



Tinjauan Bangunan-Bangunan Baja Dari Segi Ekonomis Dan Teknis

Jantje B. Mangare^{#a}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^amangarejantje01@gmail.com

Abstrak

Dari segi teknis, Wiratman Wangsadinata (Alm), Bambang Budiono, dan Indra Djati Sidi, mengabstraksi ‘Berhubung sistem struktur *outrigger & belt-truss* belum diatur dalam SNI 1726-2012, maka perencanaan struktur gedung super tinggi tahan gempa dalam makalah ini menggunakan desain berbasis kinerja (*Performance Based Design/PBD*). Studi kasus dan penerapan PBD dilakukan untuk desain gedung super tinggi Thamrin Nine Tower 1, yang memiliki 72 lapis dengan ketinggian mencapai ± 330 meter.’ Terlepas dapat diterima atau tidak, sistem struktur *Viscous Wall Dampers* (VMDs) pada SNI 1726-2019. Sistem penahan gaya lateral ini mereduksi simpangan dan tegangan pada struktur bagian atas hingga 50%, sehingga menghasilkan satu kinerja Gedung lebih baik; di samping itu juga biaya strukturnya sangat rendah. Dari segi ekonomi, terdapat dua panduan desain bangunan baja dalam rangka ‘*Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise building*,’ dan salah satunya adalah Panduan desain bangunan baja bertingkat banyak. The European project ini yakni (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030.’ Terdapat 10 (sepuluh) bagian dalam panduan ini; pada makalah ini, yang digunakan yakni bagian 2: Konsep Desain. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dalam rangka menjawab tujuan dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem struktur *Viscous Wall Dampers* (VMDs) pada bangunan baja bertingkat 6 (enam) menggunakan bantuan *software* ETABS dapat diterapkan sebagai sistem penahan gaya lateral.

Kata kunci: Performance Based Design, struktur, baja, Viscous Wall Dampers, VMD, SNI, ETABS

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dari segi teknis, Wiratman Wangsadinata (Alm), Bambang Budiono, dan Indra Djati Sidi, mengabstraksi ‘Berhubung sistem struktur *outrigger & belt-truss* belum diatur dalam SNI 1726-2012, maka perencanaan struktur gedung super tinggi tahan gempa dalam makalah ini menggunakan desain berbasis kinerja (*Performance Based Design/PBD*). Studi kasus dan penerapan PBD dilakukan untuk desain gedung super tinggi Thamrin Nine Tower 1, yang memiliki 72 lapis dengan ketinggian mencapai ± 330 meter.’ Terlepas dapat diterima atau tidak, sistem struktur *Viscous Wall Dampers* (VMDs) pada SNI 1726-2019. Sistem penahan gaya lateral ini mereduksi simpangan dan tegangan pada struktur bagian atas hingga 50%, sehingga menghasilkan satu kinerja Gedung lebih baik; di samping itu juga biaya strukturnya sangat rendah.

Dari segi ekonomi, terdapat dua panduan desain bangunan baja dalam rangka ‘*Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise building*,’ dan salah satunya adalah Panduan desain bangunan baja bertingkat banyak. The European project ini yakni (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030.’ Terdapat 10 (sepuluh) bagian dalam panduan ini; pada makalah ini, yang digunakan yakni bagian 2 : Konsep Desain.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan kali ini adalah menerapkan sistem struktur *Viscous Wall Dampers* (VMDs) pada bangunan baja bertingkat 6 (enam) menggunakan bantuan *software* ETABS.

2. Bangunan Baja Bertingkat Banyak

2.1. Panduan Desain Bangunan Baja Bertingkat Banyak

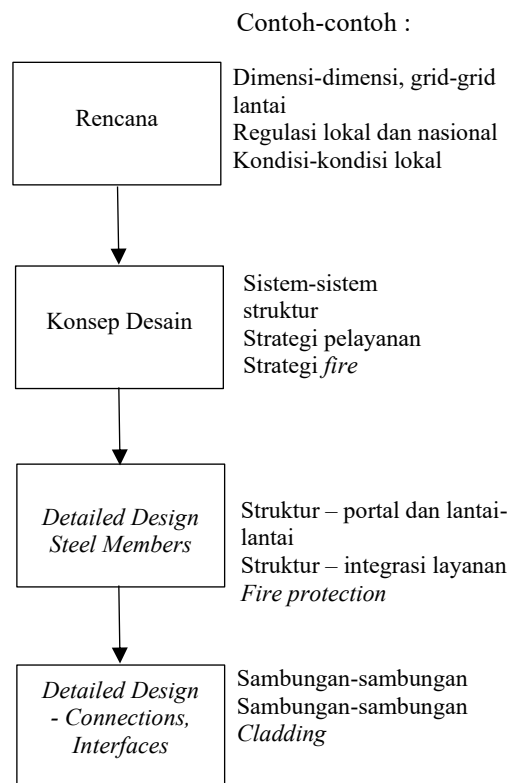
Salah satu dari 2 (dua) panduan dalam *the framework of the European project : 'Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030,'* adalah Bangunan Baja Bertingkat Banyak. Terdapat sepuluh bagian, yakni *Architect's guide, Concept design, Actions, Detailed design, Join design, Fire Engineering, Model construction specification, Description of member resistance calculator,* dan *Guidance to developers of software for the design of composite beams.*

Di dalam konsep desain (bagian 2), di dalam gedung-bedung bertingkat banyak, desain struktur utama kuat dipengaruhi oleh banyak isu sebagaimana didefinisikan berikut ini :

- Kebutuhan untuk menyediakan bentang lantai yang jelas bagi ruang yang lebih mampu berguna.
- Pemilihan sistem *cladding*.
- Keperluan perencanaan yang bisa membatasi tinggi bangunan dan zona maksimum lantai-ke-lantai.
- Strategi-strategi layanan dan integrasi yang efektif layanan-layanan bangunan.
- Kondisi-kondisi situs, yang mendikte sistem fondasi dan lokasi fondasi.
- Batasan-batasan umur *crane* dan ruang penyimpanan bagi material dan komponen.
- Kecepatan konstruksi, yang bisa mempengaruhi jumlah komponen-komponen yang digunakan serta proses instalasi.

2.2. Hirarki Keputusan-Keputusan Desain

Berikut ini skema hirarki keputusan desain yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Hirarki keputusan-keputusan Desain

2.3. Secara Ekonomi

Biaya-biaya awal konstruksi untuk suatu gedung tipikal perkantoran mendekati :

- Fondasi 5-15%
- Super structure dan lantai-lantai 10-15%
- *Cladding* dan *roofing* 15-25%
- Layanan (mekanikal dan elektrik) 15-25%
- Layanan (sanitasi dan lain-lain) 5-10%
- Finishes, partisi dan penyesuaian 10-20%
- Preliminaries (*site management*) 10-15%

Di dalam suatu proyek tipikal konstruksi, penghematan dalam periode konstruksi menggunakan konstruksi baja dibandingkan dengan material-material lain dapat mencapai 5% sampai 15%, bergantung pada level fabrikasi yang digunakan.

Adapun keuntungan finansial dari konstruksi yang lebih cepa tantara lain :

- Penghematan di dalam preliminaries
- Produktivitas situs tercapai untuk sisa konstruksi
- Pembayaran-pembayaran bunga tereduksi
- Pemasukan awal dari fasilitas baru

Tipikal penghematan biaya-biaya bergantung waktu yakni 2% sampai 4% dari total pembiayaan. Berikut ini *bar-chart* mengenai program konstruksi untuk suatu bangunan baja komersil tipikal 4-6 tingkat.



Gambar 2. Jadwal Konstruksi Bangunan Baja Tipikal 4-6 Tingkat.

Terdapat tiga kriteria yang perlu dipenuhi pada penopangan proses konstruksi baja, yakni kriteria lingkungan, kriteria ekonomis, dan kriteria sosial. Desain bangunan bertingkat banyak yang secara meningkat bergantung pada aspek-aspek penopangannya, didefinisikan oleh kriteria seperti berikut ini :

- Efisiensi penggunaan material dan pertanggung jawaban sumber material
- Pembuangan sampah dalam manufacturing serta dalam proses konstruksi
- Efisiensi energi dalam pengoperasian bangunan, termasuk peningkatan wilayah udara
- Pengukuran untuk mereduksi konsumsi air
- Peningkatan kenyamanan ruangan dalam
- Keseluruhan manajemen dan kriteria perencanaan, seperti koneksi transportasi publik, estetika atau pelestarian nilai ekologis.

Gedung-gedung portal baja dapat didesain untuk memenuhi semua kriteria ini :

- Struktur-struktur baja itu tegap, serta berumur lama. Cocok secara detail, dan perusahaan, struktur baja dapat digunakan secara tak tentu.
- Kira-kira mendekati 10% penampang-penampang baja dapat kembali digunakan.
- 95% penampang-penampang baja struktur itu di daur ulang
- Produk-produk baja secara potensial dapat ditanggalkan serta Kembali digunakan, secara khusus komponen-komponen itu modular atau portal-portal baja.
- Konstruksi baja memaksimalkan oportunitas dan kemudahan memperluas bangunan dan perubahan penggunaan
- Sistem konstruksi dapat difabrikasi, cepat diinstal dan cukup lebih aman dalam proses konstruksi

Adapun keuntungan konstruksi baja, yakni kecepatan konstruksi, proses konstruksi, bentang panjang dan integrasi layanan, struktur ringan dan sumber efisiensi, serta keuntungan beradaptasi.

2.4. Anatomi desain Gedung

Desain Gedung bergantung pada parameter-parameter yang bervariasi, antara lain :

- grid lantai,
- ketinggian bangunan/koordinat dimensional: pengaruh ketinggian bangunan, koordinasi horisontal, koordinasi vertikal.
- Sirkulasi dan akses ruang / opsi structural untuk stabilitas portal kaku, dengan *core* baja atau beton.
- Kebutuhan-kebutuhan layanan serta integrasi layanan kolom-kolom.

Number of floors supported by column section	typical column size (h)
1	150
2 – 4	200
3 – 8	250
5 – 12	300
10 – 40	350

Gambar 3. Ukuran-ukuran Tipikal Kolom (Untuk Bentang Medium Lantai Komposit)

Form of Building	Approximate steel quantities (kg/m ² floor area)			
	Beams	Columns	Bracing	Total
3 or 4-storey building of rectangular form	25–30	8–10	2–3	35–40
6–8-storey building of rectangular form	25–30	12–15	3–5	40–50
8–10-storey building with long spans	35–40	12–15	3–5	50–60
20-storey building with a concrete core	25–30	10–13	1–2	40–50
20-storey building with a braced steel core	25–30	20–25	8–10	55–70

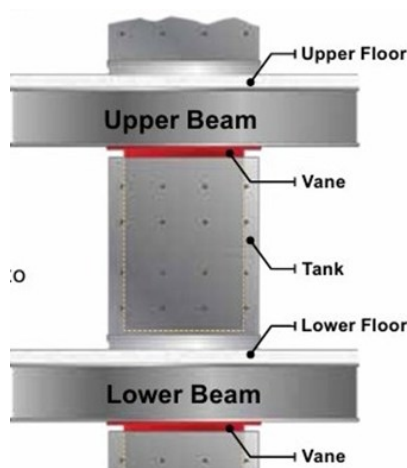
Gambar 4. Prakiraan Kuantitas Baja untuk Maksud Estimasi

3. *Viscous Wall Dampers (VMDs)*

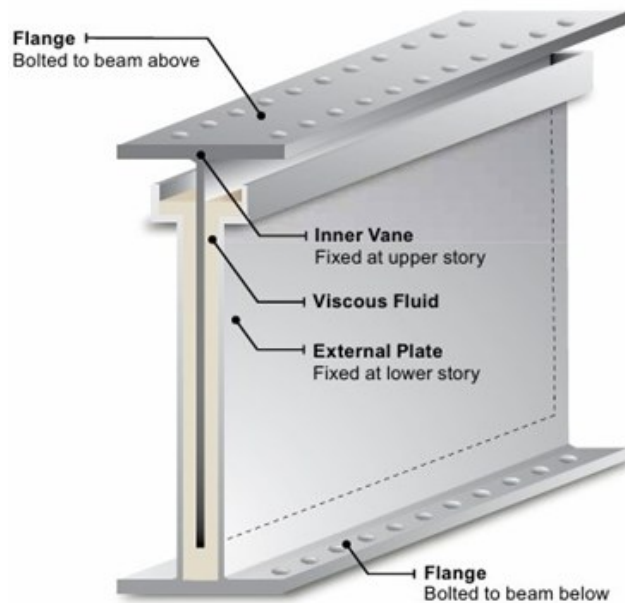
VMDs mereduksi simpangan-simpangan serta tegangan-tegangan pada struktur bagian atas hingga mencapai 50%, menghasilkan suatu kinerja gedung yang lebih baik serta biaya struktur yang rendah, di mana lebih ketimbang menutupi kerugian jumlah VMDs. Struktur-struktur ideal untuk VMDs antara lain, rumah sakit, bangunan medium hingga bangunan tinggi yang fleksibel, bangunan dengan nilai isi yang tinggi, struktur-struktur yang membutuhkan pengoperasian yang berkesinambungan, dan sebagai yang di-retrofit.

Keuntungan VMD antara lain, penghematan biaya, fleksibilitas arsitektural, kinerja yang lebih baik, bebas pemeliharaan, retrofits.

Bagaimana kerja VMD ? Masing-masing vmd terdiri dari satu tanki pelat tipis terhubung ke lantai lebih bawah dan terdiri dari satu fluida transparan, tak berbau, serta tak beracun. Di dalam tanki, dan terhubung ke lantai lebih di atas, adalah satu pelat baja lebih di dalam, atau '*vane*'.



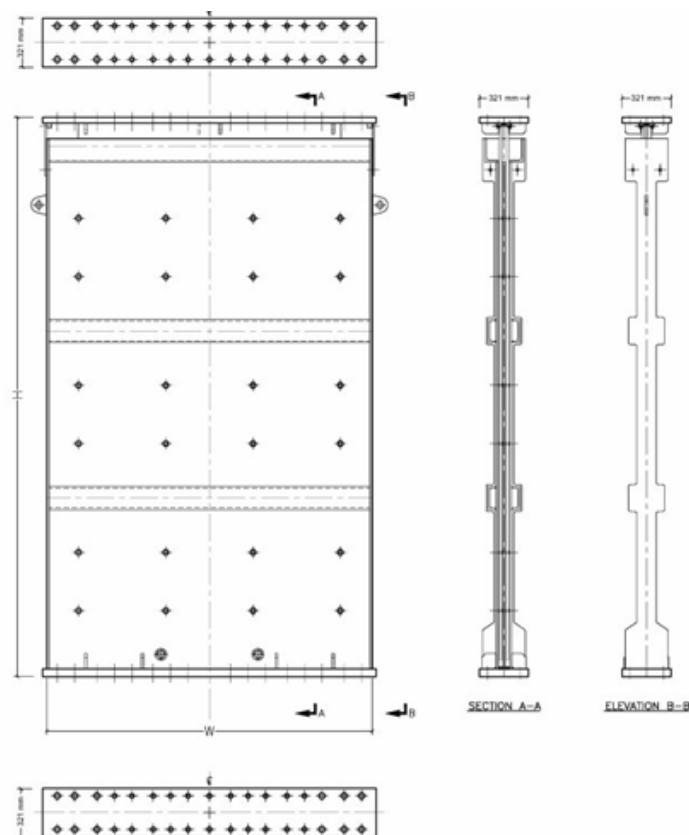
Gambar 5. Viscous Wall Dampers (VMDs) (a)



Gambar 6. Viscous Wall Dampers (VMDs) (b)

Selama eksitasi gempa, atau beban angin yang kuat, pergerakan lantai relative menyebabkan ‘vane’ tersebut untuk bergerak melalui fluida viskos. Gaya redam dari aksi geser fluida tersebut bergantung pada *displacement* serta kecepatan gerak realtif.

VMD bisa juga dikonstruksikan dengan 2 vane. Satu sistem *double-vane* menyediakan dua kali lipat ganda redaman dengan hanya satu penambahan kecil dalam ukuran. Berikut ini gambar-gambar menyangkut VMDs.



Gambar 7. Skematik VMDs

Standard Units			Single Vane		Double Vane		α (dimensionless)
DIS VWD	Width (ft)	Height (ft)	K [kip/in]	C [kip-(sec/in) ²]	K [kip/in]	C [kip-(sec/in) ²]	
6 x 8	6	8	155	40	310	80	0.5
7 x 8	7	8	185	45	370	90	0.5
8 x 8	8	8	225	55	450	110	0.5
9 x 8	9	8	260	65	520	130	0.5
6 x 9	6	9	170	45	340	90	0.5
7 x 9	7	9	205	55	410	110	0.5
8 x 9	8	9	245	65	490	130	0.5
9 x 9	9	9	285	75	570	150	0.5
6 x 10	6	10	180	50	360	100	0.5
7 x 10	7	10	210	60	420	120	0.5
8 x 10	8	10	255	70	510	140	0.5
6 x 11	6	11	185	55	370	110	0.5
7 x 11	7	11	220	70	440	140	0.5
8 x 11	8	11	265	80	530	160	0.5
6 x 12	6	12	190	65	380	130	0.5
7 x 12	7	12	225	75	450	150	0.5
8 x 12	8	12	270	90	540	180	0.5

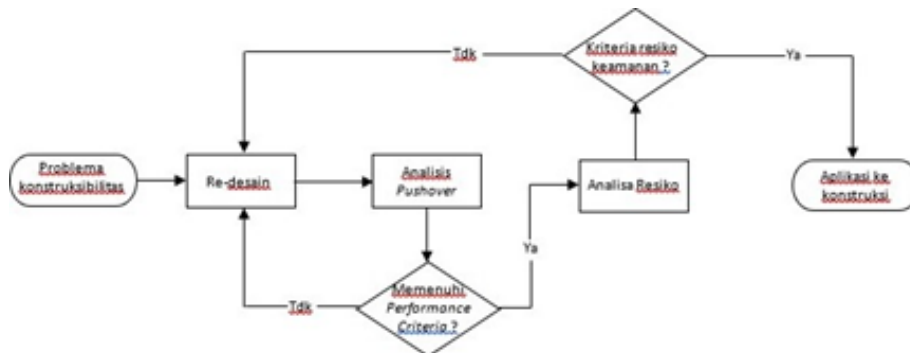
Gambar 8. Ukuran-ukuran *standar* VMDs

Metric Units			Single Vane		Double Vane		α (dimensionless)
DIS VWD	Width (m)	Height (m)	K [kN/m]	C [kN-(sec/m) ²]	K [kN/m]	C [kN-(sec/m) ²]	
1.8 x 2.1	1.8	2.1	23500	800	47000	1600	0.5
2.1 x 2.1	2.1	2.1	28500	1025	57000	2050	0.5
2.4 x 2.1	2.4	2.1	32000	1225	64000	2450	0.5
1.8 x 2.4	1.8	2.4	27500	975	55000	1950	0.5
2.1 x 2.4	2.1	2.4	32000	1225	64000	2450	0.5
2.4 x 2.4	2.4	2.4	35500	1475	71000	2950	0.5

Gambar 9. Ukuran-ukuran *metrik* VMDs

4. Desain Struktur Berbasis Kinerja

Berikut ini merupakan alur desain berbasis kinerja



Gambar 10. Bagan Alir Desain Struktur Berbasis Kinerja

Terdapat 3 (tiga) parameter utama dalam analisis *pushover*, yakni kurva kapasitas, spectra permintaan dan titik kinerja (*performance point*). Kurva kapasitas menunjukkan sifat dan perilaku kapasitas struktur dalam fase elastik dan juga inelastik ketika didorong dengan beban lateral hingga mencapai batas deformasi maksimum struktur. Spektra permintaan menunjukkan beban (dalam hal ini beban gempa) yang harus dipikul oleh struktur. Titik kinerja (*performance point*) menunjukkan apakah struktur eksisting mampu menahan beban gempa atau tidak. Pada *performance point* ini lah dapat ditentukan batas level kinerja struktur secara keseluruhan ketika menahan beban gempa.

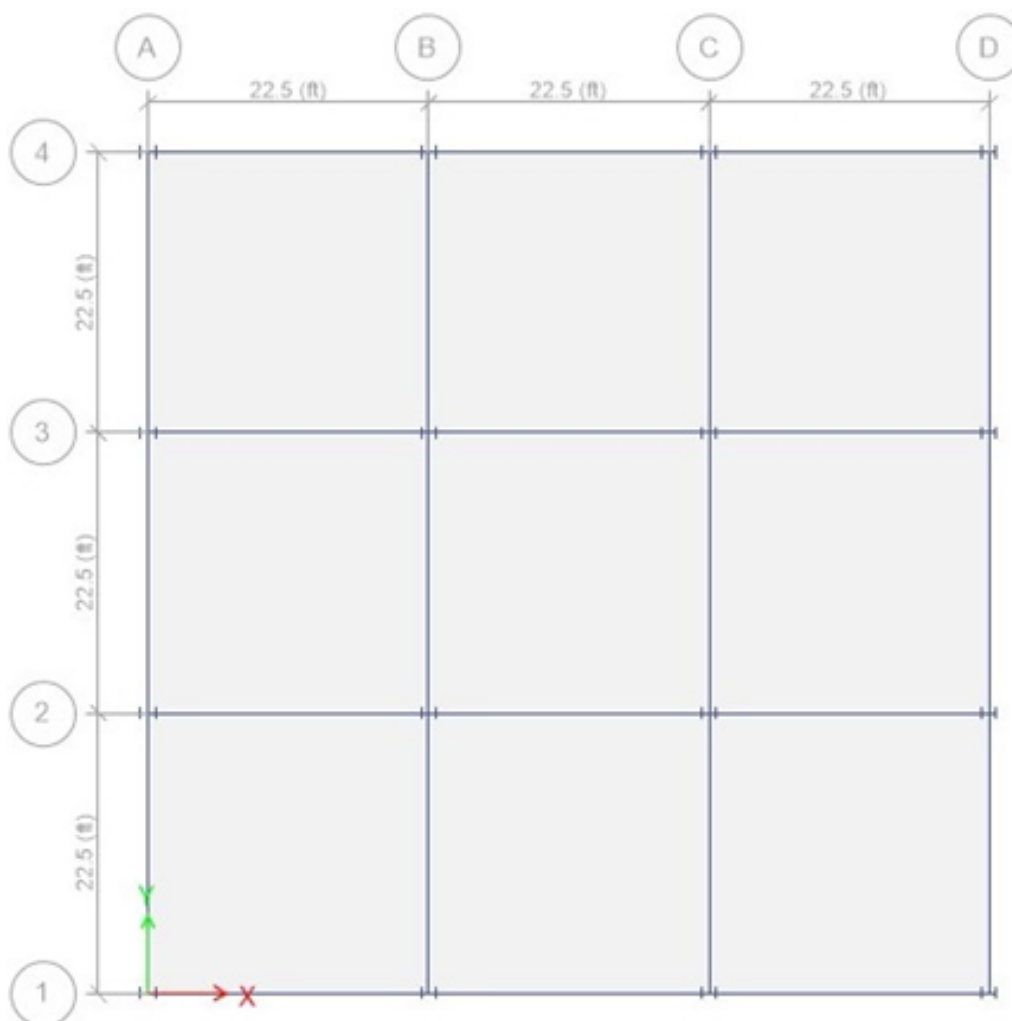
5. Analisis, Hasil, dan Pembahasan

5.1. Deskripsi Gedung

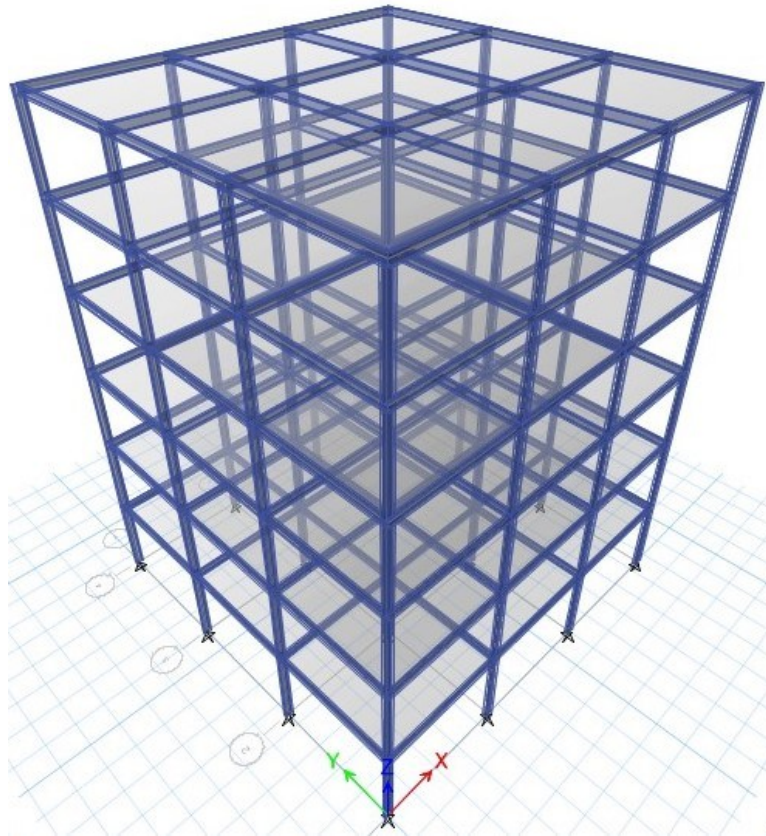
1. Rincian Deskriptif Gedung : Portal Baja Pemikul Momen
 - Jumlah Tingkat : 6 (enam)
 - Tinggi Tingkat : 15 feet
 - Total Tinggi Bangunan : 90 feet
 - Luas Bangunan : 67,5 feet x 67,5 feet
 - Jumlah Bentang Arah-X : 3 (Tiga)
 - Jumlah Bentang Arah-Y : 3 (Tiga)
 - Spasi antar kolom : 22,5 feet
 - Dimensi Kolom : W14x82 (Preliminari)
 - Dimensi Balok : W16x36 (Preliminari)
 - Tebal Pelat : 8 Inch
 - Grade Baja : A992 ; fy 50 ksi
 - Beban Mati : 100 psf, 100 psf
 - Beban Hidup : 75 psf, 20 psf

2. Pemodelan

Adapun pemodelan untuk analisis struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ETABS 2013, dapat dilihat berikut di bawah ini :



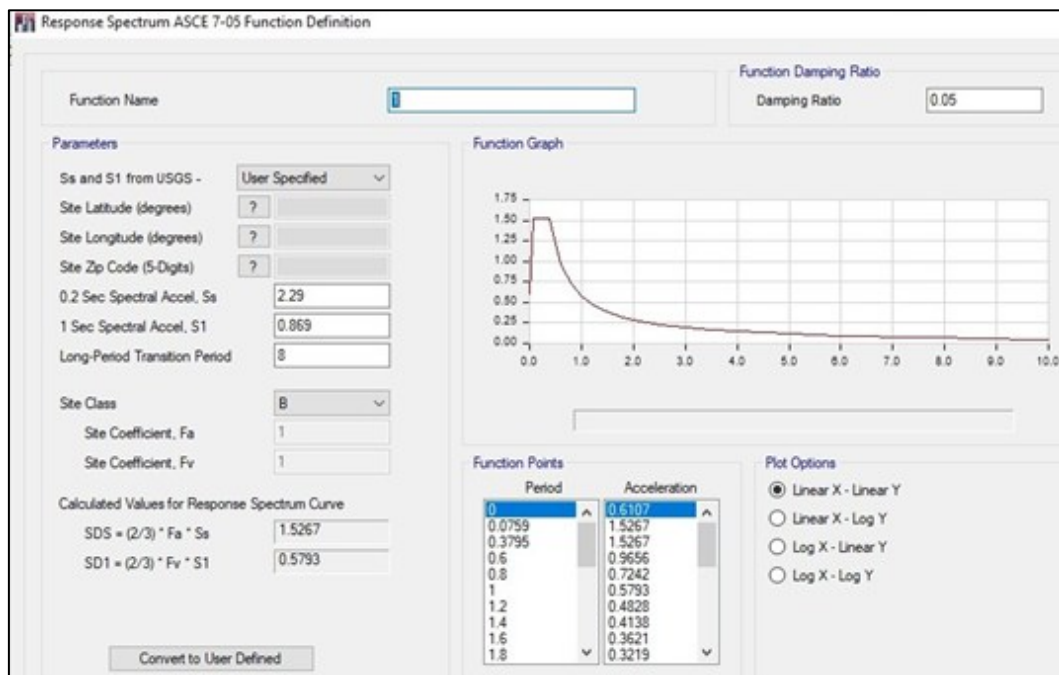
Gambar 11. Denah Ukuran Lantai



Gambar 12. Pemodelan Struktur dengan ETABS 2013

3. Beban Gempa

Adapun Spektrum Gempa Rencana yang dipakai untuk analisis elastic dan pengecekan ukuran penampang yakni sebagai berikut :



Gambar 13. Spektrum Gempa Rencana

4. Beban Angin

Beban Angin yang digunakan baik untuk desain struktur elastic, yakni sebagai berikut :

Wind Load Pattern - ASCE 7-05

Exposure and Pressure Coefficients

☐ Exposure from Extents of Rigid Diaphragms

☒ Exposure from Frame and Shell Objects

☒ Include Shell Objects

☒ Include Frame Objects (Open Structure)

Wind Pressure Coefficients

☒ User Specified ☐ Program Determined

Windward Coefficient, C_{pw}

Leeward Coefficient, C_{pl}

Wind Exposure Parameters

Wind Direction deg

Case (ASCE 7-05 Fig. 6-9)

e1 Ratio (ASCE 7-05 Fig. 6-9)

e2 Ratio (ASCE 7-05 Fig. 6-9)

Wind Coefficients

Wind Speed (mph)

Exposure Type

Importance Factor

Topographical Factor, K_{zt}

Gust Factor

Directionality Factor, K_d

Solid / Gross Area Ratio

Exposure Height

Top Story

Bottom Story

☐ Include Parapet

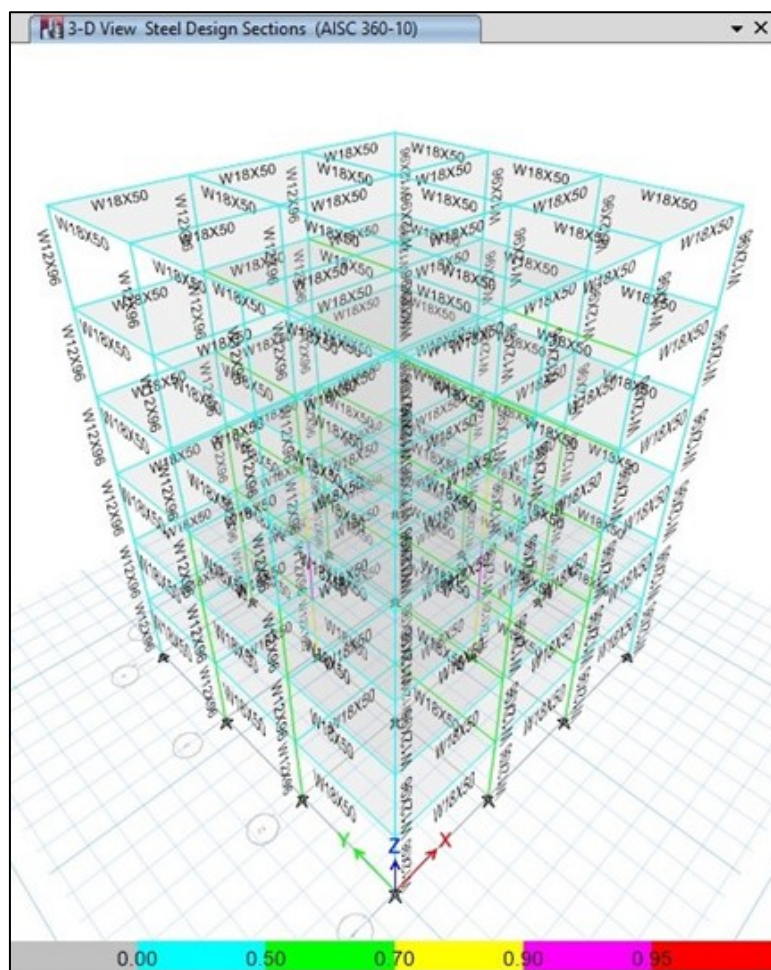
Parapet Height ft

Gambar 14. Wind Load Arah-X

5.2. Analisis dan Hasil

1. Hasil Desain Elastik Penampang

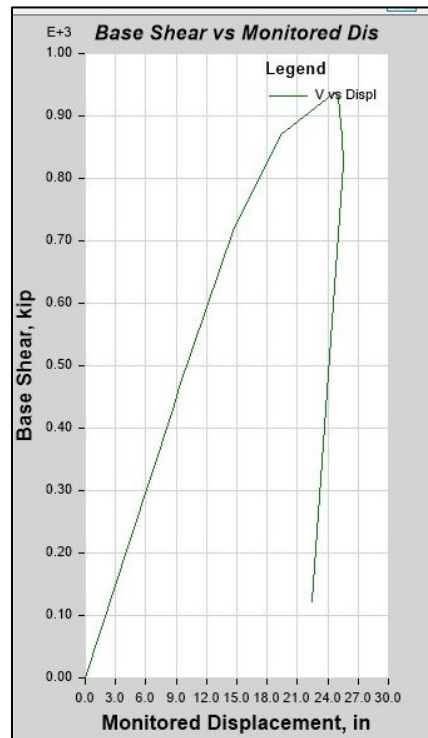
Adapun hasil desain elastic struktur dapat terlihat di bawah ini.



Gambar 15. Hasil Desain Elastik Penampang

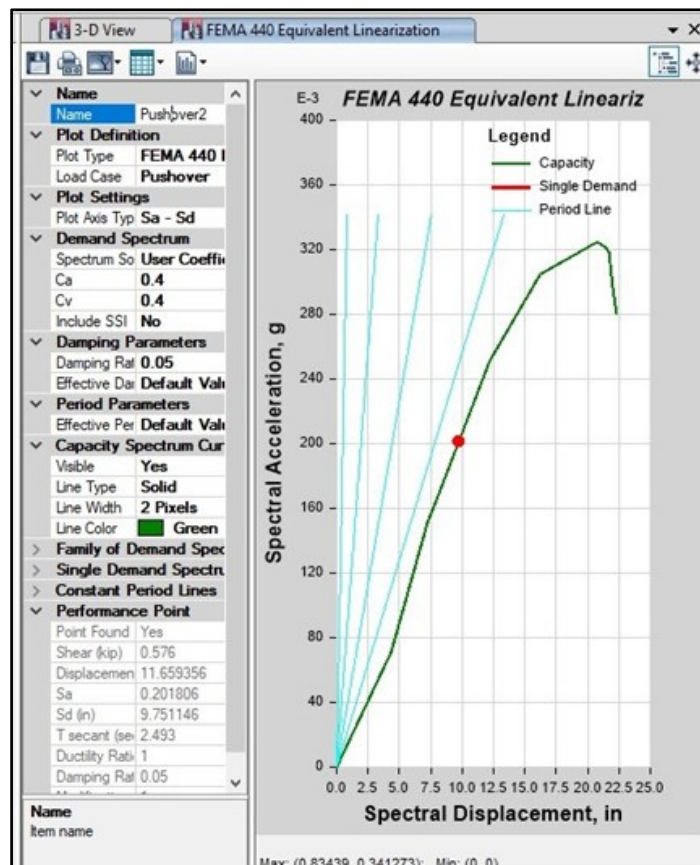
2. Hasil Analisis *Pushover*

Displacement maksimum atap dapat terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 16. Base Shear vs Displacement

Berikut dapat dilihat gambar hasil Metode *Equivalent Linearization*.



Gambar 16. Equivalent Linearization Method

3. Struktur menggunakan VMD

Untuk penelitian ini maka digunakan 7x12 VMD:

Maksimum propertisnya, untuk analisis yakni :

$$K = 1.84 \times 450 = 828 \text{ kn/in}$$

$$C = 1.84 \times 150 = 270 \text{ k-(sec/in)}^{0.5}$$

$$\alpha = 0.5$$

Minum propertisnya, untuk analisis yakni :

$$K = 0.8 \times 450 = 360 \text{ kn/in}$$

$$C = 0.8 \times 150 = 120 \text{ k-(sec/in)}^{0.5}$$

$$\alpha = 0.5$$

The screenshot shows the 'Link Property Data' dialog box. The 'General' tab is active, showing 'Link Property Name' as 'VMD 7x12max' and 'Link Type' as 'Damper'. The 'Total Mass and Weight' section shows 'Mass' as '1.000E-04 lb-s²/ft' and 'Weight' as '0 kip'. The 'Directional Properties' section shows a table with columns 'Direction', 'Fixed', 'NonLinear', and 'Properties'. The 'U1' direction is selected with 'Fixed' checked and 'NonLinear' checked. The 'Properties' column for 'U1' has a button 'Modify/Show for U1...'. The 'R1', 'R2', and 'R3' directions are also listed with 'Fixed' and 'NonLinear' unchecked and 'Properties' buttons.

Gambar 17. Link Property VMD 7x12max

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. The 'Identification' section shows 'Property Name' as 'VMD 7x12max', 'Direction' as 'U1', 'Type' as 'Damper', and 'NonLinear' as 'Yes'. The 'Linear Properties' section shows 'Effective Stiffness' as '0 kip/in' and 'Effective Damping' as '0 kip-s/in'. The 'Nonlinear Properties' section shows 'Stiffness' as '828 kip/in', 'Damping' as '276 kip*(s/in)^Cexp', and 'Damping Exponent' as '0.5'. The 'OK' button is highlighted.

Gambar 18. Property VMD 7x12max

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dalam rangka menjawab tujuan dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem struktur *Viscous Wall Dampers* (VMDs) pada bangunan baja bertingkat 6 (enam) menggunakan bantuan *software* ETABS dapat diterapkan sebagai sistem penahan gaya lateral.

Referensi

- Abu-Saba, E., G., 1995, *Design of Steel Structures*, Springer Science+Business Media Dordrecht, 1st Edition, Chapman&Hall
- Budiono, B., Wangsadinata, W., Sidi, I., D., 2013, “Desain Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*) Untuk Struktur Gedung Super Tinggi Thamrin 9 Tower 1 Dengan Sistem Outrigger & Belt-Truss,” Jakarta
- DIS (Dynamic Isolation Systems), 2017, *Viscous Wall Dampers : Guidelines for Modeling*, Nevada 89434 USA, www.dis-inc.com
- Infanti, S., Robinson, J., Smith, R., 2008, *Viscous Dampers For High-Rise Buildings*, WCEE, 14th, Beijing, China, Oktober 12-17
- Kurnia, G., Nafi’ah, P., U., 2019, “Perencanaan Struktur Gedung Lima (5) Lantai Rumah Susun Lokasi Sumurbroto Semarang,” Laporan Tugas Akhir, Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Semarang
- Lesmana, Y., 2018, Development of Low-Cost Base Isolation System for Residential Housing in Hish Seismic Zones, Dissertation RC-143505, ITS, Surabaya
- Manope, R., F., Manalip, H., Ointoe, M., M., 2019, “Analisis Portal Struktur Baja Berdasarkan