T	X	1478,137	30641,47	41,811	IO
		Y	1476,771		41,977	IO
2	CW 80%	X	1.583,521	26232,35	37,54	IO
		Y	1583,381		37,624	IO
3	CW 100%	X	1643,072	26228,8	36,221	IO
		Y	1642,997		36,303	IO
4	CW 60%	X	1465,278	25983,43	40,072	IO
		Y	1465,11		40,154	IO
5	CW 40%	X	1335,554	25837,67	43,209	IO
		Y	1335,403		43,3	IO

Berdasarkan hasil analisis kinerja ke lima model dapat diketahui hasilnya antara lain gaya geser dasar, deformasi, berat struktur dan Tingkat kinerja. nilai berat struktur model rangka terbuka (R.T) memiliki nilai

berat struktur tertinggi yaitu 30641,41kN dan model struktur yang memiliki berat struktur terkecil yaitu model Canggah Wang 40% (CW40%) dengan berat struktur 25837,67kN. Penurunan berat struktur yang efektif terjadi pada model Canggah Wang 80% (CW80%) dan model Canggah Wang 100% (CW100%) karena pada model tersebut yang mengalami gaya geser dasar plastis yang lebih besar dari model Rangka Terbuka (R.T) yaitu untuk model (CW80%) sebesar 1.583.521kN pada arah x 1583,381kN pada arah y, dan pada model (CW100%) memiliki nilai gaya geser dasar plastis 1643,072kN pada arah x 1643,072kN pada arah y. Sedangkan untuk model rangka terbuka hanya memiliki nilai gaya geser dasar yang lebih ke dari model CW80% dan CW100% dengan nilai gaya geser dasar arah x sebesar 1478,137kN dan pada arah y sebesar 1476,771kN. Gaya geser dasar plastis pada model CW 40% dan model CW 60% justru mengalami pengurangan nilai dengan berkurangnya berat struktur dari masing-masing model tersebut.

Simpangan plastis untuk penurunan nilai yang terjadi dari model rangka terbuka ke model dengan bresing canggah wang cukup bervariasi namun pada model (CW40%) justru mengalami peningkatan nilai simpangan plastis yaitu 43,209mm pada arah x dan 43,3mm pada arah y. Pada model rangka terbuka memiliki nilai simpangan plastis tertinggi diluar model CW40% dengan nilai 41,811mm pada arah x dan 41,977mm pada arah y sedangkan penurunan nilai simpangan terbesar yang terjadi dari rangka terbuka (R.T) ke model dengan bresing terjadi pada model Canggah Wang 100% (CW100%) dengan nilai simpangan plastis arah x 36,221mm dan pada arah y 36,303mm.

Jadi penambahan Canggah Wang pada rangka terbuka yaitu dapat meningkatkan kekakuan struktur. Persentase jarak eksentrisitas terhadap kolom semakin dekat dengan (semakin kecil persentase) kekakuannya mengecil sehingga tidak efektif. Semakin meningkat kekakuan struktur gaya geser dasar yang diterima semakin besar dan simpangan semakin kecil. Penambahan canggah wang yang paling efektif yaitu model CW 100%.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis program software SAP 2000 dengan analisis statik nonlinear pushover dengan metode ATC-40 didapatkan hasil struktur gedung RT, CW 40% , CW 60%, CW 80%, dan CW 100% memiliki level kinerja yang sama yaitu tergolong ke level kinerja Damage Control (IO) dimana Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa, dan yang paling efisien dalam menerima beban gempa adalah struktur model CW 100% karena dapat menerima gaya geser sebesar 1643,072 kN arah X dan arah Y sebesar 1642,997 kN.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ATC-40, 2012. Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis. Second Edition (FEMA P-646), FEMA P-646 Publication. California.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 1726:2019 Indonesian Seismic Code for Structural Building and Non-Building. Jakarta.
- FEMA 273, 1997. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings:FEMA 273, Federal Emergency Management Agency.
- Sudarsana, I.K., Wiryadi, I.G.G., Pringgana, G., Sinaga, A.M.W., 2021. Analisis Pengaruh Kelangsingan Struktur terhadap Perilaku Dinamis Struktur Gedung Beton Bertulang, in: Konferensi Nasional Teknik Sipil 15. Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, pp. 770–780.
- Susila, G.A., Mandal, P., Swailes, T., 2012. A Comparison of the Structural Performance of Low-Rise Timber Framed Buildings and Masonry Buildings in a Developing Country (Indonesia), in: Joint Conference APSEC-ICCER.
- Tubuh, I.K.D.K., Wiryadi, I.G.G., Wirawan, I.P.A.P., Kondamay, H.M., 2023. Performance Building Structure Evaluation Based on Spectrum Capacity (ATC 40) and Displacement Target Modification (FEMA 440). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil 27, 1–11. <https://doi.org/10.24843/JITS.2023.v27.i01.p01>

- Wiryadi, I.G.G., Putra Wirawan, I.P.A., Kubon Tubuh, I.K.D., Adnyana, I.N.E., 2023. Perilaku Struktur Gedung dengan Perkuatan Bresing X dan Canggah Wang dalam Menahan Beban Gempa. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik* 12, 174–183. <https://doi.org/10.36733/jikt.v12i2.7869>
- Wiryadi, I.G.G., Tubuh, I.K.D.K., Wirawan, I.P.A.P., Setyawan, I.K.A., Saputra, I.M.L.W., 2024. Behavior and Performance Analysis of Reinforced Concrete and Steel Infilled-Frame. *Civil Engineering and Architecture* 12, 1621–1633. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120327>
- Wiryadi, I.G.G., Wirawan, I.P.A.P., Tubuh, I.K.D.K., Eda, M., 2022. Efisiensi Dimensi Kolom pada Struktur Gedung Tujuh Tingkat dengan Penambahan Wing Wall, in: *Konferensi Nasional Teknik Sipil 16*. Universitas Warmadewa, Bali, pp. 374–383.