Hulonthalo Journal of Civil and Architecture (HJCA)
Vol. 1, No. 1, Juni 2025, pp. 18-23
ISSN: 2302-9285, DOI: 10.11591/hjca.v1i1.1035

Evaluasi Struktural Dan Rekomendasi Perbaikan Bangunan Sekolah Dasar Satu Lantai

Rahmat Libunelo[1], Nimzak Husain[2]
[1,2]Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

Article Info

Article history:

Received April 23, 2025
Revised Mei 20, 2025
Accepted Juni 15, 2025

Keywords:

Retrofitting Struktural
Evaluasi Gempa
Sekolah Satu Lantai
Kapasitas Geser Kolom
Jacketing Beton

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keselamatan struktural dan merumuskan rekomendasi perbaikan untuk bangunan Sekolah Dasar (SD) satu lantai, dengan studi kasus pada SD Negeri 06 Kota Gorontalo. Latar belakang didasari oleh kekhawatiran terhadap banyaknya bangunan sekolah tua yang dibangun dengan standar lama, berpotensi rentan terhadap bencana gempa. Metode penelitian mencakup investigasi visual, pengujian non-destruktif (NDT) seperti *Schmidt Hammer* dan UPV, serta analisis struktural menggunakan pemodelan 3D dan *pushover analysis* dengan standar SNI terbaru. Hasil penelitian mengungkap kondisi kritis: kuat tekan beton eksisting hanya 12-18 MPa, jauh di bawah standar, dan detailing sengkang kolom yang sangat longgar (jarak 25-30 cm). Analisis menunjukkan rasio kapasitas-permintaan (CDR) untuk geser kolom hanya 0.4–0.7**,** menandakan kapasitas struktur hanya mampu menahan 40-70% dari gaya gempa yang disyaratkan SNI 1726:2019. Mekanisme keruntuhan potensial adalah *soft-story* dengan pola *strong beam-weak column*, yang sangat berbahaya. Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan skema perbaikan utama berupa penguatan dengan metode jacketing beton bertulang pada semua kolom**.** Alternatif ini secara langsung mengatasi defisiensi geser dan daktilitas, meskipun memerlukan biaya dan waktu lebih besar. Sebagai opsi interim yang lebih cepat dan ekonomis, dapat dipertimbangkan pemasangan *steel bracing* konsentris. Penelitian ini menyimpulkan urgensi audit dan program retrofit nasional yang sistematis untuk memastikan keselamatan bangunan sekolah sebagai infrastruktur pendidikan yang vital.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Rahmat Libunelo
Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Gorontalo
Jln. Prof. Mansoer Pateda Kec. Telaga Biru Kab. Gorontalo
Email: rahmatlibunelo@umgo.ac.id

1. INTRODUCTION

Bangunan sekolah dasar (SD) merupakan infrastruktur pendidikan yang paling dasar dan strategis dalam menopang masa depan bangsa. Di Indonesia, sebagian besar bangunan SD, terutama di daerah suburban dan pedesaan, merupakan struktur satu lantai dengan konstruksi sederhana. Banyak di antaranya dibangun lebih dari dua dekade yang lalu melalui program-program pemerintah seperti Inpres SD pada era 1970-an hingga 1990-an. Observasi lapangan menunjukkan bahwa

sejumlah besar bangunan sekolah satu lantai ini mengalami penurunan kinerja struktural secara diam-diam, yang seringkali diabaikan hingga muncul kerusakan yang membahayakan.

Fenomena degradasi tersebut tidak terlepas dari beberapa faktor kompleks. Dari aspek desain, banyak bangunan dirancang dengan standar dan peraturan pembebanan yang sudah ketinggalan zaman. Beban gempa yang digunakan dalam desain awal seringkali jauh lebih rendah dibandingkan persyaratan dalam SNI 1726:2019, seiring dengan perkembangan pemahaman seismisitas Indonesia [1]. Dari aspek material dan pelaksanaan, penggunaan material berkualitas rendah, rasio campuran beton yang tidak tepat, serta *detailing* penulangan yang minim, khususnya pada sambungan balok-kolom menjadi kelemahan bawaan/*inherent deficiency*. Faktor lingkungan dan pemeliharaan memperparah kondisi. Paparan iklim tropis dengan kelembaban tinggi dan curah hujan besar mempercepat karbonasi beton dan korosi tulangan. Kurangnya pemeliharaan rutin serta modifikasi bangunan secara sembarangan, seperti penambahan atap rangka baja di atas struktur beton tanpa analisis struktural, semakin menurunkan kinerja.

Potensi bahaya menjadi nyata ketika bangunan menghadapi beban ekstrem, khususnya gempa bumi. Kolom pendek (*short column*) akibat adanya tembok *infill* setinggi jendela rentan mengalami geser patah. Balok yang terlalu lentur dengan tulangan bawah kurang dapat mengalami lendutan berlebih. Pondasi dangkal yang mengalami penurunan diferensial dapat memicu retak diagonal pada dinding. Ironisnya, bangunan yang seharusnya menjadi tempat perlindungan bagi anak-anak justru menyimpan risiko. Studi [2] menunjukkan bahwa lebih dari 60% bangunan sekolah dasar satu lantai di daerah rawan gempa memiliki tingkat kerentanan dari menengah hingga tinggi.

Bangunan sekolah satu lantai di Indonesia umumnya memiliki karakteristik arsitektural sederhana: denah persegi panjang, bentang 6–8 meter, tinggi kolom 3,5–4 meter, dengan sistem struktur rangka beton bertulang pemikul momen (*reinforced concrete moment resisting frame*). Material penutup atap dominan menggunakan seng bergelombang atau genteng tanah liat dengan rangka kayu atau baja ringan. Permasalahan klasik pada struktur ini sering bermula dari detail penulangan yang tidak memadai. Penelitian [3] menemukan bahwa jarak sengkang pada ujung kolom sering melebihi ketentuan, sehingga mengurangi daktilitas dan ketahanan terhadap geser. Panjang penyaluran (*development length*) tulangan yang tidak mencukupi pada pertemuan balok-kolom juga menjadi titik lemah saat terjadi gempa.

Gempa bumi telah berkali-kali membuktikan kelemahan bangunan sekolah konvensional. Mekanisme kegagalan kolom pendek merupakan yang paling sering ditemukan. Mekanisme ini terjadi ketika bagian kolom antara balok dan bukaan jendela menjadi kaku dan pendek, sehingga menyerap gaya geser yang sangat besar hingga mengalami retak diagonal dan hancur [4]. Mekanisme lain meliputi kegagalan balok lentur akibat kapasitas momen negatif yang rendah di daerah tumpuan, serta kegagalan geser pada balok yang ditandai dengan retak vertikal di dekat tumpuan. Pada level sistem, pola *strong beam/weak column* dapat menyebabkan mekanisme *soft-story* yang sangat berbahaya.

Evaluasi bangunan eksisting harus merujuk pada standar mutakhir. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung telah merevisi peta spektrum respons desain dengan resolusi lebih detail, yang berdampak pada meningkatnya nilai percepatan gempa desain untuk banyak wilayah [1]. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain menjadi acuan pembebanan gravitasi. Pedoman evaluasi dan perbaikan dapat mengacu pada FEMA 547 dan ATC-40 yang telah diadopsi dalam bentuk pedoman lokal.

Evaluasi dimulai dengan pengujian non-destruktif (NDT) seperti *Schmidt Hammer Test* untuk estimasi kuat tekan beton dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) untuk mendeteksi diskontinuitas. Hasil NDT menjadi input penting untuk pemodelan analitis. Teknik penguatan yang *applicable* untuk sekolah satu lantai antara lain *jacketing* beton bertulang yang terbukti meningkatkan kekuatan dan daktilitas secara signifikan [5], pemasangan dinding geser baru, sistem *steel bracing* untuk intervensi cepat dengan gangguan minimal, serta pelapisan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang ringan dan tidak menambah dimensi signifikan [6]. Pemilihan teknik sangat bergantung pada hasil analisis, tingkat kerusakan, biaya, dan kompleksitas pelaksanaan di lingkungan sekolah yang aktif.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas kerentanan bangunan sekolah dan teknik retrofit, kajian yang mengintegrasikan investigasi kondisi eksisting secara menyeluruh, analisis kapasitas struktural berdasarkan standar terkini, identifikasi mekanisme keruntuhan potensial, serta perumusan alternatif skema retrofit yang mempertimbangkan aspek teknis-ekonomis dan konteks operasional sekolah di Indonesia masih terbatas. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus penelitian ini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi dan dokumentasi menyeluruh terhadap kondisi fisik dan kerusakan struktur bangunan sekolah dasar satu lantai studi kasus; menganalisis kapasitas struktur eksisting melalui pemodelan struktural dan analisis beban gravitasi serta beban gempa sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019; mengidentifikasi defisiensi dan mekanisme keruntuhan potensial yang mengancam keamanan bangunan; serta menyusun alternatif skema perbaikan dan penguatan struktur yang efektif, berorientasi pada keselamatan, dan mempertimbangkan aspek teknis-ekonomis. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi model evaluasi dan rekomendasi praktis bagi upaya sistematis peningkatan keselamatan bangunan sekolah dasar di berbagai daerah, sebagai bentuk tanggung jawab moral keinsinyuran untuk melindungi generasi penerus.

2. METHOD

Penelitian ini mengadopsi metodologi campuran (*mixed-method*) yang menggabungkan pendekatan kualitatif (observasi) dan kuantitatif (analisis struktural).

2.1. Lokasi dan Objek Studi

Objek penelitian adalah bangunan utama SD Negeri 06 Kota Gorontalo. Bangunan berkonstruksi beton bertulang satu lantai dengan 6 ruang kelas, denah memanjang, dan atap rangka kayu dengan penutup seng.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam empat tahap berurutan:

1. Investigasi Lapangan dan Pengujian NDT (Minggu 1-3):
   - Observasi Visual: Pemetaan kerusakan (retak, lendutan, pengelupasan, korosi) pada semua elemen struktur.
   - Pengukuran Dimensi: Verifikasi dimensi aktual kolom, balok, pelat, dan penulangan (melalui cover meter dan pembukaan terbatas).
   - Pengujian NDT: Uji Schmidt Hammer pada kolom dan balok (30 titik) untuk estimasi kuat tekan beton. Uji Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) untuk mendeteksi diskontinuitas.
   - Investigasi Tanah: Uji sondir ringan di sekitar pondasi untuk mengetahui daya dukung tanah.
2. Pemodelan dan Analisis Struktural (Minggu 4-6):
   - Pemodelan 3D: Membuat model struktur eksisting menggunakan perangkat lunak ETABS v20. Material properti dimasukkan berdasarkan hasil NDT.
   - Analisis Beban: Memodelkan beban mati, hidup [6] dan beban gempa respons spektrum berdasarkan [7] untuk lokasi studi kasus (Kelas sitasi Tanah Sedang, SDS=0.6g, SD1=0.4g).
   - Analisis Statik Nonlinier (Pushover Analysis): Dilakukan untuk memahami kinerja struktur secara nonlinier, menentukan titik leleh pertama, mekanisme keruntuhan, dan kapasitas displacement.
3. Identifikasi Defisiensi dan Perumusan Retrofit (Minggu 7-8):
   - Membandingkan hasil analisis (gaya dalam, defleksi, rasio kapasitas-permintaan) dengan kapasitas elemen sesuai SNI Beton [8].
   - Mengidentifikasi elemen yang gagal (kapasitas < permintaan).
   - Merancang 3 alternatif skema retrofit: Jacketing Kolom, Pemasangan Steel Bracing Konsentris, dan Kombinasi Jacketing dan *Shear Wall* Baru.
4. Analisis Keekonomian dan Penyusunan Rekomendasi (Minggu 9-10):
   - Melakukan analisis biaya konstruksi perkiraan untuk setiap alternatif.
   - Menyusun rekomendasi teknis akhir berdasarkan pertimbangan efektivitas teknis, biaya, durasi pelaksanaan, dan tingkat gangguan terhadap aktivitas sekolah.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Kondisi Eksisting dan Hasil Pengujian NDT

Observasi visual menemukan pola kerusakan yang sistemis:

- Kolom: Retak diagonal dengan sudut ~45° pada 70% kolom di ujung bangunan (mekanisme geser). Jarak sengkang aktual 25-30 cm, jauh lebih besar dari persyaratan SNI (<10 cm di daerah sendi plastis).
- Balok: Lendutan maksimum 2.5 cm (melebihi batas L/360 = 1.67 cm). Retak lentur vertikal di tengah bentang pada 40% balok.
- Beton: Hasil Schmidt Hammer menunjukkan kuat tekan ekivalen antara 12-18 MPa, jauh di bawah asumsi desain awal (K225 ~22.5 MPa). UPV menunjukkan kualitas beton tidak merata.
- Pondasi: Terdapat retak horizontal pada beberapa titik dinding dekat pondasi, mengindikasikan kemungkinan penurunan diferensial ringan.

Hasil Analisis Struktural

Hasil pemodelan dan analisis dengan ETABS memberikan temuan kritis:

- Beban Gravitasi: Balok memenuhi syarat lentur namun defleksi service melebihi batas. Kapasitas geser balok masih mencukupi.
- Beban Gempa: Analisis respons spektrum menunjukkan rasio kapasitas-permintaan (CDR) untuk geser kolom berada antara 0.4 hingga 0.7, artinya permintaan gaya geser akibat gempa 2-2.5 kali lebih besar dari kapasitas kolom yang ada. Ini adalah defisiensi paling berbahaya.
- Pushover Analysis: Kurva *pushover* menunjukkan bahwa struktur akan mengalami leleh pertama pada ujung kolom pada perpindahan atap 4 cm. Mekanisme keruntuhan yang terbentuk adalah soft-story mechanism, dimana semua sendi plastis terbentuk di dasar kolom sebelum balok mengalami leleh (*strong beam-weak column*), yang sangat tidak daktail dan berbahaya.

Alternatif Desain Retrofit

Tiga alternatif dirancang untuk menargetkan kelemahan geser kolom dan meningkatkan daktilitas sistem:

- Alternatif A (Jacketing Beton): Menambah dimensi semua kolom dari 25/25 cm menjadi 35/35 cm dengan tulangan tambahan dan sengkang berjarak rapat (8 cm). Meningkatkan kekuatan dan daktilitas secara merata.
- Alternatif B (*Steel Bracing* Konsentris): Memasang sistem bracing baja bentuk-V di dinding luar setiap dua bentang. Strategis untuk menambah kekakuan lateral dan mengurangi drastis gaya geser yang sampai ke kolom.
- Alternatif C (*Shear Wall Inti*): Membangun dua dinding geser beton baru di bagian tengah bangunan (sekitar tangga) sebagai inti penahan gaya lateral.

Temuan kuat tekan beton yang rendah (12-18 MPa) menjadi dasar pembahasan utama. Kuat tekan ini tidak hanya mempengaruhi kapasitas tekan aksial kolom, tetapi lebih krusial lagi, secara langsung menurunkan kuat geser beton (Vc). Berdasarkan [8], Vc sebanding dengan $\sqrt{fc'}$. Penurunan fc' dari 22.5 MPa ke 15 MPa berarti penurunan kontribusi kuat geser beton sekitar 18%. Ini diperparah dengan jarak sengkang yang longgar, yang hampir tidak memberikan kontribusi kuat geser dari tulangan (Vs). Oleh karena itu, CDR untuk geser yang sangat rendah (0.4-0.7) merupakan konsekuensi logis yang dapat diprediksi.

Mekanisme strong beam-weak column yang teridentifikasi dari *Pushover Analysis* adalah bentuk kegagalan terburuk dalam desain tahan gempa. Prinsip capacity design menuntut balok harus leleh lebih dulu (*strong column-weak beam*) untuk mendisipasi energi melalui banyak sendi plastis yang tersebar. Pada kasus ini, kegagalan terkonsentrasi di satu lantai, berpotensi menyebabkan keruntuhan total. Hal ini mengonfirmasi temuan [4] tentang pentingnya detail penulangan pada daerah kritis kolom.

Dalam memilih alternatif retrofit, pertimbangan teknis, ekonomis, kontekstual sangat penting. Alternatif A (*Jacketing*) paling meningkatkan performa individu kolom dan daktilitas, namun pelaksanaannya rumit, mengganggu (perlu evakuasi ruang), dan memakan waktu lama. Alternatif B (*Bracing*) merupakan solusi tercepat dan paling tidak mengganggu, dapat dipasang dari luar gedung. Namun, estetika berubah dan memerlukan perawatan rutin untuk mencegah korosi pada sambungan. Alternatif C (*Shear Wall*) sangat efektif menambah kekakuan, tetapi mengubah denah

dan fungsi ruang secara signifikan. Berdasarkan analisis biaya, Alternatif B memiliki keunggulan biaya terendah dan durasi paling singkat. Namun, jika mempertimbangkan umur rencana sisa bangunan yang panjang (>20 tahun) dan *durability*, Alternatif A meskipun 25% lebih mahal, memberikan solusi yang lebih permanen dan sesuai dengan material asli struktur. Rekomendasi prioritas yang diberikan adalah Alternatif A, dengan Alternatif B sebagai opsi jika ada keterbatasan dana dan waktu yang sangat ketat.

4. CONCLUSION

Berdasarkan seluruh rangkaian investigasi lapangan, analisis struktural, dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bangunan SD satu lantai studi kasus berada dalam kondisi tidak aman terhadap beban gempa sesuai standar terkini. Defisiensi utama terletak pada kapasitas geser kolom yang sangat tidak memadai (CDR 0.4-0.7), yang disebabkan oleh kualitas beton rendah (12-18 MPa) dan *detailing* sengkang yang longgar (jarak 25-30 cm). Mekanisme keruntuhan potensial adalah *soft-story* dengan pola *strong beam-weak column*.
2. Kondisi eksisting menunjukkan degradasi material yang signifikan dan modifikasi non-struktural yang memperparah respons gempa, seperti terjadinya efek kolom pendek pada beberapa lokasi.
3. Dari tiga alternatif skema retrofit yang dikaji, penguatan dengan metode jacketing beton bertulang pada semua kolom (Alternatif A) direkomendasikan sebagai solusi paling komprehensif dan berkelanjutan. Metode ini langsung menangani akar permasalahan, meningkatkan kapasitas geser dan daktilitas kolom secara signifikan, serta memiliki durability yang sejalan dengan struktur eksisting. Pemasangan stee*l bracing* (Alternatif B) dapat menjadi solusi interim yang cepat jika kendala anggaran dan waktu sangat mendesak.
4. Penelitian ini menggarisbawahi urgensi program audit dan retrofit nasional secara sistematis terhadap bangunan sekolah dasar satu lantai, khususnya yang dibangun sebelum pemberlakuan kode gempa modern. Investasi pada keselamatan struktur sekolah adalah investasi fundamental bagi keberlanjutan pendidikan dan perlindungan aset generasi mendatang.

REFERENCES

[1] Irsyam, M., et al. (2020). Development of Spectral Hazard Maps and Ground Motion for Revision of Indonesian Seismic Building Code. Journal of Earthquake Engineering, 24(sup1), 138-167.

[2] Masyhur, A., Fathoni, A., & Satyarno, I. (2021). Rapid Visual Screening for Seismic Vulnerability Assessment of Primary School Buildings in Yogyakarta, Indonesia. International Journal of Disaster Risk Reduction, 64, 102507.

[3] Siahaan, F., Purba, R., & Tarigan, J. (2022). Evaluation of Structural Detailing of Reinforced Concrete Columns in Old School Buildings Based on Modern Seismic Codes. Civil Engineering Dimension, 24(2), 87-94.

[4] Pribadi, K. S., Saputra, A., & Hanifa, N. R. (2021). Learning from Past Earthquakes: Damage Patterns on Non-Engineered School Buildings in Indonesia. Earthquake Spectra, 37(2), 1237-1261.

[5] Fahlevi, M. R., & Subakti, A. (2023). Efektivitas Metode Jacketing Beton Bertulang pada Kolom Bangunan Sekolah Lama di Daerah Rawan Gempa. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 18(1), 45-58.

[6] Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Badan Standardisasi Nasional.

[7] Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
[8] Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.