

Studi Respon Seismik Penggunaan Steel Slit Damper (SSD) pada Portal Baja

Lisa Ika Arumsari dan Endah Wahyuni

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: endah@ce.its.ac.id

Abstrak— Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak dari beban gempa terhadap portal baja adalah menggunakan peredam. Steel Slit Damper (SSD) adalah salah satu jenis peredam yang dibuat dari sejumlah pelat baja lunak berbentuk segi-4 yang dimodelkan sebagai pegas-pegas yang disusun secara seri. Energi akibat gempa disalurkan melalui strip-strip damper yang mudah meleleh ketika perangkat mengalami deformasi inelastis siklik. SSD mendisipasi energi melalui pembentukan sendi plastis atau pelelehan pelat damper. Pada penelitian ini dilakukan analisa respon seismik Steel Slit Damper (SSD) pada portal baja 1 lantai yang menerima beban lateral berupa beban gempa, dengan membandingkan portal baja konvensional, portal baja inverted-v, dan portal baja dengan SSD. Hasil analisa menunjukkan bahwa gaya geser, gaya normal, dan momen yang dihasilkan portal dengan SSD lebih kecil hingga 80,49% dari gaya-gaya yang dihasilkan portal konvensional, tetapi gaya-gaya tersebut masih lebih besar daripada yang dihasilkan portal inverted-V. Portal dengan SSD dapat memperkecil simpangan sebesar 94,12% pada portal konvensional dan sebesar 33,33% pada portal bracing inverted-v. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa portal SSD memiliki daktilitas 105,85% lebih tinggi dari portal konvensional dan 298,67% lebih tinggi dari portal bracing inverted-v.

Kata Kunci— Baja, Daktilitas, Portal, Seismik, SSD (Steel Slit Damper)

I. PENDAHULUAN

KETIKA gelombang yang timbul akibat pergerakan lempeng (gempa bumi) mencapai permukaan bumi, getarannya bisa merusak atau tidak tergantung pada kekuatan sumber dan jarak fokus, mutu tanah dimana bangunan berdiri, serta mutu bangunan. Kerugian yang ditimbulkannya bisa berupa materiil maupun non materiil. Oleh karena itu berbagai upaya perlu dilakukan untuk meminimalisir akibat gempa, mulai dari sosialisasi bencana gempa hingga memperkuat struktur sehingga lebih tahan gempa.

Struktur-struktur seperti gedung bertingkat tinggi, jembatan berbenteng panjang, menara pemancar televisi, dan landasan lepas pantai umumnya sangat fleksibel sehingga bila terkena beban dinamis mudah mengalami pergoyangan yang berlebihan. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menerapkan teknologi kontrol pada struktur. Kontrol pada struktur dibagi menjadi dua jenis berdasarkan perlu tidaknya energi untuk menghasilkan gaya kontrol, yaitu kontrol aktif dan kontrol pasif. Kontrol aktif memerlukan arus listrik untuk operasi alat dan menghasilkan gaya kontrol,

sedangkan kontrol pasif menggunakan energi potensial yang dibangkitkan oleh respon struktur untuk menghasilkan gaya kontrol. Kelebihan kontrol aktif adalah karakteristik dinamik struktur dapat beradaptasi dengan beban dinamis yang timbul, sedangkan kelebihan kontrol pasif adalah karena kesederhanaan dalam desain, pemasangan, dan terutama pemeliharaannya [1].

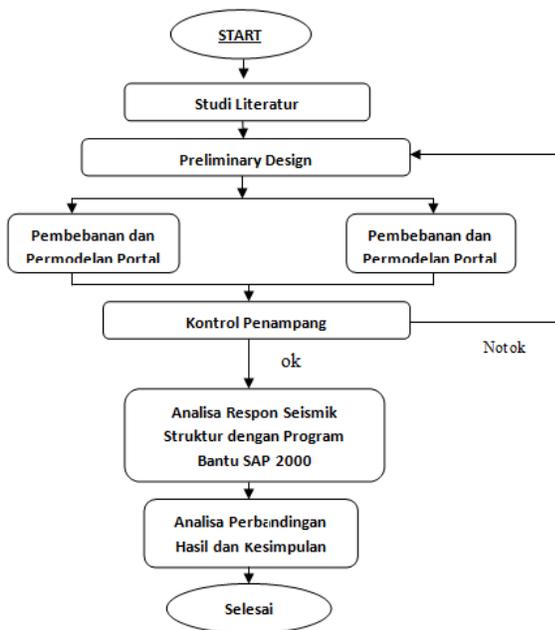
Salah satu alat kontrol pasif pada struktur yang berdasarkan penggunaan material bercelah untuk mengurangi getas adalah *Steel Slit Damper* (Peredam Celah). Alat ini dapat dipasang pada bermacam-macam struktur: gedung bertingkat tinggi, menara, bentangan yang panjang, dan jembatan. Tujuan utama pemasangan Steel Slit Damper: pada gedung tinggi untuk mengurangi goyangan gedung akibat angin, pada menara untuk mengurangi goyangan akibat gempa bumi dan angin, pada struktur berbenteng panjang untuk mengurangi getaran akibat lalu lintas, dan pada jembatan untuk mengurangi goyangan akibat angin atau getaran akibat lalu lintas.

Steel Slit Damper (SSD) dibuat dari sejumlah pelat baja lunak atau timah berbentuk segi-4 yang dimodelkan sebagai pegas-pegas yang disusun secara seri. Sehingga besarnya kekakuan damper adalah jumlah dari kekakuan masing-masing pelat. Energi akibat gempa dan angin disalurkan melalui strip-strip damper yang mudah melentur ketika perangkat mengalami deformasi inelastis siklik. Damper jenis ini mendisipasi energi melalui pembentukan sendi plastis atau pelelehan lentur bahan damper. Slit damper memiliki hysteresis yang stabil dengan energi disipasi dan daktilitas yang sangat baik [2].

Pemasangan Slit Damper tentu akan mempengaruhi respons dinamis akibat beban gempa bumi. Diharapkan respons dinamis dari gedung dengan slit damper, akibat gempa, lebih kecil daripada respons dinamis seandainya gedung itu tanpa Slit Damper.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui respon seismik portal baja dengan menggunakan steel slit damper. Hal ini perlu dilakukan untuk dapat mengetahui perilaku portal dengan steel slit damper terhadap faktor-faktor yang mengacu pada kekakuan, kekuatan, daya layan, daktilitas, kesatuan, dan keawetan. Untuk menganalisa struktur gedung dengan slit damper terhadap faktor-faktor tersebut digunakan program bantu SAP 2000.

II. METODOLOGI

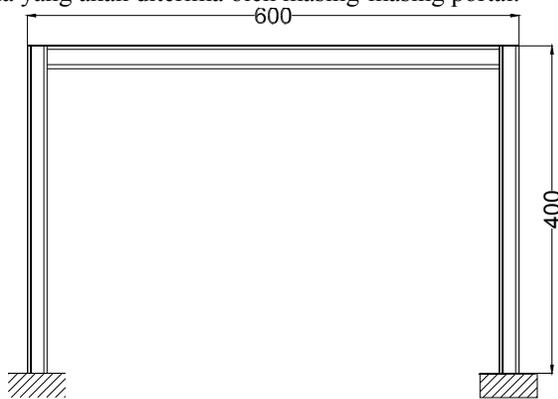


Gambar 1. Diagram Alir

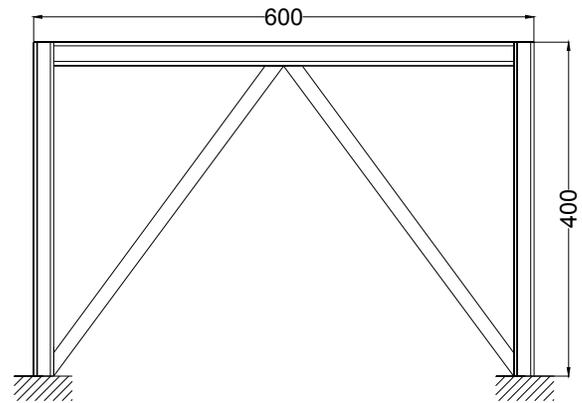
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Permodelan Portal

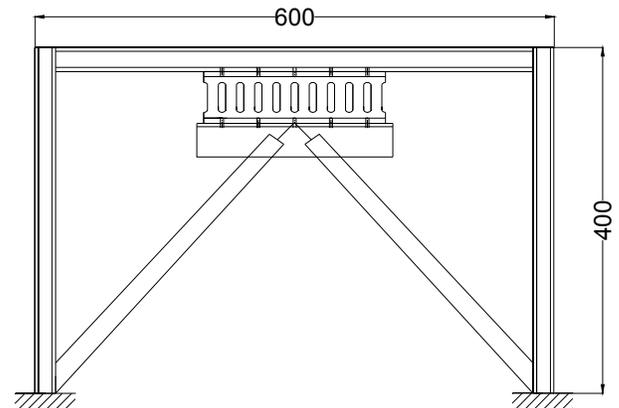
Portal yang akan direncanakan dalam studi ini ada tiga, yaitu: portal konvensional, portal bracing inverted-v, dan portal dengan menggunakan Steel Slit Damper (SSD) seperti ditunjukkan pada gambar 1, 2, dan 3. Ketiga portal di atas didesain dengan elemen struktur yang sama. Selain itu, dalam bab ini juga akan dihitung beban gravitasi dan beban gempa rencana yang akan diterima oleh masing-masing portal.



Gambar 2. Portal konvensional.



Gambar 3. Portal bracing inverted-v.



Gambar 4. Portal dengan menggunakan steel slit damper (SSD).

Pada masing-masing portal akan dikerjakan menggunakan profil dan kombinasi pembebanan yang sama untuk kemudian dibandingkan antara ketiganya.

Portal yang akan dianalisa merupakan portal baja yang terdiri dari 1 lantai dan 1 bentang, dengan data-data sebagai berikut:

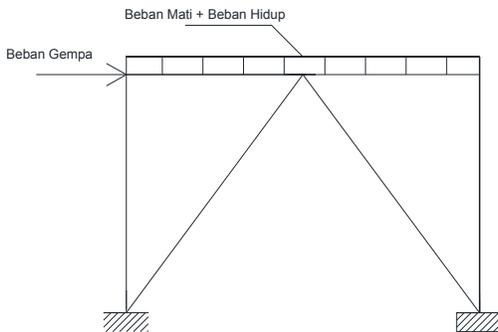
- Mutu Bahan yang digunakan : BJ 37 (SNI 03-1729-2002)
- Modulus Elastisitas (E) = 2000000 Kg/cm²
- Tegangan Putus (f_u) = 370 Mpa = 3700 Kg/cm²
- Tegangan Leleh (f_y) = 240 Mpa = 2400 Kg/cm²
- Panjang Portal : 6 m
- Tinggi Portal : 4 m
- Panjang Bentang Arah Memanjang : 6 m
- Jenis Portal : Portal Baja
- Dimensi Penampang Portal ditunjukkan pada tabel 1 :

Tabel 1. Dimensi Penampang Portal

Elemen Struktur	Dimensi Penampang
Balok	WF 175 x 175 x 7.5 x 11
Kolom	WF 200 x 200 x 8 x 12
Bracing	HSS 4.5 x 4.5 x 0.125 (in)

B. Pembebanan

Pada setiap portal dikerjakan kombinasi pembebanan yang sama. Beban yang bekerja pada struktur terdiri dari beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa. Jenis beban yang mempengaruhi ketiga portal divisualisasikan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Skema pembebanan pada portal

- Beban Mati

Portal direncanakan memikul beban mati sebagai berikut:
 Pelat Lantai (beton 12 cm) = 0.12 x 2400 x 3 = 864 kg/m
 Spesi = 0.02 x 2100 x 3 = 126 kg/m
 Tegel = 0.02 x 2400 x 3 = 144 kg/m
 Bondeks = 10.1 x 3 = 30.3 kg/m
 Plafon + penggantung = (11 + 7) x 3 = 54 kg/m
Total = 1218.3 kg/m

- Beban Hidup

Beban struktur yang akan diuji akan diasumsikan merupakan gedung perkantoran, maka berdasarkan PPIUG 1983 beban hidup lantai adalah 250 kg/m².
 Beban hidup = 250 kg/m² x 3 m = 750 kg/m

-Spektrum Respon Desain

Beban gempa pada portal ini menggunakan respon spektrum sesuai dengan RSNI 03-1726-2010. Agar dapat dianalisa secara non-linear, fungsi respon spektrum untuk portal yang menggunakan Steel Slit Damper (SSD) harus direduksi secara manual yaitu dengan mengalikan fungsi respon dengan faktor damping yang merupakan reduksi beban akibat adanya pemasangan damper [3].

Damping pada studi ini direncanakan sebesar 40% untuk portal yang menggunakan SSD. Perhitungan faktor damping diambil yang terkecil, yaitu sesuai Bommer et al :

$$\begin{aligned}
 (\beta)\zeta &= \sqrt{\frac{10}{5+\zeta}} \\
 &= \sqrt{\frac{10}{5+40}} = 0.471 \\
 &= 0.471
 \end{aligned}$$

Tabel 2.
 Nilai Nilai Respon Spektrum

T	Sa
0	0.3264
0.105	0.816
0.523	0.816
0.8	0.533333
1	0.426667
1.2	0.355556
1.4	0.304762
1.6	0.266667
1.8	0.237037
2	0.213333
2.5	0.170667
3	0.142222
3.5	0.121905
4	0.106667
4.5	0.094815
5	0.085333
5.5	0.077576
6	0.071111
6.5	0.065641
7	0.060952
7.5	0.056889
8	0.053333
8.5	0.050196
9	0.047407
9.5	0.044912
10	0.042667

Untuk nilai respon spektrum gempa dengan T yang sama, nilai Sa yang digunakan pada struktur dengan steel slit damper (SSD) dikalikan terlebih dahulu dengan faktor damping $(\beta)\zeta$.

- Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur utama didasarkan pada SNI 03-2847-2010 pasal 4.2.2 dimana secara umum kombinasi pembebanan yang bekerja adalah sebagai berikut :

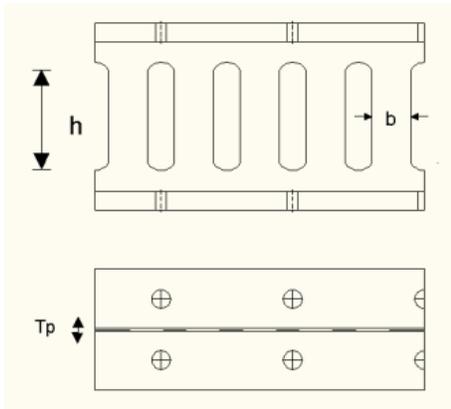
1. Kombinasi 1 = 1,4D
2. Kombinasi 2 = 1,2D + 1,6L
3. Kombinasi 3 = 1,2D + 1,0RSP + 0,5L
4. Kombinasi 4 = 0,9D + 1,0 RSP
5. Kombinasi 5 = 1,0D
6. Kombinasi 6 = 1,0D + 1,0L

C. Kontrol Profil

Kontrol kekuatan struktur terhadap profil yang digunakan dalam struktur dilakukan agar diketahui apakah profil yang digunakan dalam desain sudah memenuhi persyaratan atau belum. Pada kasus ini profil yang direncanakan seperti tercantum pada tabel 1 sudah merupakan profil yang optimum dan memenuhi syarat.

D. Perhitungan Pelat Steel Slit Damper

Damper yang digunakan dalam studi ini merupakan pelat pelat SSD dengan profil sebagai berikut:



Gambar 6. Profil Steel Slit Damper (SSD)

- Tinggi Pelat, $h = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$
- Lebar Pelat, $b = 21 \text{ cm} = 0.21 \text{ m}$
- Tebal Pelat, $Tp = 1.5 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$

Damper direncanakan menggunakan baja lunak BJ 34, dengan :

- Modulus Elastisitas (E) = 2000000 kg/cm²
- Tegangan Putus (f_u) = 340 MPa = 3400 kg/cm²
- Tegangan Leleh (f_y) = 210 MPa = 2100 kg/cm²

Kekakuan pelat damper :

$$K = \frac{E \times b \times T_p^3}{h^3}$$

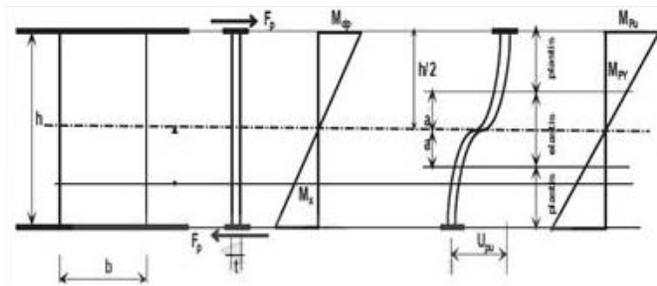
$$= \frac{2000000 \times 21 \times 1.5^3}{50^3}$$

$$= 10034 \text{ kg/cm} = 113400 \text{ Kg/m}$$

Direncanakan akan digunakan 10 pelat damper, sehingga:

$$Kd = 10 \times 90703.13 = 1134000 \text{ Kg/m}$$

Deformasi dan gaya-gaya yang bekerja pada pelat damper bentuk segi-4 dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut :



Gambar 7. Gaya-gaya dan deformasi steel slit damper (SSD)

Dari hasil penganalisaan melalui program SAP2000 V14 didapat gaya lateral yang bekerja pada damper, $f_p = 566.54 \text{ Kg}$, maka momen potongan sejauh x dapat dihitung sebagai berikut:

$$Mx = f_p \cdot x, \text{ dimana } x = 1/2 \cdot h$$

$$= 1/2 \cdot 50$$

$$= 25 \text{ cm}$$

$$Mx = f_p \cdot x$$

$$= 566,54 \cdot 25$$

$$= 14163,5 \text{ Kgcm}$$

Tegangan yang terjadi pada penampang x-x adalah:

$$\sigma = \frac{Mx \cdot y}{Ix}$$

, dimana $y = t/2 = 1.5/2 = 0.75$

$$Ix = 1/12 b t^3 = 1/12 \cdot 21 \cdot 1,5^3 = 5.91 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = \frac{14163,5 \cdot 0,75}{5,91}$$

$$= 1798,54 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat bahwa tegangan yang terjadi pada pelat damper adalah sebesar, $\sigma = 1798,54 \text{ kg/cm}^2$, ini berarti damper masih pada keadaan aman yaitu kurang dari tegangan ijin, $f_y = 2100 \text{ Kg/cm}^2$.

Bila kita bandingkan dengan tegangan yang terjadi pada masing-masing elemen portal, maka seharusnya akan diperoleh tegangan yang lebih aman daripada tegangan yang terjadi pada damper. Hal ini dibutuhkan dengan harapan yang mengalami leleh terlebih dahulu adalah damper itu sendiri daripada portal. Berikut adalah tegangan yang bekerja pada masing- masing elemen portal:

Tabel 3.

Tegangan yang terjadi pada elemen portal

No. Elemen	Gaya Maks (Kg)	Profil	Luas (cm ²)	σ kg/cm ²
4	566.54	WF250 x 175 x 7 x 11	56.24	10.07
5	566.54	WF250 x 175 x 7 x 12	56.24	10.07
9	4289.79	WF250 x 250 x 11 x 11	82.06	52.28
19	4289.74	WF250 x 250 x 11 x 12	82.06	52.28

Pada tabel 3 didapat tegangan maksimum yang terjadi pada elemen adalah 52.28 kg/cm². Bila dibandingkan antara tegangan yang terjadi pada damper dan portal adalah:

Tabel 4.

Perbandingan efektifitas damper dan elemen pada portal

	Tegangan yang terjadi (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)	Efektifitas (%)
Damper	1798.54	2100	85.64
Elemen	52.26	2400	2.18

Sehingga dapat kita simpulkan damper akan lebih dulu mengalami leleh daripada portal seperti yang diharapkan.

E. Hasil Analisa Linear pada Balok

Dalam tabel 5 akan ditampilkan gaya maksimum hasil analisa linear yang terjadi pada balok masing-masing portal.

Tabel 5.
Perbandingan gaya dalam yang terjadi pada balok

Portal	Posisi	P (Normal)	V (Geser)	M (Momen)
		(Kg)	(Kg)	(Kgm)
Portal Konvensional	X=0	-2411.65	-8139.77	-6547.90
	X=3	-2411.65	595.19	5661.75
	X=6	-2411.65	8139.77	-6547.90
Portal Bracing Inverted-V	X=0	-924.33	-3973.42	-1520.58
	X=3	-924.33	4166.34	-1809.96
	X=6	-924.33	3973.42	-1520.58
Portal dengan SSD	X=0	-566.54	-3988.03	-1538.21
	X=3	-566.54	-4151.73	-1783.76
	X=6	-566.54	3988.03	-1538.21

Dapat dilihat pada tabel: jika dibandingkan dengan portal bracing inverted-v maka gaya geser, gaya normal, dan momen yang terjadi pada balok portal dengan menggunakan Steel Slit Damper relatif lebih besar. Tetapi jika dibandingkan dengan balok portal konvensional, dapat dilihat bahwa steel slit damper mampu mengurangi gaya-gaya yang terjadi pada balok pada posisi x=0, x=3, dan x=6.

Besarnya gaya yang dapat dikurangi oleh Steel Slit Damper (SSD) pada portal biasa dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6.
Perbandingan gaya pada balok
(portal konvensional dan portal dengan menggunakan SSD)

	Portal Konvensional	Portal dengan SSD	Pengurangan Gaya(%)
P (Normal) (Kg)	-2411.65	-566.54	76.51
V (Geser) (Kg)	8139.77	3988.03	51.01
M (Momen) (Kgm)	-6547.90	-1538.21	76.51

Steel slit damper (SSD) mampu mengurangi gaya normal sebesar 76.51%, gaya geser sebesar 51,01%, dan momen sebesar 76,51% yang terjadi pada balok.

F. Hasil Analisa Linear pada Kolom

Hasil analisa menunjukkan bahwa gaya geser, gaya normal, dan momen yang bekerja pada kolom kanan dan kolom kiri adalah sama besar. Dalam tabel 7 akan ditampilkan gaya maksimum yang terjadi pada kolom masing-masing portal.

Tabel 7.
Perbandingan gaya dalam yang terjadi pada kolom

Portal	Posisi	P (Normal)	V (Geser)	M (Momen)
		(Kg)	(Kg)	(Kgm)
Portal Konvensional	Z=0	-8441.47	2904.54	5275.69
	Z=4	-8139.77	2904.54	-6547.9
Portal Bracing Inverted-V	Z=0	-4275.13	560.04	772.83
	Z=4	-3973.42	560.04	-1520.58
Portal dengan SSD	Z=0	-4289.74	566.54	727.93
	Z=4	-3988.03	566.54	-1538.21

Hasil analisa pada kolom kiri portal menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan portal bracing inverted-v maka gaya geser, gaya normal, dan momen yang terjadi pada kolom portal dengan menggunakan Steel Slit Damper relatif lebih besar. Tetapi jika dibandingkan dengan portal konvensional dapat dilihat bahwa steel slit damper mampu mengurangi gaya-gaya yang terjadi pada balok.

Besarnya gaya yang dapat dikurangi oleh Steel Slit Damper (SSD) pada portal biasa tersebut dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8.
Perbandingan gaya pada kolom
(portal konvensional dan portal dengan menggunakan SSD)

	Portal Konvensional	Portal dengan SSD	Pengurangan Gaya (%)
P (Normal) (Kg)	-8139.77	-3988.03	51.01
V (Geser) (Kg)	-2904.54	-566.54	80.49
M (Momen) (Kgm)	6547.90	1538.21	76.51

Steel slit damper (SSD) mampu mengurangi gaya normal

sebesar 51,01%, gaya geser sebesar 80,49%, dan momen sebesar 76,51% yang terjadi pada kolom kiri.

Dari hasil analisa gaya yang terjadi pada balok dan kolom di atas maka dapat diketahui bahwa steel slit damper mampu mendisipasi gaya maksimum sebesar 80,49% yaitu gaya geser yang terjadi pada kolom.

G. Batasan Drift

Batasan Drift maksimum yang diijinkan sesuai RSNI 03-1726-2010 ps 7.12.1:

$$\Delta = 0,015h_{sx}$$

Untuk portal dengan tinggi = 4 meter, batasannya adalah:

$$\begin{aligned} \Delta &= 0,015h_{sx} \\ &= 0,015 \times 4000 \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Batasan drift ini kemudian dibandingkan dengan simpangan maksimum yang didapat dari program bantu untuk struktur seperti pada tabel 9.

Tabel 9.
Simpangan Maksimum Tiap Portal

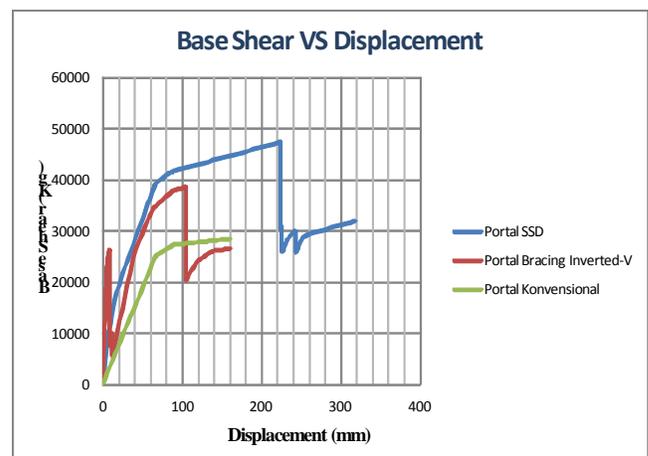
Portal	Drift (Δs)	Syarat Drift (Δs)	Ket
	mm	mm	
Portal Biasa	6.8	60	OK
Portal Bracing Inverted-V	0.6	60	OK
Portal dengan SSD	0.4	60	OK

Pada tabel dapat dilihat bahwa steel slit damper mampu mengurangi drift pada portal konvensional sebesar 94,12% dan pada portal bracing inverted-v sebesar 33,33%.

H. Hasil Analisa Nonlinear

Hasil analisa pushover pada masing-masing portal dapat dilihat berupa kurva kapasitas antara Base Reaction VS Displacement seperti dalam gambar 8 di bawah ini:

Jika dilihat dari grafik kurva kapasitas maka untuk portal inverted-v agak berbeda dari kurva kapasitas portal konvensional dan portal dengan menggunakan SSD. Kurva inverted-v memiliki 2 fase pelelehan. Pada fase pertama yaitu struktur akan leleh dan mengalami keruntuhan seperti yang terlihat pada grafik bahwa struktur akan memiliki duktilitas yang rendah dan kekakuan yang tinggi, kemudian disusul fase berikutnya yaitu struktur mengalami hardening. Bisa dilihat bagaimana struktur yang sudah hancur pada saat itu pun masih memiliki daktilitas tegangan yang cukup tinggi.



Gambar 8. Kurva base shear vs displacement

I. Perhitungan Daktilitas Struktur

Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

Faktor daktilitas adalah rasio antar simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur saat terjadinya pelelehan pertama dalam struktur gedung.

$$\text{Daktilitas} = \frac{\delta_m}{\delta_y}$$

Berdasarkan gambar 8 daktilitas masing-masing portal dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 10.

Daktilitas masing-masing portal

Portal	δ_y	δ_m	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas (%)
Portal Konvensional	62	160.1	2.58	105.85
Portal Bracing Inverted-V	7.5	10	1.33	298.67
Portal dengan SSD	60.2	320	5.32	0.00

Steel Slit Damper (SSD) mampu meningkatkan daktilitas pada portal konvensional sebesar 105,85% dan pada portal bracing inverted-v hingga sebesar 298,67%.

IV. KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil analisa portal konvensional, portal bracing inverted-v, dan portal dengan menggunakan *steel slit damper* saat terjadi gempa, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa portal 2 dimensi didapatkan bahwa portal dengan menggunakan steel slit damper (SSD) memiliki gaya geser, gaya normal, dan momen yang lebih besar dari portal bracing inverted-v. Tetapi jika dibandingkan dengan portal konvensional, portal dengan menggunakan SSD memiliki gaya geser, gaya normal, dan momen yang lebih kecil.
2. Portal dengan steel slit damper (SSD) dapat memperkecil simpangan yang terjadi sebesar 94,12% pada portal konvensional dan sebesar 33,33% pada portal bracing inverted-v.
3. Dari hasil perbandingan gaya yang bekerja pada portal dengan menggunakan SSD dengan portal konvensional, steel slit damper dapat mendisipasi gaya maksimum sebesar 80.49% pada kolom.
4. Portal dengan menggunakan steel slit damper (SSD) mampu meningkatkan daktilitas sebesar 105,85% pada portal konvensional dan sebesar 298,67% pada portal bracing inverted-v.
5. Pada pola kurva kapasitas untuk portal bracing inverted-v, kurva kapasitas menunjukkan sebuah fase dengan kekakuan yang sangat tinggi tetapi daktilitas yang sangat rendah, dan kurva kapasitas akan naik lagi menandakan adanya fase hardening setelah itu portal kembali runtuh. Sedangkan pada portal konvensional dan portal dengan menggunakan SSD tidak dijumpai adanya fase hardening.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjong, wong foek., Sumendap, R., and Gunawan, F., 2003.” Studi efektifitas Penggunaan Tuned Mass Damper pada Struktur Gedung dalam Mereduksi Respons Dinamik Akibat Beban Seismik”. Dimensi Teknik Sipil 5, 2: 51-56.
- [2] W Chan, Ricky W.K., and Albermani, F., 2007. “Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation”. Engineering Structures 30, 4: 1058-1066.
- [3] Aa ong, Mahadianto., “ Pendekatan Analisa Linear Metallic Damper”, Tesis, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Sumatera Utara., Medan, Indonesia (2008).
- [4] Oh, Sang-Hoon., Kim, Young-Ju., and Ryu, Hong-Sik., 2009. “Seismic Performance of Steel Structures with Slit Dampers”. Engineering Structures 31, 9: 1997-2008.
- [5] Lee, Myung-Ho., Oh, Sang-Hoon., Huh, Choong., Oh, Young-Suk., Yoon, Myung-Ho., and Moon, Tae-Sup., 2002. “Ultimate Energy Absorption Capacity of Steel Plate Slit Dampers Subjected to Shear Force”. Steel Structures 2, 2: 71-79.
- [6] Jacobsen, A., Hitaka, T., and Nakashima, M., 2010. “Online Test of Building Frame with Slit-Wall Dampers Capable of Condition Assessment”. Journal of Constructional Steel Research 66, 11: 1320-1329.