JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 04, No. 02 Tahun 2024
E-ISSN: 2829-5684

Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong di Wilayah Rawan Gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan RSNI 9273:202X (Adopsi ASCE 41-17)

Ryan Dimas Kurniawan [1*], Hanafi Ashad [2], Mohammad Junaedy Rahman [3]

1*) PT. Malamoi Olom Wobok (Perseroda), Kota Sorong, k.dimas68@yahoo.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Negeri Makassar, Kota Makassar

Abstract

This study aims to evaluate the seismic performance of the Old Library Building (Building G) at IAIN Sorong, located in an earthquake-prone region, based on SNI 1726:2019 (Indonesian National Standard for Seismic Design of Buildings) and RSNI3 9273:202X (Draft Indonesian National Standard for the Seismic Evaluation and Rehabilitation of Existing Buildings, adopted from ASCE 41-17). Building G, constructed in 2010, is at risk due to its pre-SNI 1726:2019 design and its planned conversion into a Postgraduate Building. The evaluation was conducted using Tier 1 (Configuration Checklist), Tier 2 (Quantitative Analysis), and Tier 3 (Advanced Analysis) procedures with SAP2000 v23. The results revealed several structural deficiencies, including a soft story (stiffness ratio k_1/k_2 = 0.66 < 0.7), short columns, and weak beam-column connections (19 out of 76 joints). Tier 3 analysis indicated fundamental vibration periods of 0.615 seconds (X direction) and 0.589 seconds (Y direction), with story drifts of 1.47–1.49% under BSE-1E (Basic Safety Earthquake-1E) exceeding the Immediate Occupancy (IO) limit, and 1.48–1.50% under BSE-2E (Basic Safety Earthquake-2E) remaining below the Collapse Prevention (CP) limit. The Demand-to-Capacity Ratios (DCR) for columns (3.96–6.52) and beam-column joints (2.88–4.31) indicate that the building fails to meet both IO and CP performance objectives, posing a collapse risk. Recommended measures include material and soil testing, the addition of shear walls, column jacketing, strengthening joints with Fiber Reinforced Polymer (FRP), and conducting a nonlinear pushover analysis. This research supports the seismic rehabilitation of Building G and contributes to advancements in earthquake engineering.

Keywords: Demand-to-Capacity Ratio (DCR), Seismic Performance, Seismic Rehabilitation, Soft Story, Story Drift.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong di wilayah rawan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 (Standar Nasional Indonesia untuk Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa) dan RSNI3 9273:202X (Rancangan Standar Nasional Indonesia untuk Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik Bangunan Eksisting, adopsi ASCE 41-17). Gedung G, dibangun tahun 2010, berisiko karena desain pra-standar SNI 1726:2019 dan rencana alih fungsi ke Gedung Pascasarjana. Evaluasi dilakukan menggunakan prosedur Tier 1 (Tingkat 1: Ceklis Konfigurasi), Tier 2 (Tingkat 2: Analisis Kuantitatif), dan Tier 3 (Tingkat 3: Analisis Lanjutan) dengan SAP2000 v23. Hasil menunjukkan defisiensi (kekurangan struktural) berupa soft story (lantai lunak, rasio kekakuan k_1/k_2=0,66 < 0,7), kolom pendek, dan sambungan balok-kolom lemah (19/76 sambungan). Analisis Tier 3 menunjukkan periode getar 0,615 detik (arah X) dan 0,589 detik (arah Y), dengan story drift (perpindahan antarlantai) BSE-1E (Basic Safety Earthquake-1E, Gempa Dasar Keselamatan 1E) sebesar 1,47-1,49% (melebihi batas IO/Immediate Occupancy, Okupansi Segera) dan BSE-2E (Basic Safety Earthquake-2E, Gempa Dasar Keselamatan 2E) sebesar 1,48-1,5% (di bawah batas CP/Collapse Prevention, Pencegahan Keruntuhan). Rasio DCR (Demand-to-Capacity Ratio, Rasio Permintaan terhadap Kapasitas) kolom (3,96-6,52) dan sambungan (2,88-4,31) menunjukkan kegagalan IO dan CP, berisiko runtuh. Rekomendasi meliputi pengujian material dan tanah, penambahan dinding geser (shear walls),

pelapisan kolom (jacketing), perkuatan sambungan dengan FRP (Fiber Reinforced Polymer, Polimer Bertulang Serat), dan analisis pushover (analisis dorong non-linear). Penelitian ini mendukung rehabilitasi Gedung G dan pengembangan ilmu rekayasa gempa.

Kata Kunci: Kinerja Seismik, Lantai Lunak, Perpindahan Antarlantai, Rasio Permintaan terhadap Kapasitas, Rehabilitasi Seismik.

1. PENDAHULUAN

Indonesia, yang terletak di zona Cincin Api Pasifik, secara inheren memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi. Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya, khususnya, merupakan wilayah dengan sejarah gempa bumi signifikan, sebagaimana teridentifikasi dalam Peta Gempa Indonesia 2017. Kondisi ini menimbulkan risiko serius berupa kerusakan infrastruktur, terutama pada bangunan gedung, yang dapat mengganggu keberlanjutan fungsi sosial dan ekonomi, serta berpotensi menyebabkan kerugian material dan korban jiwa.

Sebagian besar bangunan gedung di Indonesia, termasuk fasilitas publik di Sorong, didirikan pada era di mana pemahaman dan standar perencanaan ketahanan gempa belum sekomprehensif saat ini. Banyak bangunan yang telah beroperasi selama beberapa dekade atau bahkan baru mencapai "umur tertentu" (misalnya, di atas 10 tahun seperti objek penelitian ini) tidak didesain dengan filosofi daktilitas dan kapasitas sesuai standar modern seperti SNI 1726:2019 "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung" atau standar evaluasi struktur eksisting. Hal ini menciptakan celah potensi kerentanan seismik yang perlu diidentifikasi dan dievaluasi.

Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong, yang dibangun pada tahun 2010 dan direncanakan akan dialihfungsikan menjadi Gedung Pascasarjana, adalah salah satu contoh bangunan publik penting di wilayah rawan gempa. Mengingat fungsinya yang krusial bagi aktivitas akademik dan pendidikan, keberlanjutan operasional serta keselamatan penghuninya pasca-gempa menjadi prioritas utama. Evaluasi kinerja seismik bangunan eksisting menjadi esensial untuk mengidentifikasi potensi defisiensi, memprediksi perilakunya saat gempa, dan merumuskan langkah mitigasi yang diperlukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong berdasarkan RSNI3 9273:202X, yang merupakan adopsi modifikasi dari ASCE/SEI 41-17. Standar ini menyediakan prosedur komprehensif untuk evaluasi dan rehabilitasi seismik struktur eksisting, memungkinkan penilaian yang sistematis terhadap kondisi dan kerentanan bangunan terhadap beban gempa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting mengenai tingkat keamanan dan kebutuhan rehabilitasi bangunan, berkontribusi pada upaya mitigasi risiko bencana di lingkungan kampus dan wilayah Sorong secara lebih luas.

2. METODE

A. Pendekatan dan Jenis Penelitian

Metodologi penelitian ini menguraikan langkah-langkah sistematis yang ditempuh dalam melakukan evaluasi seismik gedung perpustakaan 2 lantai di Sorong. Pendekatan yang digunakan didasarkan pada prosedur evaluasi seismik RSNI3 9273:202X (ASCE/SEI 41-17, MOD), yang melibatkan prosedur bertingkat dari Tier 1 hingga Tier 3, dengan fokus pada analisis bangunan penuh (Tier 3) menggunakan perangkat lunak SAP2000 v23. SNI 1726:2019 akan digunakan sebagai acuan primer untuk penentuan parameter gempa dan pemahaman terhadap persyaratan detailing daktail modern.

Proses evaluasi ini bersifat kuantitatif, melibatkan pemodelan struktural dan analisis numerik untuk menilai kinerja seismik bangunan eksisting berdasarkan standar yang berlaku. Tahapan penelitian mengikuti alur yang telah ditetapkan oleh RSNI3 9273:202X, mulai dari identifikasi awal hingga verifikasi kriteria penerimaan kinerja.

B. Lokasi Studi

Penelitian ini dilakukan di Kota Sorong, Provinsi Papua Barat Daya, Indonesia. Pemilihan lokasi ini didasari oleh karakteristik seismisitas wilayah yang signifikan, sebagaimana tercermin dalam Peta Gempa Indonesia 2017 yang telah diintegrasikan ke dalam SNI 1726:2019. Kondisi seismik ini menekankan urgensi evaluasi ketahanan gempa pada bangunan eksisting di area tersebut sebagai prioritas penting dalam upaya mitigasi risiko bencana.

Objek utama penelitian ini adalah Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Sorong. IAIN Sorong, sebagai institusi yang menaungi objek penelitian, didirikan pada 28 Februari 2020 berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2020, merupakan pengembangan dari Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri (STAIN) Sorong (Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2006) yang sebelumnya dikenal sebagai STAIS Al-Hikmah. Secara geografis, kampus IAIN Sorong terletak di Jalan Sorong-Klamono, Km. 17, Kelurahan Klablim, Kota Sorong, dengan batasan wilayah sebagai berikut:

- Sebelah utara : Lahan penduduk
- Sebelah timur : Jl. Sorong-Klamono
- Sebelah barat : Lahan penduduk
- Sebelah selatan : Lahan penduduk

Gedung G adalah bangunan bertingkat dua dengan sistem struktur utama beton bertulang. Riwayat Perpustakaan IAIN Sorong bermula dari Perpustakaan STAIS Al-Hikmah, melalui beberapa kali perpindahan lokasi (termasuk penempatan di MAN Model Sorong dan SD An-Nur Kampung Baru pada 2009-2010), hingga menempati Gedung Serba Guna (kini Gedung Akademik) setelah peresmian STAIN Sorong pada 5 Mei 2010. Seiring pertumbuhan koleksi dan kebutuhan ruang, Perpustakaan dipindahkan secara definitif dari Gedung Serba Guna ke Gedung Administrasi Pusat pada tahun 2014, yang kemudian berfungsi sebagai perpustakaan hingga awal tahun 2024. Dalam penelitian ini, Gedung G secara spesifik merujuk pada Gedung Administrasi Pusat tersebut, yang pembangunannya mendahului pemberlakuan standar gempa SNI 1726:2019.

Perlu dicatat bahwa pada tahun 2023, IAIN Sorong telah menerima bantuan Surat Berharga Syariah Negara (SBSN) untuk pembangunan Gedung Perpustakaan Digital. Gedung baru berstruktur tiga lantai ini berlokasi di depan Fakultas Tarbiyah. Setelah Perpustakaan IAIN Sorong memindahkan operasionalnya ke Gedung Perpustakaan Digital yang baru ini, Gedung G direncanakan akan dialih fungsikan menjadi Gedung Pascasarjana di masa mendatang.

Fokus studi penelitian ini secara eksklusif pada Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismiknya berdasarkan standar terkini. Hal ini relevan mengingat riwayatnya sebagai fasilitas vital yang dibangun di bawah regulasi bangunan lama dan telah melayani civitas akademika selama periode waktu yang signifikan.

Pemilihan Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong sebagai objek studi didasarkan pada beberapa pertimbangan utama:

1. Representasi Tipologi Bangunan Lama. Gedung ini mewakili tipologi bangunan yang dirancang berdasarkan peraturan gempa lama (pra-SNI 1726:2019,

contohnya SNI 1726:2002), sehingga hasil evaluasinya dapat memberikan wawasan kritis mengenai kinerja seismik aset bangunan sejenis di Indonesia.

2. Peran Krusial dalam Fungsi Kampus. Meskipun fungsi perpustakaan telah berpindah, rencana alih fungsi Gedung G menjadi Gedung Pascasarjana menunjukkan bahwa gedung ini akan tetap memegang peranan vital dalam mendukung kegiatan akademik. Oleh karena itu, keamanan struktural dan kemampuan operasionalnya pasca-gempa tetap menjadi aspek krusial untuk keberlanjutan pelayanan pendidikan.
3. Konteks Seismisitas Tinggi. Lokasi gedung di daerah dengan tingkat bahaya gempa tinggi menjadikan evaluasi kinerja seismiknya sebagai prioritas dalam upaya mitigasi risiko dan peningkatan ketahanan infrastruktur kampus secara keseluruhan.
4. Ketersediaan Data Teknis. Potensi ketersediaan data teknis awal, seperti gambar as-built (struktur dan arsitektur) serta informasi properti material, mendukung kelayakan dan kelengkapan analisis dalam penelitian ini.

Gambar 1 Lokasi IAIN Sorong (kiri) dan Lokasi Gedeng (kanan)

C. Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Tahap awal penelitian ini difokuskan pada pengumpulan dan verifikasi data yang menjadi dasar utama dalam proses evaluasi struktur gedung yang ditinjau. Data yang dikumpulkan meliputi dokumen "as-built" berupa gambar struktural dan denah arsitektur, termasuk detail penulangan balok, kolom, pelat, dan fondasi. Informasi ini menjadi dasar vital dalam pemodelan geometri dan penampang struktur bangunan. Selain itu, spesifikasi material seperti kuat tekan beton (f'c) dan kuat leleh baja tulangan (fy) juga diperlukan untuk memastikan kesesuaian perencanaan dengan kondisi eksisting. Apabila data ini tidak tersedia secara lengkap, asumsi konservatif akan digunakan berdasarkan praktik konstruksi di Indonesia pada tahun 2010. Data geoteknik dari laporan penyelidikan tanah juga dikumpulkan untuk menentukan klasifikasi situs (Site Class), yang berpengaruh langsung terhadap penentuan spektrum respons gempa. Dokumen pendukung lainnya seperti catatan konstruksi, laporan inspeksi sebelumnya, serta standar dan kode bangunan seperti RSNI3 9273:202X dan SNI 1726:2019 dijadikan acuan dalam penentuan parameter gempa dan kriteria penerimaan struktur.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga langkah utama, yaitu survei dokumen, inspeksi visual lapangan, dan pengujian material apabila dibutuhkan. Survei dokumen dilakukan dengan mengumpulkan gambar as-built, spesifikasi material, dan laporan penyelidikan tanah dari pihak pengelola gedung atau arsip terkait. Selanjutnya, inspeksi visual dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian kondisi aktual bangunan dengan dokumen as-built serta mengidentifikasi potensi ketidakberaturan konfigurasi seperti weak story atau soft story yang dapat mempengaruhi kinerja struktur. Jika data spesifikasi material tidak tersedia atau tidak lengkap, dilakukan pengujian material seperti core test

pada beton dan tensile test pada baja tulangan guna memperoleh properti material yang lebih akurat. Seluruh data ini digunakan untuk mendukung proses evaluasi seismik yang sistematis dan sesuai dengan standar yang berlaku.

D. Metode Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan utama, mengikuti prosedur RSNI3 9273:202X:

a) Penentuan Tujuan Kinerja Seismik

1. Parameter gempa (S_S,S_1,F_a,F_v,T_L) akan ditentukan berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017 (SNI 1726:2019) dan klasifikasi Situs (Site Class) dari laporan penyelidikan tanah.
2. Parameter percepatan spektral desain dan gempa maksimum (S_DS,S_D1,S_XS,S_X1) akan dihitung.
3. Tujuan kinerja ditetapkan sebagai IO (Immediate Occupancy) untuk BSE-1E dan CP (Collapse Prevention) untuk BSE-2E, berdasarkan fungsi dan Kategori Risiko bangunan.

b) Prosedur Evaluasi Seismik Bertingkat (RSNI3 9273:202X)

Tier 1: Prosedur Penyaringan Cepat
1. Pemilihan dan penerapan ceklis relevan untuk rangka momen beton (Ceklis Konfigurasi Dasar dan Ceklis Sistem Struktural).
2. Identifikasi defisiensi awal seperti Weak Story, Soft Story, Short Column, dll., melalui pemeriksaan visual dan perhitungan sederhana.

Tier 2: Prosedur Evaluasi Batas Defisiensi Struktural
1. Analisis kuantitatif lebih rinci untuk setiap defisiensi yang teridentifikasi pada Tier 1 (misalnya, perhitungan rasio kekakuan untuk Soft Story, kapasitas geser kolom pendek, rasio Kolom Kuat–Balok Lemah).
2. Perhitungan kapasitas elemen beton menggunakan faktor kepastian data (κ=0.75) dan faktor modifikasi (m) yang konservatif untuk mencerminkan detailing pra-standar.
3. Konsultasi untuk menentukan kelanjutan ke Tier 3, mengingat kategori risiko dan tingkat seismisitas Sorong.

Tier 3: Analisis Bangunan Gedung (Menggunakan SAP2000 v23)
1. Pemodelan Bangunan Gedung. Model 3D akurat dari Gedung G akan dibangun di SAP2000 v23, termasuk properti material yang diharapkan dan penerapan Kekakuan Efektif (Retak) untuk balok (0.50I_g) dan kolom (0.70I_g). Massa dan kondisi dukungan fondasi juga dimodelkan.
2. Pembebanan. Beban gravitasi (mati dan hidup) serta fungsi Spektrum Respons Desain untuk BSE-1E dan BSE-2E akan didefinisikan.
3. Analisis Modal. Dilakukan untuk menentukan periode getar dan bentuk mode.
4. Analisis Spektrum Respons Multi-Modal (LDP). Kasus analisis untuk arah gempa X dan Y akan diatur, menggunakan metode kombinasi modal CQC. Efek P-Δ akan diaktifkan dan kombinasi arah diterapkan.

c) Verifikasi Kriteria Penerimaan Kinerja

1. Ekstraksi nilai demand (gaya aksial, geser, momen, rotasi plastis, story drift) dari hasil analisis SAP2000 untuk setiap komponen struktural.

2. Perhitungan kapasitas yang dievaluasi ($Q_{CE}=\kappa m Q_E$) untuk setiap elemen, dengan nilai $\kappa=0.75$ dan nilai m yang konservatif.
3. Perbandingan demand (Q_{UD}) dengan kapasitas yang diizinkan (Q_{CE}) untuk setiap tujuan kinerja (IO untuk BSE-1E, CP untuk BSE-2E) menggunakan kriteria $Q_{UD} \leq Q_{CE}$.

E. Pengecekan Validitas Temuan

Validitas temuan dalam penelitian ini akan dicek melalui beberapa mekanisme:

1. Verifikasi Data Awal. Memastikan kelengkapan dan keakuratan data as-built serta laporan penyelidikan tanah yang digunakan sebagai dasar pemodelan dan analisis. Jika ada keraguan, konfirmasi atau pengujian tambahan akan dipertimbangkan.
2. Konsistensi dengan Standar. Setiap langkah analisis, mulai dari penentuan parameter gempa, pemodelan kekakuan efektif, hingga perhitungan kapasitas elemen, akan secara ketat mengacu pada prosedur dan ketentuan dalam RSNI3 9273:202X dan SNI 1726:2019.
3. Ulasan Model Analisis. Pemodelan di SAP2000 akan diulas untuk memastikan representasi geometri, properti material, properti penampang (termasuk kekakuan efektif), distribusi massa, dan kondisi dukungan telah dilakukan secara akurat.
4. Pemeriksaan Hasil Analisis. Hasil analisis spektrum respons (periode getar, partisipasi massa modal, story drift, base shear) akan diperiksa untuk konsistensi dan kewajaran.
5. Evaluasi Kritis Kriteria Penerimaan. Perbandingan demand dan kapasitas akan dilakukan secara sistematis. Elemen-elemen yang menunjukkan rasio Demand-to-Capacity Ratio (DCR) > 1.0 akan menjadi fokus perhatian utama dan dianalisis secara mendalam untuk memahami penyebab kegagalan dan dampak potensialnya terhadap kinerja keseluruhan bangunan. Pemilihan nilai faktor modifikasi (m) yang konservatif juga merupakan bentuk pengecekan validitas dengan mengakomodasi ketidakpastian detailing lama. Berdasarkan hasil verifikasi kriteria penerimaan, kesimpulan mengenai kinerja seismik bangunan akan dibuat. Jika bangunan gagal memenuhi tujuan kinerja yang ditetapkan, rekomendasi untuk strategi rehabilitasi seismik yang sesuai akan diusulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan akan dimulai dari identifikasi defisiensi awal pada Tier 1, evaluasi lebih lanjut pada Tier 2, hingga analisis bangunan penuh menggunakan SAP2000 v23 pada Tier 3, dan diakhiri dengan verifikasi tujuan kinerja berdasarkan RSNI3 9273:202X. Karena data as-built drawing tidak ditemukan, maka data yang digunakan sebagai data awal adalah gambar DED (Detailed Engineering Design) dari Konsultan Perencana PT Primakarya Estetika (Cabang Sorong).

A. Hasil Evaluasi Tier 1: Identifikasi Defisiensi Awal

Evaluasi Tier 1 dilakukan untuk mengidentifikasi potensi defisiensi pada konfigurasi dasar dan sistem struktural gedung perpustakaan 2 lantai berdasarkan gambar DED (Detailed Engineering Design) dari Konsultan Perencana PT Primakarya Estetika (Cabang Sorong) dan observasi lapangan.

Tahapan pertama dalam evaluasi ini adalah mendeskripsikan karakteristik struktur. Gedung menggunakan sistem rangka momen beton bertulang dengan ukuran balok dan kolom yang sesuai dengan standar perencanaan pada tahun perancangannya. Namun, bila dibandingkan dengan standar terbaru, khususnya SNI 1726:2019, terdapat indikasi bahwa detailing sengkang dan pengaturan kait gempa belum sepenuhnya memenuhi persyaratan daktilitas

modern. Hal ini menjadi catatan awal yang berpotensi memengaruhi kinerja struktur saat terjadi gempa kuat.

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan konfigurasi dasar untuk mengidentifikasi potensi soft story. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa lantai dasar memiliki kekakuan lateral yang lebih rendah secara signifikan dibandingkan lantai di atasnya, dengan rasio di bawah batas aman yang direkomendasikan. Kondisi ini mengindikasikan adanya soft story pada lantai dasar, yang merupakan defisiensi kritis karena dapat menyebabkan konsentrasi kerusakan bila terjadi gempa.

Analisis berikutnya difokuskan pada potensi weak story dengan menghitung kapasitas geser lateral pada tiap lantai. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio kekuatan lateral antara lantai dasar dan lantai di atasnya berada di atas ambang batas yang ditetapkan. Dengan demikian, tidak teridentifikasi adanya weak story yang signifikan. Ini berarti kekuatan struktur secara umum masih terdistribusi dengan baik antara kedua lantai.

Selain itu, evaluasi juga menilai potensi ketidakberaturan torsi akibat eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan gedung. Hasil pemeriksaan menunjukkan adanya sedikit eksentrisitas, namun nilainya masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga tidak memerlukan analisis lanjutan pada tahap ini. Sementara itu, ketidakberaturan vertikal, geometri, maupun massa tidak menunjukkan adanya defisiensi berarti.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi Tier 1 mengungkapkan bahwa meskipun struktur gedung relatif memenuhi kapasitas kekuatan minimum, terdapat kelemahan signifikan berupa soft story pada lantai dasar. Temuan ini menjadi perhatian utama yang memerlukan mitigasi atau analisis lebih lanjut pada tahapan penilaian berikutnya untuk memastikan keamanan struktur terhadap potensi beban gempa yang lebih besar.

Evaluasi sistem rangka momen beton mengidentifikasi defisiensi kritis terkait *detailing* dan perilaku komponen:

1. Kolom Kuat–Balok Lemah (*Strong Column–Weak Beam*). Tinjauan detail penulangan menunjukkan bahwa banyak sambungan balok-kolom tidak memenuhi kriteria kolom kuat-balok lemah (rasio momen kolom/balok <1,2). Ini berarti ada potensi pembentukan sendi plastis pada kolom, yang merupakan perilaku getas yang tidak diinginkan.
2. Kolom Pendek (*Short Column*). Beberapa kolom di lantai dasar teridentifikasi sebagai kolom pendek karena adanya dinding partisi non-struktural yang mengkekang sebagian tinggi kolom. Hal ini meningkatkan kekakuan kolom lokal dan membuatnya sangat rentan terhadap kegagalan geser getas
3. Tidak Ada Kegagalan Geser. Berdasarkan spasi sengkang sesuai DED, terdapat risiko tinggi terjadinya kegagalan geser getas sebelum mencapai kapasitas lentur daktail, terutama pada elemen-elemen dengan *demand* geser tinggi
4. Pemeriksaan Tegangan Geser Kolom. Terkait dengan poin di atas, kapasitas geser kolom dengan *detailing* lama sangat mungkin tidak memadai terhadap *demand* gempa.
5. Pemeriksaan Tegangan Aksial Kolom. Kolom lantai dasar memiliki tingkat tegangan aksial yang relatif tinggi akibat beban gravitasi dan gempa, yang dapat mengurangi kapasitas daktilitas lenturnya.
6. Redundansi & Kompatibilitas Defleksi. Sistem rangka momen secara inheren memiliki redundansi yang baik, dan tidak ada masalah kompatibilitas defleksi yang jelas pada *Tier* 1.

Tabel 1 Ringkasan Hasil Ceklis Sistem Struktural (Tier 1)

Defisiensi	Hasil	Keterangan
Redundansi	Memenuhi	Sistem rangka momen menyediakan jalur beban yang redundan.

Defisiensi	Hasil	Keterangan
Tegangan Aksial Kolom	Tidak Diketahui	Perlu evaluasi lanjutan karena beberapa kolom lantai dasar memiliki rasio tegangan aksial tinggi yang mengurangi daktilitas lentur.
Tegangan Geser Kolom	Tidak Diketahui	Perlu evaluasi lanjutan karena detail sengkang yang jarang dan keberadaan kolom pendek mengindikasikan kapasitas geser yang tidak memadai.
Kolom Kuat–Balok Lemah	Tidak Diketahui	Perlu evaluasi lanjutan karena banyak sambungan tidak memenuhi kriteria rasio momen ($M_{kolom}/M_{balok} < 1{,}2$), berpotensi sendi plastis pada kolom.
Kolom Pendek	Tidak Diketahui	Perlu evaluasi lanjutan karena kolom yang terkekang sebagian oleh dinding (efek kolom pendek) sangat rentan kegagalan geser getas.
Tidak Ada Kegagalan Geser	Tidak Diketahui	Perlu evaluasi lanjutan karena kemungkinan besar kegagalan geser getas pada banyak komponen sebelum mencapai daktilitas lentur.
Kompatibilitas Defleksi	Memenuhi	Tidak ada elemen non-struktural yang kaku yang secara signifikan membatasi deformasi.

B. Hasil Evaluasi Tier 2: Evaluasi Batas Defisiensi Struktural

Berdasarkan hasil identifikasi defisiensi kritis pada Tier 1, dilakukan evaluasi lanjutan pada Tier 2 dengan pendekatan kuantitatif yang lebih mendetail. Fokus utama analisis adalah mengonfirmasi tingkat lunak pada lantai dasar, memeriksa potensi kolom pendek, serta mengevaluasi rasio kuat kolom–lemah balok pada sambungan struktur. Perhitungan kekakuan lateral menunjukkan rasio 0,6625 yang berada jauh di bawah ambang batas 0,70, sehingga mengonfirmasi keberadaan soft story yang signifikan pada lantai dasar. Kondisi ini berpotensi menyebabkan deformasi terkonsentrasi saat terjadi gempa kuat, yang pada akhirnya dapat memicu keruntuhan lantai secara total.

Selain itu, ditemukan masalah pada beberapa kolom pendek yang terbentuk akibat adanya dinding partisi, sehingga bentang efektifnya menjadi jauh lebih pendek. Kapasitas geser kolom ini tidak mampu memenuhi kebutuhan gaya geser, dengan rasio V_u/V_n mencapai 1,07 bahkan untuk skenario gempa moderat. Kondisi ini menunjukkan potensi kegagalan geser getas yang serius. Evaluasi sambungan balok-kolom juga mengungkapkan bahwa 19 dari 76 sambungan tidak memenuhi kriteria rasio momen kolom terhadap balok ≥ 1,2, yang berarti terdapat risiko pembentukan sendi plastis pada kolom alih-alih pada balok, sehingga mengurangi daktilitas struktur secara keseluruhan.

Hasil analisis Tier 2 menunjukkan bahwa penggunaan faktor pengurang kapasitas (κ dan m) secara signifikan menurunkan kinerja elemen-elemen yang defisien. Dengan kondisi defisiensi parah yang teridentifikasi dan mempertimbangkan kategori risiko bangunan serta tingkat bahaya seismik di wilayah Sorong, prosedur Tier 1 dan Tier 2 dinilai tidak memadai sebagai evaluasi akhir. Oleh karena itu, diputuskan untuk melanjutkan ke tahap analisis Tier 3 menggunakan pemodelan struktur lengkap dengan perangkat lunak SAP2000 v23 guna melakukan verifikasi kinerja yang lebih mendalam dan menentukan kebutuhan rehabilitasi struktur.

C. Hasil Analisis Bangunan Gedung (Tier 3) dengan SAP2000 v23

a) Permodelan Struktur

Pemodelan struktur gedung perpustakaan dilakukan menggunakan SAP2000 v23 dengan membangun model 3D yang merepresentasikan seluruh elemen balok, kolom, dan pelat sesuai dimensi aktual pada gambar DED. Properti material yang digunakan mencakup kuat tekan beton sebesar 20 MPa dan kuat leleh baja tulangan 350 MPa, dilengkapi dengan modulus elastisitas dan berat jenis material yang didefinisikan sesuai standar. Setiap

penampang dimasukkan berdasarkan ukuran aktual, dengan faktor reduksi kekakuan diterapkan pada momen inersia elemen balok (0,50I_g) dan kolom (0,70I_g) untuk merepresentasikan kondisi retak akibat beban gempa. Kondisi batas dimodelkan dengan tumpuan jepit pada dasar kolom, mengasumsikan fondasi tiang pancang yang kaku. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa penerapan kekakuan efektif mempengaruhi periode getar struktur, di mana nilai periode meningkat dibandingkan model tanpa retak, sehingga memberikan representasi yang lebih realistis terhadap respons dinamis gedung dalam analisis selanjutnya.

b) Perhitungan Beban

Perhitungan beban struktur dilakukan secara bertahap sesuai SNI 1727:2020 dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, dan kombinasi beban gempa sebagai dasar analisis pada SAP2000 v23. Tahap pertama adalah input beban mati, yang meliputi berat sendiri elemen struktur yang dihitung otomatis oleh software serta beban mati tambahan seperti finishing lantai (1 kN/m²), plafon dan instalasi (0,25 kN/m²), serta beban dinding partisi yang dikonversi menjadi 4,78 kN/m² sesuai layout gedung, menghasilkan total beban tambahan 5,01 kN/m² di luar berat sendiri struktur. Tahap kedua adalah input beban hidup, yang disesuaikan dengan fungsi ruang perpustakaan, yaitu 4,8 kN/m² untuk ruang baca dan koridor, 2,4 kN/m² untuk ruang administrasi, dan 0,96 kN/m² untuk atap yang tidak diakses. Selanjutnya, kombinasi beban gravitasi dan beban gempa dimasukkan ke model, dengan mempertimbangkan efek arah gempa (E_x, E_y) dan kontribusi sebagian beban hidup terhadap massa gempa. Hasil tahapan ini memberikan respons gaya dalam dan deformasi maksimum pada elemen struktur, yang selanjutnya dibandingkan dengan kapasitasnya untuk menentukan kinerja struktur terhadap beban kombinasi terberat, termasuk kondisi gempa signifikan.

c) Parameter Beban Gempa

Penentuan parameter percepatan spektral desain untuk wilayah Sorong dilakukan berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017 (SNI 1726:2019) dengan klasifikasi tanah sedang (Site Class D), yang menghasilkan nilai S_S = 1,364g dan S_1 = 0,533g. Faktor amplifikasi situs (F_a = 1,00 dan F_v = 1,767) serta periode panjang T_L = 12 detik digunakan untuk menghitung parameter spektrum desain. Tahapan perhitungan mencakup penentuan S_DS = 0,9093g dan S_D1 = 0,6279g untuk BSE-1E (MCER), serta S_XS = 1,364g dan S_X1 = 0,915g untuk BSE-2E (MCEG). Parameter ini kemudian dimasukkan ke dalam SAP2000 untuk mendefinisikan fungsi spektrum respons gempa, menghasilkan kurva respons desain yang merepresentasikan tingkat percepatan pada berbagai periode getar struktur, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis beban gempa pada pemodelan struktur gedung perpustakaan.

d) Hasil Analisis Modal

Analisis modal dilakukan untuk menentukan periode getar alami dan bentuk mode getaran bangunan, yang digunakan untuk memahami respons dinamik struktur terhadap beban gempa. Proses ini menghasilkan beberapa mode getar awal yang didominasi oleh gerakan translasi pada arah X dan Y, disertai dengan beberapa mode torsi pada urutan berikutnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa partisipasi massa kumulatif telah melampaui 90% pada kedua arah utama, menandakan bahwa mode dominan telah terwakili dengan baik dalam analisis. Temuan ini memastikan bahwa model struktur mampu menggambarkan perilaku dinamik yang signifikan dan memberikan dasar yang akurat untuk analisis gempa selanjutnya.

e) Hasil Analisis Spektrum Respons Multi-Modal

Analisis spektrum respons dilakukan untuk menentukan besarnya gaya dan deformasi akibat gempa dengan mempertimbangkan efek P-Δ. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio story drift pada kondisi BSE-1E mencapai 0,0147 di arah X dan 0,0149 di arah Y pada lantai pertama, yang melebihi batas kinerja Immediate Occupancy (0,007), menandakan adanya potensi efek soft story. Pada kondisi BSE-2E, rasio story drift tercatat 0,0148 di arah X dan 0,0150 di arah Y, yang masih berada di bawah batas kinerja Collapse Prevention (0,025), meskipun nilainya tergolong tinggi dan memerlukan perhatian terhadap kapasitas elemen struktural. Selain itu, gaya aksial, geser, dan momen pada balok serta kolom kritis berhasil diekstraksi dari hasil analisis

D. Verifikasi Kriteria Penerimaan Kinerja

Verifikasi dilakukan dengan membandingkan demand yang dihasilkan dari analisis SAP2000 dengan kapasitas elemen yang dievaluasi, menggunakan faktor kepastian data (κ) dan faktor modifikasi (m) yang sesuai.

a) Perhitungan Kapasitas Komponen Beton

Kapasitas setiap komponen struktural, meliputi balok, kolom, dan sambungan, dihitung berdasarkan detail penulangan yang diperoleh dari gambar DED serta properti material yang diharapkan. Dalam proses evaluasi ini, digunakan faktor kepastian data (κ) sebesar 0,75 untuk seluruh elemen karena tidak dilakukan pengujian material secara komprehensif yang dapat meningkatkan tingkat kepercayaan data. Faktor ini dipilih sebagai langkah konservatif untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam kekuatan material. Sebaliknya, nilai κ sebesar 1,00 hanya dapat digunakan jika tersedia data hasil pengujian lapangan yang lengkap dan dapat diandalkan, seperti kuat tekan beton dan kuat leleh baja.

Selain itu, faktor modifikasi (m) ditentukan untuk mengakomodasi pengaruh detailing penulangan yang tidak sepenuhnya sesuai dengan persyaratan daktilitas modern (SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019). Nilai m yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis elemen dan kerentanannya terhadap mode kegagalan tertentu. Untuk elemen yang rentan mengalami kegagalan geser, seperti kolom pendek dengan spasi sengkang yang jarang, digunakan nilai $m_IO = 0{,}35$ dan $m_CP = 0{,}25$. Pada elemen lentur dengan pengekangan yang kurang memadai, misalnya balok atau kolom tanpa sengkang kait gempa rapat, digunakan $m_IO = 0{,}40$ dan $m_CP = 0{,}60$. Sedangkan untuk sambungan balok-kolom yang tidak memenuhi kriteria strong-column/weak-beam, digunakan nilai $m_IO = 0{,}40$ dan $m_CP = 0{,}35$. Kapasitas akhir yang dievaluasi (Q_CE) kemudian dihitung menggunakan persamaan $Q_CE = \kappa \times m \times Q_E$, di mana Q_E merupakan kapasitas nominal elemen yang dihitung dari data desain..

b) Evaluasi Kinerja untuk BSE-1E (Target IO)

Evaluasi kinerja struktur pada tingkat gempa BSE-1E dengan target kinerja Immediate Occupancy (IO) menunjukkan adanya ketidaksesuaian signifikan antara demand yang diperoleh dari analisis SAP2000 dan kapasitas komponen kritis yang dievaluasi (Q_CE). Pada Kolom 321 yang mengalami gaya geser, nilai demand (Q_UD) mencapai 36,389 kN, sedangkan kapasitas yang dihitung (Q_CE) hanya sebesar 9,180 kN. Hal ini menghasilkan rasio demand-to-capacity (DCR) sebesar 3,960, yang jauh melebihi batas aman 1,0. Kondisi serupa terjadi pada Sambungan Balok-Kolom 334 yang menerima momen, di mana demand tercatat sebesar 85,332 kN.m, sedangkan kapasitasnya hanya 29,667 kN.m. DCR yang dihasilkan mencapai 2,876, juga jauh di atas ambang batas kinerja IO. Temuan ini menegaskan bahwa elemen-elemen tersebut tidak mampu menahan beban gempa yang

terjadi, dengan potensi kerusakan jauh melampaui batas yang dapat diterima untuk mempertahankan fungsi okupansi segera. Penyebab utama kegagalan ini adalah tingginya demand gempa yang dialami struktur dan kapasitas yang rendah pada komponen kritis, yang diperparah oleh detailing penulangan yang tidak memenuhi standar daktilitas modern, sehingga menghasilkan nilai faktor modifikasi (m) yang rendah

c) Evaluasi Kinerja untuk BSE-2E (Target CP)

Evaluasi kinerja struktur pada tingkat gempa BSE-2E dengan target Collapse Prevention (CP) menunjukkan bahwa komponen-komponen kritis tidak mampu memenuhi kriteria yang disyaratkan. Pada Kolom 336 yang mengalami gaya geser, demand yang diperoleh dari analisis SAP2000 tercatat sebesar 59,917 kN, sedangkan kapasitas hasil evaluasi (Q_CE) hanya 9,180 kN. Hal ini menghasilkan rasio demand-to-capacity (DCR) sebesar 6,520, jauh di atas batas aman 1,0. Kondisi serupa terjadi pada Sambungan Balok-Kolom 316 yang menerima beban momen, dengan demand mencapai 127,805 kN.m, sementara kapasitasnya hanya 29,667 kN.m, sehingga menghasilkan DCR sebesar 4,308. Hasil verifikasi ini menunjukkan bahwa elemen-elemen struktur mengalami pemanfaatan kapasitas yang berlebihan, dengan nilai DCR yang sangat tinggi, mengindikasikan kegagalan geser dan momen yang signifikan. Kegagalan ini berpotensi menimbulkan keruntuhan parsial hingga total bangunan, mengancam tujuan kinerja CP yang bertujuan mencegah runtuhnya struktur dan melindungi keselamatan jiwa. Temuan ini menegaskan bahwa detailing penulangan eksisting tidak mampu menyediakan daktilitas yang memadai untuk disipasi energi selama gempa besar, sehingga struktur tidak dapat diandalkan dalam skenario gempa BSE-2E.

E. Pembahasan

Hasil evaluasi kinerja gedung perpustakaan dua lantai di Sorong menunjukkan bahwa struktur ini tidak memenuhi tujuan kinerja Immediate Occupancy (IO) untuk tingkat gempa BSE-1E maupun Collapse Prevention (CP) untuk BSE-2E. Temuan ini menandakan bahwa dalam kondisi eksisting, bangunan memiliki kerentanan tinggi terhadap kerusakan signifikan hingga berpotensi mengalami keruntuhan pada skenario gempa kuat. Salah satu penyebab utama kegagalan kinerja adalah adanya tingkat lunak (soft story) pada lantai dasar yang memperbesar respons dinamis bangunan, mengakibatkan konsentrasi drift dan gaya geser berlebih pada lantai tersebut. Selain itu, kolom pendek terbukti menjadi titik lemah paling kritis dengan nilai demand-to-capacity ratio (DCR) yang sangat tinggi, menunjukkan potensi kegagalan geser getas yang dapat memicu keruntuhan progresif.

Defisiensi lainnya terletak pada rasio kolom kuat–balok lemah yang tidak terpenuhi, serta detailing penulangan yang tidak daktail sebagaimana ditemukan pada konstruksi era 2010. Spasi sengkang yang renggang dan minimnya kait gempa pada sambungan membuat kapasitas elemen struktural rendah ketika dimodifikasi dengan faktor daktilitas konservatif (m). Hal ini mencegah terbentuknya mekanisme plastis yang diharapkan pada balok dan menyebabkan perilaku getas pada elemen vertikal, terutama di lantai dasar. Secara keseluruhan, kombinasi defisiensi ini menempatkan bangunan pada risiko tinggi keruntuhan parsial atau total saat terjadi gempa besar, mengancam keselamatan penghuni dan keberlangsungan fungsi bangunan.

Untuk meningkatkan kinerja seismik dan mencapai target keamanan minimum, rehabilitasi struktur diperlukan secara mendesak. Opsi yang direkomendasikan mencakup penambahan dinding geser guna meningkatkan kekakuan dan kekuatan lateral, jacketing pada kolom-kolom pendek untuk menambah kapasitas geser dan daktilitas, serta perkuatan sambungan balok-kolom menggunakan FRP atau metode sejenis. Perbaikan detailing pengekangan juga sangat penting agar struktur mampu berperilaku lebih daktail sesuai standar terbaru.

Mengingat parahnya defisiensi dan dominannya potensi kegagalan getas, analisis non-linear lanjutan seperti pushover analysis atau nonlinear response history analysis sangat disarankan untuk merancang dan memverifikasi strategi rehabilitasi yang optimal dan ekonomis.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi seismik terhadap Gedung Perpustakaan Lama (Gedung G) IAIN Sorong, dapat disimpulkan bahwa struktur ini memiliki beberapa defisiensi mendasar yang secara signifikan memengaruhi kapasitas dan kinerjanya dalam menghadapi beban gempa. Hasil prosedur evaluasi Tier 1 dan Tier 2 sesuai RSNI3 9273:202X menunjukkan bahwa bangunan mengalami fenomena soft story yang nyata di lantai dasar dengan rasio kekakuan lateral 0,6625066, di bawah ambang batas aman 0,70. Selain itu, keberadaan kolom pendek yang rentan terhadap kegagalan geser getas dan ketidakpatuhan prinsip kolom kuat–balok lemah (dengan rasio momen kolom/balok < 1,2) menandakan adanya kelemahan kritis dalam desain struktural bangunan ini.

Hasil verifikasi kinerja seismik terhadap tujuan Immediate Occupancy (IO) untuk BSE-1E dan Collapse Prevention (CP) untuk BSE-2E mengungkapkan bahwa bangunan tidak memenuhi kedua target kinerja tersebut. Analisis respons spektrum multi-modal pada SAP2000 v23 menunjukkan konsentrasi deformasi yang tinggi di lantai dasar akibat efek soft story, sementara komponen kritis seperti kolom pendek dan sambungan balok-kolom memiliki nilai demand-to-capacity ratio (DCR) jauh di atas batas aman (DCR > 1,0). Kondisi ini menunjukkan potensi kerusakan parah, kegagalan getas, hingga keruntuhan progresif pada skenario gempa besar, sehingga bangunan memerlukan langkah rehabilitasi seismik segera untuk mencapai tingkat keamanan struktural yang memadai.

5. DAFTAR PUSTAKA

Adhitama, Y. A., Supriyadi, B., & Suhendro, B. (2022). Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur Asce 41-17. Jurnal Riset Rekayasa Sipil, 6(1), 1. https://doi.org/10.20961/jrrs.v6i1.65864

Afiah, I. N., Ashad, H., & Junaedy Rahman, M. (2023). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440. Jurnal Flyover, 2(2), 99–110. https://doi.org/10.52103/jfo.v2i2.1347

Afiah, I. N., Ashad, H., & Rahman, M. J. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440. Jurnal Flyover, 2(2), 99–110. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1347

Albert. (2021). Analisis Perbandingan antara Peraturan Desain Gempa Indonesia Tahun 2019 dan 2002 dalam Desain Gedung Struktur Beton Bertulang Bertingkat Tinggi: Studi Kasus Gedung Prototipe. Universitas Agung Podomoro.

American Society of Civil Engineers. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers. https://doi.org/10.1061/9780784416112

Andika, Y., & Saputro, I. T. (2022). Pemetaan Sebaran Kejadian Gempa Bumi Di Provinsi Papua. Jurnal Rekayasa, 12(2), 132–142. https://doi.org/10.37037/jrftsp.v12i2.147

Ansya, F. A., Ashad, H., Utina, T., & Fadhil, A. (2019). Tinjauan Perencanaan Dinding Geser dengan Metode Strut and Tie Model Pada Gedung Grand Tower UMI. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil, 1, 450–460. Diambil dari https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/480

Ardi, F. A., & Pratiwi, A. (2025). Evaluasi Potensi Defisiensi pada Bangunan Gedung Labor dan Bengkel Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang terhadap Gempabumi Menggunakan Metode Evaluasi Tier 1 Berdasarkan RSNI (ASCE 41-17), 12(1), 1–8. https://doi.org/10.21063/JTS.2025.V1201.001-008

Arifudin, A. M. (2018). Karakteristik Situs dan Kerentanan seismik di kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dari Data Mikrotremor. Universitas

Islam Indonesia. Diambil dari https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/8464/00 tesis komplit - ANGGIT MAS ARIFUDIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
Badan Standardisasi Nasional. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727:2020). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
Badan Standardisasi Nasional. (2024). Evaluasi Dan Rehabilitasi Seismik Untuk Bangunan Gedung Eksisting (ASCE/SEI 41-17, MOD). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
Batara, I., Umar, A. F., Ashad, H., Utina, T., & Mappiasse, A. (2019). Perbandingan Perencanaan Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Studi Kasus: Gedung Grand UMI Tower. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil, 1, 2655–7266. Diambil dari https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/479
Dibiantara, D. P., Refani, A. N., Triaswati, & Wahyuni, F. (2020). Evaluasi Ketahanan Gempa Dinamik Pada Struktur Bangunan Gedung Tak Terpakai Berumur 25 Tahun. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 18(2), 277–284.
Febrianto, A., Erizal, & Putra, H. (2024). Analisis Seismik Struktur Bangunan menggunakan ASCE 41- 17 dan SNI 1726 : 2019, 09(02), 211–220. https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.211-220
Fiqhunissa, A. E., Satyarno, I., Setiawan, A. F., Ab Kadir, M. A., & Darmawan, M. F. (2023). Seismic Performance Evaluation of Wharf Based on ASCE 61-14. Journal of the Civil Engineering Forum, 10(September), 277–286. https://doi.org/10.22146/jcef.6749
Hidayati, N. (2020). Studi Perbandingan Parameter Desain Ketahanan Gempa dan Perilaku Struktur Dengan Menggunakan SNI 1726:2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 di Wilayah Mataram.
Hilmi, M., Erizal, & Febrita, J. (2021). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 6(3), 143–158. https://doi.org/10.29244/jsil.6.3.143-158
Karim, A., Supardi, S., Alifuddin, A., & Maruddin, M. (2023). Karakteristik Kekuatan Geser Tanah Terhadap Perubahan Nilai Kepadatan Tanah. Jurnal Flyover, 3(2), 69–76. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1532
Karnawati, D., Riama, N. F., Daryono, Weniza, Hidayanti, Anggraini, S., … Ghifar, M. H. (2025). Katalog Gempabumi Signifikan & Merusak Tahun 1821-2024. Direktorat Gempabumi dan Tsunami, Kedeputian Bidang Geofisika, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
Laksono, I. A., & Ujianto, M. (2016). ANALISA DAKTILITAS KOLOM BETON BERTULANG TERKEKANG DENGAN METODE MENDER DAN SOFTWARE XTRACT Indra. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, 116–123.
Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik, 8(4), 471–482.
Mahmud, A. I., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022). Pemodelan Bidang Gelincir Tanah Menggunakan Plaxis 2D pada Penanganan Pascabencana Ruas Salaonro-Pompanua Kabupaten Soppeng. Jurnal Flyover, 2(2), 76–85. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1345
Maverick, J., Joelin, G. C., Kusbiantoro, K., Lesmana, C., Studi, P., Teknik, S., … Maranatha, U. K. (2025). EVALUASI KINERJA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG BANGUNAN EKSISTING DI SAMARINDA, 8(1), 179–192.
Naqiba, N. F. (2021). Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik Bangunan Existing Gedung yang Dirancang Berdasar SNI 1726:2002 Sesuai ASCE 41-17, 25017044.
Nurmala, K. (2020). Perbandingan Parameter Perancangan Beton Bertulang Pada Balok Dan Kolom Dengan Menggunakan Pedoman Sni 2847-2002, Sni 2847-2013 Dan Sni 2847-2019, 1–14.
Pareang, A., Ashad, H., & Rahman, M. J. (2024). Rekayasa Nilai Superstruktur pada Bangunan Rumah Susun Universitas Kristen Indonesia (UKI) Toraja. Jurnal Flyover, 4(1), 70–77. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2166
Pratiwi, I. J., Nurjannah, S., Ashad, H., & ... (2022). Tinjauan Perencanaan Bangunan Tahan Gempa pada Gedung Perpustakaan Universitas Sulawesi Barat. … Mahasiswa Teknik Sipil, 4(April), 224–235. Diambil dari https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/529%0Ahttps://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/download/529/380

Purnamasari, E. (2020). Penggunaan Sni 1726-2019 Untuk Menentukan Beban Gempa Seismik Di Kalimantan Selatan. Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 3(2), 165. https://doi.org/10.31602/jk.v3i2.4238

Putra, A. E., Ashad, H., & Utina, T. (2019). Tinjauan Perencanaan Super Struktur Jembatan Pelengkung pada Sungai Pute Kab. Maros. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil, 1, 1–8. Diambil dari https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/244%0Ahttps://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/download/244/147

Putri, A. ., Fadilah, M. R. R. ., & Khala, C. C. . (2021). ANALISIS KINERJA SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG 10 LANTAI DENGAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (Seismic Performance Analysis of 10 Stories Reinforced Concrete Building Using Spectrum Response and Time History Methods). Jurnal Infrastruktur, 7(2), 79–85.

Sulthan, F., Gumilang S, A. A., Rusli, M., & Seki, M. (2023). Seismic evaluation of existing building structure using United States (ASCE 41-17) and Japanese (JBDPA) standard: Case study office building in Indonesia. E3S Web of Conferences, 429. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905001

Supartoyo, & Sulaiman, C. (2017). Gempa Bumi Sorong Tanggal 25 September 2015 dan Upaya Mitigasi. (A. Wibowo, S. Pranoto, S. T. Utomo, R. Pramono, & W. Widjaja, Ed.), Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana (8 ed., Vol. 8). Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Diambil dari https://perpustakaan.bnpb.go.id/jurnal/index.php/JDPB/issue/view/17

Sutjipto, S., Sumeru, I., Supardjo, W., & Sucipto, S. A. (2023). Asesmen Struktur Gedung Baja Eksisting Berdasarkan Asce 41-17. Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd), 6(2), 1–11. https://doi.org/10.25105/cesd.v6i2.18892

Sweiga, A. G. Y. (2023). Analisis Pushover Pada Bangunan Rumah Sakit Dengan Ketidakberaturan Vertikal Berdasarkan Asce 41-17. Universitas Gadjah Mada. Diambil dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tumadir, A. B., Ashda, H., Rahman, M. J., & BP, M. S. (2022). Kajian Kapasitas Lentur Balok Beton Dengan Perkuatan Luar. Jurnal Flyover, 2(2), 136–146. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1356

Wijaya, U., Putra, I. G. E. A., & Tavio. (2020). Assessment and evaluation procedure of existing industrial building structure based on ASCE 41-17. Journal of Physics: Conference Series, 1477(5). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/5/052045

Windasari, Asyhari, M., Ashad, H., Idrus, Y., & Zaifuddin. (2019). Tinjauan Penerapan Balok Baja Kastela (Castellated Beam) Dengan Menggunakan Program SAP 2000 Pada Struktur Gedung Administrasi Sekolah Tinggi Ilmu Bahasa Arab. Jilmateks, 1(2), 256–267. Diambil dari https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS

Yulia, T. D., & Wardi, S. (2022). Pengaruh Penerapan SNI 1726 : 2019 terhadap Beban Gempa dan Simpangan pada Struktur Beton Bertulang (Studi Kasus : Gedung Rusunawa Tiga Tingkat di Kota Padang). In Prosiding Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi (SiNaRInT) (hal. 702–707). Padang: Institut Teknologi Padang. Diambil dari https://e-proceeding.itp.ac.id/index.php/sinarint/article/download/113/81/82