



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 6694-6704

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Analisis Kinerja Seismik dan Modifikasi Struktur Baja di Wilayah Kds Tinggi (Studi Kasus: PT. Warisan Eurindo, Banyuwangi)

Zulfan Firdaus^{1✉}, Yohanes Pracoyo Widi Prasetyo², Dimas Aji Purnomo³

Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

Email: suadrifnafluz@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Kabupaten Banyuwangi merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi yang menuntut penerapan desain struktur tahan gempa. Penelitian ini mengevaluasi kinerja seismik struktur gudang baja eksisting dengan sistem Ordinary Moment Frame (OMF) dan membandingkannya setelah dimodifikasi menjadi sistem Ordinary Concentrically Braced Frame (OCBF). Analisis dilakukan menggunakan metode Linear Time History Analysis (LTHA) pada ETABS v22, dengan input tiga data gempa historis (Chi-Chi, Miyagi, Tokachi). Hasil menunjukkan bahwa struktur OMF mengalami overstress pada elemen kolom (rasio tegangan D/C sebesar 0,951), rasio kelangsingan KL/r mencapai 205,49 (melebihi batas 200), serta simpangan antar tingkat sebesar 249,22 mm (2,6%), melampaui batas izin 143,077 mm. Setelah modifikasi ke sistem OCBF, nilai D/C turun menjadi 0,785, rasio KL/r menjadi 141,84, dan simpangan antar tingkat berkurang drastis menjadi 70,09 mm (0,7%). Dengan demikian, penambahan bracing terbukti efektif meningkatkan performa seismik struktur baja pada kawasan rawan gempa.

Kata Kunci: *Kinerja Seismik, Linier Time History Analysis, Rangka Terbreis Konsentris Biasa, Struktur Gudang Baja*

Abstract

Banyuwangi Regency is a high seismic zone, requiring earthquake-resistant structural designs. This study evaluates the seismic performance of an existing steel warehouse structure using an Ordinary Moment Frame (OMF) system and compares it to a modified system employing Ordinary Concentrically Braced Frame (OCBF). Linear Time History Analysis (LTHA) was conducted in ETABS v22 using three historical earthquakes (Chi-Chi, Miyagi, Tokachi). Results show that the OMF system exhibited overstressed columns (stress ratio $D/C = 0.951$), slenderness ratio KL/r of 205.49 (exceeding the 200 limit), and inter-story drift of 249.22 mm (2.6%), surpassing the allowable limit of 143.077 mm. After retrofitting to the OCBF system, stress ratio reduced to 0.785, KL/r to 141.84, and drift significantly dropped to 70.09 mm (0.7%). These improvements confirm that the use of inter-column bracing is an effective strategy to enhance seismic performance of steel structures in earthquake-prone areas.

Keywords: *Seismic Performance, Linear Analysis Time History, Ordinary Concentrically Braced Frame, Steel Warehouse Structure*

PENDAHULUAN

Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi di Indonesia. Berdasarkan data *International Seismological Centre* (ISC) periode 1970–2020, tercatat 656 gempa bermagnitudo >5 terjadi di kawasan ini, dengan percepatan tanah maksimum mencapai 301,801 gal atau setara intensitas VII–VIII dalam skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) (Ghofur dkk., 2021). Kondisi ini menuntut evaluasi menyeluruh terhadap kapasitas struktur bangunan, terutama struktur baja yang masih banyak menerapkan sistem *Ordinary Moment Frame* (OMF) di wilayah rawan gempa seperti Banyuwangi.

OMF dikenal sebagai sistem rangka pemikul momen dengan ketahanan gempa paling rendah karena tidak mewajibkan prinsip *Strong Column–Weak Beam* (SC–WB), sehingga deformasi inelastis dapat terjadi pada seluruh elemen, termasuk kolom, yang meningkatkan risiko keruntuhan global (Han, 2018). Padahal, struktur tahan gempa seharusnya mampu mencegah keruntuhan total dan memberi waktu evakuasi saat gempa besar terjadi (Siregar dkk., 2024). Di sisi lain, praktik konstruksi baja di Indonesia masih banyak yang belum memenuhi kriteria desain tahan gempa, menegaskan pentingnya evaluasi struktur secara menyeluruh (Yuana dkk., 2023).

Salah satu strategi perkuatan efektif adalah penambahan sistem *bracing* antar kolom, yang dapat meningkatkan kekakuan lateral, mengurangi gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan perpindahan lateral akibat beban gempa (Zega dkk., 2022), serta membantu distribusi beban yang lebih merata ke seluruh elemen struktur (Pradono, 2020).

Untuk mengevaluasi performa struktur secara realistis terhadap beban gempa, digunakan metode *Linear Time History Analysis* (LTHA) sesuai SNI 1726:2019. Metode ini lebih akurat dibanding *response spectrum analysis* karena memperhitungkan respons struktur sepanjang waktu dan bersifat tidak terlalu konservatif (Taufik dkk., 2022). LTHA juga telah banyak digunakan dalam studi sebelumnya untuk menilai respons gaya geser dan perpindahan antar lantai akibat berbagai gempa historis (Wiryadi dkk., 2021).

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan ETABS versi 22, dengan tiga akselerogram gempa historis — Chi-Chi, Miyagi, dan Tokachi — yang mewakili sumber gempa *Benioff*, *Megathrust*, dan *Shallow Crustal*. Ketiganya disesuaikan dengan karakteristik seismik Banyuwangi melalui metode penskalaan spektral berbasis pendekatan Al Atik dan Abrahamson (2010) menggunakan perangkat lunak *SeismoMatch*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil objek berupa bangunan gudang baja milik PT. Warisan Eurindo, yang berlokasi di Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. PT. Warisan Eurindo merupakan perusahaan manufaktur *furniture* berbahan kayu yang memiliki fasilitas industri berstruktur baja. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode numerik berbasis simulasi komputer, yang bertujuan untuk mengevaluasi respons dinamik struktur eksisting serta menganalisis perbandingannya setelah dilakukan modifikasi dengan sistem *bracing* antar kolom. Objek penelitian berupa bangunan gudang baja milik PT. Warisan Eurindo, berlokasi di Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data Percepatan Gempa Dasar

Penentuan beban gempa dinamik pada struktur dilakukan dengan mengacu pada Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa (2022) dan ketentuan dalam SNI 1726 (2019) tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Berdasarkan lokasi studi yang berada di Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi, dengan koordinat lintang -8.1833982 dan bujur 114.3572886, berdasarkan hasil pengujian tanah, tanah di klasifikasikan tanah lunak (kategori situs SE), diperoleh parameter spektrum respons percepatan desain sebagai berikut:

PGA	= 0,3970
SS	= 0,8807
S1	= 0,3714
Fa	= 1,1954
Fv	= 2,5144
SDS	= 0,7019
SD1	= 0,6226

Data Gempa *Time History*

Penelitian ini menggunakan input gempa berupa data *time history* dengan tiga pasang komponen horizontal, sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Pemilihan data didasarkan pada kriteria: jenis sumber gempa dan magnitudo, jarak ke lokasi studi, hasil deagregasi bahaya, kondisi tanah, serta kesesuaian respons spektrum dengan spektrum target lokasi.

Tiga gempa historis yang dipilih adalah Chi-Chi (1999) mewakili sumber *Shallow Crustal*, Miyagi (2003) untuk *Benioff*, dan Tokachi (2003) untuk *Megathrust*. Akselerogram disesuaikan dengan karakteristik wilayah Kalipuro melalui penskalaan spektral agar mencerminkan respons spektrum desain setempat. Informasi lengkap sumber gempa ditampilkan dalam Tabel 1, sementara data akselerogram *time history* disajikan dalam Tabel 2. Penyesuaian akselerogram terhadap kondisi lokal dilakukan dengan metode penskalaan spektral (Al Atik & Abrahamson, 2010).

Tabel 1. Data Sumber Gempa Berdasarkan Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia

Sumber	Magnitudo (0,2 detik)	Jarak (km)
Shallow Crustal	6.0 - 6.2	40 - 50
Benioff	7.2 - 7.4	120 - 150
Megathrust	8.2 - 8.4	120 - 150

Tabel 2. Data Gempa *Time History* terpilih

RSN	Event	Lokasi	M	Jarak	Vs30 (m/s)
2473	Chi-Chi	Taiwan	6.2	45.69	169.52
4030913	Miyagi	Japan	7.22	120.44	137.3
4022855	Tokachi	Japan	8.29	121.74	111.1

Desain Modifikasi Gempa

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, sistem pemikul gaya lateral tidak hanya dirancang untuk menahan beban gempa secara elastis, tetapi juga harus mampu mendisipasi energi melalui deformasi inelastik. Untuk mengakomodasi perilaku tersebut dalam analisis elastis, SNI 1726:2019 menetapkan tiga parameter koreksi idealisasi, yaitu faktor modifikasi respons (R), faktor amplifikasi simpangan (C_d), dan faktor kekuatan lebih (Ω_0). Ketiga parameter ini merepresentasikan kemampuan struktur dalam menyerap energi, memperbesar simpangan yang ditoleransi, dan mempertimbangkan cadangan kekuatan yang dimiliki sistem.

Perbandingan parameter. Dua sistem yang dibandingkan dalam penelitian ini, yaitu *Ordinary Moment Frame* (OMF) dan *Ordinary Concentrically Braced Frame* (OCBF), memiliki perbedaan signifikan dalam nilai R , C_d , dan Ω_0 , yang pada akhirnya memengaruhi performa struktur terhadap gempa. desain antara OMF dan OCBF mengacu pada nilai R , C_d , dan Ω_0 sebagaimana tercantum dalam Tabel 3. Nilai-nilai ini menggambarkan kemampuan disipasi energi dan deformasi inelastik masing-masing sistem.

Tabel 3. Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik Struktur

Sistem pemikul gaya seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF)	3,25	2	3,25	TB	TB	10	10	TI
Ordinary Momen Frames (OMF)	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

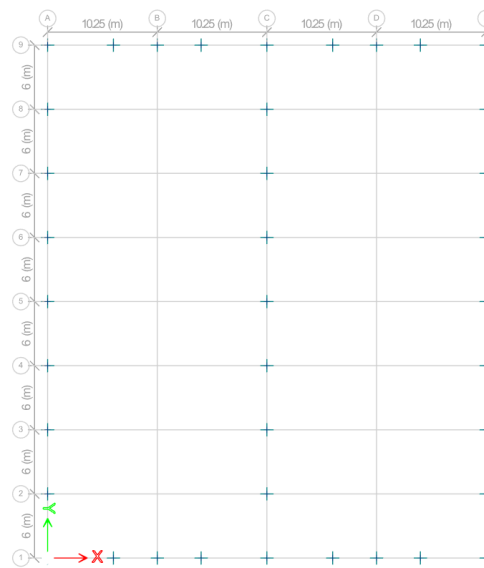
Catatan: TB= Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

Desain Modeling Struktur

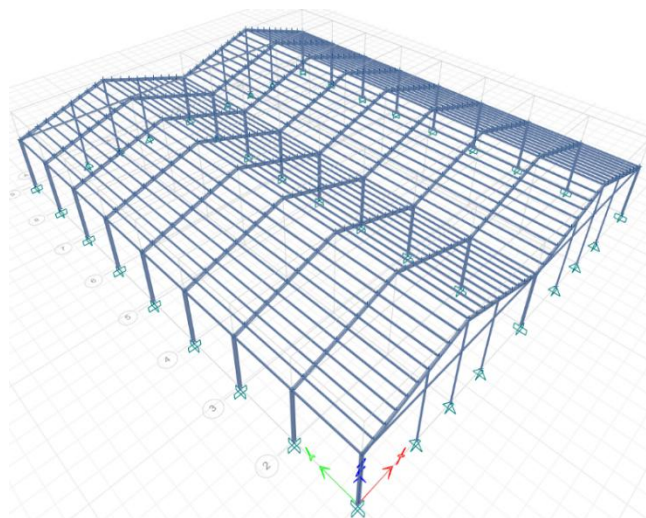
Struktur yang dimodelkan dalam penelitian ini merupakan bangunan gudang baja satu lantai dengan konfigurasi dua portal. Gudang satu lantai ini terdiri atas dua portal utama. Seluruh elemen utama menggunakan baja A36 dengan mutu $f_y = 250$ MPa dan f_u

= 400 MPa. Kolom dan kuda-kuda memakai profil IWF 250×125×6×9, balok induk UNP 125×65×4.0, dan *bracing* modifikasi menggunakan pipa HSS 100×50×3.2 yang dipasang konsentris antar kolom.

Struktur dimodelkan dalam dua kondisi: eksisting (OMF) dan modifikasi (OCBF) dengan mengacu peraturan pembebanan dan desain baja sesuai standar (ASCE/SEI 7-22, 2022; Holmes & Weller, 2002; SNI 1727, 2020; SNI 1729, 2020). Pemodelan dilakukan menggunakan ETABS v22, dengan tujuan mengevaluasi kapasitas elemen terhadap kombinasi beban kerja (Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan denah dan tampilan 3D eksisting). Struktur dimodifikasi dengan menambahkan sistem *bracing* antar kolom, seperti ditampilkan dalam Gambar 4 (3D View Modifikasi).



Gambar 2. Denah Gudang



Gambar 3. 3D View Eksisting

Periode Struktur

Periode struktur merupakan salah satu parameter dinamis utama yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan oleh suatu bangunan untuk menyelesaikan satu siklus getaran penuh saat mengalami osilasi akibat beban dinamis, seperti gempa bumi (Mustika dkk., 2022).

Periode fundamental struktur dari hasil ETABS adalah $T_c = 1,694$ detik, melebihi batas maksimum $T_{amax} = 0,603$ detik, sehingga nilai T_{amax} digunakan untuk penskalaan gempa. Rasio partisipasi massa ditunjukkan dalam Tabel 4, yang menunjukkan akumulasi partisipasi mencapai 90% pada mode ke-12 (periode 0,458 detik).

Tabel 4. Rasio Partisipasi Massa

Mode	Periode (detik)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,694	0	0,9993	0	0,9993
2	0,588	0,6947	0	0,6947	0,9993
3	0,563	0	0	0,6947	0,9993
4	0,557	0	0	0,6947	0,9993
5	0,534	0	0	0,6947	0,9993
6	0,523	0,011	0	0,7057	0,9993
7	0,521	0	0	0,7057	0,9993
8	0,520	0,0986	0	0,8043	0,9993
9	0,490	0	0	0,8043	0,9993
10	0,487	0	0	0,8043	0,9993
11	0,461	0,0802	0	0,8846	0,9993
12	0,458	0,458	0	0,9194	0,9993

Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan gaya geser dasar (*base shear*) merupakan komponen krusial dalam desain struktur tahan gempa. Besarnya gaya ini menentukan sejauh mana struktur harus mampu menahan beban lateral akibat gempa. (Universitas Katolik Widya Mandira Kupang dkk., 2024). Menurut pendekatan dalam SNI 1726:2019, gaya geser dasar dihitung berdasarkan massa efektif struktur W , dan koefisien respons seismik C_s . Gaya geser dasar dihitung berdasarkan total massa efektif struktur (disajikan pada Tabel 5) dan koefisien respons seismik $C_s = 0,2005$, sehingga diperoleh *base shear* sebesar 74,50 kN

Tabel 5. Total Massa Efektif Bangunan

Elevasi	Massa (kg)
Elev +9.30	17.471,58
Elev +6.00	20.410,71
Total	37.882,29

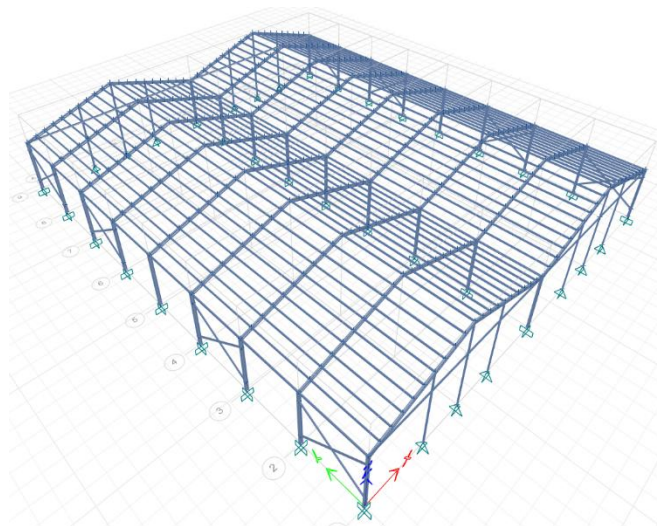
Simpangan antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) merupakan parameter krusial dalam desain seismik bangunan, karena menggambarkan perpindahan relatif antar tingkat akibat beban gempa. Nilai *drift* yang melebihi batas dapat menyebabkan kerusakan struktural maupun non-struktural, serta membahayakan keselamatan penghuni (Zebua, 2023).

Simpangan antar tingkat pada kategori risiko I atau II, untuk jenis semua struktur dibatasi dengan nilai 0,020h.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Eksisting menggunakan sistem struktur OMF, yaitu struktur yang mengandalkan sambungan momen untuk menahan beban. Berbeda dengan OCBF, struktur gabungan dengan tambahan *bracing* untuk membantu menstabilkan struktur, khususnya akibat beban geser.



Gambar 4. 3D View Modifikasi

Kapasitas Elemen Struktur

Evaluasi kapasitas elemen struktur menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting dengan sistem OMF, elemen kolom mengalami *overstress*, ditandai dengan nilai rasio tegangan terhadap kapasitas melebihi 0,95. Selain itu, beberapa kolom melebihi batas kelangsingan

KL/r yaitu 200. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem OMF memiliki kekakuan lateral yang rendah, sehingga gaya gempa tersalurkan secara tidak merata dan menyebabkan konsentrasi gaya pada elemen vertikal. Pada sistem OMF, kolom mengalami *overstress* dengan rasio tegangan (D/C) $> 0,95$, dan kelangsingan KL/r melebihi batas 200. Setelah modifikasi ke OCBF, rasio tegangan turun menjadi 0,785 dan KL/r menjadi 141,84, menunjukkan peningkatan kapasitas aksial dan stabilitas kolom. Ringkasan perbandingan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kapasitas Elemen Struktur Kolom

Kapasitas	OMF	OCBF	Batas izin
KL/r	205,49	141,84	<200
D/C Rasio	0,951	0,785	$<0,95$

Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) pada struktur eksisting melebihi batas izin SNI 1726:2019, khususnya pada bentang tengah portal longitudinal. Struktur OMF mencatat simpangan antar tingkat maksimum sebesar ± 249 mm (2,6% tinggi lantai), melebihi batas 143,077 mm. Setelah penambahan *bracing* (OCBF), simpangan turun drastis hingga ± 70 mm, atau sekitar 0,7%.

Hasil drift masing-masing sistem disajikan dalam Tabel 7 (OMF) dan Tabel 8 (OCBF)

Tabel 7. Simpangan Antar Tingkat Struktur OMF

Sumber Beban	Displacement-x (mm)	Displacement-y (mm)	Inelastic-x (mm)	Inelastic-y (mm)	Drift Limit (mm)	Cek
Spektrum	22,154	76,963	66,462	230,889	143,077	Fail
Chi-Chi	23,136	83,074	69,408	249,222	143,077	Fail
Miyagi	20,464	70,064	61,392	210,192	143,077	Fail
Tokachi	20,489	69,859	61,467	209,577	143,077	Fail

Tabel 8. Simpangan Antar Tingkat Struktur OCBF

Sumber Beban	Displacement-x (mm)	Displacement-y (mm)	Inelastic-x (mm)	Inelastic-y (mm)	Drift Limit (mm)	Cek
Spektrum	22,179	21,133	72,082	68,682	143,077	Ok
Chi-Chi	23,176	21,565	75,322	70,086	143,077	Ok
Miyagi	20,599	21,083	66,947	68,520	143,077	Ok
Tokachi	20,652	20,253	67,119	65,822	143,077	Ok

SIMPULAN

Hasil analisis menggunakan metode *time history* menunjukkan bahwa struktur gudang baja eksisting dengan sistem *Ordinary Moment Frame* (OMF) tidak memenuhi standar kinerja seismik. Hal ini ditunjukkan oleh rasio tegangan elemen kolom sebesar 0,951 (melebihi batas 0,95), rasio kelangsingan KL/r sebesar 205,49 (melebihi batas 200), serta simpangan antar tingkat maksimum sebesar 249,22 mm (2,6%), yang melampaui batas izin 143,077 mm. Setelah dilakukan modifikasi menjadi sistem *Ordinary Concentrically Braced Frame* (OCBF), terjadi peningkatan signifikan: rasio tegangan turun menjadi 0,785, rasio KL/r menjadi 141,84, dan simpangan antar tingkat berkurang menjadi 70,09 mm (0,7%). Dengan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan *bracing* antar kolom merupakan metode perkuatan yang efektif dalam meningkatkan kekakuan lateral, stabilitas elemen vertikal, serta kinerja seismik struktur baja di wilayah rawan gempa seperti Banyuwangi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE/SEI 7-22 (Ed.). (2022). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures: ASCE/SEI 7-22*. American Society of Civil Engineers.
- Ghofur, M., Sukarasa, I. K., & Darsono, R. (2021). Pemetaan Tingkat Bahaya Bencana Gempabumi Di Wilayah Banyuwangi Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum. *BULETIN FISIKA*. <https://doi.org/10.24843/bf.2022.v23.i01.p06>
- Han, S. (2018). *Permissible Heights Proposed for Steel Ordinary Moment Frames*. <https://doi.org/10.7763/ijet.2018.v10.1110>
- Holmes, J. D., & Weller, R. (2002). *Design wind speeds for the Asia-Pacific region*. Standards Australia International.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat - Pusat Studi Gempa Nasional. (2022). *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Mustika, R., Putra, R. R., & Fitria, R. (2022). Analysis Natural Periods of Structure Using Microtremor. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 328–342. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.5027>
- Pradono, M. H. (2020). Kajian Perkuatan Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Metoda Bresing. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 14(2), 70–76. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v14i2.3839>

- Siregar, H., Aswin, M., & Syam, B. (2024). Evaluasi Reliabilitas Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Baja Eksisting Akibat Beban Gempa. *Action Research Literate*, 8(3), 470–479. <https://doi.org/10.46799/ar.v8i3.319>
- SNI 1726, B. S. N. (2019). *SNI 1726:2019—Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 1727, B. S. N. (2020). *SNI 1727:2020—Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 1729, B. S. N. (2020). *SNI 1729:2020—Spesifikasi untuk Bangunan Baja Struktural*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Taufik, I., Yadi, S., & Astuti, P. (2022). RESPONS KETIDAKBERATURAN STRUKTUR TORSI DAN TORSI BERLEBIH GEDUNG 16 LANTAI MENGGUNAKAN METODE LINEAR TIME HISTORY ANALYSIS. *Konstruksia*, 13(1), 181. <https://doi.org/10.24853/jk.13.1.181-191>
- Universitas Katolik Widya Mandira Kupang, Abani, G. A., Bela, K. R., Universitas Katolik Widya Mandira Kupang, Pedo, K. S. W., & Universitas Katolik Widya Mandira Kupang. (2024). Analysis of Lateral Force and Base Shear Due to Earthquake Loads Based on Yield Point Spectra. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 5(1), 25–35. <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9105>
- Wiryadi, I. G. G., Giatmajaya, I. W., Putra Wirawan, I. P. A., & Trangipani, N. M. (2021). Analisis Riwayat Waktu Perilaku Struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 43–52. <https://doi.org/10.36733/jikt.v10i2.3000>
- Yuana, P. S., Moestopo, M., Kusumastuti, D., & Pratiwi, N. (2023). An Overview of Commonly Used Steel Beam-Column Connection in Indonesia for Low-Rise Building. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 10(1), 7–14. <https://doi.org/10.31963/intek.v9i2.4135>
- Zebua, D. (2023). ANALISIS DISPLACEMENT STRUKTUR BETON BERTULANG PADA GEDUNG RUMAH SAKIT. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.133>
- Zega, B. C., Prasetyono, P. N., Nadiar, F., Triarso, A., Zega, B. C., Prasetyono, P. N., Nadiar, F., & Triarso, A. (2022). Desain Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa Menggunakan SNI 1729:2020. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>