

KAJIAN PERENCANAAN STRUKTUR BAJA GEDUNG 10 LANTAI DAN WORKFLOW BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TEKLA STRUCTURES

Oktavianus Chayadi¹, Samudra Sinulingga², Gilbert Esra Temanta Tarigan³, Edison
Hatoguan Manurung⁴

oktavianuschayadi@gmail.com¹, samudra.sinulingga@gmail.com²,
gilberttarigan1756@gmail.com³, edisonmanurung2010@yahoo.com⁴

Universitas Mpu Tantular

ABSTRAK

Sebagian besar penelitian perencanaan struktur baja gedung bertingkat membahas analisis dan desain elemen secara terpisah dari proses dokumentasi Building Information Modeling (BIM). Penelitian ini terdiri dari dua bagian dengan status metodologis berbeda: (1) perencanaan struktur baja gedung kantor 10 lantai seluas 875 m² per lantai dengan sistem Dual System (SRPMK+SCBF) menggunakan metode LRFD sesuai SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019, yang diuji secara komputasional terhadap ketentuan standar; dan (2) usulan kerangka konseptual integrasi hasil desain tersebut ke dalam workflow Building Information Modeling menggunakan Tekla Structures, yang bersifat preskriptif (usulan prosedur), bukan hasil eksekusi pemodelan langsung. Bagian pertama menghasilkan gaya geser dasar seismik 1.855 kN pada Kategori Desain Seismik D, dengan profil WF 400x200x8x13 untuk balok (DCR 0,64), H-400x400x13x21 untuk kolom (DCR 0,62), dan HSS 200x200x8 untuk bresing SCBF (DCR 0,63), serta estimasi total kebutuhan baja struktural 621,7 ton (71,1 kg/m²). Bagian kedua mengusulkan kerangka kerja yang menautkan profil dan kuantitas hasil desain langsung ke tahapan pemodelan BIM (setup grid, definisi material, pemodelan elemen dan sambungan, hingga output GA/Shop/Assembly Drawing dan Bill of Material) melalui mekanisme interoperabilitas IFC, sebagai usulan yang dapat diuji secara empiris pada penelitian lanjutan. Pemisahan eksplisit antara komponen yang diuji dan komponen yang diusulkan dimaksudkan untuk menjaga kejelasan metodologis dan menghindari klaim berlebihan atas bagian yang belum divalidasi.

Kata Kunci: Struktur Baja, Building Information Modeling, Tekla Structures, Kerangka Konseptual, Dual System.

ABSTRACT

Most studies on multi-storey steel structure design address structural analysis and element design separately from the Building Information Modeling (BIM) documentation process. This study consists of two parts with distinct methodological status: (1) the design of a 10-storey office building steel structure with an 875 m² floor area using a Dual System (SMRF+SCBF) and the LRFD method according to SNI 1729:2020 and SNI 1726:2019, which is computationally tested against code provisions; and (2) a proposed conceptual framework for integrating the design results into a Building Information Modeling workflow using Tekla Structures, which is prescriptive in nature (a proposed procedure), not the result of direct modeling execution. The first part yields a seismic base shear of 1,855 kN at Seismic Design Category D, with a WF 400x200x8x13 profile for beams (DCR 0.64), H-400x400x13x21 for columns (DCR 0.62), and HSS 200x200x8 for SCBF bracing (DCR 0.63), and an estimated total structural steel requirement of 621.7 tons (71.1 kg/m²). The second part proposes a framework linking the design profiles and quantities directly to BIM modeling stages through IFC interoperability, presented as a testable proposal for future empirical research. The explicit separation between the tested and proposed components is intended to preserve methodological clarity and avoid overstating the unvalidated part.

Keywords: Steel Structure, Building Information Modeling, Tekla Structures, Conceptual Framework, Dual System.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan pembangunan gedung bertingkat di kawasan perkotaan Indonesia mendorong kebutuhan sistem struktur yang efisien, aman terhadap beban gempa, dan cepat dalam proses perencanaan maupun konstruksi. Struktur baja menjadi salah satu pilihan utama pada bangunan bertingkat tinggi karena rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, kemudahan fabrikasi di luar lokasi, dan fleksibilitas desain arsitektural [1], [2].

Pada wilayah dengan risiko gempa signifikan, Dual System yang menggabungkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Sistem Bresing Konsentris Khusus (SCBF) direkomendasikan SNI 1726:2019 untuk Kategori Desain Seismik D, karena SRPMK memberikan daktilitas dan redundansi, sementara SCBF memberikan kekakuan lateral tambahan untuk mengontrol simpangan antar lantai [3], [6]. Studi perencanaan struktur baja gedung bertingkat serupa juga telah dilakukan pada konteks institusi yang sama, di antaranya perencanaan struktur baja gedung 7 lantai [16], yang menegaskan relevansi topik ini sebagai arah penelitian berkelanjutan di lingkungan Program Studi Teknik Sipil Universitas Mpu Tantular.

Di sisi lain, kompleksitas koordinasi antar disiplin pada proyek konstruksi modern mendorong adopsi Building Information Modeling (BIM), yang memungkinkan deteksi tabrakan antar elemen sejak tahap desain [4]. Tekla Structures secara khusus dikembangkan untuk pemodelan detail struktur baja karena kemampuannya menghasilkan model tiga dimensi presisi tinggi beserta dokumen kerja secara otomatis dari satu model terpadu [5], [9].

B. Kesenjangan Penelitian (Research Gap) dan Kebaruan

Studi terdahulu mengenai desain struktur baja tahan gempa sistem ganda umumnya berhenti pada tahap analisis dan desain elemen, tanpa membahas keterkaitannya dengan proses BIM [3], [10]. Sebaliknya, studi BIM pada umumnya membahas manfaat BIM secara umum atau studi kasus proyek dengan akses penuh perangkat lunak berlisensi [4], tanpa menautkan secara eksplisit parameter hasil desain ke tahapan teknis pemodelan detail. Berdasarkan literatur yang digunakan dalam penelitian ini, belum ditemukan pembahasan yang secara eksplisit menautkan hasil desain elemen struktur baja aktual ke tahapan prosedural workflow BIM secara terintegrasi; kesenjangan pada literatur yang ditelaah ini menjadi motivasi penelitian.

Kebaruan penelitian ini terletak pada usulan kerangka integrasi eksplisit antara hasil desain elemen struktur baja aktual (profil, DCR, dan kuantitas material) dengan tahapan prosedural workflow BIM, termasuk mekanisme interoperabilitas IFC sesuai ISO 16739-1:2018 [13]. Penelitian ini secara sengaja memisahkan bagian yang diuji secara komputasional (desain struktur, Bab III) dari bagian yang diusulkan secara konseptual (kerangka integrasi BIM, Bab IV), sebagai kontribusi metodologis bagi kalangan akademik yang menghadapi keterbatasan akses lisensi perangkat lunak BIM komersial.

C. Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Rumusan masalah penelitian: (1) bagaimana hasil perencanaan elemen struktur baja gedung kantor 10 lantai dengan sistem Dual System menggunakan metode LRFD; dan (2) bagaimana kerangka konseptual integrasi hasil desain tersebut ke dalam workflow BIM Tekla Structures dapat diusulkan secara sistematis. Tujuan penelitian: (1) merencanakan struktur baja gedung kantor 10 lantai sesuai SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019; dan (2) menyusun usulan kerangka konseptual integrasi hasil desain tersebut ke dalam tahapan workflow BIM Tekla Structures sebagai dasar pengujian empiris pada penelitian lanjutan.

METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui tahapan: (1) studi literatur dan pengumpulan data perencanaan; (2) penetapan kriteria desain dan parameter gempa; (3) analisis pembebanan gravitasi dan gempa; (4) desain elemen struktur dan sambungan (LRFD); (5) estimasi kuantitas material; dan (6) penyusunan usulan kerangka konseptual integrasi hasil desain ke workflow BIM Tekla Structures.

B. Data Perencanaan

Objek studi adalah gedung kantor 10 lantai sebagaimana dirangkum pada Tabel 1, dengan denah 25,00 m x 35,00 m (luas 875 m²/lantai), tinggi lantai dasar 4,50 m, tinggi lantai tipikal 4,00 m, dan tinggi total bangunan 40,50 m.

Tabel 1. Data Umum Proyek

Uraian	Keterangan
Fungsi Bangunan	Perkantoran
Lokasi	Kab. Tangerang, Banten
Jumlah Lantai	10 lantai
Sistem Struktur	Dual System (SRPMK+SCBF)
Metode Desain	LRFD
Target Model BIM	LOD 400

C. Spesifikasi Material

Tabel 2. Spesifikasi Material Struktural

Material	Parameter	Nilai
Baja BJ 41	Fy / Fu	250 / 410 MPa
Baja BJ 41	Modulus elastisitas E	200.000 MPa
Beton pelat lantai	Mutu f'c	30 MPa
Elektroda las	Jenis / Fu	E70XX / 490 MPa
Baut mutu tinggi	Tipe / diameter	A325 / 22 mm

D. Metode Analisis dan Desain Struktur (Komponen Komputasional)

Analisis beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen sesuai SNI 1726:2019, dengan parameter gempa Kelas Situs SD. Desain elemen struktur menggunakan metode LRFD sesuai SNI 1729:2020, mencakup kontrol lentur-geser balok, kontrol tekan aksial kolom (tekuk Euler-inelastis), kontrol tekan-tarik bresing SCBF ($KL/r \leq 200$), dan kontrol simpangan antar lantai menggunakan pendekatan kekakuan lateral tingkat. Desain sambungan mengacu pada SNI 1729:2020 Bab J dan AISC 358. Seluruh hasil pada komponen ini diuji langsung terhadap ketentuan kuantitatif standar (DCR, KL/r , Δ_a) sehingga bersifat komputasional dan dapat diverifikasi ulang.

E. Metode Penyusunan Kerangka Konseptual Integrasi BIM (Komponen Preskriptif)

Berbeda dengan Sub-bab D yang bersifat komputasional, penyusunan kerangka integrasi BIM pada penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual-preskriptif (conceptual-prescriptive), yaitu penyusunan usulan prosedur/kerangka kerja berdasarkan sintesis dokumentasi resmi Tekla Structures [5], standar ISO 19650-1:2018 [12], dan BIMForum LOD Specification 2023 [8], tanpa eksekusi langsung pada perangkat lunak. Pendekatan metodologis ini mengikuti preseden penelitian integrasi BIM-Tekla Structures pada proyek EPC oil & gas [17], yang juga menyusun model integrasi BIM konseptual melalui pendekatan literature review dan refleksi pengalaman praktisi tanpa eksekusi langsung, dalam kerangka Common Data Environment (CDE), ISO 19650, dan Level of Development (LOD) yang sama. Pendekatan ini lazim digunakan pada tahap awal pengembangan metodologi atau kerangka kerja (framework proposal) sebelum pengujian empiris dilakukan, dan hasilnya disajikan secara terpisah dari hasil komputasional pada Bab IV, agar pembaca dapat membedakan secara eksplisit klaim yang telah teruji dari usulan

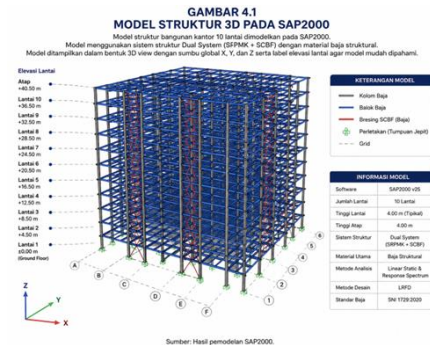
yang belum diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil yang diuji secara komputasional terhadap ketentuan kuantitatif SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019, mencakup analisis beban gempa, desain elemen, dan kontrol simpangan.

A. Konfigurasi Model Struktur

Struktur direncanakan dengan sistem Dual System (SRPMK+SCBF), grid 6x8 (bentang tipikal 5,00 m), sebagaimana diilustrasikan secara skematik pada Gambar 1 untuk memperjelas tata letak elemen.



Gambar 1. Skema Konseptual Konfigurasi Struktur 3D Gedung 10 Lantai

B. Parameter Gempa dan Gaya Geser Dasar

Berdasarkan Kelas Situs SD dan percepatan batuan dasar $S_s=0,680$ g, $S_1=0,290$ g, diperoleh $F_a=1,26$ dan $F_v=1,82$, sehingga $SDS=0,569$ g dan $SD1=0,352$ g, menempatkan struktur pada Kategori Desain Seismik D (Tabel 3).

Tabel 3. Parameter Gempa dan Gaya Geser Dasar

Parameter	Nilai
S_s / S_1	0,680 g / 0,290 g
$SDS / SD1$	0,569 g / 0,352 g
Kategori Desain Seismik	D
$R / Cd / \Omega_0$	7 / 5,5 / 2
Periode getar T_a	1,40 detik
C_s terpakai	0,0359
Berat seismik W	51.625 kN
Base shear V	1.855 kN

Base shear $V=1.855$ kN didistribusikan vertikal ($k=1,45$) sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi Gaya Lateral dan Geser Tingkat

Lantai	Elevasi(m)	$F_x(kN)$	V tingkat(kN)
Lantai 2	4,5	17,2	1.855
Lantai 3	8,5	43,1	1.838
Lantai 4	12,5	75,4	1.795
Lantai 5	16,5	112,8	1.720
Lantai 6	20,5	154,5	1.607
Lantai 7	24,5	200,1	1.452
Lantai 8	28,5	249,1	1.252
Lantai 9	32,5	301,3	1.003
Lantai 10	36,5	356,5	702
Atap	40,5	345,4	345

C. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan dihitung menggunakan kekakuan lateral tingkat berbasis kekakuan aksial elemen SCBF, $k \approx 228$ kN/mm, dibandingkan terhadap $\Delta a=80$ mm (Tabel 5).

Tabel 5. Kontrol Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Lantai	V(kN)	$\delta e(mm)$	$\delta x(mm)$	Status
Lantai 2	1.855	8,14	44,75	OK
Lantai 3	1.838	8,06	44,34	OK
Lantai 4	1.795	7,87	43,30	OK
Lantai 5	1.720	7,54	41,49	OK
Lantai 6	1.607	7,05	38,77	OK
Lantai 7	1.452	6,37	35,03	OK
Lantai 8	1.252	5,49	30,20	OK
Lantai 9	1.003	4,40	24,20	OK
Lantai 10	702	3,08	16,93	OK
Atap	345	1,51	8,32	OK

Seluruh tingkat memenuhi syarat simpangan izin, dengan simpangan desain terbesar 44,75 mm (55,9% dari Δa) pada tingkat dasar.

D. Desain Elemen dan Sambungan Struktur

Balok menerima $M_u=172,5$ kN.m, $V_u=138,0$ kN; WF 400x200x8x13 memberikan DCR lentur 0,64. Kolom interior menerima $P_u \approx 2.800$ kN; H-400x400x13x21 memberikan DCR 0,62. Bresing SCBF menerima $P_u \approx 594$ kN; HSS 200x200x8 memberikan DCR 0,63 ($KL/r=82,6 \leq 200$) [11]. Sambungan balok-kolom: las penuh sayap (E70XX)+baut A325 Ø22mm; sambungan bresing: 6 baut A325 Ø22mm (DCR 0,79).

Tabel 6. Rekapitulasi DCR Elemen Kritis

Elemen	Profil	DCR
Balok	WF 400x200x8x13	0,64
Kolom	H-400x400x13x21	0,62
Bresing SCBF	HSS 200x200x8	0,63
Sambungan bresing	6 baut A325 Ø22mm	0,79

E. Estimasi Kuantitas Material

Berdasarkan konfigurasi grid dan profil terpilih (Tabel 6), diperoleh estimasi kuantitas sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7. Estimasi Bill of Quantity Struktur Baja

Elemen	Jumlah	Volume(m ³)	Berat(ton)
Kolom	480 btg	42,5	333,7
Balok	820 btg	33,6	263,9
Bresing SCBF	80 btg	3,1	24,0
Total	1.380 btg	79,2	621,7

Intensitas baja hasil penelitian ini (71,1 kg/m²) dibandingkan terhadap rumus praktis (rule of thumb) intensitas baja gedung bertingkat dari SteelConstruction.info/The Steel Construction Institute [15], yaitu $W \approx (35 + 1,6n)$ kg/m² dengan n = jumlah lantai. Untuk $n=10$, diperoleh estimasi acuan 51,0 kg/m² untuk gedung baja bertingkat pada umumnya (tanpa mempertimbangkan beban gempa khusus). Hasil penelitian ini (71,1 kg/m²) berada 39,4% di atas acuan tersebut, yang secara teknis dapat dijelaskan oleh kontribusi elemen SCBF dan kolom yang diperbesar akibat Kategori Desain Seismik D, sebagaimana juga diindikasikan pada rentang 50-80 kg/m² untuk gedung baja bertingkat rendah-menengah dengan sistem penahan gempa menurut sumber yang sama [15]. Perbandingan ini bersifat pembandingan terhadap acuan praktis industri (rule of thumb), bukan terhadap studi kasus spesifik dengan kondisi struktural identik, mengingat keterbatasan ketersediaan data pembandingan pada literatur yang ditelaah.

F. Pembahasan Hasil Desain Struktur

Rasio DCR yang konsisten pada rentang 0,62-0,64 menunjukkan desain yang relatif efisien dengan cadangan kapasitas memadai, sejalan dengan rentang target utilisasi 0,6-0,85 yang lazim direkomendasikan pada praktik desain struktur baja tahan gempa [2], [9], [10].

Simpangan antar lantai desain terbesar (44,75 mm, 55,9% dari Δa) mengindikasikan kekakuan lateral Dual System memadai dengan margin keamanan terhadap batas izin. Perlu dicatat bahwa hasil DCR dan simpangan belum divalidasi silang terhadap hasil analisis dinamik response spectrum dari perangkat lunak elemen hingga (SAP2000/ETABS), sehingga validitas kuantitatifnya terbatas pada konsistensi internal terhadap ketentuan SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019.

Ringkasan status pengujian: seluruh hasil pada Bab III (Sub-bab A-F) merupakan komponen yang diuji secara komputasional terhadap ketentuan standar yang berlaku dan dapat diverifikasi ulang oleh pembaca menggunakan data pada Tabel 1-2. Komponen integrasi BIM disajikan terpisah pada Bab IV sebagai usulan konseptual yang belum diuji secara empiris.

USULAN KERANGKA KONSEPTUAL INTEGRASI DESAIN-BIM

Bagian ini menyajikan kerangka konseptual yang mengusulkan bagaimana hasil desain struktur pada Bab III dapat diintegrasikan ke dalam tahapan workflow Building Information Modeling (BIM) menggunakan Tekla Structures. Kerangka disusun berdasarkan sintesis dokumentasi resmi dan standar terkait, dan disajikan sebagai bab tersendiri agar posisinya sebagai usulan metodologis dapat dibedakan secara jelas dari hasil komputasional pada Bab III.

A. Dasar Penyusunan Kerangka

Kerangka disusun berdasarkan sintesis dokumentasi resmi Tekla Structures [5], standar pengelolaan informasi BIM ISO 19650-1:2018 [12], BIMForum LOD Specification 2023 [8], dan format interoperabilitas IFC sesuai ISO 16739-1:2018 [13]. Pendekatan penyusunan kerangka berbasis sintesis literatur ini juga diterapkan pada penelitian integrasi BIM Tekla Structures untuk koordinasi desain civil-structural pada proyek EPC oil & gas [17].

B. Usulan Pemetaan Data Desain ke Tahapan BIM

Kerangka menautkan setiap keluaran Bab III sebagai input tahapan pemodelan, sebagaimana Tabel 8, sehingga profil, material, dan kuantitas hasil desain dapat langsung diacu pada saat pemodelan dilakukan.

Tabel 8. Usulan Pemetaan Data Desain terhadap Tahapan BIM

Tahap	Kegiatan yang Diusulkan	Input dari Bab III
1	Setup grid & elevasi	Tabel 1
2	Definisi material & profil	Tabel 2, Tabel 6
3	Modeling elemen	Tabel 6 (profil terpilih)
4	Modeling sambungan	Sub-bab III.D
5	Generate GA/Shop/Assembly, BOM	Tabel 7 (estimasi kuantitas)

C. Usulan Mekanisme Interoperabilitas

Kerangka ini mengusulkan dua mekanisme interoperabilitas untuk implementasi lanjutan: (1) tautan langsung (direct link) antara SAP2000 dan Tekla Structures, dan (2) format terbuka IFC sesuai ISO 16739-1:2018 [13]. Pemilihan mekanisme yang tepat bergantung pada ketersediaan modul plugin pada versi perangkat lunak yang digunakan.

D. Posisi Kontribusi Penelitian

Penelitian ini menghasilkan dua jenis kontribusi yang saling melengkapi. Kontribusi pertama bersifat verifikatif: kepatuhan desain elemen struktur (balok, kolom, bresing, sambungan) dan kontrol simpangan terhadap ketentuan kuantitatif SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019, sebagaimana disajikan pada Bab III dengan angka DCR yang dapat diverifikasi ulang. Kontribusi kedua bersifat preskriptif: kerangka integrasi Bab IV ini, mencakup pemetaan data (Tabel 8) dan mekanisme interoperabilitas (Sub-bab C), yang berfungsi sebagai dasar bagi pengujian empiris pada penelitian lanjutan.

Pembedaan ini mengikuti praktik umum pada penelitian rekayasa yang membedakan antara studi verifikasi (verification study), yang menguji kepatuhan terhadap spesifikasi terukur, dan studi usulan kerangka kerja (framework proposal), yang menyajikan prosedur untuk diuji pada tahap berikutnya [4]. Kedua jenis kontribusi tersebut memiliki nilai akademis masing-masing dan saling melengkapi dalam membangun pemahaman yang utuh terhadap integrasi desain-BIM.

E. Keterbatasan Kerangka Konseptual

Kerangka pada Bab IV ini terbuka untuk pengujian lanjutan pada tiga aspek: eksekusi langsung pada perangkat lunak Tekla Structures untuk menghasilkan keluaran visual (model 3D, shop drawing, Bill of Material); verifikasi kompatibilitas mekanisme interoperabilitas (Sub-bab C) pada versi perangkat lunak spesifik; dan pengukuran metrik kuantitatif manfaat BIM seperti waktu pemodelan dan jumlah clash detection. Ketiga aspek ini menjadi rekomendasi utama penelitian lanjutan (Bab V).

KESIMPULAN

Struktur baja gedung kantor 10 lantai dengan sistem Dual System (SRPMK+SCBF) berhasil direncanakan sesuai metode LRFD (SNI 1729:2020) pada gaya geser dasar seismik 1.855 kN dan Kategori Desain Seismik D (SNI 1726:2019). Elemen kritis memenuhi syarat kekuatan dengan DCR 0,62-0,64, yaitu balok WF 400x200x8x13, kolom H-400x400x13x21, dan bresing HSS 200x200x8, dengan simpangan antar lantai maksimum 44,75 mm (55,9% dari batas izin) dan estimasi kebutuhan baja 621,7 ton (71,1 kg/m²).

Hasil desain tersebut diusulkan sebagai kerangka konseptual integrasi ke dalam workflow Building Information Modeling menggunakan Tekla Structures, mencakup pemetaan data desain ke tahapan pemodelan serta mekanisme interoperabilitas IFC. Kerangka ini bersifat prosedural dan belum diujicobakan secara langsung pada perangkat lunak.

Integrasi eksplisit antara hasil desain dan tahapan BIM ini berpotensi menjadi acuan bagi perencanaan gedung baja bertingkat lain dengan sistem struktur serupa, khususnya dalam mempercepat transisi dari hasil analisis ke dokumentasi kerja. Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) memperoleh data penyelidikan tanah aktual; (2) melakukan analisis dinamik response spectrum untuk validasi silang; dan (3) mengeksekusi kerangka BIM secara langsung menggunakan Tekla Structures Student Version.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Aminullah, E. H. Manurung, P. R. T. Naibaho, and L. O. Nelfia, Efisiensi Struktur dan Keputusan Material pada Konstruksi Modern. Yogyakarta: Deepublish, 2026.
- American Institute of Steel Construction (AISC), ANSI/AISC 341-22: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2022.
- American Institute of Steel Construction (AISC), ANSI/AISC 360-22: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2022.
- American Institute of Steel Construction (AISC), Steel Construction Manual, 16th ed. Chicago: AISC, 2023.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN, 2019.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN, 2020.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: BSN, 2020.
- BIMForum, Level of Development (LOD) Specification, 2023 Edition. Denver, CO: BIMForum, 2023.

- buildingSMART International, Industry Foundation Classes (IFC) Overview. London: buildingSMART International, edisi terbaru.
- C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018.
- C. G. Salmon, J. E. Johnson, and F. A. Malhas, *Steel Structures: Design and Behavior*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2009.
- E. H. Manurung and Sumadulloh, "Analisis Optimalisasi Integrasi BIM (Tekla Structures) untuk Desain Civil Structural dan Koordinasi pada Proyek EPC Oil & Gas," *SINERGI: Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 3, no. 1, pp. 437–450, 2026, doi: 10.62335/sinergi.v3i1.2294.
- International Organization for Standardization, *ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries*. Geneva: ISO, 2018.
- International Organization for Standardization, *ISO 19650-1:2018 Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including BIM*. Geneva: ISO, 2018.
- M. J. Samosir and E. H. Manurung, "Perencanaan Struktur Baja Gedung 7 Lantai," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 9, no. 5, pp. 51–60, 2025, doi: 10.2238/p7644q06.
- SteelConstruction.info / The Steel Construction Institute (SCI), "Rules of Thumb for Multi-Storey Buildings," steelconstruction.info, [Online]. Tersedia: <https://www.steelconstruction.info>. Diakses: 2026.
- Trimble Inc., *Tekla Structures User Assistance and Product Guide*. Helsinki: Trimble Solutions Corporation, edisi terbaru.
- W. T. Segui, *Steel Design*, 6th ed. Boston: Cengage Learning, 2018.