

EVALUASI KINERJA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG BANGUNAN EKSISTING DI SAMARINDA

Josh Maverick¹, Gerard Christian Joelin¹, Krismanto Kusbiantoro³, Cindrawaty Lesmana¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Prof. drg. Surya Sumantri, M.P.H. No. 65, Bandung, Indonesia

³Program Studi Sarjana Arsitektur, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Prof. drg. Surya Sumantri, M.P.H. No. 65, Bandung, Indonesia

*2121008@eng.maranatha.edu

Masuk: 30-06-2024, revisi: 22-07-2024, diterima untuk diterbitkan: 11-08-2024

ABSTRACT

Building repurposing is a common practice within the construction industry. Ensuring the safety of a structure is a crucial thing during the process. In the context of supporting the development of the Chinatown area in Samarinda, a safety evaluation of existing buildings in Samarinda City was conducted. The main goal of this evaluation was to evaluate the structural safety when building repurposing. The assessment employed multiple methods, including the Rapid Visual Screening (RVS) method, the story drift analysis, the P-Delta effect evaluation, and the FEMA 440 pushover analysis. Those analyses were selected to provide a thorough examination of the buildings' structural performance under various conditions. The results revealed a difference among the results. Specifically, the buildings passed the safety criteria set by the Rapid Visual Screening, the inter-story drift analysis, and the P-Delta effect evaluation. However, the buildings did not meet the safety requirements when evaluated using the FEMA 440 pushover analysis. The results indicate that in the pushover analysis, additional structures such as cantilever structures can be the first elements to fail during an earthquake.

Keywords: building repurposing; rapid visual screening; FEMA 440 pushover method; building analysis

ABSTRAK

Alih fungsi menjadi hal yang umum dilakukan pada bangunan. Ketika melakukan alih fungsi, Pemeriksaan terhadap keamanan bangunan perlu diperiksa. Dalam mendukung proses pembangunan kawasan pecinan di Samarinda, pemeriksaan pada bangunan eksisting di Kota Samarinda dilakukan dengan tujuan memeriksa keamanan bangunan saat bangunan akan dialih fungsikan. Pemeriksaan dilaksanakan dengan metode *Rapid Visual Screening*, analisa simpangan antar tingkat, evaluasi pengaruh P-Delta, dan analisa *pushover* FEMA 440. Cara ini dipilih untuk memberikan pemeriksaan menyeluruh terhadap kinerja struktural bangunan dalam berbagai kondisi. Hasil menunjukkan bahwa setiap analisa memiliki hasil yang berbeda antara satu sama lain, dimana bangunan dinyatakan lulus dalam *Rapid Visual Screening*, analisa pemeriksaan simpangan antar tingkat dan evaluasi pengaruh P-Delta, namun belum memenuhi dalam analisa *pushover* FEMA 440. Hasil menunjukkan bahwa dalam analisa *pushover*, struktur tambahan seperti struktur kantilever dapat menjadi struktur yang menyebabkan kegagalan struktur pertama kali ketika terjadinya gempa.

Kata kunci: alih fungsi bangunan; *rapid visual screening*; *pushover* FEMA 440; analisa bangunan

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya waktu, jumlah manusia terus bertambah banyak. Dengan bertambahnya jumlah manusia, semakin banyak bangunan yang dibangun dengan tujuan untuk membantu manusia dalam kehidupannya. Bangunan yang dibangun semakin berhimpitan dikarenakan menipisnya lahan yang tersedia, mengakibatkan manusia mencari jalan keluar untuk tetap dapat membangun sesuai dengan kebutuhan terkini. Bangunan lama yang sudah tidak terpakai, mulai dialih fungsikan agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Ada hal-hal yang perlu diperhatikan ketika proses alih fungsi bangunan dilakukan. Dilansir menurut website Sistem Informasi Manajemen Bangunan Gedung (SIMBG) oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, dalam melakukan proses alih fungsi bangunan di Indonesia, diperlukan pengajuan Persetujuan Bangunan Gedung (PBG). Terdapat lampiran yang diperlukan adanya dalam pengajuan PBG, salah satu contohnya adalah Sertifikat Laik Fungsi (SLF). SLF meliputi pengujian terhadap arsitektur, struktur dan *Mechanical Electrical Plumbing* (MEP) bangunan.

Banyaknya bangunan dan aspek yang harus diuji ketika sedang melakukan evaluasi bangunan, dapat mengakibatkan lamanya proses dalam pengajuan ijin untuk melakukan alih fungsi bangunan. Oleh sebab itu, manusia menciptakan berbagai macam cara yang dapat mempermudah dan mempercepat proses manusia dalam melaksanakan evaluasi bangunan. Berdasarkan *Federal Emergency Management Agency* atau disingkat FEMA (2015), Salah satu alternatif pendekatan yang dapat digunakan dalam proses penilaian cepat adalah *Rapid Visual Screening* (RVS).

RVS bertujuan untuk menilai risiko seismik terhadap bangunan secara cepat dan efisien. Metode ini dibuat sedemikian rupa untuk memberikan penilaian awal tentang kerentanan seismik sebuah bangunan secara visual. Berdasarkan FEMA 154 (2015), Hasil penilaian awal dapat digunakan untuk menentukan perlu tidaknya evaluasi yang lebih mendalam terhadap bangunan.

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Indonesia termasuk kedalam daerah yang memiliki potensi tinggi terhadap gempa bumi. Dikarenakan potensi tinggi tersebut, struktur bangunan di Indonesia harus bisa bertahan terhadap gempa. Hal ini harus menjadi perhatian khusus ketika struktur akan diuji kelayakannya. Terutama pada kasus seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, dimana banyak rumah yang dibangun berhimpitan. Hal ini berarti bangunan memiliki risiko tinggi untuk mengalami kerusakan dikarenakan kurangnya jarak pemisah yang memadai ketika bangunan berdeformasi akibat gempa (*seismic pounding*) (Maged et al., 2019).

Seismic pounding terjadi akibat peningkatan gaya *impact* akibat percepatan singkat yang tinggi, dan dapat mengakibatkan kerusakan struktural dan non-struktural yang signifikan (Naserkhaki & Pourmohamma, 2021). Dengan banyaknya dampak yang dapat disebabkan oleh *seismic pounding*, penting untuk memastikan jarak yang cukup antara bangunan agar bangunan tidak saling *pounding* saat bangunan mengalami deformasi. Salah satu cara untuk memeriksa deformasi adalah dengan pemeriksaan simpangan antar tingkat.

Pemeriksaan simpangan antar tingkat adalah pemeriksaan terhadap deformasi bangunan terhadap beban yang diterima. Struktur harus didesain dan dibangun sebagai satu kesatuan dalam menahan gaya-gaya seismik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi simpangan antar tingkat, antara lain kekakuan elemen struktural, tipe dan intensitas beban lateral, material dan geometris bangunan (Istiono & Ramadhan, 2020). Dalam melakukan analisis simpangan antar tingkat, ada analisa yang penting untuk dilakukan, yakni analisis P-Delta. P-delta adalah efek tambahan pada struktur bangunan yang terjadi karena adanya beban vertikal (P) yang bekerja pada struktur yang sudah mengalami deformasi atau pergeseran lateral (Rodriguez & Restrepo, 2001). Simpangan antar tingkat diatur dalam SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dalam pasal 7.12 dan pengaruh P-Delta diatur dalam SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dalam pasal 7.8.7

Selain itu, terdapat banyak cara lain dalam evaluasi struktur bangunan terhadap gaya gempa sesuai peraturan terbaru, salah satunya adalah pendekatan desain berbasis kinerja, yang dikenal sebagai *Performance-Based Design* (PBD). PBD adalah pendekatan analisa desain yang berfokus pada pencapaian kinerja struktural tertentu terhadap beban, termasuk beban gempa (Wardi, 2018; Kusuma et al., 2020). Salah satu cara yang umum digunakan dalam PBD adalah analisa *pushover* (Tavio & Wijaya, 2018; Pangestu & Pratama, 2021).

FEMA mengembangkan berbagai pedoman dalam melaksanakan pemeriksaan terhadap evaluasi struktur bangunan. FEMA 440 merupakan dokumen yang berfokus pada peningkatan prosedur analisis seismik non-linier. FEMA 440 umum digunakan sebagai salah satu pedoman dalam analisis *pushover* (Calvi, 2014). Tujuan utama FEMA 440 adalah untuk memperbaiki analisa yang digunakan dalam penilaian kinerja bangunan terhadap gempa bumi dengan menyediakan panduan yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Analisa *pushover* membantu dalam memahami perilaku non-linear dari struktur dan mengidentifikasi potensi kerusakan serta batas-batas kapasitas perpindahan bangunan (Suranto et al., 2024).

Hasil dari analisis *pushover* tersebut dibandingkan terhadap tingkat kinerja struktur. Tingkat kinerja struktur merupakan sebuah penilaian mengenai perilaku suatu struktur ketika maupun setelah terjadinya gempa bumi. Penilaian ini dilaksanakan untuk memastikan bahwa struktur dapat memenuhi kriteria keselamatan yang telah ditentukan. Terdapat banyak standar tingkat kinerja struktur, seperti FEMA 440 dan ASCE 41. Tingkat kinerja (*performance level*) secara umum dibagi menjadi *Immediate Occupancy* (IO), *Life safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP) (Nabhilla et al., 2020).

Menurut FEMA 440 (2005), IO adalah tingkat kinerja dimana struktur tetap dalam kondisi baik dan dapat dihuni segera setelah gempa serta kerusakan pada elemen struktural minimal dan tidak ada risiko terhadap keselamatan penghuni. LS adalah tingkat kinerja dimana struktur mengalami beberapa kerusakan, tetapi tetap utuh dan tidak runtuh serta keselamatan penghuni masih terjaga meskipun memiliki kemungkinan evakuasi penghuni untuk memastikan keamanan. CP adalah tingkat kinerja dimana struktur hampir mengalami keruntuhan namun masih mampu menahan beban tanpa benar-benar runtuh serta memiliki ancaman keselamatan penghuni yang cukup tinggi dan struktur tidak dapat dihuni.

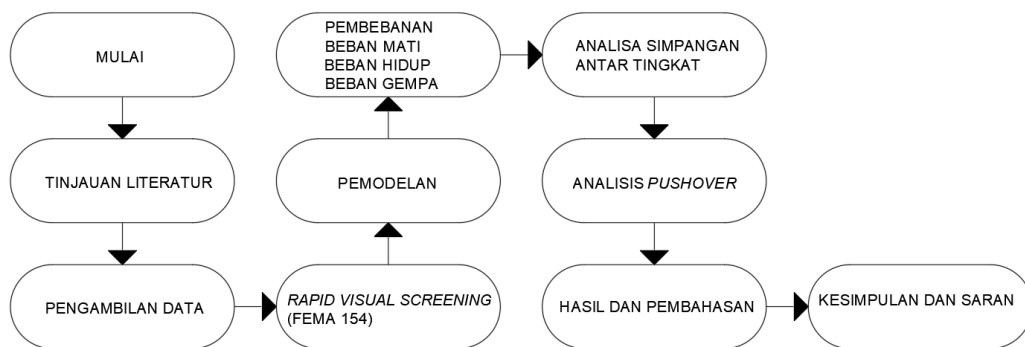
Dalam analisa *pushover* menggunakan FEMA 440, terdapat *performance point* dan *demand spectrum*. *Performance point* adalah titik pada kurva *pushover* yang menunjukkan sejauh mana suatu struktur mampu menahan gaya gempa yang diterapkan padanya (Zafar, 2017). Sementara *demand spectrum* (kurva merah), menggambarkan perpindahan yang diharapkan pada berbagai tingkat percepatan gempa (Chopra, 2002). Menurut ASCE 41, Perpindahan yang terjadi dalam analisis bisa dikonversikan kedalam tingkat kinerja dimana perpindahan tingkat IO berada dalam rentan dibawah 1% dari tinggi bangunan, perpindahan tingkat LS berada dalam rentan antara 1 hingga 2% tinggi bangunan, dan perpindahan CP berada di atas 2% dari tinggi bangunan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan bangunan eksisting di Samarinda. Evaluasi dilaksanakan dengan berbagai cara, yakni dengan evaluasi visual maupun evaluasi analisa hitungan struktur. Evaluasi struktur yang ditinjau menggunakan antara lain analisa simpangan antar tingkat, evaluasi pengaruh P-Delta, dan analisa *pushover* FEMA 440. Dari ketiga hasil tersebut, kita dapat melihat ada tidaknya hubungan hasil antar tiap analisa yang dilaksanakan.

Dalam penelitian ini, terdapat ruang lingkup yang ditentukan. Ruang lingkup tersebut adalah jumlah tulangan dan mutu kuat tekan elemen struktur diperlakukan sama rata sesuai dengan jenis elemen struktur. Selain itu, pemberian sendi plastis atau *plastic hinge* pada pemodelan dalam perangkat lunak menggunakan pengaturan *default* tanpa adanya modifikasi sesuai kondisi bangunan eksisting.

2. METODOLOGI

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bangunan yang dianalisis adalah bangunan eksisting yang berada di kota samarinda dengan data yang terdapat pada Tabel 1. Pengambilan data dilaksanakan secara langsung ke lapangan dengan berbagai cara, seperti *rebound hammer test*, dan pengukuran menggunakan alat ukur meteran. Penilaian cepat evaluasi bangunan penelitian ini menggunakan RVS FEMA 154. Dengan diketahui data tebal pelat lantai setiap lantai yakni sama berukuran 150 mm, data pada balok ditunjukkan pada Tabel 2. Selain data balok, data kolom diperlihatkan pada Tabel 3. Pemodelan pada ETABS dilakukan 2 kali dengan maksud untuk mengetahui perbedaan hasil analisa *pushover* pada struktur dengan kantilever dan struktur tanpa kantilever. Pemodelan pertama adalah pemodelan struktur eksisting sesuai kondisi lapangan pada ETABS. Pemodelan kedua adalah pemodelan struktur utama saja dengan menghilangkan semua kantilever yang ada pada struktur keseluruhan. Pembebanan yang dimodelkan merupakan beban yang sesuai dengan standar yang berlaku yakni SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dan SNI 1727 (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Analisa simpangan antar tingkat dilakukan sesuai dengan SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dan analisa *pushover* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS v.16.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 merupakan data struktur yang didapatkan untuk bangunan eksisting di Samarinda. Data tersebut didapatkan dengan melaksanakan pengumpulan data langsung di lapangan. Pengambilan data lapangan menggunakan berbagai cara, mulai dari *rebound hammer test* untuk mendapatkan mutu beton, hingga pengukuran menggunakan meteran untuk mengetahui dimensi elemen struktur. Pada data balok dan kolom, simbol E berarti eksterior, sementara simbol I berarti interior. Eksterior dalam penelitian ini dimaksudkan terhadap elemen struktur yang terdapat pada tepi. Interior dalam penelitian ini dimaksudkan terhadap elemen struktur yang berada ditengah struktur atau elemen tidak tepi struktur

Tabel 1. Data Bangunan

Nama	Keterangan
Fungsi Bangunan	Fasilitas Masyarakat
Lokasi	Kota Samarinda
Jumlah Lantai	2
Tinggi Bangunan	6,8 meter
Tinggi Lantai	3,4 meter
Sistem Struktur	SRPMK
Material	Beton Bertulang
Mutu Tulangan (fy)	240 MPa

Tabel 2. Data Balok

Tipe	Dimensi (mm)		Mutu (MPa)
	Lebar (b)	Tinggi (h)	
Balok 20x40 E	200	400	55,32
Balok 20x40 I	200	400	39,85
Balok 30x60 E	300	600	55,32
Balok 30x60 I	300	600	39,85
Balok Kantilever	150	150	55,32

Tabel 3. Data Kolom

Tipe	Dimensi (mm)		Mutu (MPa)
	Lebar (b)	Tinggi (h)	
Kolom 40x45 E	400	450	34,06
Kolom 40x45 I	400	450	15,69

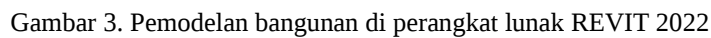
Data balok dan kolom yang didapat merupakan hasil langsung yang didapat dari lapangan. Pada hasil pengukuran kuat tekan kolom interior, kuat tekan kolom memiliki hasil yang terbilang kecil. Hasil tersebut merupakan hasil yang didapatkan melalui pengujian *hammer test* terhadap 3 contoh kolom yang berada pada tepi struktur.

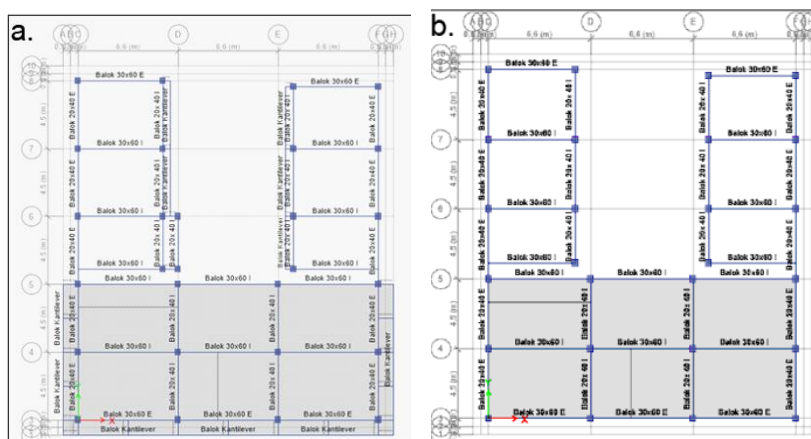
Pelaksanaan RVS dilakukan dengan cara meninjau langsung ke lapangan. Pelaksanaan RVS dilakukan secara menyeluruh baik luar maupun dalam bangunan. Hasil dari pelaksanaan RVS untuk bangunan eksisting di Kota Samarinda dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil dari RVS, Bangunan eksisting termasuk kedalam kategori C1. Bangunan yang termasuk kedalam kategori C1 memiliki nilai awal sebesar 2,1, dan nilai minimum sebesar 0,3. Bangunan eksisting ini telah berdiri sejak tahun 1958 dan mengalami beberapa kali renovasi. Hal ini mengakibatkan *pre-code* pada RVS menjadi dihitung sebesar -0,3. Bangunan juga memiliki bentuk U, nilai pada *Plan Irregularity* perlu diperhitungkan sebesar -0,9. Dikarenakan bangunan eksisting tersebut memiliki beberapa permasalahan yang menyebabkan nilai bangunan menurun. Hasil akhir dari RVS bangunan memiliki nilai sebesar 1.

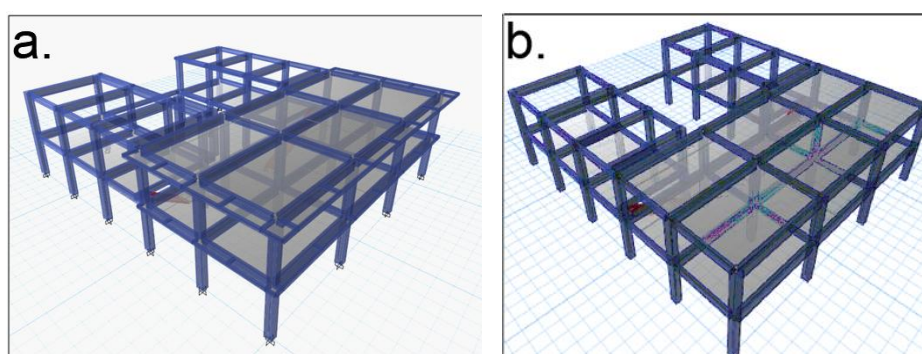
Pemodelan hasil dari data dimodelkan melalui perangkat lunak REVIT 2022 dan ETABS v.16. Pemodelan melalui REVIT diilustrasikan pada Gambar 3, dan pemodelan melalui perangkat lunak ETABS untuk analisis struktur diilustrasikan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Pemodelan melalui ETABS dilaksanakan dua kali untuk analisis *pushover* FEMA 440, dengan maksud untuk mengetahui perbedaan pengaruh adanya struktur tambahan dalam hasil analisa.

Gambar 2. Hasil RVS bangunan eksisting Kota Samarinda





Gambar 5. (a) Denah lantai 2 struktur dengan kantilever; (b) Denah lantai 2 struktur utama tanpa kantilever



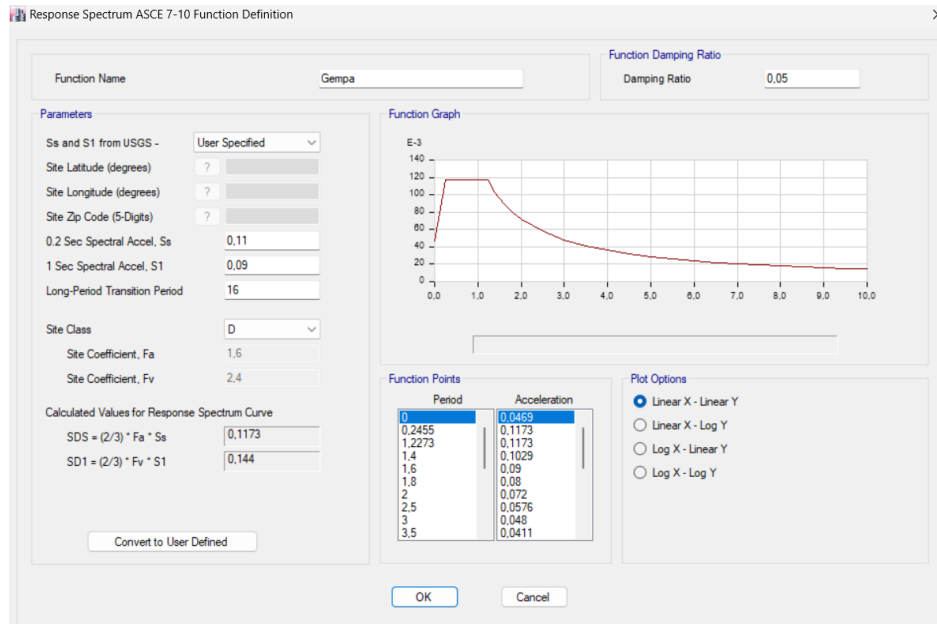
Gambar 6. (a) Denah 3D struktur dengan cantilever; (b) Denah 3D struktur utama tanpa cantilever

Pemodelan yang digunakan dalam analisa simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta menggunakan pemodelan struktur dengan kantilever. Pemodelan struktur tanpa kantilever digunakan hanya dalam analisa *pushover*. Pemodelan yang dilakukan 2 kali dimaksudkan dengan tujuan mengetahui perbedaan hasil analisa *pushover* pada struktur eksisting apa adanya sesuai dengan kondisi lapangan dan hasil analisa *pushover* pada struktur tanpa kantilever.

Dalam analisa gempa elastis, beban gempa rencana dihitung sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Tabel 4 memperlihatkan hasil pengumpulan dan perhitungan data parameter respons. Selanjutnya data akan diproses dan menghasilkan spektrum respon rencana yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 4. Parameter respons

Nama	Keterangan	
Lokasi	Kota Samarinda	
Fungsi Bangunan	Fasilitas Penting	
Kategori Risiko	IV	
Faktor Keutamaan	I_e	1,5
Klasifikasi Situs	SD	
Percepatan Desain pada Periode Pendek	S_{DS}	0,12
Percepatan Desain pada Periode 1 Detik	S_{D1}	0,14
Kriteria Desain Seismik	KDS	D



Gambar 7. Kurva spektrum respon rencana

Dengan data yang telah didapat melalui parameter respons dan juga hasil analisa ETABS, analisa simpangan antar tingkat dan analisa pengaruh P-Delta dilaksanakan. Hasil pada simpangan antar tingkat arah x dapat dilihat pada Tabel 5, sementara simpangan antar tingkat arah y dapat dilihat pada Tabel 6. Pengaruh P-Delta untuk arah x dapat dilihat pada Tabel 7, serta pengaruh P-Delta untuk arah y dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 5. Simpangan antar tingkat arah X

Tingkat	LANTAI 1	LANTAI 2
Tinggi Lantai (mm)	3400	3400
Perpindahan Pusat Massa (mm)	0,33	0,704
Total Perpindahan (mm)	0,33	1,034
Perpindahan Lantai Δx (mm)	1,21	2,581
Perpindahan Ijin Lantai, Δa (mm)	26,15	26,15
Cek ($\Delta x < \Delta a$)	OK	OK

Tabel 6. Simpangan antar tingkat arah Y

Tingkat	LANTAI 1	LANTAI 2
Tinggi Lantai (mm)	3400	3400
Perpindahan Pusat Massa (mm)	0,56	0,62
Total Perpindahan (mm)	0,56	1,17
Perpindahan Lantai Δx (mm)	2,04	2,26
Perpindahan Ijin Lantai, Δa (mm)	26,15	26,15
Cek ($\Delta x < \Delta a$)	OK	OK

Tabel 7. Pengaruh P-Delta arah X

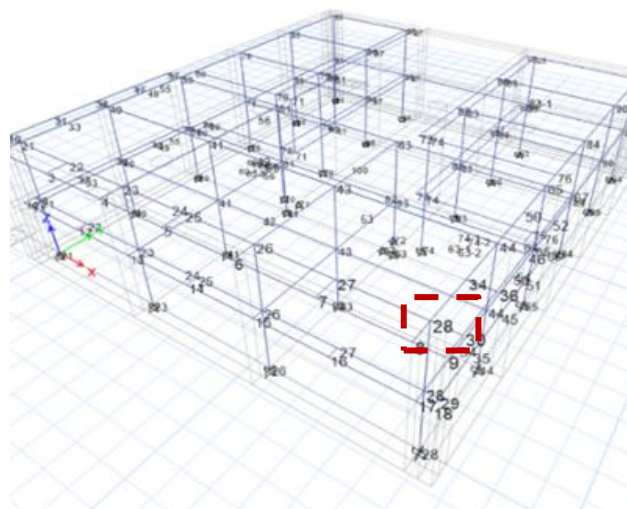
Tingkat	LANTAI 1	LANTAI 2
Tinggi Lantai (mm)	3400	3400
Massa Lantai (Kg)	4398650,474	2244419,698
Perpindahan Lantai Δx (mm)	1,23	2,60
Gaya Dinamik Respons Spektrum V_{dx} (N)	172269,50	108471,00
P-Delta (θ)	0,003	0,004
P-Delta Maksimum (θ_{max})	0,091	0,091
Cek ($\theta \leq \theta_{max}$)	OK	OK

Tabel 8. Pengaruh P-Delta arah Y

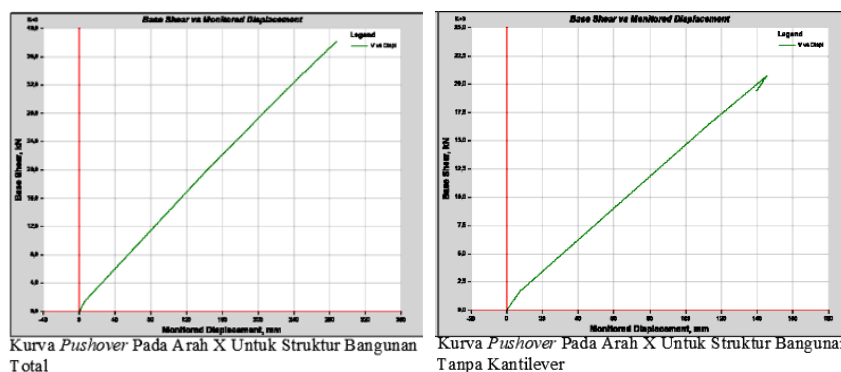
Tingkat	LANTAI 1	LANTAI 2
Tinggi Lantai (mm)	3400	3400
Massa Lantai (Kg)	4398650,474	2244419,698
Perpindahan Lantai Δx (mm)	2,05	2,26
Gaya Dinamik Respons Spektrum Vdy (N)	172006,40	101943,40
P-Delta (θ)	0,004	0,004
P-Delta Maksimum (θ_{max})	0,091	0,091
Cek ($\theta \leq \theta_{max}$)	OK	OK

Hasil menunjukkan bahwa simpangan antar lantai masih lebih kecil dibandingkan dengan ijin yang ada. Hasil analisa menunjukkan bahwa bangunan hanya mengalami simpangan sebesar 10% dibandingkan dengan ijin yang berlaku. Begitu juga dengan hasil dari P-Delta, dimana P-delta lebih kecil dibandingkan P-Delta maksimum yang diijinkan. Hasil analisa pengaruh P-Delta menunjukkan bahwa bangunan hanya mengalami perpindahan sebesar 10% dibandingkan dengan ijin P-Delta. Dengan hasil dari analisa P-Delta, diketahui bahwa bangunan tidak mengalami deformasi yang signifikan akibat beban vertikal yang menyebabkan momen tambahan

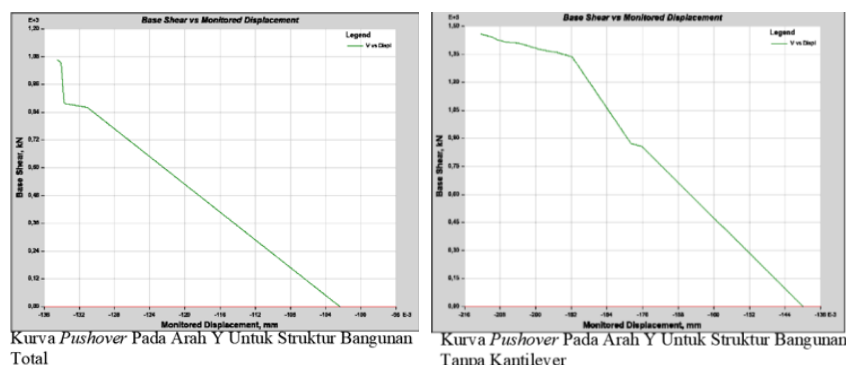
Pengerjaan analisis *pushover* dibantu dengan perangkat lunak ETABS. Kurva *pushover* ini menunjukkan hubungan antara perpindahan lateral dan gaya geser pada struktur bangunan eksisting di Samarinda. Perpindahan lateral diplot pada sumbu horizontal, sementara gaya geser diplot pada sumbu vertikal. Pemodelan sendi plastis pada kolom dan balok dimodelkan dengan cara memasukkan *hinge* untuk setiap elemen strukturnya pada jarak 0,05 dan 0,95 jarak relatif elemen balok dan kolom. Pada penelitian ini, pengaturan *hinge* yang digunakan adalah pengaturan *hinge* sesuai dengan ASCE 41-13. *Default* Hasil kurva *pushover* pada arah x bisa dilihat pada Gambar 9. Sementara hasil kurva *pushover* pada arah y bisa dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Data titik yang ditinjau (Label 28)



Gambar 9. Perbandingan kurva *pushover* arah X



Gambar 10. Perbandingan kurva *pushover* arah Y

Tabel 9. Perbandingan beban lateral maksimal dan perpindahan maksimal

	Pemodelan Struktur dengan kantilever		Pemodelan Struktur tanpa Kantilever	
	Sumbu x	Sumbu y	Sumbu x	Sumbu y
Beban Lateral Maksimal (kN)	38000	1070	21000	1450
Perpindahan Awal yang Dialami Titik Tinjau (mm)	0	-102	0	-140
Perpindahan Maksimal (mm)	290	-135	145	-212

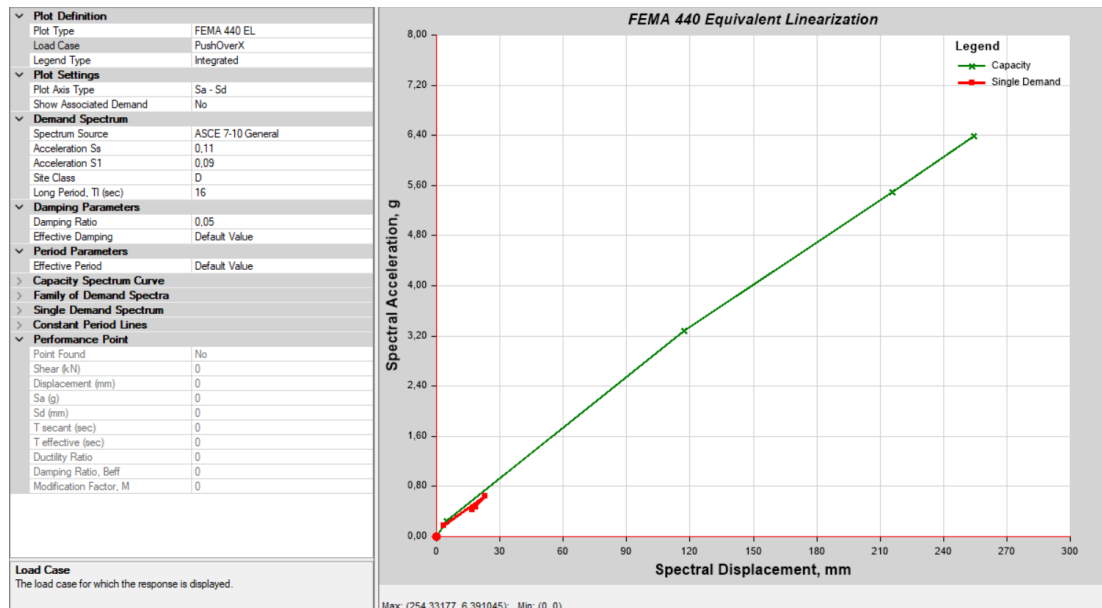
Berdasarkan Tabel 9, terlihat bahwa perpindahan pada sumbu x lebih besar pada pemodelan struktur dengan kantilever (290 mm) dibandingkan dengan struktur tanpa kantilever (145 mm). Ini menunjukkan bahwa kantilever memberikan kontribusi signifikan terhadap kekakuan dan kapasitas deformasi struktur di sumbu x. Namun, di sumbu y, perpindahan pada pemodelan struktur tanpa kantilever lebih besar (-212 mm) dibandingkan dengan struktur dengan kantilever (-135 mm), yang mengindikasikan bahwa kantilever berperan dalam mengurangi perpindahan lateral di sumbu y. Dari hasil analisis kehadiran kantilever meningkatkan kapasitas beban lateral di sumbu x secara signifikan, tetapi sedikit mengurangi kapasitas di sumbu y. Perpindahan lateral di sumbu x yang lebih besar dengan adanya kantilever, menunjukkan peningkatan kapasitas deformasi dan kekakuan struktural.

Implikasi dari hasil ini adalah pentingnya mempertimbangkan pengaruh kantilever dalam desain struktur untuk memastikan keseimbangan antara kapasitas beban dan perpindahan lateral di kedua sumbu. Penambahan kantilever dapat memberikan keuntungan dalam meningkatkan kapasitas beban lateral di sumbu tertentu, tetapi juga perlu diperhatikan pengaruhnya terhadap perpindahan lateral dan kestabilan struktur secara keseluruhan.

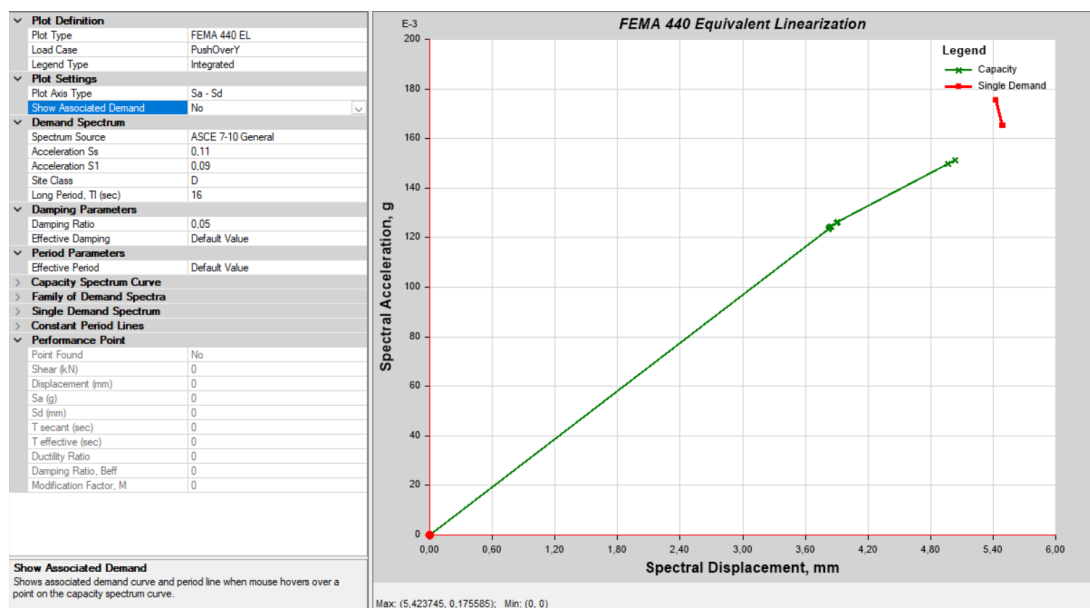
Berdasarkan hasil observasi lapangan, penempatan balok kantilever didominasi oleh penempatan sejajar dengan sumbu x. Penempatan balok kantilever pada sumbu x berada pada kedua sisi bangunan, sehingga bangunan lebih stabil ketika dilakukan analisis *pushover* ini berarti beban lateral yang dibutuhkan lebih besar ketika akan melakukan analisis *pushover*. Hal tersebut yang mengakibatkan beban lateral maksimal yang dapat diterima sumbu x pada pemodelan struktur dengan kantilever lebih besar dibandingkan dengan pemodelan struktur tanpa kantilever.

Sebaliknya pada sumbu y, penempatan balok kantilever hanya terdapat pada salah satu sisi bangunan saja. Hal ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada struktur bangunan. Ketidakseimbangan tersebut dapat mempengaruhi besarnya kuat beban lateral yang diterima struktur bangunan.

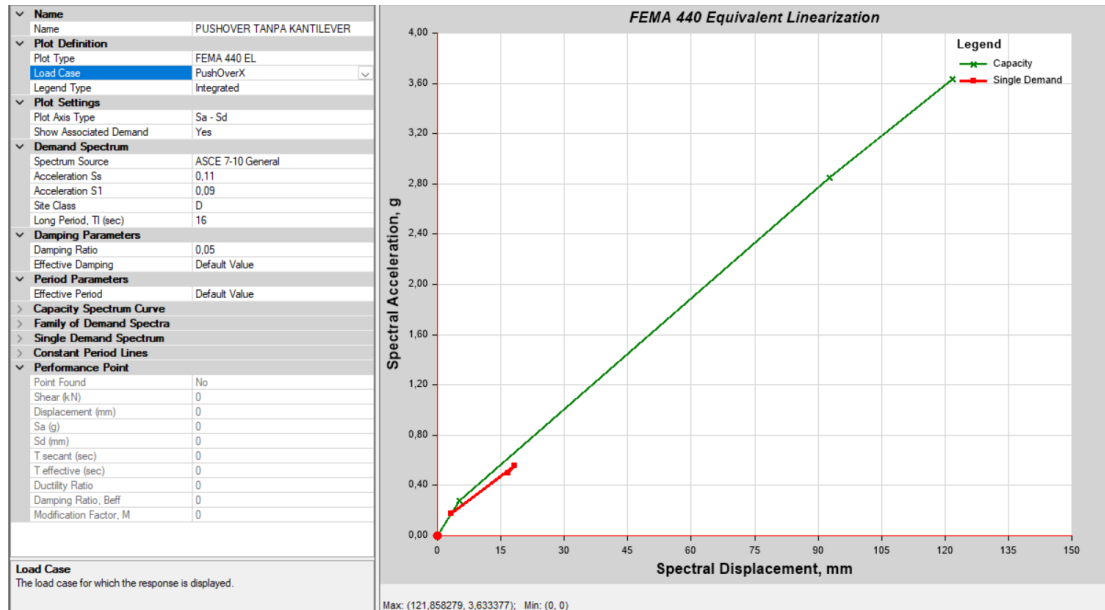
Analisis *pushover* berdasarkan FEMA 440 bertujuan untuk mengevaluasi respons non-linear dari struktur terhadap beban lateral dan untuk menentukan titik kinerja (*performance point*) yang menggambarkan kondisi kapasitas dan permintaan struktur di bawah pengaruh gempa. Hasil analisis *pushover* berdasarkan FEMA 440 pada pemodelan bangunan secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11. Sementara itu, untuk hasil dari analisis *pushover* pada pemodelan struktur tanpa kantilever bisa dilihat pada Gambar 12, Gambar 13.



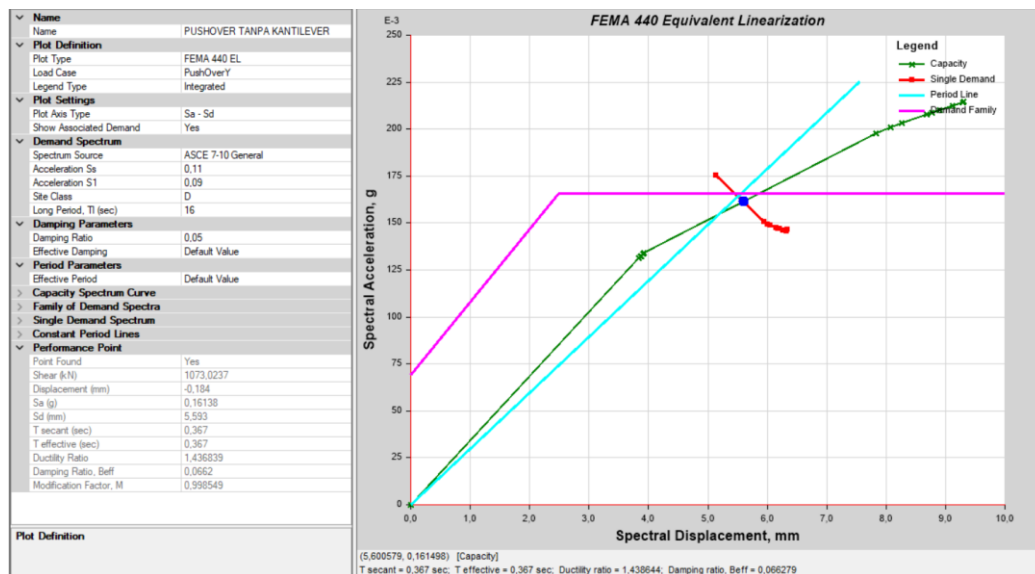
Gambar 11. Analisis kurva *pushover* arah X berdasarkan FEMA 440 untuk pemodelan struktur dengan kantilever



Gambar 12. Analisis kurva *pushover* arah Y berdasarkan FEMA 440 untuk pemodelan struktur dengan kantilever



Gambar 13. Analisis kurva *pushover* arah X berdasarkan FEMA 440 untuk pemodelan struktur tanpa kantilever



Gambar 14. Analisis kurva *pushover* arah Y berdasarkan FEMA 440 untuk pemodelan struktur tanpa kantilever

Untuk hasil dari analisa *pushover* pemodelan struktur dengan kantilever dapat dilihat pada Gambar 11, dan Gambar 12. Pada Gambar 11, walaupun terdapat kurva *pushover* dan kurva *demand spectrum*, kurva *demand spectrum* berada dibawah letak titik puncak kurva *pushover*. Ini menandakan bahwa kapasitas bangunan pemodelan struktur dengan kantilever pada sumbu X masih lebih besar dibandingkan beban gempa yang berada di kota Samarinda. Pada Gambar 12, walaupun terdapat kurva *pushover* dan kurva *demand spectrum*, kurva *demand spectrum* berada diatas letak titik puncak kurva *pushover*. Ini menandakan bahwa *pushover* pemodelan struktur dengan kantilever pada sumbu Y mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum dapat dianalisa terhadap gempa yang ada di kota Samarinda.

Untuk pemodelan struktur tanpa kantilever, dapat dilihat pada Gambar 13, dan Gambar 14. Pada Gambar 13, walaupun kurva *pushover* dan kurva *demand spectrum*, kurva *demand spectrum* berada dibawah letak titik puncak kurva *pushover*. Ini menandakan bahwa kapasitas bangunan pemodelan struktur tanpa kantilever pada sumbu X masih melampaui beban gempa yang berada di kota Samarinda Sementara pada Gambar 14, Titik *Performance Point* dapat diketahui, ini menandakan bahwa struktur dapat menahan gaya gempa hingga 1073 kN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 0,184 mm. Karena perpindahan yang terjadi lebih kecil dari syarat, yakni $0,184 \text{ mm} < 1\% \text{ tinggi bangunan}$ yakni 68 mm, maka sesuai dengan acuan ASCE 41, bangunan dapat dikategorikan kedalam IO.

Perbedaan yang ada pada kedua pemodelan adalah adanya kantilever sebagai struktur tambahan. Pada struktur dengan kantilever, struktur mengalami keruntuhan sebelum dapat dianalisa dengan gempa yang ada. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa struktur tambahan kantilever dapat menjadi struktur yang mengalami keruntuhan terlebih dahulu saat gempa terjadi.

4. KESIMPULAN

Bangunan eksisting di kota Samarinda yang dievaluasi dalam penelitian ini telah memenuhi syarat dalam analisis RVS. Bangunan eksisting mendapatkan nilai bangunan sebesar 1. Nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan nilai minimum untuk tipe bangunan C1 yakni sebesar 0,3. Bangunan eksisting di Kota Samarinda juga memenuhi syarat dalam analisis simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta.

Struktur bangunan eksisting yang ada di lapangan adalah struktur dengan kantilever. Pemodelan struktur dengan kantilever dinilai memadai pada sumbu X, namun tidak memadai pada sumbu Y. Dalam pengecekan analisis *pushover* FEMA 440, perbedaan yang menjadi titik berat adalah adanya pengaruh kantilever yang dapat mempengaruhi kekuatan struktur. Hal ini berarti kantilever sebagai struktur tambahan bisa menjadi elemen struktur yang memiliki kemungkinan runtuh pertama kali saat gempa terjadi. Hal tersebut berarti struktur bangunan eksisting yang dievaluasi akan mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum gempa terjadi pada elemen struktur di sumbu Y. Namun, jika hanya dilihat pada elemen struktur utama saja tanpa kantilever, bangunan eksisting di kota Samarinda yang dievaluasi pada penelitian ini termasuk kedalam tingkat kinerja IO.

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah untuk mengukur setiap elemen struktur secara satu per satu agar mendapatkan hasil yang menggambarkan kondisi bangunan eksisting, serta menggunakan *hinge* sesuai dengan data eksisting bangunan. Saran lain yang dapat diberikan adalah untuk adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh struktur tambahan seperti kantilever terhadap kekuatan dan kekakuan struktur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Maged, M., El-Sabbagh, A., & El-Ghandour, M. (2019). Analysis of pounding between two adjacent buildings during an earthquake. *Port-Said Engineering Research Journal*, 23(2), 45-56.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=mitigasi-gempabumi-kerja-bersama-untuk-indonesia-tangguh>
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726:2019). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Calvi, G. M., Sullivan, T. J., & Villani, A. (2014). Conceptual seismic design in the framework of performance-based design. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 47, 44-53.
- Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 561-582.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 356:2000)
- Federal Emergency Management Agency. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures* (FEMA 440:2005)
- Federal Emergency Management Agency. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation* (FEMA 154, 2015)
- Istiono, H., & Ramadhan, A. Y. (2020). Analisis pengaruh p-delta effect terhadap perbedaan ketinggian struktur bangunan tahan gempa (studi kasus: non-highrise building). *Rekayasa Sipil*, 14(3), 218-226.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Desain Spektra Indonesia*, <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Sistem Informasi Manajemen Bangunan Bangunan (SIMBG)*, <https://simbg.pu.go.id/>
- Kusuma, R. H. P. R. B., Kurniati, D., & Prihadi, B. K. (2020). Evaluasi kinerja struktur bangunan menggunakan pushover analysis dengan metode atc-40 dan fema 356. *Jurnal PenSil*, 9(1), 40-46.
- Nabhilla, R. F., & Hayu, G. A. (2020). Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode Pushover Analysis. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 141-154.
- Naserkhaki, S., & Pourmohammad, H. (2021). Seismic pounding between adjacent buildings: A review. *Structures*, 30, 862-876
- Pangestu, S. F., & Pratama, M. M. A. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja (Studi Kasus: Bangunan Pendidikan Rangka Beton Bertulang 7 Lantai). *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 10(2), 91-100.

- Rodriguez, M. E., & Restrepo, J. I. (2001). Influence of P-Delta effects on the seismic design of reinforced concrete buildings. *Engineering Structures*, 23(8), 817-826.
- Suranto, J., Aswin, M., & Nursyamsi, N. (2024). Evaluasi Ketentuan Keamanan Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Beton Bertulang Eksisting Akibat Beban Gempa. *Action Research Literate*, 8(3), 480-491.
- Tavio, & Wijaya, S. W. (2018). Evaluasi dan perkuatan struktur bangunan beton bertulang berdasarkan kinerja. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 35-45.
- Wardi, S., & Ramadhani, U. (2023). Analisis Kinerja Seismik Bangunan dengan Pushover Analysis (Studi Kasus: Bangunan Perkantoran Tiga Tingkat yang Runtuh Akibat Gempa Palu 2018). *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 12(1), 49-54.
- Zafar, M. S., & Nishiyama, M. (2017). Assessment of pushover analysis procedures for unsymmetrical buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 208-218.

