

PERILAKU *SEISMIC* STRUKTUR *SHEAR PLATE SHEAR WALLS*: DESAIN DAN KONSTRUKSI PRAKTIS DENGAN PENDEKATAN EVALUASI *PUSHOVER ANALYSIS*

Indra Komara¹, Priyo Suprobo², Kivanc Taskin³

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

²Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

³Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Eskisehir Technical University, Eylül Kampüsü, Tepebaşı/Eskişehir, Turkey

¹indrakomara@itats.ac.id, ²priyo@ce.its.ac.id, ³kivanct@eskisehir.edu.tr

Abstrak

Studi pada penelitian ini menginvestigasi pengaruh kategori desain gempa pada perilaku sistem struktur penahan lateral berupa *Shear Plate Shear Walls* (SPSW). Dua model struktur dengan berbagai kategori desain dievaluasi dengan beberapa aspek rasio. Dua model dengan tinggi yang berbeda diinvestigasi. Analisis empiris dilakukan dengan pendekatan model strip panel pelat baja. Kemudian evaluasi lanjutan disertakan menggunakan analisis respon spektrum yang dievaluasi tingkat kinerja dengan program bantu ETABS. Hasil investigasi mengilustrasikan bahwa SPSW dapat meningkatkan kekakuan struktur, akselerasi simpangan, dan simpangan antar lantai. Selain itu, energi disipasi struktur dapat meningkat.

Kata kunci: Shear plate shear wall, panel pelat baja, tingkat kinerja, ETABS

Abstract

The study in this research investigates the influence of seismic design categories on the behavior of the lateral retaining structure system in the form of shear plate shear walls (SPSW). Two structural models with various design categories were evaluated with several aspect ratios. Two models with different heights were investigated. Empirical analysis was carried out using the steel plate panel strip model approach. Then follow-up evaluation is included using response spectrum analysis which evaluates the level of performance with the ETABS auxiliary program. The results of the investigation illustrate that SPSW can increase structural rigidity, drift acceleration and drift between floors. In addition, the energy dissipation of the structure can be increased.

Keywords: Shear plate shear wall, steel plate, level of performance, ETABS

Pendahuluan

Sistem struktur dengan penahan lateral pada dinding menggunakan steel plate shear wall (SPSW) telah lama dikenal sebagai salah satu alternatif penahan beban lateral yang efektif digunakan pada struktur rangka baja (Akbar, 2019). Sistem struktur ini sudah banyak di aplikasikan di beberapa negara dengan intensitas gempa tinggi seperti Amerika, Jepang, dan Taiwan. Berdasarkan beberapa studi yang

dikembangkan pada kondisi gempa tinggi, sistem struktur SPSW dapat meningkatkan kinerja struktur tanpa harus meningkatkan dimensi struktur utama (Bruneau et al., 2007). Selain itu dapat meminimalisir resiko terjadinya kerusakan, yaitu hingga di moderate occupancy (Vian et al., 2005).

Sesuai desain kategori *seismic* ASCE pada sistem struktur *special plate shear walls* (SPSW), analisis lanjutan untuk meninjau

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

kesesuaian daktilitas dan performa *seismic* diperlukan. Karena tidak ada ketentuan untuk analisis tersebut secara jauh (Goharrokhi et al., 2020). Hal ini menjadikan evaluasi empiris dan permodelan numerik menggunakan sistem struktur SPSW menjadi diperlukan untuk dianalisis.

Di Indonesia dengan intensitas terjadinya gempa cukup sering, sesuai data pada tahun 2019 yang disampaikan oleh pusat gempa nasional dan badan meteorologi, klimatologi dan geofisika, gempa diatas magnitudo 5.0 terjadi lebih dari 340 kali dengan korban lebih dari 700 ribu jiwa (Wijaya et al., 2013; Glorie et al., 2014; Soelarso et al., 2017). Dalam menghadapi resiko tersebut, upaya preventif berupa perencanaan sistem struktur tahan gempa menjadi salah satu pilihan. Salah satu alternatif tersebut yang dijadikan kajian adalah dengan mengevaluasi sistem struktur SPSW yang diposisikan pada wilayah situs dengan kondisi gempa tinggi. Struktur SPSW sendiri merupakan sistem penahan gaya lateral untuk Gedung baja yang terdiri dari pelat baja vertikal padat yang menghubungkan balok dan kolom. Pelat tersebut terpasang sepanjang ketinggian struktur sehingga membentuk sebuah tahanan dinding yang berpenopang (Topkaya and Atasoy, 2009).

Tujuan dari investigasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan analisis kapasitas *seismic* pada sistem struktur SPSW dengan meninjau kategori *seismic* di Indonesia. Evaluasi didasarkan kategori desain sesuai ASCE (Hines, 2009; Robertson and Loads, 2014; Mattei, 2017). Secara spesifik, analisis nonlinear menggunakan response spektrum dan time history dipakai untuk mengetahui respon dari berbagai tingkatan hazard. Simpangan antar lantai dan perbandingan lendutan sesuai dengan nilai perbesaran dievaluasi, begitu halnya kapasitas kinerja dan daktilitas dari sistem SPSW tersebut.

Sistem Struktur Penahan Lateral SPSW

Ada dua jenis konfigurasi sistem struktur SPSW, yakni *core systems* dan *planar systems*. Konfigurasi sistem tersebut didasarkan kepada denah, ukuran, bentuk dan tinggi bangunan (Galambos and Surovek, 2008). SPSW dengan konfigurasi *core systems* biasa diterapkan pada kondisi bangunan menengah dan tingkat tinggi, dikarenakan memberikan tahanan torsi lebih baik dan menawarkan kapasitas kekakuan dan kinerja yang unggul. Sedangkan SPSW dengan konfigurasi *planar systems* lebih cocok diterapkan

pada bangunan tingkat rendah dan juga pada bangunan yang memerlukan rehabilitasi atau perbaikan. Perkuatan pada dinding yang ditawarkan pada sistem struktur SPSW akan membuat dukungan yang baik khususnya untuk peningkatan kapasitas geser dengan nilai momen kapasitas yang kecil (Ghosh et al., 2009). Ilustrasi konfigurasi kedua sistem tersebut dapat ditinjau pada Gambar 1 dan Gambar 2.



SPSW dengan konfigurasi *core systems*,
Montreal, Canada (Ignasius and John, 2005)



SPSW dengan konfigurasi *planar systems*
Canam HQ, US (Ignasius and John, 2005)

Gambar 1. Ilustrasi SPSW dengan dua konfigurasi utama yang umum dipergunakan

Selain itu ada beberapa keunggulan dengan penerapan sistem struktur SPSW, yakni: (1) Ketebalan dinding, yang mana dengan sistem ini akan menawarkan ketebalan dinding yang sangat tipis jika dibandingkan dengan sistem dinding struktur beton bertulang. Ketebalan dinding sistem struktur SPSW dengan semua pendukungnya termasuk penutup dinding, secara umum dalam rata-rata ada di nilai 450 mm, jika dibandingkan dengan beton bertulang yang bisa mencapai dua kali lipatnya. Berdasarkan hal tersebut, nilai ke (2) Berat bangunan, SPSW pun akan berkurang secara signifikan. Merujuk pada studi terdahulu, berat struktur dapat berkurang hingga 20%. Lainnya (3) pelaksanaan konstruksi menjadi lebih cepat, karena sistem struktur SPSW dapat mengurangi

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

waktu pelaksanaan, yaitu dengan sistem interlocking dan tanpa memerlukan waktu perawatan. Terakhir (4) Daktilitas, dengan pelat yang tipis, kemampuan penampang memiliki kapasitas post-buckling lebih baik. Sesuai penelitian, struktur SPSW dapat mencapai drift hingga 4% tanpa mengalami kerusakan signifikan.

Analisis dan Pendekatan Desain SPSW

Sistem struktur SPSW secara tipikal terdiri dari panel pelat baja, elemen batas vertikal dan elemen batas horizontal. Berikut prosedur dalam evaluasi desain sistem struktur SPSW dibagi kedalam tiga bagian utama antara lain: (1) Menentukan beban gravitasi, (2) Menentukan panel pelat baja dan (3) Menentukan boundary elements. (Plate et al., 2022)

Pada tahapan penentuan beban gravitasi, kerangka bangunan termasuk SPSW dan boundary elements harus didesain untuk menahan beban gravitasi sementara mengabaikan kontribusi dari panel SPSW. Hal tersebut menjadi faktor penting untuk memastikan bahwa kerangka bangunan memiliki kapasitas yang cukup untuk mendukung beban gravitasi selama peristiwa seismik. Disamping itu, kondisi ini untuk memastikan bahwa panel SPSW tidak mengalami tekuk awal karena perkembangan tegangan sebelum terkena pengaruh beban seismik.

Parameter selanjutnya adalah penentuan panel pelat baja. Panel ini didesain untuk mengatasi baik beban angin dan beban seismik. Semua beban geser lateral pada panel SPSW di tahan oleh pelat baja, memanfaatkan dukungan tegangan tarik dari pelat dan boundary elements. Ada beberapa pendekatan untuk menentukan panel pelat SPSW. Yang paling banyak dipakai adalah metode tension-field strut model, yang berorientasi pada arah tegangan bidang, a . Elemen pelat dengan ortotropik properti berorientasi pada arah a , dapat digunakan dalam model lateral sebagai pengganti strut. Pendekatan kondisi ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\tan^4 = \frac{\frac{2}{wL} + \frac{1}{A_c}}{\frac{2}{wL} + \frac{2h}{A_b L} + \frac{h^4}{180I_c L^2}} \quad (1)$$

Dimana, L adalah panjang dari panel pelat baja, h adalah tinggi panel pelat baja, w adalah ketebalan dari pelat baja. Kemudian A_c , I_c berurutan

adalah area elemen batas vertikal dan momen inersia, sedangkan A_b adalah bagian area dari elemen batas horizontal (Ignasius and John, 2005; Bruneau et al., 2007).

$$t = t_{wi} = \frac{2V_i}{F_y L \sin(2\alpha_i)} \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{2} F_y t L \sin 2\alpha \quad (3)$$

$$V = \frac{1}{2} F_y t L \sin 2\alpha + \frac{4M_p}{h} \quad (4)$$

Tinggi maksimum yang disarankan dibandingkan dengan rasio panjang (h/L) adalah 1.0, dimana hal tersebut akan berpengaruh pada nilai kekakuan vertikal pada elemen batas. Rekomendasi lain adalah perbandingan minimum panjang dan ketebalan sebesar 180. Pelat yang tebal akan mempengaruhi kondisi distribusi tegangan pada panel. Secara ideal, struktur SPSW harus didesain sedemikian rupa agar semua panel baja dapat mendisipasi energi melalui deformasi elastisitas ketika struktur mengalami gempa. Oleh karena itu, untuk geometri struktur, khususnya yang sering dipertimbangkan pada struktur bangunan serta aspek arsitektur, ketebalan dari panel baja harus didesain sesuai kondisi gaya setiap lantai. Desain praktis tersebut sesuai persamaan (2), dimana t adalah ketebalan dari pelat bagian dalam, i adalah tingkat lantai yang ditinjau, V sesuai dengan persamaan (3) maupun (4), yang mana dapat ditentukan secara rigid pada struktur rangka tersebut, F_y adalah tegangan leleh pelat bagian dalam dan M_p adalah momen plastic paling kecil pada balok dan kolom (Bruneau et al., 2007).

Persamaan (2) – (4) mengadopsi mekanisme keruntuhan SPSW pada rangka struktur dengan sambungan sederhana yang. Ilustrasi secara tipikal struktur SPSW dan representasi desain strip model SPSW di ilutrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Ilustrasi tersebut merujuk pada riset yang dilakukan oleh asosiasi peraturan Kanada – Canadian standards association steel design standard CAN/CSA S16-01, yang mana memperbolehkan terjadinya tekuk di bidang geser dan di area perkembangan tegangan (American Institute of Steel Construction, 2010). Sebagai tambahan ilustrasi, Gambar 4 disertakan untuk menunjukkan nilai tegangan diagonal pada pelat baja. Parameter permodelan lain,

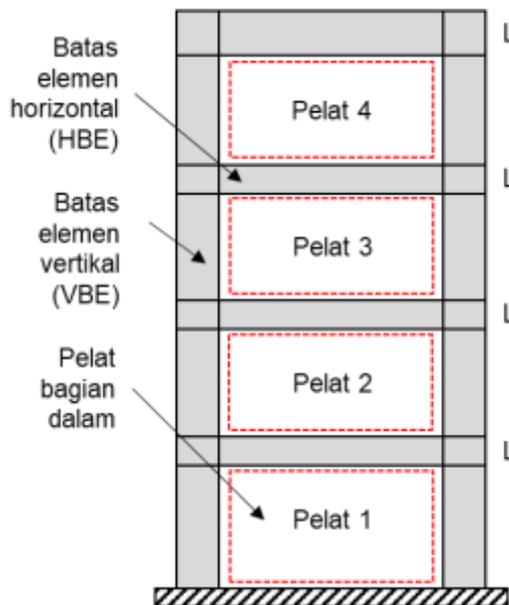
Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

khususnya untuk menentukan distribusi analisis numerik dapat merujuk pada beberapa penelitian terkait yang mana melakukan evaluasi struktur baja (Wahyuni et al., 2015; Komara et al., 2016). Jika dilihat Kembali, persamaan (2) dominan secara konservatif diaplikasikan pada kondisi hubungan balok kolom sederhana dan banyak dipergunakan untuk sistem struktur moment resisting frame.

Seperti yang disampaikan sebelumnya, kapasitas ultimit pada panel baja akan terpenuhi ketika rangka dari elemen pendukungnya cukup kaku dan kuat untuk menahan tegangan yang terjadi secara diagonal. Berikut rekomendasi untuk penentuan VBE dan penentuan I_c yang disampaikan pada persamaan (1).

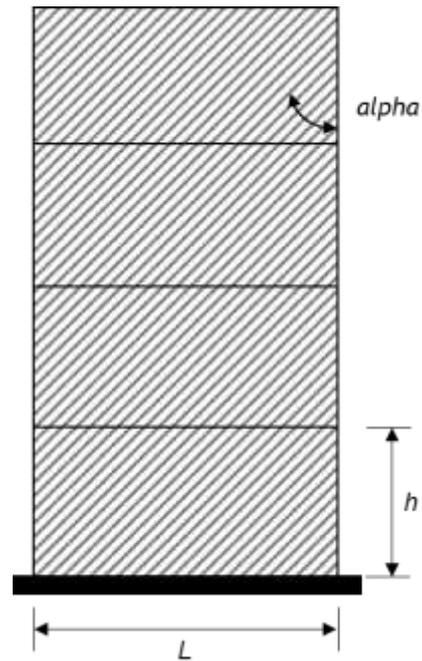
$$0.70h \left(\frac{t_w}{2LI_c} \right)^{0.25} \leq 2.5 \quad (5)$$

$$I_c \geq \frac{0.00307t_w h^4}{L} \quad (6)$$

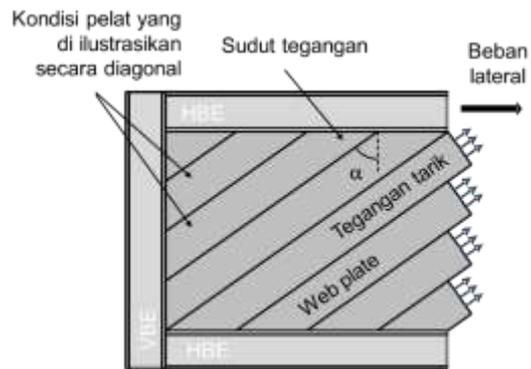


Gambar 2. Sistem struktur SPSW secara global (Bruneau et al., 2007)

Persamaan (5) dan (6) merujuk pada Montgomery dan Medhekar (2001) (Sarcheshmehpour et al., 2021).



Gambar 3. Struktur SPSW dengan ilustrasi model strip (Bruneau et al., 2007)



Gambar 4. Tegangan secara diagonal yang terjadi pada panel pelat baja akibat pengaruh geser

Jika dilihat tidak ada persamaan praktis untuk menentukan HBE. Yang harus di catat adalah, HBE pada bagian struktur atas-atap dan bawah-pondasi harus di tetapkan untuk memberikan dukungan dari kelehan panel baja yang mana didistribusikan sesuai dengan konfigurasi ukuran tegangan pada panel tersebut.

Persyaratan dan Rekomendasi Desain

Merujuk pada NEHRP 2003 (Wight Chair et al., 2005), desain yang direkomendasikan untuk peraturan seismik untuk bangunan dan struktur

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

lainnya (Complementing, n.d.), yang mana di adopsi oleh SNI 1726-2019 (Badan Standardisasi Indonesia, 2019) dan AISC desain provisi seismik untuk struktur bangunan baja (Provisions et al., 2006) sesuai rujukan SNI 1729-2020 (Badan Standardisasi Nasional, 2020), desain minimum kapasitas untuk struktur SPSW telah disampaikan. Pada dokumen-dokumen tersebut disampaikan bahwa kolom didesain sebagai VBE dan balok dikondisikan sebagai HBE. Selebihnya, panel baja dinotasikan sebagai webs dan web serta elemen batas VBE dan HBE disampaikan sebagai panel. Kapasitas nominal untuk kekuatan web disampaikan sesuai persamaan (7).

$$V_n = 0.42F_y t_w L_{cf} \sin(2\alpha) \quad (7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \sqrt{\frac{1 + \frac{tL}{2A_c}}{1 + th \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right)}} \quad (8)$$

Dimana L_{cf} adalah jarak bebas antara sayap VBE. Sesuai persamaan (7) tersebut, α dihitung menggunakan persamaan (8) mengadopsi persamaan (1). Sebagai catatan persamaan (7) sangat mirip dengan persamaan (3), hanya saja nilai L yaitu jarak antara titik tengah VBE digantikan dengan L_{cf} , dan nilai $\frac{1}{2}$ digantikan dengan nilai 0.42, yang mana nilai tersebut didapatkan dari perhitungan 0.50 dibagi dengan faktor kekuatan berlebih dengan nilai 1.2. Desain kekuatan geser pada sayap diberikan ϕV_n dimana nilai dari ϕ adalah 0.90. Pada kondisi ini, HBE dan VBE tetap berada pada kondisi elastis yang dihasilkan dari nilai leleh secara penuh pada webs, akan tetapi nilai lentur hinges diperkenankan hingga ujung HBE. Parameter ini dapat terpenuhi apabila persamaan (6) tercapai, yang mana niainya sesuai persamaan (9). Sebagai tambahan, beberapa detail disampaikan sesuai rujukan (Ignasius and John, 2005;

Bruneau et al., 2007; Akbar, 2019; Sarcheshmehpour et al., 2021; Liu et al., 2022; Plate et al., 2022), yang diperuntukan untuk sambungan HBE – VBE.

Kondisi lain sebagai batasan adalah nilai kelangsingan webs yang merujuk pada persamaan (10), dimana E merepresentasikan modulus elastisitas webs.

$$0.80 < L/h \leq 2.50 \quad (9)$$

$$\frac{\min(L, h)}{t_w} \leq 25 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (10)$$

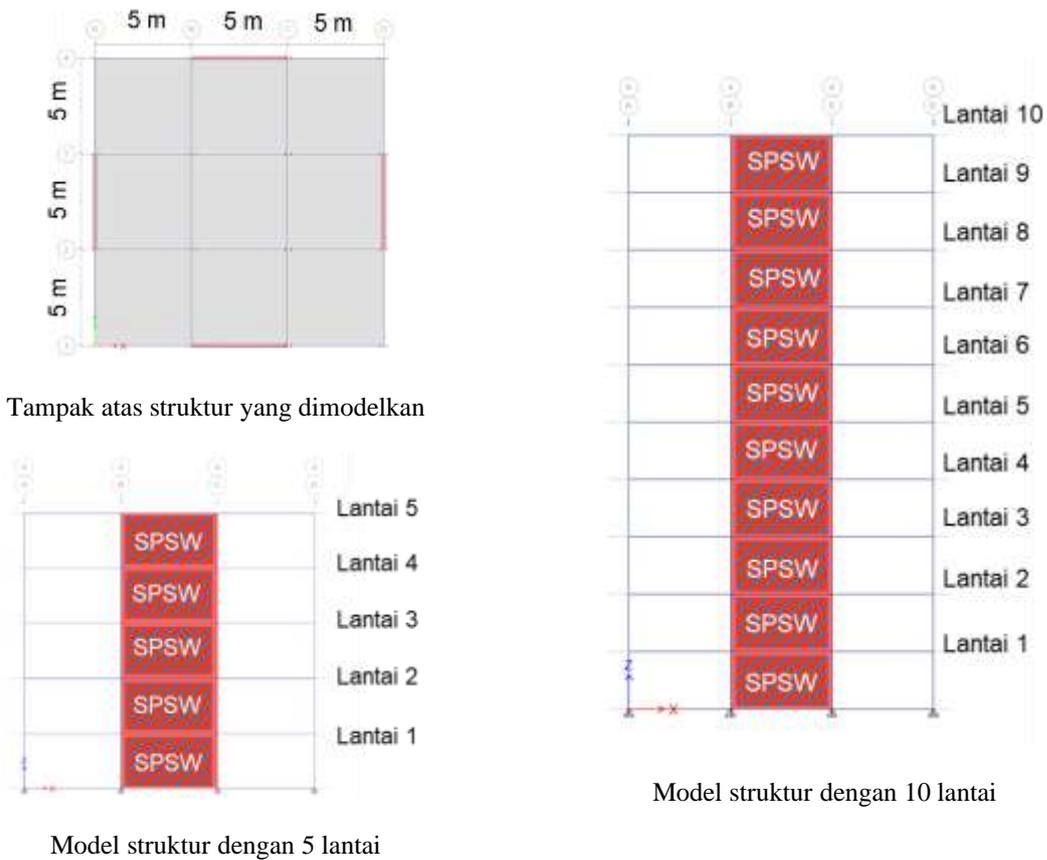
Metode Penelitian

Objektif utama dalam penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi kapasitas struktur SPSW dibawah pengaruh seismik. Untuk evaluasi ini, 2 struktur sederhana dibandingkan dan dikaji dengan parameter yang serupa, akan tetapi memiliki tinggi bangunan yang berbeda. Analisis digunakan dengan pendekatan respons spektrum yang dikaji menggunakan software pendukung ETABS v18 (Etabs, 2016).

Struktur terdiri dari 3 portal, axis x dan y , dengan masing-masing jarak antar portal 5 m dan tinggi total struktur 20 m dan 40 m dijadikan parameter studi. Luas bangunan struktur beraturan tersebut adalah 225 m², terdiri dari 5 lantai dan 10 lantai. Perbandingan tinggi dan lebar bangunan adalah 1.3 dan 2.7. Gambar 5 menunjukkan layout bangunan dan potongan tampak dari permodelan yang dilakukan. Sedangkan penggunaan dimensi penampang pada permodelan tersebut disampaikan pada Tabel 1.

Beberapa spesifikasi material disampaikan, seperti mutu beton yang digunakan f'_c adalah 25 MPa, mutu baja BJ41 dipakai dengan $f_y = 250$ MPa dan $f_u = 410$ MPa. Modulus elastisitas beton adalah $4700\sqrt{f'_c}$ dan modulus elastisitas baja adalah 2×10^5 MPa.

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*



Gambar 5. Pendekatan model struktur SPSW tahan gempa dengan variasi lantai

Tabel 1. Penampang struktur utama pada permodelan struktur SPSW

Jumlah lantai	Lantai	Elemen kolom	Elemen balok	Penampang HBE	Penampang VBE	Ketebalan panel baja [mm]
5	1 – 2	W400×400×45×75	W500×300×11×18	W400×400×45×75	W500×300×11×18	4
	3 – 5	W400×400×40×50	W500×300×11×18	W400×400×40×50	W500×300×11×18	4
10	1 – 3	W400×400×45×75	W500×300×11×18	W400×400×45×75	W500×300×11×18	4
	4 – 7	W400×400×45×75	W500×300×11×18	W400×400×45×75	W500×300×11×18	4
	8 – 10	W400×400×40×50	W300×300×8×12	W400×400×40×50	W300×300×8×12	4

Lokasi struktur berlokasi di tanah SD dengan kategori resiko II. Faktor keutamaan gempa yang digunakan adalah 1 sedangkan koefisien respons modifikasi, R , adalah 8 yang mana merupakan desain dari dinding geser pelat baja khusus. Dari kondisi tersebut didapatkan nilai $C_d = 6.5$. Merujuk pada SNI 1726-2019 [1], PGA dan PGAm berurutan adalah 0.5546 g dan 0.6101 g. $S_s = 1.41$ g dan $S_T = 0.6$ g. Parameter lanjutan untuk kelas situs SA-SF – pada tanah sedang SD

adalah sebagai berikut, V_s (m/detik) = 175 – 350 dan nilai $N = 15 – 50$ sedangkan nilai $S_u = 50 – 100$.

Koefisien situs lainnya adalah F_a dan F_v diketahui dengan nilai 1.0 dan 1.7. Faktor percepatan respons spektrum S_{MS} dan S_{DI} terpenuhi dengan nilai yang berurutan 0.94 g dan 0.68 g, sehingga kategori desain seismik D didapatkan untuk kedua nilai T_o dan T_s sebesar 0.145 dan 0.727. Pendekatan fundamental

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

merujuk pada persamaan (11). C_t adalah nilai parameter pendekatan sesuai standar acuan [1] dan h_n merupakan struktur diatas dasar hingga tingkat tertinggi struktur dalam satuan panjang, sedangkan x adalah nilai parameter pendekatan sesuai standar acuan [1]. Standar acuan tersebut disesuaikan dengan tipe struktur yang dievaluasi. Pada evaluasi permodelan ini nilai C_t diambil sebesar 0.0488 dengan nilai $x = 0.75$. Detail ilustrasi pengambilan parameter tersebut sesuai Tabel 18 pada SNI 1726-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

$$T_a = C_t h_n^x \quad (11)$$

Sesuai Gambar 6 – 7, permodelan dilakukan dengan dua kondisi tinggi lantai yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perilaku kapasitas struktur SPSW dengan parameter kapasitas gempa yang dibandingkan dengan tinggi struktur. Sehingga efektivitas struktur dapat diketahui. Optimalisasi penampang pada permodelan dapat dilihat pada Tabel 1. Penampang dimensi tersebut diambil berdasarkan parameter analisis *trial and error* yang mana dievaluasi sesuai dengan batasan rasio, sehingga menghasilkan penampang yang memenuhi kapasitas. Rasio terbesar didapatkan pada kolom bagian bawah dengan nilai rasio 0.415. Rasio tersebut memenuhi kategori desain sesuai dengan kebutuhan *strong column weak beam* dan kapasitas perlu dari elemen HBE dan VBE pada sistem struktur SPSW.

Tabel 2. Prosentase gaya berdasarkan variabel struktur rangka (MF) dan SPSW

Parameter evaluasi	Gaya arah x (Fx)	Gaya arah y (Fy)
MF	389.61	260.4
SPSW	1254.60	1376.39
Total	1644.21	1636.79
Prosentase MF (%)	23.7	15.91
Prosentase SPSW (%)	76.3	84.09
Kontrol	100	100

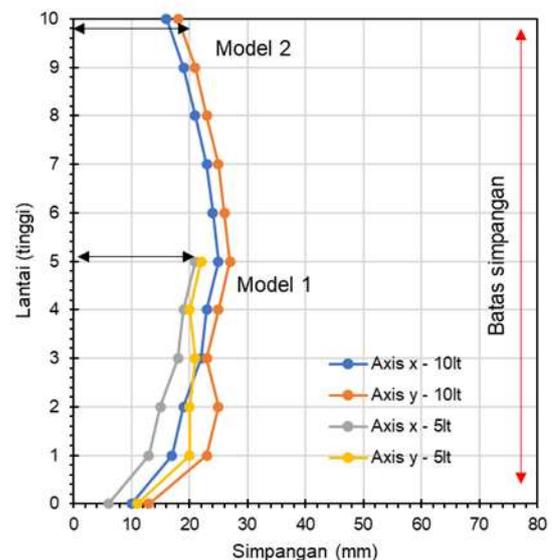
Partisipasi masa sesuai SNI 1726-2019 memenuhi tuntutan desain dengan nilai minimum 90% pada setiap aksis x dan y. Mode

analisis sesuai permodelan hingga 50 *step* yang mana menghasilkan partisipasi masa hingga 100%. Gaya yang bekerja pada sistem ganda ini harus memenuhi syarat yang mana harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan, yaitu perbandingan antara struktur rangka dan SPSW. Gaya tersebut ditinjau dari *joint reaction*, kemudian dibandingkan.

Nilai gaya tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Sesuai dengan ilustrasi pada tabel tersebut, struktur tidak berhasil memenuhi syarat. Solusi yang diberikan adalah dengan melakukan pengurangan pada elemen SPSW baik HBE dan VBE. Sehingga sesuai dengan rujukan desain ketebalan SPSW dikurangi menjadi 3.5 mm.

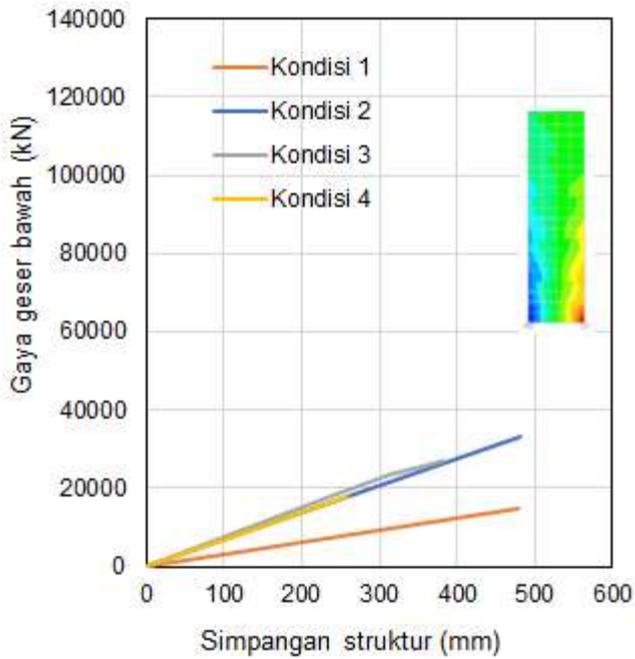
Hasil dan Pembahasan

Evaluasi lanjutan untuk menentukan kapasitas struktur selain menentukan desain sesuai dengan rujukan pada persamaan sebelumnya adalah evaluasi simpangan. Simpangan izin yang diperbolehkan adalah 80 mm, dengan detail perpindahan struktur arah x dan y sesuai ilustrasi pada Gambar 6.

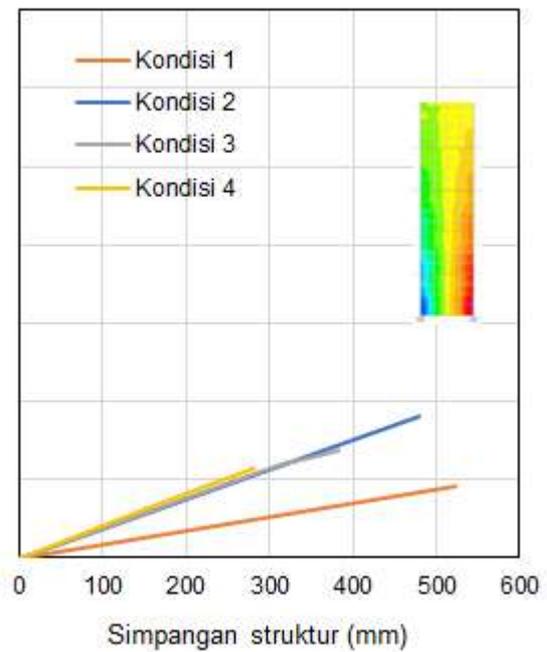


Gambar 6. Simpangan struktur arah x dan y dengan variasi jumlah lantai – 5lt vs 10lt

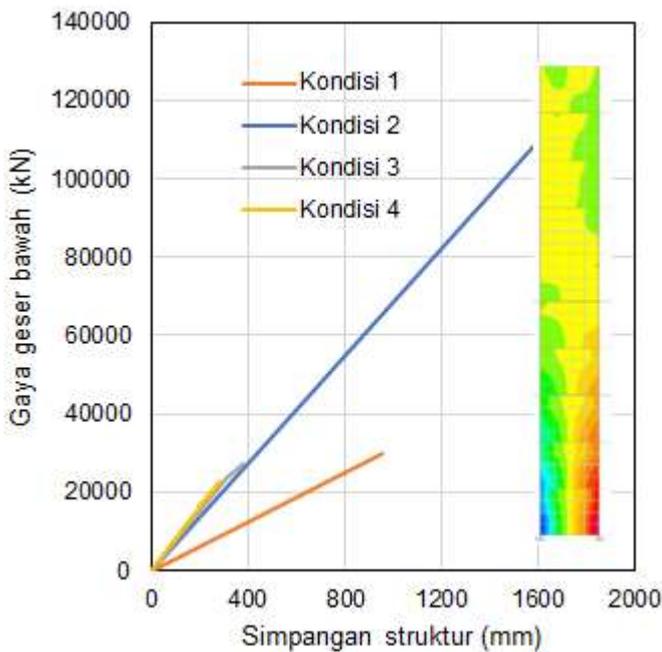
Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*



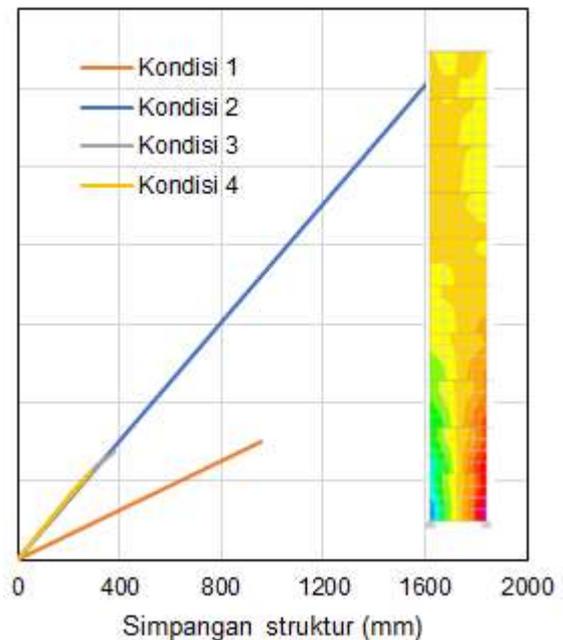
Evaluasi *pushover* struktur 5lt – arah x



Evaluasi *pushover* struktur 5lt – arah y



Evaluasi *pushover* struktur 10lt – arah x



Evaluasi *pushover* struktur 10lt – arah y

Gambar 8. Evaluasi *pushover* berdasarkan variasi jumlah lantai: kondisi 1 adalah berdasarkan evaluasi beban monotonic secara statis dari beban dorongan hingga 30×10^3 kN, kondisi 2 adalah berdasarkan analisis *pushover* orde 1, kondisi 3 adalah akibat analisis *pushover* orde 2 dan kondisi 4 adalah berdasarkan evaluasi *pushover* dengan menyertakan pengaruh p delta.

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

Setelah kapasitas dasar struktur SPSW teridentifikasi, tahapan lanjutannya adalah melakukan asesmen struktur. Pendekatan evaluasi dilakukan dengan menggunakan metode analisis *pushover*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dukungan struktur SPSW dari kurva perbandingan antara gaya geser dasar dan simpangan. Selain itu disipasi energi pada setiap kondisi dievaluasi. Dapat diketahui, hasil evaluasi tersebut, sesuai dengan Gambar 7. Struktur SPSW terilustrasi memiliki nilai kekakuan yang baik dengan nilai disipasi energi yang besar. Pengaruh dari ketinggian lantai pun mengilustrasikan hasil yang tidak terlalu jauh berbeda, yang mana memiliki nilai disipasi energi yang besar. Nilai disipasi energi secara berurutan untuk variasi 5-lt dan 10-lt adalah 5673 kNm dan 2767 kNm. Dari kondisi tersebut, dapat dipertegas bahwa struktur SPSW memberikan dukungan kapasitas secara signifikan. Sama halnya dukungan pada simpangan yang berada di 1/3 nya. Evaluasi *pushover* setiap kondisi dapat diverifikasi sesuai dengan Gambar 8. Evaluasi *pushover* tersebut menyertakan beberapa kondisi dan tahapan dimana untuk mengetahui kapasitas dukungan struktur SPSW secara penuh. Dari evaluasi tersebut diketahui semua sendi plastis terjadi di area kolom secara bertahap dan tingkat *occupancy* atau peruntukan struktur berada pada kondisi *intermediate occupancy* ke *life safety* – *IO to LS*. Artinya level kinerja struktur tersebut berada pada kondisi yang baik dengan sistem tahanan yang besar. Distribusi tegangan dapat pula dilihat pada detail Gambar 8, yang diilustrasikan pada gradien panel pelat baja. Merah dalam gradien tersebut menunjukkan distribusi tegangan besar dimana warna biru menandakan ditribusi tegangan rendah.

Selanjutnya untuk mengetahui rasio simpangan maksimum yang dibandingkan dengan simpangan pada arah x dan y , nilai daktilitas dievaluasi. Nilai daktilitas arah x dan y secara berurutan adalah 1.74 dan 1.88.

Kesimpulan

Sesuai dengan objektif utama dalam penelitian ini adalah untuk menginvestigasi sistem struktur penahan gempa dengan sistem pengaku menggunakan SPSW. Dengan menggunakan SPSW, kapasitas struktur dapat terpenuhi khususnya dengan fenomena *strong-column weak-beam*. Dua model dengan perbedaan tinggi dianalisis dengan menghasilkan beberapa simpulan:

- (1) Akselerasi maksimum setiap lantai, simpangan antar lantai dan gaya geser dasar secara signifikan dapat termaksimalkan akibat dukungan sistem struktur SPSW.
- (2) Kegagalan struktur atau terjadinya sendi plastis didominasi terjadi pada balok yang mana di inisiasi oleh panel pelat baja. Sebagai catatan tegangan maksimum pada panel baja tidak sampai merusak struktur rangka utama.
- (3) Pada struktur dengan tingkat rendah, dibawah 5-lt, dukungan panel baja tidak terdistribusi secara maksimal, hal ini dapat dilihat pada perilaku evaluasi *pushover* yang mana nilai simpangan yang terjadi relatif lebih kecil, atau struktur menjadi terlalu kaku.
- (4) Pada struktur dengan tingkat tinggi, 10-lt, dukungan panel baja terdistribusi secara penuh, hal tersebut diilustrasikan pada tegangan yang terjadi didominasi oleh tegangan yang besar, perbandingan tegangan yang terjadi antara struktur dengan tingkat rendah dan tinggi adalah 10.6%.
- (5) Studi ini dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan kapasitas struktur khususnya untuk bangunan tingkat tinggi.

Daftar Rujukan

- Akbar, M.A. 2019. *A Study on Steel Plate Shear Wall A Study on Steel Plate Shear Wall*. American Institute of Steel Construction. 2010. *Steel Frame Design Manual. Book*, (May).
- Badan Standardisasi Indonesia. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung SNI 1726:2019*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Sni 1726-2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, (8): 254.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*.
- Bruneau, M., Berman, J.W., Lopez-garcia, D., Vian, D. 2007. *A Review of Steel Plate Shear Wall Design Requirements and Research*. 27–34.
- Complementing, I.M. n.d. *Structural Dynamics of Linear Elastic Single-Degree-of-Freedom (SDOF) Systems • Equations of motion for SDOF structures*. 1–100.

Perilaku *Seismic* Struktur *Shear Plate Shear Walls*: Desain dan Konstruksi Praktis dengan Pendekatan Evaluasi *Pushover Analysis*

- Etabs. 2016. *Concrete Frame Design Manual ACI 318-08/IBC 2009*. (December): 3–13.
- Galambos, T. V., Surovek, A.E. 2008. Structural Stability of Steel: Concepts and Applications for Structural Engineers. In *Structural Stability of Steel: Concepts and Applications for Structural Engineers*.
- Ghosh, S., Adam, F., Das, A. 2009. Design of Steel Plate Shear Walls Considering Inelastic Drift Demand. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(7): 1431–1437.
- Glorie, S.M., Luis, V., Muljati, I., Pudjisuryadi, P. 2014. Evaluasi Kinerja Metode Direct Displacement Based Design Dan Force Based Design Pada Bangunan Vertical Setback 6 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2(2): 1–8.
- Goharrokhi, A., Shayanfar, M., Rezaeian, A. 2020. *Evaluation of steel plate shear walls based on performance based plastic design*. 1(January 2017).
- Hines, E. 2009. Eccentric Braced Frame Design for Moderate *Seismic* Regions. *ASCE Conf. Proc.*, 341(41031): 86.
- Ignasius, F.S., John, D.H. 2005. *Steel Plate Shear Walls: Practical Design and Construction*. 2(April).
- Komara, I., Wahyuni, E., Suprobo, P. 2016. Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut Dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan. *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS)*. .
- Liu, J., Xu, L., Xie, X. 2022. *Seismic* Design and Performance of a Steel Frame-Shear Plate Shear Wall with Self-Centering Energy Dissipation Braces Structure. *Journal of Building Engineering*, 51(December 2021): 104336.
- Mattei, N.J. 2017. A Comprehensive Assessment of Americas's Infrastructure. In *Infrastructure Report Card ASCE (2017th Ed. pp. 1–112)*. Washington: ASCE.
- Plate, S., Walls, S., Connections, S., Ghassemieh, M. 2022. *On the Seismic Evaluation of Steel Frames Laterally Braced*.
- Provisions, S., Buildings, S., Manual, S. 2006. *Introduction to the AISC*. (APRIL).
- Robertson, I.N., Loads, T. 2014. *for ASCE 7-16 Background Information on the Development of a Tsunami Code*.
- Sarcheshmehpour, M., Shabanlou, M., Meghdadi, Z., Estekanchi, H.E., Mofid, M. 2021. *Seismic* Evaluation of Steel Plate Shear Wall Systems Considering Soil-Structure Interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 145(March): 106738.
- Soelarso, S., Baehaki, B., Mursyidan, A. 2017. Analisis Struktur Gedung Bertingkat Di Lima Wilayah Di Indonesia Terhadap Beban Gempa Dan Beban Angin Berdasarkan SNI 1726-2012 Dan SNI 1727-2013. *Jurnal Fondasi*, 6(1): 89–100.
- Topkaya, C., Atasoy, M. 2009. Lateral Stiffness of Steel Plate Shear Wall Systems. *Thin-Walled Structures*, 47(8–9): 827–835.
- Vian, D., Bruneau, M., Hall, K. 2005. *Steel Plate Shear Walls for Seismic Design and Retrofit of Building Structures by*.
- Wahyuni, E., Suswanto, B., Komara, I. 2015. Effects of Angle of Inclination Cables on The Performance of Submerged Floating Tunnel Under Hydrodynamic Load. *The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment*. 5.
- Wight Chair, J.K., Alcocer, S.M., Garcia, L.E., Kelly, D.J., Murray, M.A., Barth, F.G., Ghosh, S.K., Klein, G.J., Ramirez, J.A., ... Salmon, C.G. 2005. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)*. Vol. 2003.
- Wijaya, C., Wijaya, S.W., Muljati, I., Pudjisuryadi, P. 2013. Evaluasi Kinerja Direct Displacement-Based Design Dan Force Based Design Bangunan Irregular Plan 6-Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2(2)., 1–8.