

Analisis *Pushover* terhadap Variasi Penampang Kolom pada Struktur Gedung *Special Plate Shear Wall*

Badriana Nuranita¹, Erma Desimaliana^{1*} dan Novian Arief Subagja Sobana¹

Dikirim: 14/03/2022

Diterima: 19/03/2022

ABSTRAK

Special Plate Shear Wall (SPSW) merupakan struktur rangka yang terdiri dari pelat baja vertikal (*infill plate*) sebagai dinding pengisi yang tersambung dengan balok dan kolom, berfungsi untuk menahan beban seismik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur gedung SPSW terhadap variasi penampang kolom menggunakan metode analisis *pushover* dengan bantuan *software* ETABS. Struktur gedung klinik 6 lantai, dengan total tinggi lantai 21,5 m. Variasi penampang kolom yaitu profil *king cross* pada model 1 dan profil *hollow* pada model 2. Standar analisis mengacu pada SNI 1726:2019 dan FEMA 356. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur gedung SPSW model 1 memiliki kinerja struktur yang paling efektif sebagai struktur rangka penahan beban gempa. Hasil perhitungan berdasarkan SNI 1726:2019 menunjukkan bahwa struktur gedung SPSW model 1 memiliki gaya geser dasar terbesar yaitu 3.137,30 kN untuk arah X dan 3.144,66 kN untuk arah Y. Level kinerja struktur gedung SPSW berdasarkan FEMA 356 termasuk dalam kategori aman yaitu *Immediate Occupancy* (IO), baik untuk model 1 maupun model 2.

Kata kunci: analisis *pushover*, level kinerja struktur, *special plate shear wall*

1. PENDAHULUAN

Guna memperkuat atau memperkaku struktur gedung baja bertingkat agar aman dan mampu menahan beban lateral, khususnya beban seismik, beberapa tipe pengaku struktur dapat menjadi alternatif pilihan yang diterapkan, salah satunya adalah dinding geser atau *shear wall*. Dinding geser pada struktur gedung berfungsi untuk menahan gaya lateral yang terjadi, halmana biasanya dinding geser seringkali digunakan pada struktur gedung bertingkat. Gaya lateral disederhanakan sebagai gaya geser dasar yang dimodelkan dan dianalisis menggunakan bantuan *software* ETABS.

Pada penelitian ini, digunakan dinding geser dengan material pelat baja atau dikenal dengan tipe *Special Plate Shear Wall* (SPSW). Penggunaan SPSW dikombinasikan dengan beberapa variasi kolom baja berdasarkan profilnya, yaitu yang berbentuk *king cross* dan *hollow*, sehingga akan dibandingkan kinerja struktur gedung SPSW yang paling efektif di antara kedua profil kolom tersebut berdasarkan parameter-parameter seperti gaya geser dasar, *displacement*, simpangan antar tingkat, pengaruh P-Delta, analisis *pushover*, serta level kinerja struktur. Sehingga, baik profil penampang *king cross* maupun *hollow*, dapat digunakan sebagai kolom alternatif pengganti profil IWF yang biasa digunakan pada struktur gedung baja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kolom Baja Profil

Kolom merupakan komponen struktur gedung, yang fungsi utamanya untuk menahan beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke fondasi [1]. Kolom

¹ Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PH.H. Mustofa No.23, Bandung 40124

*Penulis korespondensi: ermadesmaliana@itenas.ac.id

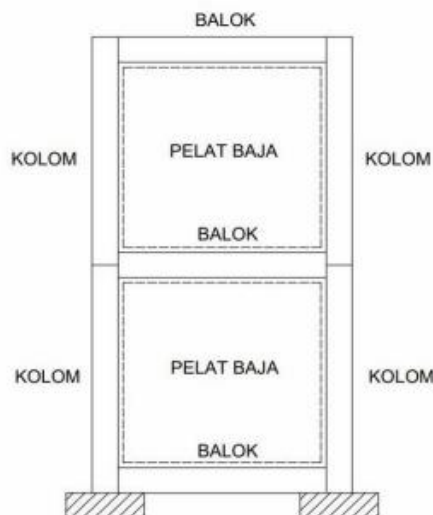
juga salah satu elemen struktur tekan yang sangat penting dalam suatu gedung, sehingga keruntuhan yang terjadi pada kolom merupakan kondisi kritis yang dapat menyebabkan baik keruntuhan (*collapse*) maupun runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur [2].

Dari berbagai macam profil baja untuk komponen struktur kolom yang tersedia di lapangan, penelitian ini menggunakan 2 (dua) variasi penampang kolom, yakni *king cross* dan *hollow*. Tiap variasi penampang kolom akan dianalisis kinerjanya pada gedung SPSW yang ditinjau.

Penggunaan Dinding Geser Pelat Baja (SPSW)

Dinding geser berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai fondasi dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser dan gaya lateral akibat seismik [3].

Salah satu jenis dari dinding geser, yakni dinding geser pelat baja atau *Special Plate Shear Wall* (SPSW), yang merupakan sebuah sistem yang menahan beban lateral yang terdiri atas pelat baja vertikal atau *infill plate* yang terhubung dengan kolom dan balok di sekelilingnya [4]. *Special Plate Shear Wall* (SPSW) seperti terlihat pada Gambar 1, yang dialiri beban inelastis siklik akan menunjukkan kekakuan, daktilitas tinggi, dan mendisipasi energi dalam jumlah besar. Oleh karena itu, SPSW cocok digunakan untuk menahan beban seismik sesuai dengan sifat yang dimilikinya.



Gambar 1. Komponen Dinding Geser SPSW [5]

Pembebanan

Pembebanan dan kombinasi beban sesuai standar beban desain minimum dan kriteria untuk bangunan gedung dan struktur lain [6], terdiri dari:

- 1) Beban mati (*dead load*), yakni beban sendiri struktur yang meliputi balok, kolom, pelat, dan dinding geser.
- 2) Beban mati tambahan (*super dead load*), seperti dinding, plafon, pluming, plesteran, dan keramik.
- 3) Beban hidup (*live load*) dengan fungsi gedung sebagai klinik.
- 4) Beban seismik (*earthquake*) sesuai parameter-parameter seismik yang berlokasi di Bandung dengan kelas situs tanah sedang.

Analisis Struktur

Untuk menganalisis respon gedung SPSW pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dan pengecekan terhadap gaya dasar seismik, periode struktur, simpangan antar lantai, dan pengaruh P-delta sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang tercantum pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-Gedung [7].

Analisis Pushover

Analisis statik beban dorong atau *pushover* merupakan analisis statik nonlinier yang berfungsi untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur gedung terhadap beban seismik. Pada analisis ini, struktur gedung diberikan pola beban lateral statik kemudian secara bertahap nilainya ditingkatkan dengan menggunakan faktor pengali sampai target perpindahan lateral dari titik acuan tercapai [8]. Tujuan analisis ini yaitu untuk mengevaluasi perilaku seismik struktur gedung terhadap beban seismik rencana, sehingga diperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi seismik aktual struktur gedung, yang memperlihatkan baik kurva kapasitas (*capacity curve*) maupun skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi [9]. Penyederhanaan dapat dilakukan dengan mengumpulkan 3 (tiga) informasi elemen penting yaitu, kurva kapasitas, kurva *demand*, dan titik kinerja struktur gedung [10].

Level Kinerja Struktur (FEMA 356)

Metode (FEMA 356, 2000) merupakan metode pendekatan hitungan numerik yang langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur gedung. Target perpindahan metode (FEMA 356, 2000) dilakukan dengan memodifikasi respon elastis dari sistem SDOF ekuivalen terhadap faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , C_3 sehingga diperoleh perpindahan elastis dan inelastis untuk tingkat kinerja struktur gedung setelah beban seismik terjadi [11]. Koefisien C_0 merupakan faktor modifikasi yang memperhitungkan perpindahan spektral menjadi perpindahan atap. Koefisien C_1 merupakan faktor modifikasi yang memperhitungkan perpindahan inelastis maksimum terhadap perpindahan elastis linier. Koefisien C_2 merupakan faktor modifikasi yang memperhitungkan pengaruh bentuk histeresis pada perpindahan maksimum. Koefisien C_3 merupakan faktor modifikasi yang memperhitungkan perbesaran lateral akibat pengaruh P-Delta.

Tabel 1. Tingkat Kinerja Struktur FEMA 356 [11]

| Level Kinerja | Kondisi Gedung Setelah Beban Seismik |
|---------------------------------|--|
| <i>Operational</i> | Tidak ada kerusakan berarti baik pada elemen struktural maupun non struktural, bila terjadi beban seismik maka gedung tetap dapat berfungsi |
| <i>Immediate Occupancy (IO)</i> | Bila terjadi beban seismik, tidak ada kerusakan elemen struktural yang berarti kekuatan dan kekakuan hampir sama dengan kondisi sebelum terjadi beban seismik, maka gedung masih dapat digunakan |
| <i>Life Safety (LS)</i> | Bila terjadi beban seismik, gedung mengalami sedikit kerusakan elemen struktural namun masih dapat menahan beban seismik yang terjadi, sehingga keselamatan penghuni gedung masih terjamin |
| <i>Collapse Prevention (CP)</i> | Bila terjadi beban seismik, gedung mengalami kerusakan berat baik pada elemen struktural maupun non struktural, namun belum terjadi keruntuhan pada gedung |

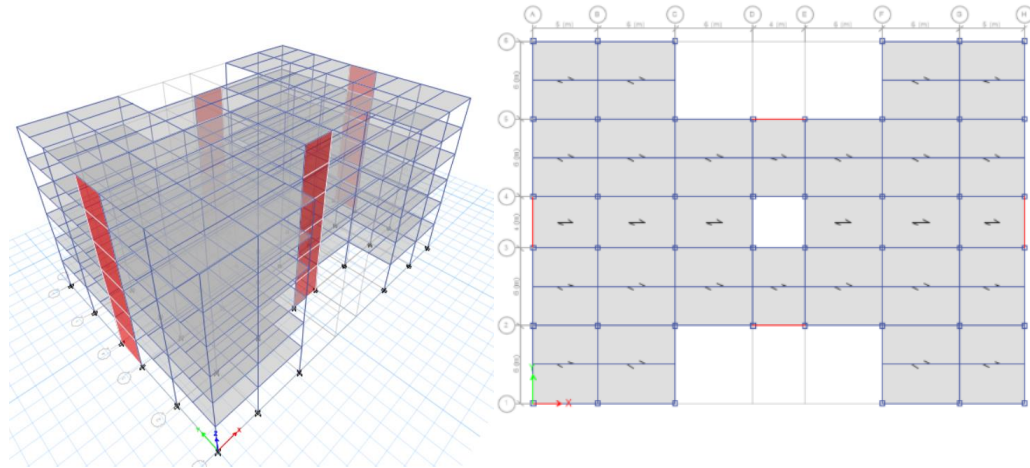
Tabel 2. Level Kinerja FEMA 356 [11]

| Element | Performance Level | | |
|----------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | Immediate Occupancy | Life Safety | Collapse Prevention |
| <i>Steel Moment Frame</i> | 0,007 | 0,01 s.d 0,025 | 0,05 |
| <i>Braced Steel Frames</i> | 0,005 | 0,005 s.d 0,015 | 0,02 |

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penelitian ini diawali dengan perumusan latar belakang, tujuan, batasan masalah dan hasil yang ingin dicapai. Selanjutnya, dilakukan studi pustaka untuk memperkaya literatur, memperkuat hipotesis, dan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Tahap selanjutnya yaitu merencanakan *layout* gedung, dimensi elemen struktur gedung (balok, kolom,

pelat), serta *material properties*. Pada penelitian ini, gedung SPSW 6 lantai direncanakan berfungsi sebagai klinik dan berlokasi di Kota Bandung. Gedung SPSW dimodelkan dalam bentuk 3D dengan menggunakan *software* ETABS, seperti tampak pada Gambar 2. Adapun data *preliminary design* yang digunakan meliputi dimensi kolom, balok, dan pelat lantai sedangkan data *material properties* meliputi mutu baja dan mutu beton, seperti terlihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Tampak 3D

Tabel 3. Data Teknis

| Data Gedung | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Jumlah lantai | 6 lantai |
| Tinggi lantai | 21,5 m |
| Fungsi bangunan | Klinik |
| Lokasi bangunan | Bandung |
| Jenis tanah | Sedang (D) |
| Koordinat | -6.948557, 107.615546 |
| Sistem struktur | Dinding Geser Pelat Baja Khusus |
| Koefisien modifikasi respon | 7 |
| Faktor kuat lebih sistem | 2 |
| Faktor pembesaran defleksi | 6 |
| Kategori risiko gedung | III |
| Faktor keutamaan gempa | 1,25 |
| Spesifikasi Material | |
| Mutu profil baja | BJ41 |
| Mutu beton (f'_c) | 30 MPa |
| Tebal pelat lantai | 120 mm |
| Tebal dinding geser pelat baja | 4 mm |

Tabel 4. Profil Balok dan Kolom

| Lantai | Balok | Balok Anak | Kolom | |
|--------------|-------------|------------|-----------------|-------------|
| | | | King Cross [in] | Hollow [in] |
| Lantai 1 - 3 | IWF 14 x 38 | IWF 8 x 15 | 16 x 57 | 14 x 14 |
| Lantai 4 - 6 | IWF 12 x 35 | IWF 8 x 15 | 14 x 38 | 10 x 10 |

Pada tahap pemodelan, selain dilakukan *input* data dan pendefinisian data di atas, dilakukan juga *input* beban dan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727:2020, serta SNI 1726:2019. Setelah tahap pemodelan struktur gedung SPSW dilakukan sebanyak 2 (dua) kali berdasarkan masing-masing jenis kolom yang berbeda (*king cross* dan *hollow*), selanjutnya dilakukan tahap analisis struktur terhadap masing-masing model gedung SPSW tersebut, Tahap ini meliputi analisis gaya geser dasar seismik, periode struktur, simpangan antar lantai, dan pengaruh P-Delta. Untuk mengetahui level kinerja struktur, perlu dilakukan analisis *pushover* berdasarkan metode (FEMA 356, 2000). Terakhir, dari kedua model gedung tersebut, disimpulkan model struktur gedung SPSW yang menghasilkan level kinerja struktur yang dinilai lebih baik dan efektif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode Getar Alami Struktur

Periode getar alami struktur merupakan lamanya waktu yang didapatkan struktur gedung untuk menerima getaran beban seismik. Periode getar alami struktur diperoleh dari hasil *output software* ETABS, seperti tampak pada Tabel 5.

Tabel 5. Periode Struktur

| Model Struktur Gedung | Periode [s] | |
|--|-------------|--------|
| | Arah X | Arah Y |
| Model 1 Gedung SPSW dengan Kolom <i>King Cross</i> | 0,971 | 0,969 |
| Model 2 Gedung SPSW dengan Kolom <i>Hollow</i> | 1,036 | 1,034 |

Periode getar alami struktur yang tercantum pada Tabel 5 harus dibandingkan dengan Batasan periode getar minimum dan periode getar maksimum sesuai SNI 1726:2019, dapat dilihat pada Tabel 6. Perbandingan nilai periode getar alami struktur dapat dilihat berdasarkan tipe struktur, ketinggian struktur, dan koefisien batasan atas (C_u).

Tabel 6. Periode Struktur Minimum ($T_{a \min}$) dan Maksimum ($T_{a \max}$)

| | Model 1 | Model 2 |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $T_{a \min} = 0,843 \text{ s}$ | $T_{X-\max} > 0,969 \text{ s}$ | $T_{X-\max} > 1,034 \text{ s}$ |
| $T_{a \max} = 1,180 \text{ s}$ | $T_{Y-\max} > 0,971 \text{ s}$ | $T_{Y-\max} > 1,036 \text{ s}$ |

Berdasarkan hasil analisis, untuk semua variasi kolom pada gedung SPSW didapatkan nilai periode fundamental kurang dari $C_u T_a$ sehingga periode getar alami struktur yang diambil baik arah X maupun arah Y sesuai dengan Tabel 5.

Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar seismik merupakan reaksi struktur gedung yang mengakibatkan gaya geser pada bagian bawah atau dasar gedung saat terjadinya gempa. Analisis ini dipengaruhi oleh nilai berat sesimik efektif struktur (W) dan juga koefisien respon seismik (C_S). Nilai koefisien respon seismik (C_S) ditentukan dari data respon spektrum yaitu percepatan respon spektral desain periode pendek (S_{DS}), percepatan respon spektral desain periode sebesar 1 (satu) detik (S_{D1}), koefisien modifikasi respon (R), percepatan respon spektral maksimum (S_1), periode fundamental struktur (T), dan faktor keutamaan gempa (I_e).

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 perlu dilakukan skala ulang jika kombinasi respon untuk gaya geser dasar dari hasil analisis seragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen. Maka, faktor skala gaya seismik harus dikalikan dengan skala gaya V/V_t . Saat pengecekan gaya geser untuk struktur gedung SPSW tidak perlu dilakukan skala ulang gaya karena hasil perbandingan gaya geser dasar analisis seragam (V_t) terhadap gaya geser (V) telah melebihi dari 100%, seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Gaya Geser Dasar

| Arah | Profil King Cross | | Profil Hollow | |
|------------|-------------------|-----------|---------------|-----------|
| | X | Y | X | Y |
| W [kN] | 28.306,86 | 28.306,86 | 28.201,85 | 28.201,85 |
| C_s | 0,0968 | 0,0966 | 0,0907 | 0,0905 |
| V [kN] | 2.734,35 | 2.734,71 | 2.558,56 | 2.553,62 |
| V_t [kN] | 3.144,66 | 3.144,66 | 3.050,23 | 3.061,67 |
| V/V_t | 1,1499 | 1,1499 | 1,1922 | 1,1990 |
| Ket | OK | OK | OK | OK |

Perpindahan

didapatkan perpindahan pada setiap variasi pemodelan struktur gedung SPSW yang tersaji pada Gambar 3.

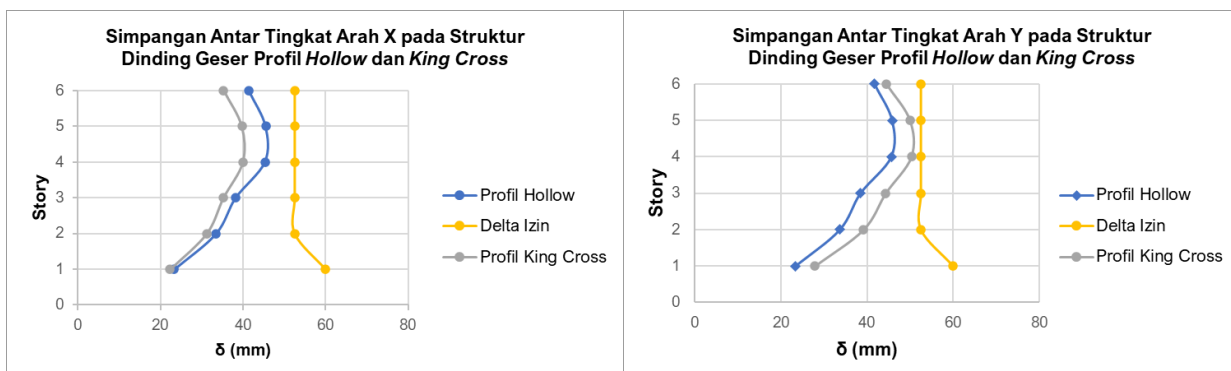


Gambar 3. Displacement Arah X dan Arah Y

Berdasarkan Gambar 3, diperoleh nilai perpindahan terkecil pada gedung SPSW model 1 (kolom *king cross*) sebesar 46,278 mm untuk arah X dan untuk arah Y sebesar 46,555 mm. Sedangkan pada gedung SPSW model 2 (kolom *hollow*) didapat nilai perpindahan sebesar 51,597 mm baik arah X maupun arah Y.

Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi, baik pada arah X maupun arah Y, tidak boleh melebihi simpangan izin. Hasil analisis simpangan antar tingkat ini didapatkan dari *output software* ETABS, yaitu tabel *diaphragm center of mass* yang dapat dilihat pada Gambar 4.

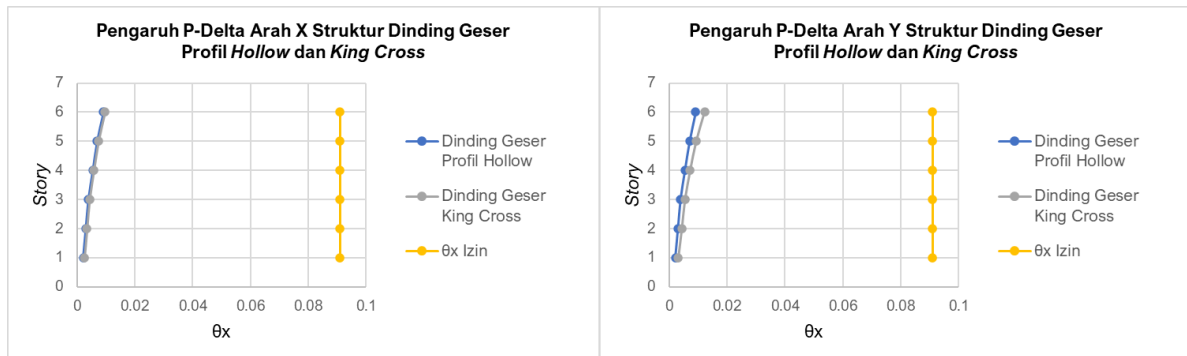


Gambar 4. Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y

Gambar 4 menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat yang dihasilkan tidak berisiran/tidak melebihi simpangan izinnnya, sehingga dapat dikatakan struktur gedung memenuhi persyaratan seismik.

Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019, pengecekan terhadap pengaruh P-Delta berdasarkan nilai koefisien stabilitas (θ). Parameter yang digunakan antara lain simpangan antar tingkat (Δ), beban desain vertikal (P_x), dan gaya geser (V) yang nilainya terbesar pada setiap tingkat gedung, seperti terangkum pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh P-Delta Arah X dan Arah Y

Berdasarkan hasil analisis, semua model struktur menghasilkan koefisien stabilitas (θ) kurang dari koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{max} = 0,09$), baik arah X maupun arah Y, sehingga dapat dikatakan struktur gedung aman terhadap pengaruh P-Delta dan juga tidak diperlukan desain ulang.

Level Kinerja Struktur

Dari hasil analisis kinerja menggunakan metode *pushover* dan target perpindahan berdasarkan (FEMA 356, 2000), didapat diklasifikasikan berdasarkan level kinerja (*performance level*) yang tercantum pada Tabel 10.

Tabel 10. *Performance Level*

| Model Gedung | δ_t [m] | h [m] | Rasio | Level Kinerja |
|---------------------------------------|-------------------|----------|---------|---------------|
| Dinding Geser Kolom <i>King Cross</i> | 0,11455 | 21,5 | 0,00533 | IO |
| Dinding Geser Kolom <i>Hollow</i> | 0,13423 | 21,5 | 0,00624 | IO |

Berdasarkan metode FEMA (356, 2000) level kinerja struktur dapat ditentukan dari rasio antara target perpindahan (δ_t) dan tinggi struktur. Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa rasio gedung SPSW model 1 (kolom *king cross*) sebesar 0,00533 dan rasio gedung SPSW model 2 (kolom *hollow*) sebesar 0,00624. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kedua model gedung SPSW termasuk dalam kategori level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan pengecekan terhadap gaya geser dasar, struktur gedung SPSW model 1 (kolom *king cross*) memiliki nilai gaya geser dasar terbesar yaitu sebesar 3.137,30 kN untuk arah X dan 3.144,66 kN untuk arah Y. Sedangkan terakhir profil *hollow* sebesar 3.050,23 kN arah X dan 3.061,67 kN arah Y.

- 2) Berdasarkan pengecekan terhadap perpindahan, hasil analisis menunjukkan bahwa kekakuan struktur diperoleh pada gedung SPSW model 1 (kolom *king cross*) dengan nilai perpindahan terkecil sebesar 46,278 mm untuk arah X dan 46,555 mm untuk arah Y.
- 3) Berdasarkan pengecekan terhadap simpangan antar tingkat, kedua model struktur gedung SPSW memenuhi persyaratan terhadap simpangan izinnnya. Struktur gedung SPSW model 1 (kolom *king cross*) memiliki simpangan antar tingkat terkecil dibandingkan dengan struktur gedung SPSW model 2 untuk arah X.
- 4) Berdasarkan pengecekan terhadap pengaruh P-Delta yang berkaitan dengan tingkat kestabilan struktur gedung dalam menahan gaya lateral akibat seismik, kedua model struktur gedung SPSW memenuhi persyaratan terhadap nilai koefisien stabilitas maksimumnya. Struktur gedung SPSW model 2 (kolom *hollow*) memiliki nilai koefisien stabilitas terkecil dibandingkan dengan struktur gedung SPSW model 1.
- 5) Berdasarkan hasil analisis *pushover*, didapatkan bahwa kedua model struktur gedung SPSW berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) halmana jika terjadi gempa maka struktur tidak mengalami baik kerusakan struktural maupun kerusakan non struktural yang berarti, sehingga kekuatan dan kekakuan hampir sama dengan kondisi sebelum terjadi beban seismik gempa, atau dapat dikatakan bahwa struktur masih dalam kondisi sangat aman.
- 6) Jika diurutkan, kinerja gedung SPSW berdasarkan variasi profil kolom yang paling efektif secara berurutan diperoleh model 1 dan model 2, berdasarkan parameter-parameter seperti gaya geser dasar, perpindahan, simpangan antar tingkat, pengaruh P-Delta, dan level kinerja struktur.
- 7) Baik model 1 maupun model 2, penggunaan kolom baja profil penampang selain IWF (yang seringkali digunakan), dapat diaplikasikan dalam perancangan struktur gedung SPSW di lapangan. Hal ini terkait dengan hasil pemodelan level kinerja struktur gedungnya masih dalam kondisi aman. Sehingga, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai detailing sambungan dari balok profil IWF ke kolom profil *king cross* ataupun *hollow*.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Badan Standardisasi Nasional. "SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.
- [2] Sudarmoko, Diagram Perancangan Kolom Beton Bertulang Mengacu SNI-03-2847-1992, Yogyakarta: Biro Penerbit, 1996.
- [3] F. Nugroho, "Pengaruh Dinding Geser Terhadap Perencanaan Kolom Dan Balok Bangunan Gedung Beton Bertulang," *Jurnal Momentum*, vol. 19, no. 1, pp. 19-26, Februari 2017.
- [4] D. Sitorus & W. Dewobroto, "Studi Perbandingan Perencanaan Bangunan Baja Sistem Special Moment Frames Dan Special Plate Shear Walls," *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, vol. 3, no. 1, pp. 57-70, April 2019.
- [5] M. F. Saefuddin, "Perbandingan Kinerja Struktur Bangunan Baja Bertingkat Menggunakan Shear Walls Dan Bracing," Program Studi Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional Bandung, 2021.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2020.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-Gedung," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.
- [8] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa *Pushover*," *Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering*, Semarang, 17-18 Juni 2005.

- [9] Y. A, Pranata, "Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan *Pushover* Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 41-56, Januari 2006.
- [10] E. Desimaliana & T. Arifin, "Analisis *Pushover* terhadap Variasi Penampang Kolom pada Struktur Gedung Special Plate Shear Wall," *Journal of Sustainable Construction (JoSC)*, vol. 1, no.1, Oktober 2021.
- [11] Federal Emergency Management Agency Fema 356. (2000). "FEMA 356: Pre-standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, Developed by the Applied Technology Council, October 2000.