



Evaluasi dan *Retrofitting* Seismik Bangunan Asrama Menggunakan *Steel Panel Damper*: Studi Kasus Gedung Jieshou, Taiwan

Mhd Rony Asshidiqie^{1*}, Badrus Zaman^{1,2}, Dyah Hesti Wardhani^{1,3}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

³Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: muhammad.ronyasshidiqie@gmail.com

(Received: July 21, 2025; Accepted: September 25, 2025)

Abstract

Seismic Evaluation and Retrofitting of Dormitory Buildings Using Steel Panel Dampers: A Case Study of Jieshou Building, Taiwan. Dormitory buildings located in hospital areas and built before the implementation of modern earthquake design standards in Taiwan generally have low seismic capacity and are vulnerable to damage during major earthquakes. This study evaluates the seismic performance of Jieshou Building, a dormitory building in the Tri-Service General Hospital area, and designs a retrofit strategy using Steel Panel Dampers (SPDs) to increase its structural capacity. Modeling and analysis were performed using ETABS software using nonlinear pushover analysis based on the TEASPA method, which allows the conversion of capacity curves into capacity spectra to determine performance points in the form of peak ground acceleration (PGA). The analysis results show that the existing capacity does not meet the CPAMI standard, with a shear force to weight ratio (V/W) of 0.234 and $A_p=0.201g$ in the X direction. After the application of 75-ton capacity SPDs at 8 points up to the 7th floor of the building, the performance increased to $A_p=0.274g$ with a V/W ratio of 0.292. Evaluation of plastic hinges shows that the SPDs effectively absorb earthquake energy. This study concluded that the use of SPD significantly improves lateral capacity and seismic performance without compromising the primary function of the building when implemented.

Keywords: steel panel damper, pushover analysis, earthquake capacity, structural performance, retrofitting

Abstrak

Bangunan asrama yang terletak di area rumah sakit dan dibangun sebelum diberlakukannya standar desain gempa modern di Taiwan umumnya memiliki kapasitas seismik rendah dan rentan terhadap kerusakan saat terjadi gempa besar. Penelitian ini mengevaluasi performa seismik Gedung Jieshou, sebuah bangunan asrama di kawasan Tri-Service General Hospital, serta merancang strategi retrofit menggunakan *Steel Panel Damper* (SPD) untuk meningkatkan kapasitas strukturnya. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan perangkat lunak ETABS menggunakan *pushover analysis nonlinier* berbasis metode TEASPA, yang memungkinkan konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas untuk menentukan titik performa dalam bentuk percepatan puncak tanah (PGA). Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas eksisting belum memenuhi standar CPAMI, dengan rasio gaya geser terhadap berat bangunan (V/W) sebesar 0,234 dan $A_p=0,201g$ pada arah X. Setelah penerapan SPD berkapasitas 75 ton pada 8 titik sampai dengan lantai 7 bangunan, performa meningkat menjadi $A_p=0,274g$ dengan rasio V/W sebesar 0,292. Evaluasi sendi plastis menunjukkan bahwa SPD efektif menyerap energi gempa. Studi ini menyimpulkan bahwa penggunaan SPD

secara signifikan meningkatkan kapasitas lateral dan performa seismik tanpa mengganggu fungsi utama bangunan ketika diimplementasikan.

Kata kunci: *steel panel damper, analisis pushover, kapasitas gempa, performa struktur, retrofitting*

How to Cite This Article: Asshidiqie, M. R., Zaman, B., & Wardhani, D. H. (2025). Evaluasi dan Retrofitting Seismik Bangunan Asrama Menggunakan Steel Panel Damper: Studi Kasus Gedung Jieshou, Taiwan. *JPII*, 3(3), 180-189. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.27905>

PENDAHULUAN

Taiwan merupakan wilayah dengan tingkat aktivitas seismik yang sangat tinggi karena terletak di batas tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Laut Filipina. Beberapa gempa besar seperti gempa Chi-Chi 1999 dan Hualien 2024 menimbulkan kerusakan signifikan pada bangunan. Banyak bangunan lama dibangun tanpa mempertimbangkan standar ketahanan gempa modern, sehingga memerlukan evaluasi dan strategi retrofit yang tepat. Kondisi seperti *soft story*, kolom pendek, desain non-daktail dan eksentrisitas struktural sering ditemukan dalam evaluasi struktural pasca-gempa (Henry et al., 2017). Tanpa intervensi teknis yang memadai, kerentanan tersebut dapat menyebabkan kerusakan serius atau bahkan keruntuhan total.

Untuk itu, evaluasi struktur dan strategi *retrofitting* menjadi sangat krusial. Salah satu metode evaluasi yang umum dan efektif digunakan adalah analisis *pushover*. Metode ini mampu memberikan gambaran nonlinear tentang perilaku struktur terhadap beban lateral bertahap, dengan memperlihatkan hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*. Melalui analisis ini, dapat diketahui seberapa besar kapasitas aktual struktur (*capacity*) dan seberapa besar kebutuhan minimum berdasarkan ketentuan seismik (*demand*). Standar gempa di Taiwan mengharuskan nilai minimal gaya geser dasar sebesar $S_{AD} = 0,4 \text{ SDS}$ (percepatan spektral desain periode pendek), dengan batas simpangan antar lantai (*interstory drift*) ditentukan oleh faktor kepentingan bangunan (I) (CPAMI, 2011):

$I = 1,00$; *story drift* maksimum 2,5% ($V = V_{\max}$)

$I = 1,25$; *story drift* maksimum 2,0% ($V = V_{\max}$)

$I = 1,50$; *story drift* maksimum 1,0% ($V = 0,8V_{\max}$)

Kekurangan kapasitas struktur yang teridentifikasi dari hasil analisis *pushover* perlu diatasi melalui penerapan metode retrofit yang efektif tanpa mengganggu fungsi utama bangunan. Salah satu teknologi yang telah terbukti memberikan kinerja optimal dalam peningkatan kapasitas seismik adalah *Steel Panel Damper* (SPD) yang secara skematik dapat dilihat pada Gambar 1. SPD menawarkan keunggulan berupa kapasitas disipasi energi yang tinggi, kemampuan deformasi besar, serta kemudahan dalam proses penggantian pasca kejadian gempa tanpa mengganggu fungsi bangunan (Tsai et al., 2018).

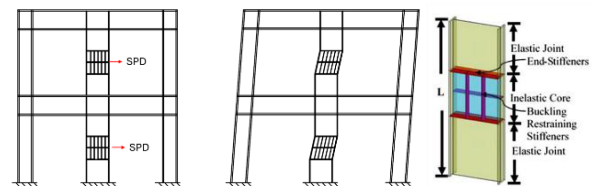
Desain dan implementasi SPD yang efektif memerlukan evaluasi struktural yang akurat, salah

satunya melalui metode evaluasi *Taiwan Earthquake Assessment for Structures by Pushover Analysis* (TEASPA). Metode ini digunakan untuk menghitung properti sendi plastis pada komponen struktural serta mengevaluasi perilaku nonlinear struktur beton bertulang secara lebih rinci (Tu et al., 2011; NCREC, 2009) di mana TEASPA menghitung spektrum permintaan (*demand spectrum*) dengan terlebih dahulu mendefinisikan titik performa struktur (*performance point*) yang merepresentasikan kapasitas seismik maksimum struktur tersebut seperti yang direpresentasikan pada Gambar 2.

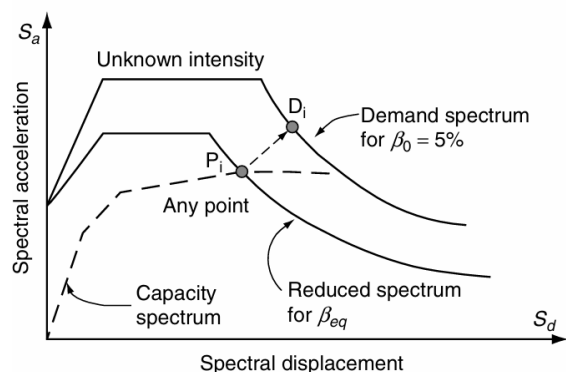
Penelitian ini akan menganalisis dan mengimplementasikan SPD sebagai metode *retrofitting* untuk meningkatkan kapasitas seismik pada bangunan asrama, dengan studi kasus pada Gedung Jieshou, Tri-Service General Hospital, National Defense Medical Center dengan batasan penelitian yaitu:

1. Arah gempa yang diacu hanya gempa lateral.
2. Standar yang dipakai untuk menilai kelayakan bangunan mengikuti standar CPAMI, 2011 terkait performa *peak ground acceleration* bangunan.
3. Penelitian ini hanya menjelaskan pengaruh penambahan SPD terhadap performa bangunan eksisting.

Diharapkan pendekatan ini tidak hanya mampu meningkatkan ketahanan struktural terhadap gempa besar, tetapi juga menjamin keberlangsungan fungsi bangunan.



Gambar 1. Gambar skematik *Steel Panel Damper* (Tsai et al., 2018)



Gambar 2. Penentuan titik performa struktur pada metode TEASPA (Hsiao et al., 2015)

METODE PENELITIAN

Secara umum, metode penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yaitu pengumpulan data, pemodelan struktur dan desain SPD. Tahap pengumpulan data akan dilakukan bersama dengan tim lapangan. Pemodelan struktur akan dilakukan dengan menggunakan ETABS serta analisis *pushover* dilakukan pada tahap ini. Selanjutnya melakukan desain terhadap kapasitas dan kekakuan SPD sebagai elemen *truss* pada input ETABS.

Pengumpulan Data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data material dan geometri dari struktur eksisting yang dilakukan oleh Gong Lih Co.Ltd yang sudah melakukan kerja sama dengan National Medical Center dan Hesen Engineering Consultant dalam proyek *retrofitting* asrama Jieshou ini. Kerja sama antara *stakeholder* ini memastikan aspek ketelitian, keselamatan kerja dan legalitas. Uji kuat tekan beton dilakukan melalui *core drilling*, sedangkan nilai tegangan leleh baja tulangan ditentukan melalui estimasi berdasarkan standar desain saat tahun pembangunan, dan divalidasi melalui uji kadar ion klorida (Cl⁻) sesuai dengan standard CPAMI Taiwan mengenai *retrofitting* bangunan (CPAMI, 2011). Pengukuran dimensi elemen struktural (balok, kolom, pelat lantai) dilakukan terhadap bangunan eksisting, dan data pemindaian tulangan diperoleh menggunakan *rebar scanner*. Data yang telah diperoleh dari kondisi eksisting dibandingkan dengan gambar desain asli bangunan, dan data yang paling konservatif digunakan untuk pemodelan. Dinding bata nonstruktural dipetakan berdasarkan survei lapangan dan dimodelkan sebagai pengaku lateral terhadap gaya tekan sesuai pendekatan Chen (2003), mengingat kontribusinya terhadap kekakuan dan kapasitas geser lateral struktur.

Analisis Pushover dan Kurva Performa Bangunan

Analisis *pushover* pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas seismik struktur eksisting

dengan mempertimbangkan perilaku nonlinier. Gaya lateral diberikan secara bertahap ke pusat massa tiap lantai dengan pola distribusi vertikal tertentu. Pola distribusi gaya lateral yang digunakan adalah berdasarkan bentuk mode getar pertama yang dikalikan dengan distribusi massa tiap lantai dengan menggunakan persamaan (Chopra et al., 2002):

$$F_i = \phi_i \frac{W_i h_i}{\sum_{k=1}^n W_k h_k} \quad (1)$$

di mana ϕ_i adalah vektor mode 1 pada lantai I dan W_i adalah berat struktur pada lantai i dengan n adalah total lantai.

Gaya lateral ini diterapkan secara bertahap hingga struktur mencapai mekanisme kegagalan dan prosedur analisis dihentikan. Hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) dicatat untuk membentuk kurva kapasitas (*capacity curve*). Titik *monitoring displacement* diambil di pusat massa lantai teratas bangunan. Apabila struktur memiliki ketidakaturan dalam denah atau elevasi, gaya lateral perlu diberikan dengan eksentrisitas sebesar 5% dari dimensi denah struktur untuk mempertimbangkan efek torsi sebelum analisis dilakukan (ACI, 2019).

Kurva kapasitas kemudian dikonversikan menjadi spektrum kapasitas (*capacity spectrum*), yaitu hubungan antara akselerasi spektral ekuivalen (S_a) dan perpindahan spektral (S_d), menggunakan pendekatan ADRS (*Acceleration-Displacement Response Spectrum*) (FEMA, 2000). Transformasi sistem multi-derajat kebebasan (MDOF) menjadi sistem ekuivalen derajat kebebasan tunggal (SDOF) dilakukan melalui:

$$S_A = \frac{Q_B}{\alpha W} \quad (2)$$

$$S_D = \frac{\Delta_{RF}}{PF \phi_{RF}} \quad (3)$$

di mana $\alpha = \frac{[\sum_{i=1}^n (\frac{W_i}{g}) \phi_i]^2}{[\sum_{i=1}^n (\frac{W_i}{g})][\sum_{i=1}^n (\frac{W_i}{g}) \phi_i^2]}$, PF adalah faktor partisipasi mode, ϕ_i adalah amplitudo mode 1 di lantai I dan g adalah percepatan gravitasi.

Dikarenakan TEASPA menentukan titik performa bangunan berdasarkan gaya geser maksimum, kurva spektrum kapasitas akan diubah dalam hal akselerasi gempa puncak (PGA) dengan:

$$A_p = \frac{S_a}{[1 + (\frac{2.5}{B_s} - 1) \frac{T_{eq}}{0.2 T_c}]} \quad (4)$$

di mana A_p adalah kapasitas *pushover* bangunan dalam PGA, S_a adalah percepatan spektral, T_{eq} adalah periode fundamental bangunan, T_c adalah periode karakteristik bangunan dan B_s adalah koefisien redaman bangunan.

Steel Panel Damper

Steel Panel Damper (SPD) merupakan perangkat peredam energi yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas dan ketahanan seismik struktur melalui disipasi energi inelastik. SPD terdiri dari tiga bagian utama (Gambar 3): *inelastic core* (IC) di bagian tengah yang

berfungsi sebagai area disipasi energi melalui deformasi plastis, serta dua *elastic joint* (EJ) di bagian atas dan bawah yang dirancang tetap elastis untuk menjaga kontinuitas struktur (Tsai et al., 2018). Perolehan jumlah dan kapasitas SPD dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan perbandingan antara performa seismik eksisting bangunan (A_p) dan target performa seismik (A_T) sesuai dengan standar desain seismik Taiwan yaitu CPAMI.

Kekuatan nominal SPD (V_n) dihitung berdasarkan kapasitas geser dari *inelastic core* dengan formula:

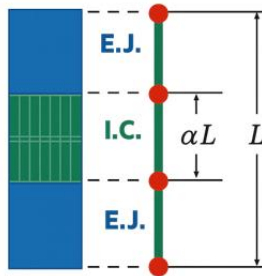
$$V_n = d_{SPD} t_{w,IC} 0.6F_y \quad (5)$$

di mana d_{SPD} adalah tinggi efektif IC, $t_{w,IC}$ adalah tebal plat IC dan F_y adalah tegangan leleh pelat IC.

Sementara itu, kekakuan lateral efektif SPD (K_{eff}) diperhitungkan dari kombinasi kekakuan IC dan EJ, dengan formula:

$$K_{eff} = \left[\frac{1}{K_{IC} + 2K_{EJ}} \right] = \frac{1}{\left[\frac{\alpha L}{GA_{v,IC}} + \frac{(\alpha L)^3}{12EI_{IC}} \right] + \left[\frac{(1-\alpha)L}{GA_{v,EJ}} + \frac{L^3 - (\alpha L)^3}{12EI_{EJ}} \right]} \quad (6)$$

di mana α adalah rasio tinggi IC dan EJ, G adalah modulus geser material, A_v adalah luas penampang geser bagian IC atau EJ, EI adalah kekakuan lentur bagian, K_{IC} adalah kekakuan lateral pada bagian IC dan K_{EJ} adalah kekakuan lateral pada bagian EJ.



Gambar 3. Bagian *Inelastic Core* dan *Elastic Joint* pada SPD

Parameter Seismik Lokasi

Bangunan yang menjadi objek studi terletak di wilayah Hulin, Distrik Neihu, Kota Taipei, dan diklasifikasikan sebagai bagian dari Cekungan Taipei dalam Zona Seismik Taipei bagian 3 dengan kekuatan puncak gempa sebesar 6 skala Richter. Berdasarkan data dari *Central Geological Survey* melalui Sistem Pemantauan Sesar Aktif Taiwan, diketahui bahwa lokasi bangunan berjarak sekitar 14,34 km dari Sesar Shanjiao yang termasuk dalam kategori sesar aktif kelas dua. Dengan mempertimbangkan ketentuan regulasi ketahanan gempa di Taiwan, tidak diperlukan koreksi terhadap pengaruh tanah di dekat sesar (*near fault ground*). Seluruh parameter percepatan spektral dan koefisien seismik untuk keperluan analisis performa struktur dirangkum pada Tabel 1.

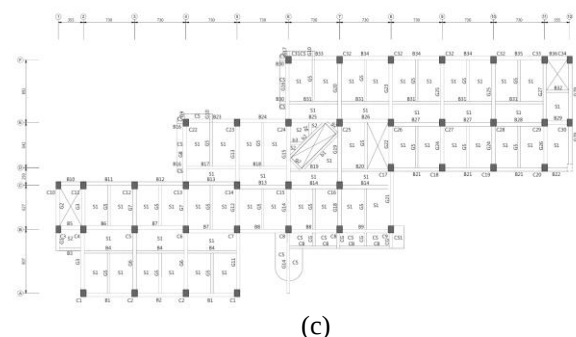
Tabel 1. Parameter spektral gempa di lokasi bangunan eksisting

Parameter	Nilai
Koefisien percepatan spektral dasar (pendek) S_{SD}	0.6
Koefisien percepatan spektral dasar (1 detik) S_{S1}	0.63
Faktor koreksi <i>near fault</i> N_a	1
Faktor koreksi <i>near fault</i> N_v	1
Faktor amplifikasi seismik F_a	1
Faktor amplifikasi seismik F_v	1
Periode Fundamental Seismik T_{0D}	1.05
Koefisien percepatan spektral desain (pendek) S_{DS}	0.6
Koefisien percepatan spektral desain (1 detik) S_{D1}	0.63
Percepatan seismik target $A_T = 0.4 S_{DS}$	0.24g

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Bangunan Jieshou (Gambar 4) merupakan bangunan yang difungsikan sebagai asrama di kawasan rumah sakit Tri Service General Hospital dengan total lantai yaitu 10 lantai. Pemodelan bangunan ini menggunakan bantuan program komersil analisis struktur ETABS v21. Pemodelan struktur dimulai dengan menentukan kekuatan material, dimensi elemen struktur pada bangunan eksisting. Berdasarkan informasi yang tersedia pada laporan struktur pada bangunan eksisting yang dievaluasi dengan pengumpulan data bangunan eksisting. Informasi esensial bangunan dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4 sedangkan proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Gambar skematik gedung Jieshou-Tri-Service General Hospital: (a) model 3D, (b) kondisi eksisting, (c) denah struktur



Gambar 5. Pengambilan data bangunan eksisting: (a) pengukuran dimensi, (b) core drilling, (c) rebar scanning, (d) uji kuat tekan

Tabel 2. Data material bangunan eksisting

Lantai	Kuat Tekan beton (kg/cm ²)	Kuat Leleh Baja	
		Tulangan utama	Tulangan geser
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
1F	210		
2F	210		
3F	210		
4F	210		
5F	210	4200	2800
6F	210		
7F	210		
8F	210		
9F	210		
RF	210		

Tabel 3. Dimensi elemen struktural bangunan eksisting

Lantai	Elevasi Lantai (cm)	Kolom (cm)	Balok		Pelat (cm)	Tebal Dinding Bata (cm)
			Arah X (cm)	Arah Y (cm)		
			(cm)	(cm)		
1F	20	80×100				
2F	340	80×100				
3F	660	70×100				
4F	980	70×100				
5F	1300	70×100	35×60	35×60	15	24
6F	1620	70×100	50×80	50×80		
7F	1940	70×100				
8F	2260	70×100				
9F	2580	70×100				
RF	2900	70×100				

Tabel 4. Contoh data penulangan elemen struktural

Profil	1C1-80×100		1B1-35×60	
	Gambar Eksisting	Hasil Rebar Scan	Gambar Eksisting	Hasil Rebar Scan
Tulangan Utama	28D32		11D32	

Tulangan geser	2.5D13-10 // 2D13-10	D13-20
----------------	----------------------	--------

Dalam menghitung kapasitas seismik kolom, diperlukan evaluasi beban aksial sebagai dasar penentuan kapasitas momen melalui diagram interaksi P-M-M dengan mempertimbangkan kombinasi beban 1DL + 0,5LL yang mencakup beban mati dan sebagian beban hidup. Beban mati meliputi berat sendiri elemen struktural, beban dari dinding bata, elemen arsitektural nonstruktural permanen. Sementara itu, beban hidup dihitung berdasarkan fungsi bangunan, di mana dalam hal ini, Gedung Jieshou berfungsi sebagai asrama. Rincian pembebanan tiap lantai disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Beban mati tiap lantai bangunan

Lantai	Beban Tangki & Fasilitas Tambahan (kgf)	Beban Balok (kgf)	Beban Kolom (kgf)	Beban Pelat (kgf)	Beban Dinding (kgf)	Total Beban Lantai (kgf)
RF	664366	189677	58753	414614	336830	1664240
9F	-	336657	158851	432451	360558	1288517
8F	-	422832	214788	567533	481841	1686994
7F	-	430062	231291	578482	520721	1760556
6F	-	442825	235894	600379	537881	1816979
5F	-	442825	238585	600379	544714	1826503
4F	-	442825	238585	600379	538757	1820546
3F	-	497355	251657	600379	518603	1867994
2F	-	490720	264768	569722	504407	1829617

Tabel 6. Beban hidup tiap lantai bangunan

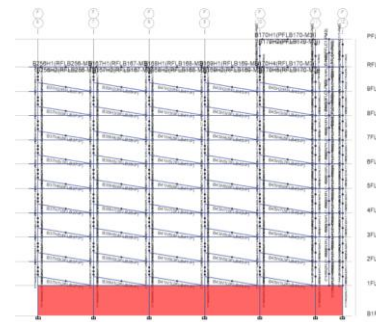
Lantai	Fungsi Lantai	Beban Hidup (kgf/m ²)
RF	Atap dan Tangki Penampungan	250
9F	Asrama	300
8F	Asrama	300
7F	Asrama	300
6F	Asrama	300
5F	Asrama	300
4F	Asrama	300
3F	Asrama	300
2F	Asrama	300

Asumsi yang dilakukan dalam pemodelan struktur menggunakan ETABS v21 adalah sebagai berikut:

- Hasil pengukuran dimensi elemen struktural seperti balok, kolom dan dinding kondisi bangunan eksisting menunjukkan kesesuaian dengan gambar desain awal, sehingga data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis *pushover*.
- Dalam pemodelan struktur, penampang balok direpresentasikan sebagai balok persegi panjang dengan pendekatan pelat lantai yang dianggap kaku, sedangkan sambungan antara balok dan kolom diasumsikan sebagai sambungan kaku.
- Reduksi kekakuan akibat pembentukan retak turut diperhitungkan, yaitu dengan pengurangan kekakuan lentur kolom menjadi $0,35E_cI_g$ dan balok menjadi $0,70E_bI_g$.

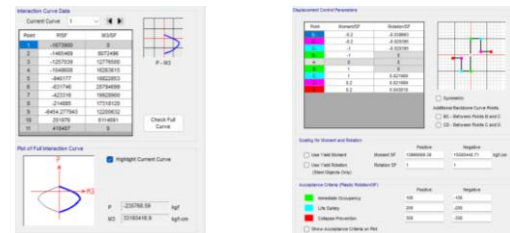
4. Untuk analisis *pushover*, struktur terlebih dahulu diberikan kombinasi pembebanan $1DL + 0,5LL$ sebagai kondisi awal, kemudian beban lateral diterapkan secara bertahap dengan pendekatan kontrol perpindahan.
5. Distribusi gaya gempa lateral mengikuti pola segitiga terbalik sebagaimana diatur dalam standar desain ketahanan gempa bangunan.
6. Elemen dinding bata dimodelkan sebagai pengaku lateral dan asumsi bahwa dinding bekerja sebagai elemen penahan gaya tekan akibat transfer gaya lateral dari gempa.
7. Perhitungan kapasitas sendi plastis pada kolom, balok dan dinding bata dilakukan dengan bantuan aplikasi TEASPA v5.0 yang dikembangkan oleh NCREE yang berdasarkan standard CPAMI Taiwan (NCREE,2009).

Setelah seluruh asumsi teknis diterapkan dan perhitungan properti sendi plastis dilakukan, elemen-elemen struktur dimodelkan dengan menempatkan sendi plastis sesuai dengan karakteristik perilaku inelastik masing-masing komponen. Pada elemen kolom, dimasukkan enam sendi plastis yang terdiri dari sendi plastis momen interaksi aksial-lentur (P-M-M) pada kedua ujung kolom untuk arah X dan Y, serta sendi plastis geser yang terletak di tengah bentang untuk arah X dan Y. Elemen balok dimodelkan dengan tiga sendi plastis, yaitu dua sendi plastis momen di kedua ujung balok dan satu sendi plastis geser di tengah bentang. Sementara itu, pada elemen dinding bata, dimasukkan satu sendi plastis aksial pada gaya tekan yang ditempatkan pada bagian tengah bentang. Pemodelan gedung Jieshou dan sendi plastis tiap elemen struktur ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



(b)

Gambar 6. Pemodelan struktur gedung Jieshou: (a) model 3D, (b) potongan elevasi arah +X dengan sendi plastis



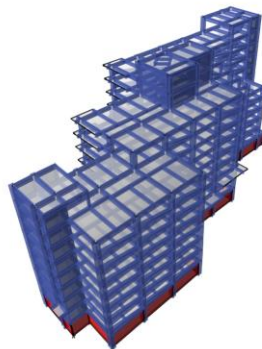
(a)

(b)



(c)

Gambar 7. Properti sendi plastis: (a) kolom, (b) balok, (c) dinding bata



(a)

Analisis Performa Bangunan

Setelah distribusi beban lateral pada tiap lantai ditentukan berdasarkan bentuk mode dominan dan distribusi massa, beban vertikal berupa kombinasi aksial $1D + 0,5L$ diterapkan ke dalam model sebagai beban terkendali gaya (*force-controlled*). Tahapan selanjutnya adalah pemberian beban lateral bertahap secara terkendali perpindahan (*displacement-controlled*) hingga mencapai nilai target *story drift* lantai atap (Govind et al., 2014). Nilai target performa awal ditentukan sebesar 1,5% dari total tinggi bangunan, dan selanjutnya dievaluasi terhadap batas *story drift* maksimum yang diperbolehkan berdasarkan kategori tingkat kepentingan bangunan, dimana dalam kasus bangunan asrama dengan tingkat kepentingan $I=1,25$, *story drift* maksimum adalah 2,00% dengan titik performa pada V_{max} (NCREE,2009). Dengan kapasitas seismik target $A_T = 0,4$ $S_{DS} = 0,24g$, perbandingan antara kurva performa (A_p) dan kebutuhan seismik (A_T) dan kapasitas *pushover* bangunan untuk keempat arah global dapat dilihat pada Tabel 7-Tabel 8

serta Gambar 8. Terlihat bahwa kekurangan kapasitas terjadi pada gedung Jieshou arah X pada kondisi terkontrol kekuatan geser maksimum. Rasio antara gaya geser dasar dan berat total struktur menunjukkan nilai yang cukup rendah di mana elemen struktur tidak sepenuhnya memberikan kontribusi dalam meningkatkan gaya geser dasar maksimum.

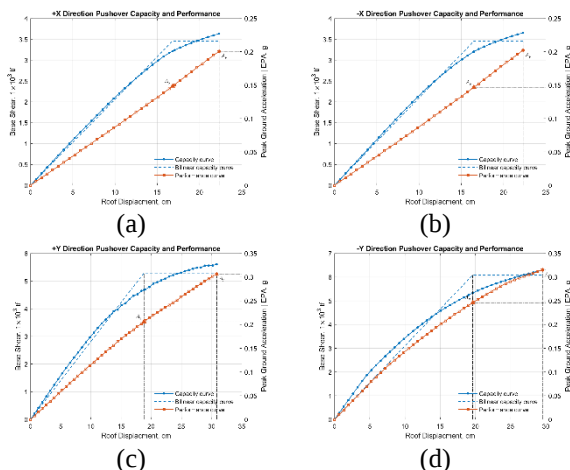
Tabel 7. Evaluasi performa bangunan eksisting

Arah Pushover	Performa Bangunan A_p	Evaluasi Performa	CDR	Kriteria Kontrol
+X	0.201g	$A_p < 0.24g$	0.84	Kekuatan
-X	0.202g	$A_p < 0.24g$	0.84	Geser
+Y	0.307g	$A_p > 0.24g$	1.28	Maksimum
-Y	0.315g	$A_p > 0.24g$	1.31	

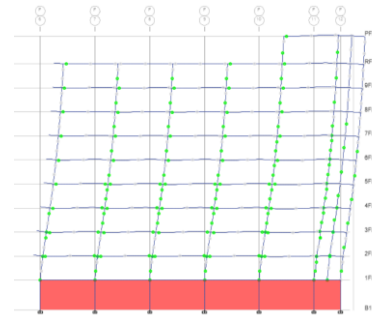
Tabel 8. Kapasitas *pushover* bangunan eksisting

Arah Pushover	Gaya Geser Dasar V_{max} (kg)	Drift Maksimum (%)	Posisi Lantai Drift Maksimum	Rasio V/W
+X	3636190.16	1.052	5F	0.234
-X	3655507.95	1.061	5F	0.235
+Y	5904596.41	1.823	5F	0.409
-Y	6297097.12	1.539	5F	0.415

Evaluasi formasi sendi plastis ditunjukkan pada Gambar 9, di mana distribusi sendi plastis pada elemen balok dan kolom sebagian besar berada pada kategori B (berwarna hijau) dan performa bangunan masih dalam kategori *immediate occupancy* (IO). Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen struktur telah memasuki fase plastis namun belum mengalami keruntuhan atau instabilitas lokal, yang mengindikasikan tidak terjadinya keruntuhan pada kondisi gaya geser maksimum yang ditentukan oleh regulasi. (FEMA, 2000) (ATC, 1996) (Asif et al., 2017)

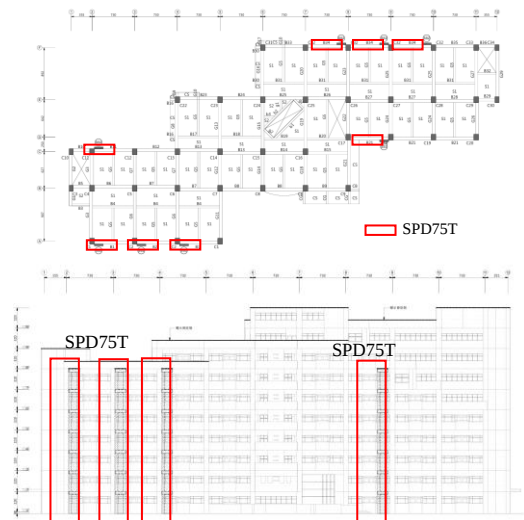


Gambar 8. Kurva performa *pushover* bangunan eksisting pada arah (a) +X, (b) -X, (c) +Y, (d) -Y

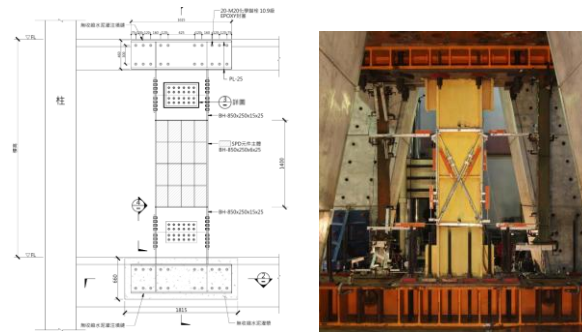


Gambar 9. Formasi sendi plastis bangunan eksisting pada arah +X

Dengan mengacu grafik performa pada arah X, kapasitas seismik bangunan dapat ditingkatkan dengan menambah kapasitas gaya geser dasar bangunan sekitar 600 ton (Jeong & Yu, 2022). Pemilihan SPD dengan kapasitas $V_n = 75$ ton (SPD75T) di 8 titik lokasi dengan kekakuan $K_{eff} = 9530$ ton/m dilakukan dengan mempertimbangkan area arsitektural yang terdampak dan kemudahan pemasangan SPD pada bangunan eksisting. Selain itu, menempatkan SPD di sisi luar bangunan akan meningkatkan kekakuan torsional bangunan, sehingga mengurangi potensi torsi selama gempa terjadi (Rokanuzzaman et al., 2017). Apabila ditinjau pada 1 unit 75 ton SPD, energi terdisipasi dari perilaku histeris SPD tersebut mampu menahan energi gempa sekitar 6 skala Richter atau sekitar 0,24g (NCRE, 2016). SPD dipasang sampai dengan lantai 7 untuk memperbesar penyerapan energi gempa pada bangunan serta menjadikan elemen *retrofitting* terintegrasi dengan keseluruhan struktur bangunan eksisting (Tsai et al., 2018). Lokasi pemasangan SPD dan detail SPD kapasitas 75 ton dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

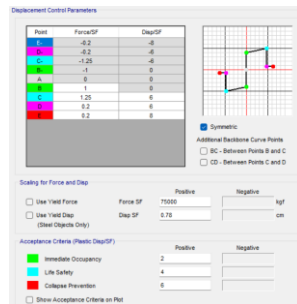


Gambar 10. Denah lokasi pemasangan SPD



Gambar 11. Detail SPD75T

Pemodelan SPD pada struktur eksisting dilakukan dengan menggunakan elemen *truss* pada lokasi SPD yang ditentukan di dalam model ETABS. Elemen tersebut memiliki area efektif yang diperoleh melalui proses desain SPD dengan material SN400B yang memiliki kuat leleh sebesar 2400 kg/cm^2 . SPD pada model ETABS juga memiliki properti sendi plastis geser yang diposisikan pada tengah bentang yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Properti sendi plastis SPD

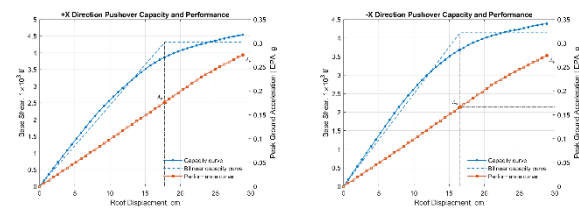
Setelah analisis *pushover* dilakukan dengan SPD yang sudah dimodelkan dalam ETABS, struktur *retrofit* mengalami peningkatan performa bangunan sebesar 27,3% di mana sudah memenuhi standar yang berlaku (CPAMI, 2011) yang performanya dapat dilihat pada Gambar 13. Dalam kondisi gaya geser dasar maksimum, struktur *retrofit* memberikan *drift* yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi eksisting di mana struktur bangunan tersebut menjadi lebih daktail dan menyerap lebih banyak gaya gempa (Xiao et al., 2023). Terlihat juga pada Gambar 14, di mana sendi plastis sudah terbentuk pada SPD yang menandakan bahwa keberadaan SPD pada struktur bangunan dapat menyerap sebagian gaya yang terjadi secara efektif sehingga meningkatkan performa struktur secara menyeluruh. Rasio antara gaya geser dasar terhadap berat struktur juga meningkat sebesar 24,7% yang menandakan bahwa peningkatan kapasitas lateral struktur dalam menahan gaya gempa (Rahma et al., 2023). Rekapitulasi performa dan kapasitas bangunan dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Evaluasi performa bangunan *retrofit*

Arah <i>Pushover</i>	Performa Bangunan A_p	Evaluasi Performa	CDR	Kriteria Kontrol
+X	0.275g	$A_p > 0.24g$	1.14	Kekuatan
-X	0.274g	$A_p > 0.24g$	1.15	Geser Maksimum

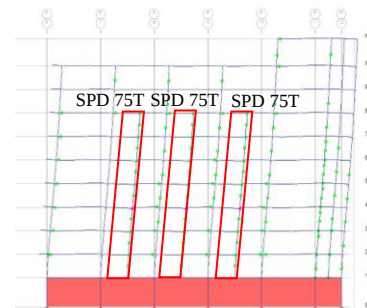
Tabel 10. Kapasitas *pushover* bangunan *retrofit*

Arah <i>Pushover</i>	Gaya Geser Dasar $V_{max} \text{ (kg)}$	<i>Drift</i> Maksimum (%)	Posisi Lantai <i>Drift</i> Maksimum	Rasio V/W
+X	4544762.77	1.397	4F	0.292
-X	4384630.85	1.457	4F	0.281



(a)

(b)

Gambar 13. Kurva performa *pushover* bangunan *retrofit* pada arah (a) +X, (b) -X, (c) +Y, (d) -YGambar 14. Formasi sendi plastis bangunan *retrofit* dengan SPD pada arah +X

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis evaluasi seismik dan perancangan *retrofit* pada Gedung Jieshou menggunakan metode *pushover* dan perangkat *Steel Panel Damper* (SPD), dapat disimpulkan beberapa hal penting berikut yang menjadi dasar rekomendasi teknis terhadap kondisi dan peningkatan performa bangunan:

- Hasil analisis *pushover* eksisting menggunakan metode TEASPA menyatakan bangunan Gedung Jieshou memiliki kapasitas seismik yang belum memenuhi standar CPAMI, dengan nilai A_p pada arah X sebesar 0,201g yang lebih rendah dari target $A_T=0,24g$, dan rasio V/W sebesar 0,234.
- Implementasi *Steel Panel Damper* (SPD) di 8 titik sampai dengan lantai 7 dengan kapasitas 75 ton

per unit berhasil meningkatkan gaya geser dasar bangunan sebesar ± 600 ton dan meningkatkan performa struktur hingga 27,3% pada arah X.

3. Hasil evaluasi *pasca-retrofit* menunjukkan bahwa rasio V/W meningkat menjadi 0,292, dan deformasi struktur mengalami peningkatan yang menunjukkan sifat daktilitas lebih baik.
4. Pembentukan sendi plastis pada SPD menunjukkan bahwa perangkat ini berfungsi efektif dalam mendistribusikan energi gempa, mengurangi beban pada elemen utama struktur, serta meningkatkan keseluruhan performa seismik.

Metode *retrofit* menggunakan SPD dinilai layak diterapkan pada bangunan karena mampu meningkatkan kapasitas lateral secara signifikan tanpa mengganggu fungsi vital bangunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Heseng Engineering Consultant, Gong Lih Co.Ltd, dan National Medical Center terkait atas dukungan, bantuan dan kepercayaan yang telah diberikan dalam pelaksanaan studi ini. Saya juga menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada keluarga tercinta atas doa, semangat dan dukungan moral yang tiada henti sepanjang proses penelitian ini. Semoga hasil karya ini dapat memberikan kontribusi positif dan manfaat nyata bagi seluruh pihak yang berkepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-05. (2005). *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- ACI Committee 318. (2019). *ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Asif, M. & Zameeruddin, M. (2021). *Evaluating the Effects of Plastic Hinge Location on Performance of the Moment Resisting Frames subjected to Seismic Loads*. 2454-9150. 10.35291/2454-9150.2021.0429.
- ATC. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. ATC-40 Report*. Applied Technology Council, Redwood City, California, SSC 96-01, Nov.
- Chen, Y. H. (2003). *Seismic Evaluation of RC Buildings Infilled with Brick Walls. PhD Thesis*. National Cheng Kung University, Taiwan. (dalam Bahasa Mandarin).
- Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3), 561-582. doi: 10.1002/eqe.144
- CNS 3090. (2022). *Seismic provisions of the structural concrete construction code*. Ministry of Interior, Taiwan (dalam Bahasa Mandarin).
- CPAMI. (2011). *Seismic Design Code for Buildings in Taiwan, Construction and Planning Agency*. Ministry of The Interior, CPAMI, Taiwan. (dalam Bahasa Mandarin).
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
- Govind, M., Kiran, K. S., & Hegde, K. A. (2014). Non linear static pushover analysis of irregular space frame structure with and without t shaped columns. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(3), 663-667. doi.org/10.15623/IJRET.2014.0315123.
- Hsiao, F. P., Oktavianus, Y., Ou, Y. C., Luu, C. H., & Hwang, S. J. (2015). A pushover seismic analysis and retrofitting method applied to low-rise RC school buildings. *Advances in Structural Engineering*, 18(3), 311-324.
- Jeong, G. K., & Yu, E. (2022). A Preliminary Design Procedure for Seismic Retrofit Using Hysteretic Dampers. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 26(2), 59-69.
- NCREE. (2016). *Design test, analysis and application method of three-section seismic resistant columns*. National Center for Research on Earthquake Engineering Conference, Taipei, Taiwan (dalam Bahasa Mandarin)
- NCREE-09-023. (2009). *Technology Handbook for Seismic Evaluation and Retrofit of School Buildings, Second Edition*. National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan. (dalam Bahasa Mandarin)
- Rahma, M., Sangadji, S., Virawan, Z. F., Saifullah, H. A., & Devi, R. H. (2023). Evaluating Retrofitting Strategies of Low-to-Mid-Rise Reinforced Concrete Structure Based on Its Seismic Fragility. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(2).
- Rokanuzzaman, M. D., Khanam, F., Das, A., & Chowdhury, S. R. (2017). Effect of location of shear wall on performance of building frame subjected to lateral load. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 4(6), 51-54.
- Tsai, K. C., Hsu, C. H., Li, C. H., & Chin, P. Y. (2018). Experimental and analytical investigations of steel panel dampers for seismic applications in steel moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(6), 1416-1439.

- Tu, Y. H., Liu, T. W., Ao, L. C., & Yeh, P. L. (2011, March). Nonlinear static seismic analysis and its validation using damage data from reinforced-concrete school buildings. In *Third Asia-Pacific Young Researchers and Graduates Symposium* (pp. 306-313).
- Xiao, G., Wang, H., & Pan, P. (2023). Seismic performance of damaged frame retrofitted with self-centering and energy-dissipating rocking wall. *Resilient Cities and Structures*, 2(1), 143-151.