Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

OPEN ACCESS

Volume 24, No. 97, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Studi Kelayakan Struktur Gedung 7 Lantai Berbasis Data *Non-Destructive Test* (NDT) Menggunakan Integrasi *Building Information Modeling* (BIM)

Edward Deluchi[#a], Ronny E. Pandaleke[#b] Banu D. Handono[#c]

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]edeluchi1717@gmail.com, [b]ronny_pandaleke@yahoo.com, [c]banu2h@unsrat.ac.id

Abstract

Evaluating the functional feasibility of existing structures is crucial to ensure public safety. This study aims to evaluate the seismic performance of a 7-story office building in Manado based on SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019 provisions, and to formulate retrofitting recommendations utilizing Building Information Modeling (BIM). Overcoming the drawbacks of assumptive modeling, the actual concrete compressive strength (fc' = 25 MPa) was established through calibrated field Non-Destructive Test (NDT) data. The physical geometry was modeled in Autodesk Revit and exported to Robot Structural Analysis Professional (RSAP) for dynamic response spectrum computations and capacity evaluations. Global performance analysis indicates adequate lateral stiffness: the mass participation ratio exceeds 90%, story drifts are within safe limits, and P-Delta effects are negligible. The consequences of four horizontal irregularities were successfully accommodated through design eccentricity amplification. However, the local performance evaluation of Special Moment Resisting Frame (SMRF) elements revealed significant vulnerabilities. Based on the Demand/Capacity Ratio (DCR) and minimum ductility requirements, 101 beams (39%) and 46 columns (34%) were classified as critical due to internal force capacity deficits, slenderness instability ($\delta > 1.40$), and inadequate longitudinal reinforcement ratios ($\rho g < 1\%$). To mitigate software interoperability limitations and reverse transfer errors, the retrofitting recommendations were reintegrated into the BIM model semi-manually. The utilization of custom parameters and view filters in Revit successfully converted complex matrix data into an interactive 3D color-coding representation map. This mapping precisely localized the application of Fiber Reinforced Polymer (FRP) and confining beams, demonstrating the effectiveness of BIM as a reliable spatial navigation instrument for existing building maintenance.

Keywords: structural evaluation, Non-Destructive Test, Building Information Modeling, Demand/Capacity Ratio, retrofitting

1. Pendahuluan

Bangunan gedung publik dituntut untuk selalu beroperasi secara fungsional dan andal guna menjamin keselamatan penggunanya, terutama di wilayah dengan risiko kegempaan yang tinggi (Kurniawan dkk., 2020). Pemeriksaan kelaikan fungsi menjadi prosedur mitigasi yang krusial untuk menghindari risiko kegagalan struktur akibat beban gempa maupun degradasi material seiring berjalannya waktu. Berdasarkan urgensi tersebut, Gedung Kantor Wilayah PT Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk bertingkat 7 lantai di Kota Manado yang telah beroperasi sejak tahun 1992 memerlukan perhatian dan evaluasi khusus. Mengingat usia layanan bangunan yang telah melampaui 30 tahun, material beton penyusunnya berpotensi besar mengalami penurunan mutu. Oleh karena itu, timbul pertanyaan mendasar mengenai sejauh mana kapasitas aktual struktur eksisting dalam menahan eksitasi beban gempa berdasarkan peraturan pembebanan terkini, serta pemetaan elemen mana saja yang saat ini berada dalam kondisi rentan atau kritis.

Pada umumnya, evaluasi kelaikan struktur eksisting hanya mengasumsikan mutu material yang seragam berdasarkan dokumen desain awal (*As-Built Drawing*). Pendekatan konvensional ini sering kali mengabaikan fakta lapangan bahwa laju penurunan mutu beton pada bangunan tua terjadi secara bervariasi di setiap elemennya. Untuk mendapatkan parameter material aktual yang representatif tanpa mengganggu aktivitas operasional gedung, penelitian ini mengimplementasikan pengujian forensik lapangan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Instrumen utama yang digunakan meliputi pengujian kekerasan permukaan melalui *Schmidt Hammer Test* dan pengukuran kecepatan rambat gelombang melalui *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) (Ali-Benyahia et al., 2023). Penggunaan metode NDT ini memungkinkan estimasi kuat tekan beton aktual secara komprehensif tanpa perlu mengeksekusi pengujian merusak (*destructive*) yang masif pada komponen bangunan.

Melalui pengolahan data kalibrasi NDT tersebut, nilai kuat tekan beton aktual akan ditetapkan sebagai basis data material di dalam pemodelan perangkat lunak. Evaluasi ini difokuskan pada kinerja Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dengan batasan tinjauan berpusat pada komponen struktural utama pembentuk rangka, yaitu elemen balok dan kolom. Analisis kapasitas gaya dalam dan kinerja seismik struktur dievaluasi secara ketat dengan merujuk pada pembaruan standar teknik nasional, yakni SNI 1726:2019 untuk pedoman ketahanan gempa dan SNI 2847:2019 untuk persyaratan beton struktural. Parameter utama yang dievaluasi mencakup kelayakan kinerja global struktur serta pengecekan rasio kebutuhan terhadap kapasitas (*Demand/Capacity Ratio*) pada tingkat penampang lokal.

Proses evaluasi kinerja terhadap ratusan komponen balok dan kolom dalam gedung bertingkat tinggi menghadirkan tantangan besar, khususnya terkait pelacakan spasial letak elemen kritis jika evaluasi tersebut hanya mengandalkan keluaran tabel numerik. Merespons celah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelaikan fungsional dan kinerja seismik struktur gedung secara holistik, sekaligus merumuskan rekomendasi perkuatan (*retrofitting*) yang tepat sasaran. Sebagai inovasi navigasi perkuatan, metodologi *Building Information Modeling* (BIM) diintegrasikan untuk memvisualisasikan data analisis kerentanan (DCR) ke dalam model terpusat. Melalui intervensi BIM, ratusan baris data numerik berhasil diekstraksi dan divisualisasikan menjadi representasi peta tiga dimensi (3D) interaktif berdasar kode warna, yang secara krusial memudahkan identifikasi spasial elemen untuk pelaksanaan konstruksi perkuatan di lapangan (Vilutiene et al., 2019; Cimellaro et al., 2019).

2. Metode

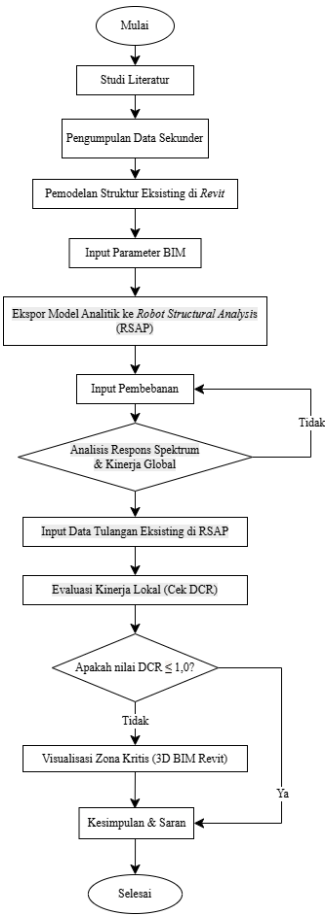
Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif yang bersifat evaluatif melalui pendekatan studi kasus pada Gedung Kantor Wilayah PT Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk bertingkat 7 lantai di Kota Manado.

2.1 Studi Literatur

Metode pengumpulan data awal bertumpu pada studi literatur dan penggunaan data sekunder teknis yang merepresentasikan rekam jejak bangunan aktual, khususnya dokumen *As-Built Drawing*. Selain itu, kajian literatur difokuskan pada regulasi pembebanan dan material terkini melalui Pedoman Standar Nasional, yaitu SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural), SNI 1726:2019 (ketahanan gempa), dan SNI 1727:2020 (beban desain minimum). Studi terdahulu mengenai metode evaluasi bangunan dan teknologi BIM juga dikaji sebagai landasan teoretis penelitian.

2.2 Pengujian Assessment

Untuk mendapatkan data mutu material aktual, dilakukan pengujian assessment forensik di lapangan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Instrumen NDT yang digunakan meliputi *Schmidt Hammer Test* untuk mengukur nilai kekerasan pantulan permukaan beton, dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) untuk mengukur kecepatan rambat gelombang ultrasonik. Pengujian ini diaplikasikan secara sampling pada elemen balok dan kolom utama penyusun SRPMK untuk mengestimasi kuat tekan beton aktual secara komprehensif tanpa merusak struktur bangunan.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Eksisting Gedung dan NDT

Fungsi bangunan yang ditinjau adalah kantor (Kategori Risiko II) dengan 7 lantai, memiliki tinggi total 30.4 meter. Bangunan berada di atas klasifikasi Tanah Sedang (SD) dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Evaluasi lapangan dilakukan dengan mengambil 45 titik sampel Hammer Test dan 36 titik sampel *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Hasil evaluasi menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kekerasan permukaan dan kepadatan inti beton. Nilai awal dari *Hammer Test* menunjukkan indikasi kuat tekan permukaan yang sangat tinggi, yakni rata-rata 39,38 MPa pada kolom dan 43,70 MPa pada balok dan pelat. Tingginya angka pantul ini merupakan dampak dari fenomena karbonasi seiring bertambahnya usia bangunan, yang mengeraskan selimut beton bagian luar namun tidak merepresentasikan kekuatan aktual di inti struktur.

Untuk mengoreksi indikasi semu tersebut, dilakukan kalibrasi menggunakan instrumen UPV yang mengukur kecepatan rambat gelombang melintasi penampang inti beton. Rincian hasil rambatan gelombang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Kecepatan Rambat Gelombang (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Komponen	Minimum (m/s)	Maksimum (m/s)	Rata-rata (m/s)
Kolom	2088 (Kurang)	4225 (Baik)	3261,11 (Cukup Baik)
Balok	2764 (Cukup)	4325 (Baik)	3386,13 (Cukup Baik)

Data kecepatan rambat gelombang tersebut kemudian dikonversikan menjadi estimasi nilai kuat tekan inti beton (fc'), sebagaimana direkapitulasi pada Tabel 2.

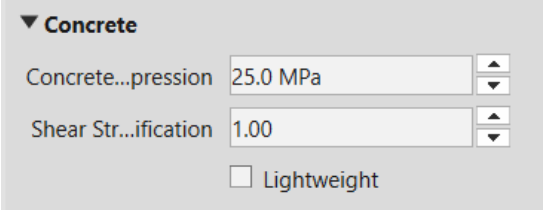
Tabel 2. Rekapitulasi Estimasi Kuat Tekan Berdasarkan Pengujian UPV

Komponen	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Rata-rata Seluruh Elemen (MPa)
Kolom	17,5	39,1	27,16
Balok	22,5	40,05	28,71

Berdasarkan korelasi akhir pengujian tersebut, kuat tekan karakteristik inti beton aktual (fc') ditetapkan secara konservatif dan merata sebesar 25 MPa sebagai baseline di dalam pemodelan perangkat lunak.

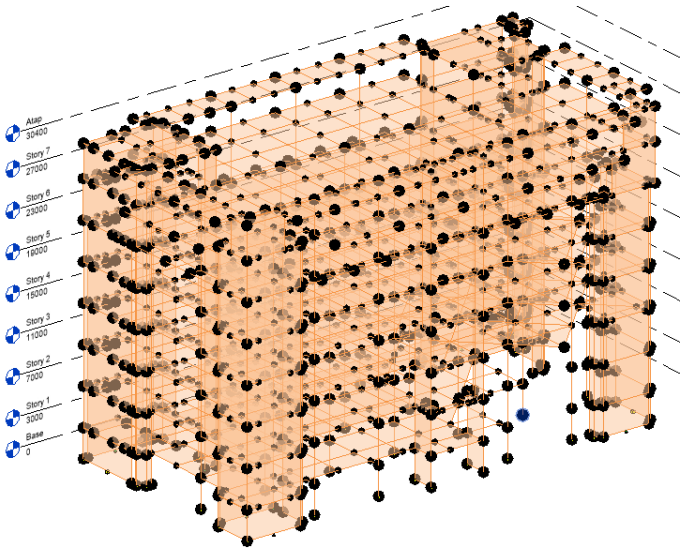
3.2 Pemodelan Struktur

Berdasarkan data kalibrasi pengujian NDT, tahapan analisis dieksekusi melalui pemodelan geometri fisik parametrik menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit*. Proses pemodelan fisik difokuskan secara langsung pada elemen struktur penahan beban gravitasi dan lateral utama, yang meliputi kolom, balok, pelat lantai, serta dinding geser (*shear wall*). Pendefinisian geometri bangunan dibangun secara parametrik agar presisi dengan data koordinat grid dan elevasi aktual struktur. Sebagai bentuk integrasi data pada tahapan ini, seluruh elemen tersebut didefinisikan menggunakan material beton bertulang dengan menyematkan parameter kuat tekan karakteristik (f_c') sebesar 25 MPa. Pendefinisian material aktual ini diikatkan ke dalam properti setiap elemen struktur sebagai representasi langsung dari hasil evaluasi data sekunder *Non-Destructive Test* (NDT).



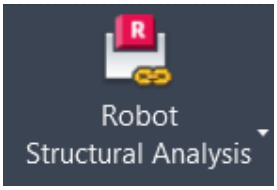
Gambar 2. Pendefinisian Properti Mekanis Beton NDT (25 MPa) pada BIM Revit

Setelah model fisik struktur terdefinisi secara utuh, digunakan fitur *Analytical Automation* di dalam *Revit* untuk membentuk model analitik yang akan merepresentasikan perilaku mekanis elemen.



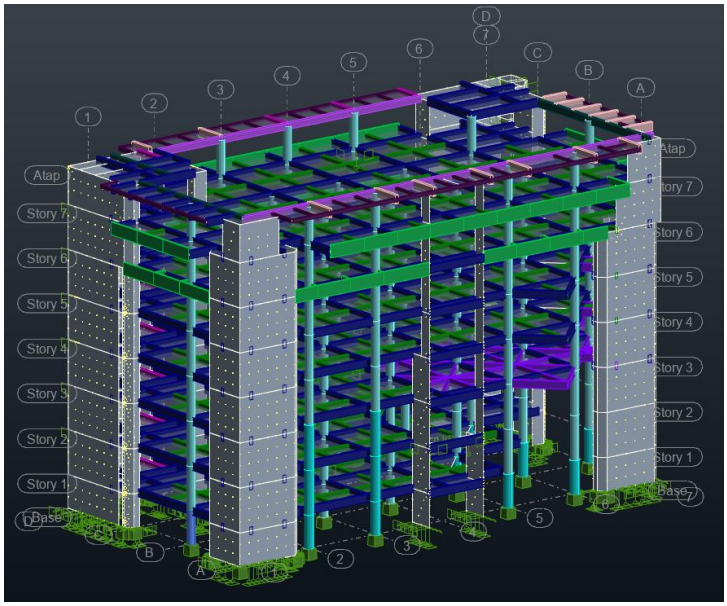
Gambar 3. Model Analitik (*Analytical Model*) Struktur Eksisting

Model digital tersebut kemudian diekspor ke perangkat lunak *Robot Structural Analysis Professional* (RSAP) menggunakan tautan interoperabilitas langsung guna mengeksekusi komputasi dinamik respons spektrum, mengevaluasi kinerja global, dan menghitung rasio kebutuhan terhadap kapasitas (DCR) pada elemen struktur.



Gambar 4. Fitur Integrasi Pemodelan BIM menuju *Robot Structural Analysis Professional*

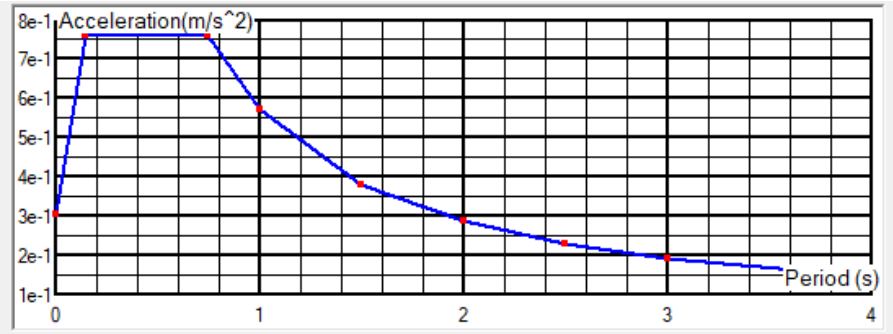
Penggunaan ekstensi tersebut memfasilitasi pertukaran data dua arah (*bi-directional interoperability*) yang memastikan stabilitas transfer informasi struktural. Seluruh properti model yang mencakup dimensi penampang, koordinat *node* analitik, kekakuan elemen, hingga parameter mutu material aktual eksisting (f_c' = 25 MPa) berhasil diekspor secara presisi ke dalam perangkat lunak RSAP tanpa mengalami reduksi data. Visualisasi hasil akhir transfer model tersebut di dalam antarmuka RSAP disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Struktur Eksisting pada RSAP

3.3 Kriteria Pembebanan

Kriteria pembebanan struktur diakumulasikan dari beban gravitasi dan beban seismik. Pembebanan gravitasi mengacu pada pedoman SNI 1727:2020. Sementara itu, beban gempa dieksekusi menggunakan analisis dinamik respons spektrum berdasarkan pedoman SNI 1726:2019. Mengingat lokasi gedung di Kota Manado dengan klasifikasi situs Tanah Sedang (SD), parameter desain seismik yang diinput meliputi Kategori Desain Seismik (KDS) D, perioda pendek (S_S) sebesar 1,0522 g, perioda 1 detik (S_1) sebesar 0,4694 g, Faktor Modifikasi Respons (R) = 6, Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5, serta Parameter Percepatan Spektral Desain (S_{DS}) sebesar 0.757 g dan (S_{D1}) sebesar 0.5729 g.



Gambar 6. Grafik Kurva Respons Spektrum Desain pada RSAP

3.4 Kinerja Global Bangunan

Analisis dinamik respons spektrum menunjukkan akumulasi rasio partisipasi massa ragam telah melampaui 90% (90.12% arah X; 91.98% arah Y) pada ragam ke-130. Pengecekan ketidakberaturan horizontal menunjukkan adanya empat tipe ketidakberaturan: Torsi (Tipe 1a dan 1b), Sudut Dalam (Tipe 2), Diskontinuitas Diafragma (Tipe 3), dan Sistem Nonparalel (Tipe 5). Seluruh konsekuensi dari ketidakberaturan ini telah diakomodasi melalui amplifikasi eksentrisitas desain (6.5% arah X dan 9.2% arah Y), pembebanan ortogonal (100% - 30%), serta penerapan diafragma rigid. Kontrol simpangan antar lantai inelastis berada jauh di bawah batas izin. Selain itu, pengecekan terhadap stabilitas struktur menunjukkan bahwa nilai koefisien stabilitas (θ) pada seluruh tingkat berada di bawah ambang batas maksimum, sehingga pengaruh efek P-Delta sangat kecil dan diizinkan untuk diabaikan dalam analisis lebih lanjut.

3.5 Kinerja Lokal dan Kapasitas Penampang

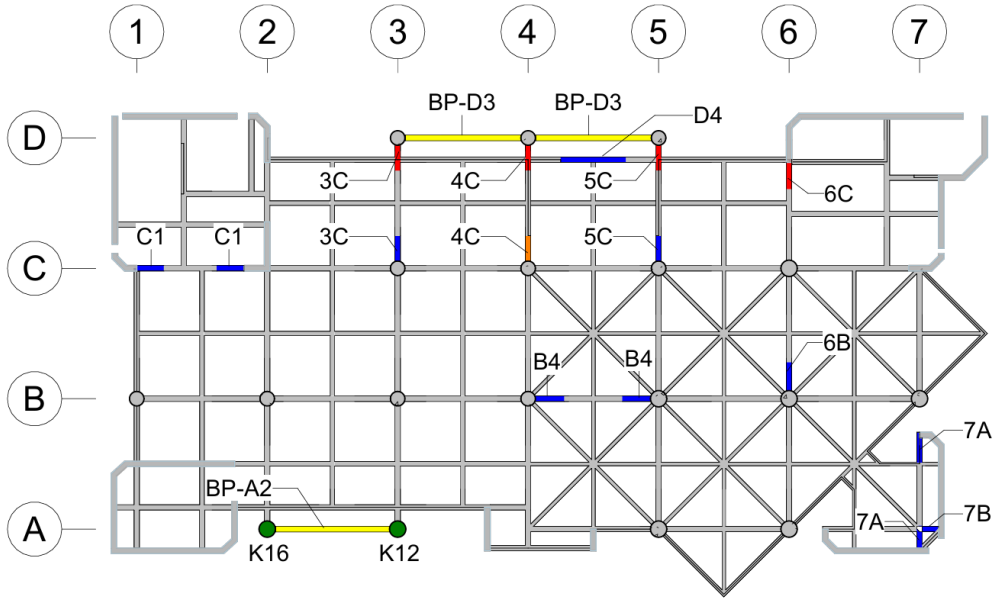
Evaluasi Demand/Capacity Ratio (DCR) menunjukkan kerentanan yang signifikan akibat beberapa permasalahan pada balok dan kolom yang ada.

Tabel 3. Rekapitulasi Evaluasi Kinerja Kritis Elemen SRPMK (Berdasarkan DCR)

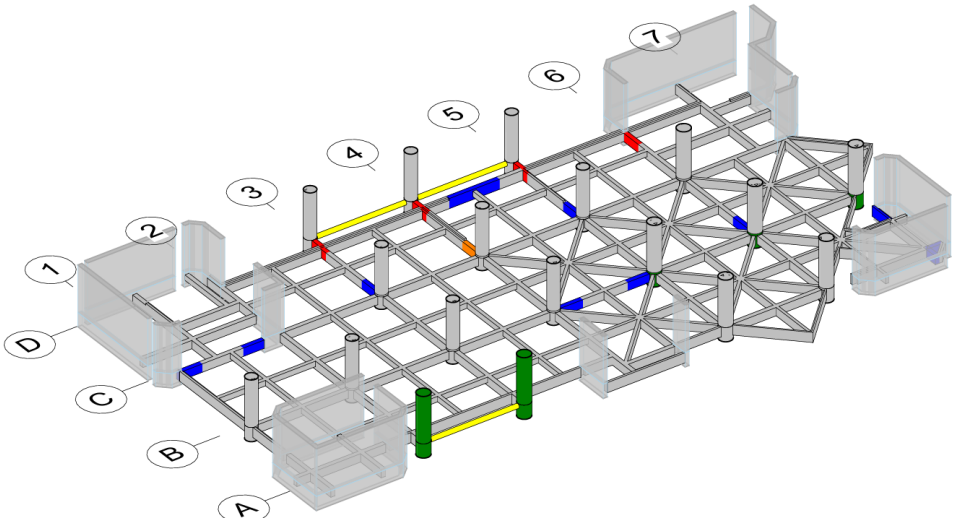
Tipe Elemen	Total Elemen	Jumlah Kritis	Persentase Kritis	Jenis Kegagalan Dominan
Balok Induk	258	101	39%	Defisit kuat lentur, kuat geser, & tulangan minimum
Kolom	135	46	34%	Defisit interaksi P-M & instabilitas kelangsingan ekstrem

3.6 Pemodelan Visualisasi Perkuatan BIM

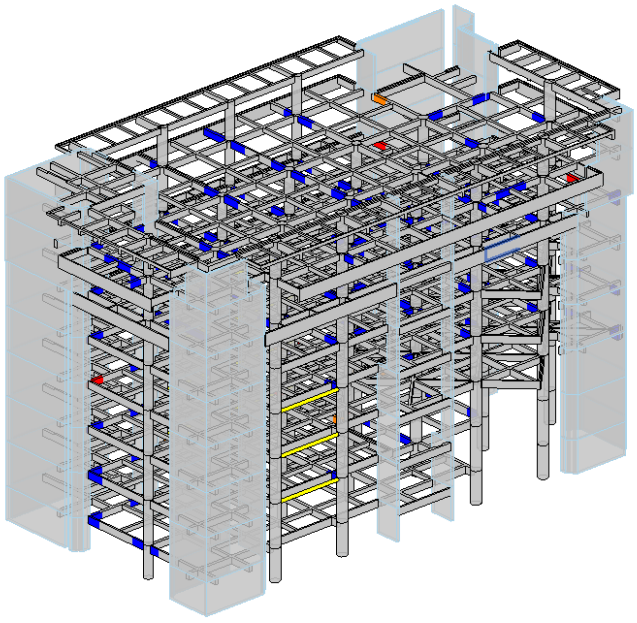
Untuk mengatasi kendala hilangnya informasi spasial pada keluaran tabel numerik RSAP, rekomendasi perkuatan diintegrasikan kembali ke dalam model BIM Revit secara semi-manual. Pendekatan ini memanfaatkan modifikasi parameter kustom (*Shared Parameters*) yang dikombinasikan dengan fitur *View Filters* untuk mengonversi nilai rasio DCR menjadi representasi visual. Model struktural berhasil ditransformasikan menjadi peta zona kritis representasi kode warna (*color-coding*) interaktif tiga dimensi. Visualisasi ini secara spesifik melokalisasi elemen yang membutuhkan intervensi, seperti penerapan *FRP Wrapping* (*confinement*) maupun penambahan balok pengekang horizontal pada kolom rentan, serta skema *Bottom-Bonded FRP* (untuk perkuatan lentur), *Side-Bonded FRP* (untuk perkuatan geser), dan *U-Wrap FRP* (untuk perkuatan geser dan lentur) pada balok kritis. Inovasi ini secara krusial berfungsi sebagai instrumen navigasi tata ruang yang akurat untuk memandu pelaksanaan konstruksi perkuatan di lapangan agar tepat sasaran. Sebagai representasi visual dari inovasi navigasi spasial tersebut, pemetaan spesifik untuk Lantai 3 dan seluruh struktur bangunan beserta legenda kode warna penempatan material perkuatan disajikan pada Gambar 7.


1
2
3
4
5
6
7
D
C
B
A
BP-D3
BP-D3
D4
3C
4C
5C
6C
C1
C1
3C
4C
5C
6B
B4
B4
7A
BP-A2
7A
7B
K16
K12

(a)


1
2
3
4
5
6
7
D
C
B
A

(b)



(c)



(d)

Gambar 7. (a) Denah Rekomendasi Perkuatan Lantai 3; (b) Visualisasi 3D Rekomendasi Perkuatan Lantai 3; (c) Visualisasi 3D Rekomendasi Perkuatan Seluruh Struktur; (d) kode warna penempatan material perkuatan

4. Kesimpulan

1. Kapasitas aktual elemen struktur utama yang dievaluasi menggunakan penetapan mutu beton konservatif fc' = 25 MPa hasil kalibrasi pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) menunjukkan tingkat kerentanan penampang yang tinggi. Defisit kuat tekan beton ini mengekspos ketidakcukupan daktilitas eksisting, memicu kegagalan kapasitas lentur, gaya geser, serta memunculkan instabilitas tekuk (*buckling*) pada elemen saat merespons kombinasi pembebanan ultimit.
2. Kinerja global struktur secara analitik terbukti memenuhi persyaratan beban gempa rencana SNI 1726:2019, ditandai dengan partisipasi massa ragam yang melampaui 90%, simpangan antar tingkat (*story drift*) dalam batas aman, serta efek P-Delta yang terabaikan. Sebaliknya, kinerja lokal elemen Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) tidak memenuhi syarat aman; teridentifikasi 101 balok (39%) dan 46 kolom (34%) berstatus kritis akibat defisit tegangan (Demand/Capacity Ratio > 1.0), rasio kelangsingan ekstrem ($\delta > 1.40$), maupun defisit tulangan daktilitas minimum ($\rho g < 1\%$).
3. Meskipun interoperabilitas balik (reverse transfer) data dari Robot Structural Analysis Professional (RSAP) menuju *Autodesk Revit* memiliki keterbatasan teknis, penerapan Building Information Modeling (BIM) tetap terbukti sangat efektif sebagai instrumen navigasi spasial. Melalui pendekatan semi-manual berbasis evaluasi Demand/Capacity Ratio (DCR), modifikasi parameter kustom dan filter visual pada Revit berhasil menyederhanakan rumitnya data evaluasi menjadi representasi kode warna (color-coding) 3D interaktif. Pemetaan ini secara akurat memvisualisasikan zonasi kegagalan spesifik sekaligus melokalisasi 176 rekomendasi perkuatan (seperti *Bottom/Side-Bonded* FRP, FRP *Wrapping*, dan Balok Pengekang).
4. Pemodelan dan temuan kerentanan elemen dalam penelitian ini murni merepresentasikan evaluasi struktur pada kondisi awal sebelum dilakukannya intervensi perkuatan (*unstrengthened*). Pada kondisi aktual di lapangan saat ini, keseluruhan elemen yang teridentifikasi kritis tersebut telah ditangani dan diperkuat secara struktural oleh pengelola gedung, sehingga bangunan dipastikan dalam kondisi laik fungsi dan sepenuhnya aman.

Referensi

ACI Committee 440. (2017). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-17)*. American Concrete Institute.

Ali-Benyahia, K., Kenai, S., Ghrici, M., Sbartaï, Z. M., & Elachachi, S. M. (2023). Analysis of the accuracy of in-situ concrete characteristic compressive strength assessment in real structures using destructive and non-destructive testing methods. *Construction and Building Materials*, 366.

Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya, SNI 2847:2019*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 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.

Cimellaro, G. P., Domaneschi, M., Villa, V., Zamani Noori, A., Pietropinto, M. V., Cardoni, A., & Marasco, S. (2019). Integrated BIM-based Framework for Actual and Post-earthquake Structural Assessment of Existing Buildings. *XVIII Convegno ANIDIS: L'ingegneria sismica in Italia*, Ascoli

Piceno.
Hadi, A. S., Abd, A. M., & Mahmood, M. (2021). Integrity of Revit with structural analysis softwares. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1076(1), 012119.
Sampaio, A. Z., & Gomes, A. M. (2021). BIM Interoperability Analyses in Structure Design. *CivilEng*, 2, 174-192.
Sampaio, A. Z., Sequeira, P., Gomes, A. M., & Sanchez-Lite, A. (2023). BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration. *Buildings*, 13(1), 1-20.
Vilutiene, T., Kalibatiene, D., Hosseini, M. R., Pellicer, E., & Zavadskas, E. K. (2019). Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the Literature. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1-19