

Strategi Retrofit Gedung Eksisting Berbasis Kinerja Struktur dan Kelayakan Proyek: Scoping Review

Annisa Nur Rakhmawati^{1*}, Wahyu Nursamhuda², Hendrik Richard³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Cipta Wacana

^{1*} annisnurma@gmail.com, ² wahyunursamhuda89@gmail.com, ³ hendrikrichard@cwcu.ac.id

Abstrak

Retrofit gedung eksisting semakin penting karena banyak bangunan lama dirancang berdasarkan standar yang tidak lagi sepenuhnya sejalan dengan tuntutan keselamatan gempa, keberlanjutan, efisiensi energi, dan kelayakan operasional proyek. Meskipun kajian retrofit telah berkembang, pembahasan masih sering terpisah antara efektivitas teknis struktur dan dimensi manajemen proyek seperti biaya, jadwal, constructability, risiko, keselamatan kerja, serta gangguan terhadap pengguna bangunan. Artikel ini bertujuan memetakan strategi retrofit gedung eksisting berdasarkan dua perspektif utama, yaitu kinerja struktur dan kelayakan proyek, serta merumuskan kerangka keputusan terintegrasi yang relevan bagi konteks Indonesia. Metode yang digunakan adalah scoping review dengan mengacu pada kerangka Arksey dan O'Malley, pengembangan Levac et al., pedoman JBI, serta prinsip pelaporan PRISMA-ScR. Literatur ditelusuri secara purposif melalui ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, Google Scholar, Crossref, DOAJ, ASCE, NIST, FEMA, BSN, dan sumber ilmiah terkait dengan prioritas publikasi 2022-2025 serta standar teknis relevan. Sebelas studi inti dan beberapa dokumen standar dianalisis melalui charting table dan sintesis tematik. Hasil kajian menunjukkan bahwa strategi retrofit dominan mencakup perkuatan lokal, perkuatan global, sistem kontrol respons, dan retrofit terintegrasi gempa-energi. Indikator kinerja struktur yang paling sering digunakan adalah simpangan antar tingkat, kekakuan, daktilitas, kapasitas lateral, indeks keselamatan, kerusakan nonstruktural, risiko, dan waktu pemulihan fungsi. Dari sisi manajemen proyek, faktor yang paling menentukan adalah akurasi investigasi awal, biaya daur hidup, durasi pelaksanaan, gangguan operasional, pengadaan material khusus, keselamatan kerja, koordinasi pemangku kepentingan, dan dukungan digital seperti BIM. Kajian ini menegaskan bahwa keputusan retrofit tidak cukup didasarkan pada peningkatan kapasitas struktur, tetapi perlu diseimbangkan dengan keterlaksanaan, nilai investasi, risiko implementasi, dan penerimaan pengguna bangunan. Artikel ini menawarkan kerangka evaluasi terintegrasi sebagai dasar pengembangan studi kasus, instrumen penilaian retrofit, dan model prioritas penanganan gedung eksisting di wilayah rawan gempa

Kata Kunci: gedung eksisting, kelayakan proyek, kinerja struktur, manajemen konstruksi, rehabilitasi seismic, retrofit, scoping review

PENDAHULUAN

Gedung eksisting merupakan bagian penting dari stok bangunan yang digunakan masyarakat, baik sebagai fasilitas pendidikan, rumah sakit, kantor pemerintahan, hunian bertingkat, maupun bangunan komersial. Sebagian bangunan tersebut dibangun pada masa ketika persyaratan ketahanan gempa, detailing struktur, pengendalian deformasi, dan evaluasi kinerja belum berkembang seperti saat ini. Selain itu, banyak bangunan mengalami perubahan fungsi, peningkatan beban operasional, degradasi material, perubahan tata ruang, atau kerusakan akibat usia dan lingkungan. Kondisi tersebut menyebabkan evaluasi dan retrofit menjadi kebutuhan yang semakin mendesak, terutama di wilayah rawan gempa seperti Indonesia.

Retrofit struktur dapat dipahami sebagai proses perbaikan, modifikasi, atau peningkatan kapasitas elemen bangunan yang sudah ada agar mampu menahan beban yang lebih besar atau memenuhi standar keselamatan terbaru tanpa membongkar keseluruhan struktur. Dalam pendekatan modern, retrofit tidak selalu dimaksudkan untuk membuat bangunan lama sama persis dengan bangunan baru. Tujuannya adalah menurunkan risiko korban jiwa, membatasi kerusakan, mempertahankan fungsi bangunan penting, memperpanjang umur layan, dan mengurangi kerugian ekonomi serta sosial pascabencana. Oleh karena itu, keputusan retrofit perlu dilakukan dengan pendekatan berbasis kinerja, bukan hanya pemeriksaan elemen struktur.

Dalam ranah teknik struktur, strategi retrofit telah berkembang dari metode konvensional seperti concrete jacketing, steel jacketing, penambahan dinding geser, bracing baja, dan FRP/FRCM menuju pendekatan yang lebih maju seperti damper, buckling-restrained bracing, base isolation, exoskeleton system, serta retrofit terintegrasi gempa-energi. Indikator yang sering digunakan dalam penilaian mencakup simpangan antar tingkat, kapasitas lateral, daktilitas, disipasi energi, indeks keselamatan seismik, fragility, kerusakan nonstruktural, dan waktu pemulihan fungsi (Ahmed & Tanoli, 2025; Ghafar et al., 2025; Nascimbene et al., 2025).

Namun, efektivitas teknis sebuah metode retrofit tidak otomatis menjadikannya pilihan terbaik dalam pelaksanaan proyek di lapangan. Proyek retrofit berbeda dari proyek bangunan baru karena pekerjaan dilakukan pada bangunan yang telah berdiri, sering kali masih beroperasi, memiliki dokumentasi as-built drawing yang tidak lengkap, kondisi material, keterbatasan akses, ruang kerja terbatas, dan utilitas tersembunyi. Dengan demikian, strategi yang sangat kuat secara struktur dapat menjadi tidak

layak apabila biayanya terlalu tinggi, durasinya terlalu panjang, mengganggu operasional bangunan, atau menimbulkan risiko keselamatan kerja yang besar.

Pada konteks Indonesia, kebutuhan integrasi tersebut semakin relevan karena telah tersedia kerangka teknis nasional seperti SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 9273:2025. SNI 9273:2025 tentang evaluasi dan rehabilitasi seismik bangunan gedung eksisting menjadi pijakan penting untuk mengarahkan evaluasi retrofit agar lebih sistematis. Namun, keberhasilan implementasi standar teknis tersebut tetap bergantung pada kesiapan data bangunan, kemampuan pemilik, kapasitas konsultan dan kontraktor, ketersediaan material, pengendalian biaya hingga waktu, serta penerimaan pengguna bangunan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini disusun sebagai scoping review untuk menjawab tiga pertanyaan utama. Pertama, strategi retrofit apa saja yang dominan dibahas dalam literatur mutakhir dan bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja struktur. Kedua, indikator dan faktor manajemen proyek apa yang memengaruhi kelayakan implementasi retrofit pada gedung eksisting. Ketiga, bagaimana kerangka keputusan terintegrasi dapat disusun untuk menyeimbangkan target kinerja struktur, keberlanjutan, dan terlaksananya suatu proyek.

METODE

Desain Review

Penelitian ini menggunakan desain scoping review karena tujuan utamanya adalah memetakan cakupan literatur, mengidentifikasi konsep kunci, mengelompokkan bentuk bukti, dan menemukan celah penelitian pada topik retrofit gedung eksisting. Scoping review sesuai digunakan ketika suatu topik bersifat luas, multidisipliner, dan belum sepenuhnya terintegrasi dalam satu kerangka konseptual yang stabil. Pelaporan artikel ini disusun dengan memperhatikan PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) (Tricco et al., 2018), kerangka Arksey dan O'Malley (2005), penyempurnaan Levac et al. (2010), serta panduan JBI untuk scoping review (Peters et al., 2020).

Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk menghitung ukuran efek kuantitatif tunggal sebagaimana metode statistik yang menggabungkan hasil dari berbagai penelitian terdahulu untuk menjawab pertanyaan penelitian yang sama. Sebaliknya, artikel ini menekankan pemetaan strategi retrofit, indikator kinerja struktur, faktor kelayakan proyek, serta peluang integrasi antara teknik struktur dan manajemen konstruksi. Oleh karena itu, hasil review disajikan dalam bentuk narasi sintesis, tabel pemetaan, dan kerangka konseptual.

Kerangka PCC

Pertanyaan review dirumuskan dengan kerangka Population, Concept, dan Context (PCC). Population dalam artikel ini adalah gedung eksisting, terutama gedung beton bertulang, baja, pasangan bata, atau sistem campuran yang membutuhkan evaluasi dan perkuatan. Concept mencakup strategi retrofit, kinerja struktur, rehabilitasi seismik, dan manajemen proyek. Context adalah proyek retrofit pada bangunan yang berada pada wilayah rawan gempa, mengalami perubahan fungsi, mengalami degradasi material, atau membutuhkan peningkatan keandalan layanan.

Tabel 1. Kerangka PCC scoping review

Komponen	Ruang lingkup
Population	Gedung eksisting, termasuk gedung beton bertulang, baja, pasangan bata, gedung publik, fasilitas pendidikan, rumah sakit, kantor, hunian bertingkat, dan bangunan komersial.
Concept	Strategi retrofit, evaluasi kinerja struktur, rehabilitasi seismik, pemilihan metode perkuatan, biaya, jadwal, risiko, constructability, keselamatan kerja, dan koordinasi pemangku kepentingan.
Context	Proyek retrofit pada bangunan yang dirancang berdasarkan standar lama, mengalami perubahan fungsi, mengalami degradasi material, berada pada wilayah rawan gempa, atau membutuhkan peningkatan kinerja layanan.

Strategi Pencarian dan Kriteria Seleksi

Pencarian literatur dilakukan secara purposif pada Mei 2026 melalui ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, Google Scholar, Crossref, DOAJ, ASCE, NIST, FEMA, BSN, dan sumber ilmiah yang relevan. Prioritas diberikan pada publikasi tahun 2022-2025 agar menggambarkan perkembangan mutakhir. Namun, sumber klasik dan standar teknis tetap digunakan apabila menjadi rujukan metodologis atau normatif, seperti Arksey dan O'Malley (2005), ASCE/SEI 41, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 9273:2025, PRISMA ScR, dan pedoman JBI.

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel jurnal, review, studi kasus, standar teknis, pedoman evaluasi, atau dokumen metodologis scoping review; (2) berfokus pada retrofit struktur, rehabilitasi seismik, evaluasi gedung eksisting, kinerja struktur, biaya-manfaat, risiko, constructability, atau manajemen proyek; (3) membahas gedung eksisting, bukan semata-mata bangunan baru; dan (4) tersedia dalam bahasa Indonesia atau Inggris. Kriteria eksklusi mencakup dokumen promosi komersial, berita populer tanpa dasar teknis, studi infrastruktur non gedung yang tidak relevan, serta kajian efisiensi energi yang tidak memiliki hubungan dengan struktur atau kelayakan retrofit.

Charting Data dan Sintesis

Dokumen yang memenuhi kriteria kemudian diekstraksi menggunakan lembar charting data. Informasi yang dicatat meliputi identitas sumber, jenis dokumen, fokus kajian, strategi retrofit utama, indikator kinerja struktur, aspek manajemen proyek, temuan utama, dan relevansi bagi konteks Indonesia. Sintesis dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan hasil

ke dalam lima tema utama: dasar evaluasi kinerja struktur, klasifikasi strategi retrofit, indikator keberhasilan struktur, faktor manajemen proyek, dan kerangka keputusan terintegrasi. Sebagaimana lazim dalam scoping review, artikel ini tidak menempatkan penilaian kualitas metodologis sebagai dasar eksklusi utama. Akan tetapi, sumber yang memiliki landasan metodologis jelas, terbit pada jurnal bereputasi, atau berasal dari standar teknis resmi diberikan bobot interpretatif lebih kuat. Pendekatan ini memungkinkan artikel untuk memetakan keluasan bukti sekaligus menjaga relevansi sintesis bagi kebutuhan akademik dan pelaksanaan retrofit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Literatur yang Dipetakan

Literatur yang dipetakan menunjukkan bahwa kajian retrofit gedung eksisting berkembang melalui empat arus utama. Arus pertama adalah literatur evaluasi kinerja struktur yang membahas kapasitas elemen, perilaku sistem lateral, analisis pushover, analisis riwayat waktu, level kinerja, fragility, dan risiko keruntuhan. Arus kedua adalah literatur strategi perkuatan yang mengulas metode lokal dan global, seperti jacketing, FRP/FRCM, penambahan dinding geser, bracing, damper, base isolation, dan perkuatan fondasi. Arus ketiga adalah literatur ekonomi, biaya-manfaat, downtime, dan resiliensi yang memandang retrofit sebagai investasi pengurangan risiko. Arus keempat adalah literatur manajemen proyek yang menekankan biaya, jadwal, risiko, constructability, keselamatan, pengadaan, dan koordinasi pemangku kepentingan.

Sebelas studi inti yang dipetakan menunjukkan bahwa topik retrofit bergerak dari pendekatan perkuatan struktural konvensional menuju pendekatan yang semakin terintegrasi. Delapan artikel terbit pada tahun 2025, dua artikel pada 2024, dan satu artikel pada 2022. Distribusi ini menandakan bahwa isu retrofit semakin intensif dibahas dalam kaitannya dengan keberlanjutan, resiliensi, efisiensi energi, insentif finansial, BIM, dan pengambilan keputusan berbasis indikator. Namun, jumlah studi empiris yang secara langsung menghubungkan performa struktur dengan data biaya, jadwal, dan gangguan operasional masih terbatas.

Tabel 2. Pemetaan studi inti pada kajian

Studi	Fokus	Aspek kinerja struktur	Aspek manajemen proyek
Pohoryles et al. (2022)	Retrofit gempa energi terintegrasi	Efektivitas struktural, invasiveness, dan reduksi kerentanan	Cost effectiveness, building use disruption, dampak lingkungan
Penazzato et al. (2024)	Integrasi retrofit gempa energi dan material berkelanjutan	Kesesuaian solusi dan performa seismik	Embodied carbon, efisiensi, peluang implementasi
Cascone et al. (2024)	BIM untuk revitalisasi dan manajemen bangunan	Integrasi model arsitektural, struktural, dan MEP	Koordinasi desain, skenario revitalisasi, otomasi pengelolaan
Pamboris et al. (2024)	Retrofit energi dan peningkatan seismik secara simultan	Peningkatan ketahanan gempa bangunan eksisting	Biaya siklus hidup, emisi karbon, nilai investasi
Karaki & Hawileh (2025)	Retrofit terpadu untuk resiliensi dan keberlanjutan	Resiliensi struktural dan keselamatan	Keberlanjutan, lingkungan, pengambilan keputusan
Ghfar et al. (2025)	Seismic isolation untuk struktur eksisting	Reduksi respons gempa dan kerusakan nonstruktural	Biaya, keahlian khusus, waktu pemulihan, hambatan adopsi
Almeida et al. (2025)	Insentif finansial retrofit energi gempa	Peningkatan keselamatan bangunan beton bertulang	Skema insentif dan kelayakan investasi
Sharbat & Schneider Marin (2025)	Cost benefit analysis retrofit berkelanjutan	Manfaat keselamatan dan performa bangunan	NPV, payback period, uncertainty, manfaat non moneter
Jo & Wang (2025)	Kerangka indikator retrofit berkelanjutan	Kinerja teknis sebagai salah satu domain	Indikator keputusan bagi pemilik dan pengelola proyek
Ahmed & Tanoli (2025)	Performance based seismic retrofit	Risk, resilience, vulnerability, drift	Prioritas investasi dan keputusan intervensi
Nascimbene et al. (2025)	Rumah sakit dengan dissipative bracing	Kekakuan, damping, safety index	Keberfungsian fasilitas kritis dan asesmen global

Klasifikasi Strategi Retrofit Struktur

Hasil sintesis menunjukkan bahwa strategi retrofit gedung eksisting dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama: perkuatan lokal, perkuatan global, sistem kontrol respons, dan retrofit terintegrasi. Perkuatan lokal merupakan intervensi pada elemen tertentu yang mengalami defisiensi kapasitas, seperti kolom, balok, sambungan, dinding, atau fondasi. Contohnya meliputi concrete jacketing, steel jacketing, FRP wrapping, enlargement section, injeksi retak, penambahan tulangan eksternal, dan perbaikan detailing. Strategi ini relatif mudah diterapkan pada elemen sasaran, tetapi harus dikontrol agar tidak menimbulkan ketidakseimbangan kekakuan atau mekanisme keruntuhan baru.

Perkuatan global adalah intervensi yang mengubah perilaku sistem struktur secara keseluruhan. Metode ini mencakup penambahan dinding geser beton bertulang, bracing baja, sistem rangka tambahan, outrigger, diafragma, atau transfer elemen. Strategi global umumnya dipilih ketika bangunan memiliki defisiensi kapasitas lateral, soft story, weak story, ketidakaturan massa/kekakuan, atau simpangan antar tingkat yang besar. Keunggulannya terletak pada kemampuan memperbaiki perilaku

sistem, tetapi konsekuensinya lebih kompleks karena dapat memengaruhi ruang arsitektural, utilitas, fondasi, jalur evakuasi, dan operasional bangunan.

Sistem kontrol respons, seperti base isolation, mid story isolation, damper, dan energy dissipation devices, bekerja dengan mengurangi respons dinamik atau meningkatkan disipasi energi. Metode ini sangat potensial untuk bangunan penting yang harus tetap berfungsi pascagempa, seperti rumah sakit, pusat layanan publik, dan bangunan strategis. Namun, penerapannya pada gedung eksisting membutuhkan keahlian khusus, perangkat khusus, pekerjaan temporary support, modifikasi fondasi, seismic gap, dan penyesuaian utilitas. Karena itu, metode ini unggul secara performa tetapi menuntut kemampuan manajemen proyek yang tinggi.

Kelompok terakhir adalah retrofit terintegrasi, yaitu pendekatan yang menggabungkan peningkatan kinerja struktur dengan peningkatan energi, kenyamanan, fungsi ruang, keselamatan kebakaran, dan keberlanjutan. Pendekatan ini semakin banyak dibahas karena investasi retrofit dapat menghasilkan manfaat ganda: peningkatan keselamatan dan pengurangan biaya operasional. Dalam konteks gedung publik dan pendidikan, strategi ini menarik karena retrofit dapat diposisikan sebagai program pembaruan aset, bukan hanya pekerjaan perbaikan struktur.

Tabel 3. Perbandingan strategi retrofit dari aspek kinerja struktur dan kelayakan proyek

Strategi	Dampak kinerja struktur	Konsekuensi manajemen proyek
Concrete jacketing	Meningkatkan kapasitas aksial, lentur, geser, dan daktilitas elemen; menambah kekakuan lokal.	Membutuhkan pembongkaran selimut beton, roughening, penulangan tambahan, bekisting, curing, dan kontrol sambungan beton lama baru.
Steel jacketing	Meningkatkan confinement, kapasitas geser, dan daktilitas; relatif cepat untuk elemen tertentu.	Memerlukan fabrikasi presisi, sambungan baut/las, proteksi korosi, dan akses kerja yang memadai.
FRP/FRCM wrapping	Meningkatkan confinement dan kapasitas geser dengan bobot ringan; cocok untuk intervensi cepat.	Memerlukan persiapan permukaan, kontrol kelembaban, tenaga terampil, dan proteksi terhadap api atau paparan UV.
Dinding geser tambahan	Meningkatkan kapasitas dan kekakuan lateral; menurunkan drift; memperbaiki stabilitas global.	Invasif, dapat mengganggu fungsi ruang, membutuhkan fondasi tambahan, pekerjaan basah, dan koordinasi arsitektur MEP.
Bracing baja/dissipative bracing	Menambah jalur gaya lateral, kekakuan, dan disipasi energi; dapat dipasang lebih cepat daripada elemen beton.	Memerlukan fabrikasi baja, sambungan ke struktur eksisting, evaluasi fondasi, dan pengaturan ruang/akses.
Base/mid story isolation	Mengurangi respons gempa, gaya inersia, dan kerusakan nonstruktural; baik untuk gedung penting.	Biaya tinggi, memerlukan temporary support, jacking, pemotongan elemen, seismic gap, modifikasi utilitas, dan keahlian khusus.
Retrofit terintegrasi gempa energi	Meningkatkan kinerja struktur sekaligus performa energi/kenyamanan bangunan.	Memerlukan koordinasi lintas disiplin, analisis siklus hidup, dan perencanaan tahapan pekerjaan agar manfaat ganda tercapai.

Faktor Manajemen Proyek dalam Implementasi Retrofit

Faktor manajemen proyek merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari keputusan retrofit. Pada tahap awal, akurasi data bangunan menjadi kunci. Gambar as built yang tidak lengkap, mutu material aktual yang berbeda dari asumsi, lokasi tulangan yang tidak sesuai gambar, kapasitas fondasi yang tidak diketahui, serta utilitas tersembunyi dapat menimbulkan perubahan desain dan pembengkakan biaya. Oleh sebab itu, survei visual, uji material, hammer test, core test, scanning tulangan, pemetaan kerusakan, investigasi fondasi, dan verifikasi geometri perlu ditempatkan sebagai paket kerja kritis sebelum desain final.

Dari sisi biaya, proyek retrofit harus memasukkan biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung mencakup material, tenaga kerja, alat, pembongkaran, temporary support, pengujian, perlindungan area kerja, dan pekerjaan perkuatan. Biaya tidak langsung mencakup relokasi pengguna, gangguan operasi, kehilangan pendapatan, perizinan, redesain, klaim, dan contingency. Literatur cost benefit analysis menunjukkan bahwa retrofit perlu dinilai berdasarkan pengurangan kerugian akibat gempa, penurunan downtime, dan manfaat jangka panjang, bukan hanya biaya konstruksi awal (Fung et al., 2021; Zhang et al., 2024; Sharbat & Schneider Marin, 2025).

Dari sisi jadwal, pekerjaan retrofit sering membutuhkan tahapan agar bangunan tetap dapat digunakan. Pada gedung pendidikan, pekerjaan dapat dijadwalkan saat libur semester atau dibagi per zona. Pada rumah sakit, kantor layanan publik, dan fasilitas strategis, pekerjaan harus menjaga layanan kritis sehingga diperlukan pengendalian kebisingan, debu, getaran, jalur evakuasi, akses sementara, dan keselamatan pengguna. Dengan demikian, durasi pekerjaan tidak hanya berarti lamanya aktivitas konstruksi, tetapi juga tingkat gangguan terhadap fungsi utama bangunan.

Dari sisi risiko, proyek retrofit harus mengelola risiko teknis, finansial, keselamatan, lingkungan, sosial, dan kontraktual. Risiko teknis mencakup ketidakpastian mutu material, perubahan jalur beban, kapasitas fondasi, dan interaksi elemen lama baru. Risiko keselamatan mencakup kegagalan sementara saat pembongkaran, jatuhnya material, ketidakstabilan elemen, dan paparan pengguna bangunan terhadap area kerja. Risiko kontraktual muncul ketika lingkup pekerjaan berubah akibat temuan lapangan.

Tabel 4. Faktor manajemen proyek retrofit dan indikator pengendalian

Faktor	Pertanyaan pengendali	Indikator praktis
Survei awal	Apakah kondisi aktual struktur telah diverifikasi?	As built check, core test, hammer test, scanning tulangan, investigasi fondasi, pemetaan kerusakan.
Lingkup pekerjaan	Apakah target kinerja dan batas intervensi jelas?	WBS retrofit, gambar kerja, spesifikasi teknis, metode pelaksanaan, matriks tanggung jawab.
Biaya	Apakah estimasi mencakup biaya langsung dan tidak langsung?	RAB, contingency, biaya relokasi, biaya pengujian, biaya gangguan operasi, lifecycle cost.
Jadwal	Apakah pekerjaan dapat dilakukan tanpa menghentikan fungsi utama?	Tahapan, work window, kurva S, milestone, jadwal shutdown parsial, rencana akselerasi.
Constructability	Apakah metode perkuatan dapat dikerjakan pada ruang dan akses yang tersedia?	Akses alat, ruang kerja, sequence konstruksi, temporary support, clash utilitas, mock up.
Keselamatan	Apakah risiko pekerjaan pada struktur eksisting sudah dikendalikan?	JSA, HIRADC, izin kerja, proteksi area, monitoring deformasi, emergency plan.
Stakeholder	Apakah pengguna bangunan memahami dampak pekerjaan?	Rencana komunikasi, notifikasi gangguan, jalur evakuasi, persetujuan penghuni/pengelola.

Peran BIM, Digitalisasi, dan Pendekatan Multi Kriteria

Kompleksitas retrofit membuat kebutuhan terhadap perangkat digital semakin penting. BIM dapat membantu mengintegrasikan model arsitektur, struktur, dan MEP sehingga potensi konflik antar elemen dapat diidentifikasi sejak tahap desain. Pada proyek retrofit, BIM juga dapat mendukung visualisasi zona intervensi, estimasi kuantitas, clash detection, dokumentasi kondisi eksisting, simulasi tahapan kerja, dan integrasi jadwal biaya melalui BIM 4D/5D. Dengan demikian, BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai platform koordinasi keputusan teknis dan manajerial (Cascone et al., 2024).

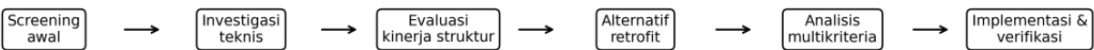
Pendekatan multi kriteria juga relevan karena keputusan retrofit jarang memiliki satu indikator tunggal. Pemilik bangunan perlu menyeimbangkan pencapaian target struktur, biaya investasi, durasi pekerjaan, gangguan operasional, risiko keselamatan, keberlanjutan, ketersediaan tenaga ahli, serta kemudahan pemeliharaan. Kerangka indikator sebagaimana dikembangkan oleh Jo dan Wang (2025) menunjukkan bahwa retrofit berkelanjutan memerlukan penggabungan indikator teknis, lingkungan, ekonomi, dan sosial. Dalam konteks penelitian lanjutan, bobot indikator dapat divalidasi melalui Delphi, AHP, ANP, TOPSIS, atau kombinasi metode multi criteria decision making lainnya.

Kerangka Keputusan

Berdasarkan literatur, artikel ini mengusulkan kerangka keputusan terintegrasi yang menempatkan retrofit sebagai proses berlapis. Lapis pertama adalah diagnosis bangunan, yang mencakup identifikasi fungsi, umur, sistem struktur, tingkat kepentingan, riwayat kerusakan, perubahan fungsi, kondisi material, dan keterbatasan operasional. Lapis kedua adalah pengembangan alternatif retrofit yang mempertimbangkan peningkatan kinerja struktur, tingkat invasiveness, akses konstruksi, kebutuhan prefabrikasi, dan potensi bangunan tetap beroperasi selama pekerjaan.

Lapis ketiga adalah evaluasi multi kriteria, yang memadukan indikator kinerja struktur, biaya, jadwal, gangguan operasional, risiko keselamatan, dampak lingkungan, dan dukungan regulatif. Lapis keempat adalah tata kelola implementasi, yang mencakup metode pelaksanaan, koordinasi pemangku kepentingan, pengendalian mutu, komunikasi dengan pengguna bangunan, monitoring deformasi, dan verifikasi pascaretrofit. Dengan kerangka ini, retrofit yang baik tidak didefinisikan sebagai alternatif dengan kapasitas struktur tertinggi semata, melainkan alternatif yang mampu mencapai peningkatan performa yang memadai melalui intervensi yang aman, ekonomis, dapat dibangun, dan minim gangguan.

Kerangka tersebut relevan untuk konteks Indonesia karena banyak gedung eksisting memiliki keterbatasan data, keterbatasan anggaran, serta fungsi publik yang tidak mudah dihentikan. Bangunan pendidikan, rumah sakit, kantor pemerintah, hotel, dan gedung komersial lama di wilayah rawan gempa dapat diprioritaskan berdasarkan fungsi, kepadatan pengguna, konsekuensi kegagalan, dan kondisi struktur. Strategi retrofit bertahap juga dapat menjadi pilihan realistis ketika anggaran terbatas, sepanjang prioritas teknis dan target kinerja disusun secara jelas.



Gambar 1. Kerangka konseptual tahapan retrofit gedung eksisting

Tabel 5. Matriks keputusan awal untuk memilih alternatif retrofit



Kriteria	Bobot awal	Contoh indikator penilaian
Pencapaian target kinerja struktur	25%	Kemampuan mencapai IO/LS/CP, reduksi drift, peningkatan daktilitas, stabilitas global.
Pengurangan risiko dan downtime	15%	Penurunan potensi kerugian, waktu pemulihan fungsi, perlindungan komponen nonstruktural.
Constructability	15%	Kemudahan akses, kebutuhan pembongkaran, kompleksitas metode kerja, kebutuhan temporary support.
Biaya dan nilai investasi	15%	Biaya langsung, biaya tidak langsung, lifecycle cost, benefit cost ratio, payback period.
Jadwal dan gangguan operasi	10%	Durasi pekerjaan, kebutuhan shutdown, potensi relokasi, fleksibilitas phasing.
Risiko keselamatan dan mutu	10%	Risiko pekerjaan, kontrol mutu sambungan lama baru, pengujian material, monitoring pelaksanaan.
Kesesuaian regulasi dan pemeliharaan	10%	Kesesuaian SNI/ASCE, kemudahan inspeksi, kebutuhan pemeliharaan perangkat khusus.

Hal Penting Sebelum Pelaksanaan dan Penelitian Lanjutan

Hal pertama bagi pelaksanaan retrofit adalah perlunya asesmen awal yang lebih serius. Perencana tidak cukup hanya menggunakan gambar lama, tetapi perlu memverifikasi geometri, mutu material, detail tulangan, kondisi fondasi, dan kerusakan aktual. Data awal yang baik akan mengurangi ketidakpastian desain, menekan potensi redesign, dan memperkecil perubahan pekerjaan saat konstruksi.

Hal kedua adalah pentingnya koordinasi lintas disiplin sejak tahap konseptual. Retrofit struktur hampir selalu bersinggungan dengan arsitektur, MEP, keselamatan penghuni, estetika, fungsi ruang, dan operasional bangunan. Penambahan dinding geser, bracing, atau jaket kolom dapat mengubah bukaan, jalur evakuasi, utilitas, dan penggunaan ruang. Karena itu, pemilihan alternatif retrofit perlu melibatkan pemilik, konsultan struktur, arsitek, konsultan MEP, kontraktor, quantity surveyor, dan pengguna utama bangunan.

Untuk penelitian lanjutan, diperlukan studi empiris di Indonesia yang membandingkan beberapa alternatif retrofit pada gedung nyata dengan indikator struktur dan manajemen proyek secara bersamaan. Banyak penelitian masih berfokus pada analisis struktur, sedangkan data biaya, jadwal, risiko, dan dampak operasional belum banyak dilaporkan secara sistematis.

KESIMPULAN

Scoping review ini menunjukkan bahwa strategi retrofit gedung eksisting perlu dipilih melalui integrasi antara kinerja struktur dan kelayakan proyek. Dari aspek kinerja struktur, strategi retrofit harus mampu memenuhi target kinerja yang ditetapkan, memperbaiki defisiensi utama, meningkatkan kapasitas lateral, kekakuan, dan daktilitas, mengendalikan simpangan antar tingkat, serta mengurangi risiko kerusakan struktural dan nonstruktural. Strategi yang paling dominan dalam literatur meliputi perkuatan lokal, perkuatan global, sistem kontrol respons, serta retrofit terintegrasi yang menggabungkan aspek seismik, energi, dan keberlanjutan.

Dari aspek manajemen proyek, keberhasilan retrofit dipengaruhi oleh kualitas survei awal, kejelasan lingkup pekerjaan, akurasi estimasi biaya, pengendalian jadwal, constructability, keselamatan kerja, pengadaan material khusus, komunikasi pemangku kepentingan, dan kemampuan mengelola ketidakpastian lapangan. Proyek retrofit memiliki karakter berbeda dari konstruksi baru karena pekerjaan dilakukan pada bangunan yang telah berdiri, sering kali tetap beroperasi, dan memiliki kondisi aktual yang tidak selalu terdokumentasi dengan baik.

Artikel ini menawarkan kerangka keputusan terintegrasi yang menempatkan target kinerja struktur dan kelayakan proyek sebagai dasar pemilihan strategi retrofit. Kerangka tersebut dapat digunakan untuk menyusun studi kasus, instrumen penilaian retrofit, atau model prioritas penanganan gedung eksisting. Untuk konteks Indonesia, penerapan SNI 9273:2025, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019 perlu dikombinasikan dengan pendekatan manajemen proyek yang kuat agar program retrofit tidak hanya benar secara teknis, tetapi juga layak, aman, ekonomis, dan dapat diterima oleh pengguna bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, H. A., & Tanoli, W. A. (2025). Seismic retrofitting of RC buildings using a performance based approach for risk resilience and vulnerability assessment. *Buildings*, 15(8), 1333. <https://doi.org/10.3390/buildings15081333>
- Almeida, R., Rodrigues, H., Gomes, M. G., & Furtado, A. (2025). Financial incentives for energy and seismic retrofitting of reinforced concrete buildings: A review of an integrated approach. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(8), Article 329. <https://doi.org/10.1007/s41062-025-02123-6>

- American Society of Civil Engineers. (2023). ASCE/SEI 41 23: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2025). SNI 9273:2025: Evaluasi dan rehabilitasi seismik untuk bangunan gedung eksisting (ASCE/SEI 41 17, MOD). BSN.
- Cascone, S., Parisi, G., & Caponetto, R. (2024). BIM based strategies for the revitalization and automated management of buildings: A case study. *Sustainability*, 16(16), 6720. <https://doi.org/10.3390/su16166720>
- Dabous, S. A., & Hosny, F. (2025). A review of building envelope retrofitting methods for improving energy efficiency, aesthetic, and indoor environmental quality. *Energy Nexus*, 18, 100407. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100407>
- Federal Emergency Management Agency. (2025). Guidelines for post earthquake repair and retrofit of buildings based on assessment of performance critical damage. FEMA.
- Ferraioli, M., Lavino, A., Moliterno, C., & Di Lauro, G. (2021). Seismic retrofit of an existing reinforced concrete building with buckling restrained braces. *The Open Civil Engineering Journal*, 15, 203-225. <https://doi.org/10.2174/1874149502115010203>
- Fung, J. F., Sattar, S., & Butry, D. T. (2021). The total costs of seismic retrofits: State of the art. *Earthquake Spectra*, 37(3), 2139-2167.
- Ghafari, W. A., Zhong, T., Lai, Z., Zhang, P., Yang, Y., & Hasan, M. M. (2025). Seismic isolation for existing structures: A review of retrofitting techniques, case studies, and trends. *Discover Civil Engineering*, 2, Article 137. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00300-1>
- ISO. (2020). ISO 21502:2020: Project, programme and portfolio management: Guidance on project management. International Organization for Standardization.
- Jo, K., & Wang, S. (2025). Development of an indicator based framework for a sustainable building retrofit. *Buildings*, 15(17), 3191. <https://doi.org/10.3390/buildings15173191>
- Karaki, G., & Hawileh, R. A. (2025). Integrated building retrofit for seismic resilience and environmental sustainability: A critical review. *Buildings*, 15(20), 3800. <https://doi.org/10.3390/buildings15203800>
- Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: Advancing the methodology. *Implementation Science*, 5, 69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- Nascimbene, R., Bianchi, F., Brunesi, E., & Bellotti, D. (2025). A global performance based seismic assessment of a retrofitted hospital building equipped with dissipative bracing systems. *Buildings*, 15(22), 4022. <https://doi.org/10.3390/buildings15224022>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pamboris, G., Chrysostomou, C. Z., Kalogirou, S. A., & Christodoulides, P. (2024). Integrated approach of retrofitting an existing residential building to a nearly zero energy building with simultaneous seismic upgrading. *Open Construction & Building Technology Journal*, 18, e18748368265332. <https://doi.org/10.2174/0118748368265332231220060905>
- Penazzato, L., Illampas, R., & Oliveira, D. V. (2024). The challenge of integrating seismic and energy retrofitting of buildings: An opportunity for sustainable materials? *Sustainability*, 16(8), 3465. <https://doi.org/10.3390/su16083465>
- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM Evidence Synthesis*, 18(10), 2119-2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Pohoryles, D. A., Bournas, D. A., Da Porto, F., Caprino, A., Santarsiero, G., & Triantafyllou, T. (2022). Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state of the art review. *Journal of Building Engineering*, 61, 105274. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105274>
- Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.). Project Management Institute.
- Sharbaf, S. A., & Schneider Marin, P. (2025). Cost benefit analysis of sustainable upgrades in existing buildings: A critical review. *Energy and Buildings*, 328, 115142. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115142>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., Lewin, S., Godfrey, C. M., Macdonald, M. T., Langlois, E. V., Soares Weiser, K., Moriarty, J., Clifford, T., Tunçalp, Ö., & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Zhang, Y., Fung, J., Cook, D., Johnson, K., & Sattar, S. (2024). Benefit cost analysis for earthquake resilient building design and retrofit: State of the art and future research needs. *Natural Hazards Review*, 25(3). <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG.1910>