

Modifikasi Struktur Komposit Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang Menggunakan Tekla Structures dan ETABS

Mohammad Riandy Fahreza Tadjia

S1 Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya

E-mail: * moh.riandy.21042@mhs.unesa.ac.id

ABSTRAK

Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang merupakan bangunan struktur beton bertulang (3 lantai utama, 7 lantai basement, luas 6.753,05 m²) yang menghadapi keterbatasan lahan akibat urbanisasi. Struktur komposit baja-beton dipilih sebagai alternatif modifikasi karena menawarkan efisiensi berat struktur, penampang lebih ramping, dan kekakuan lantai lebih baik. Penelitian ini bertujuan menghitung dimensi elemen struktur baja dan menghasilkan gambar detail modifikasi menggunakan software Tekla Structures. Penelitian bersifat studi perencanaan, berlokasi di Jl. Telaga Bodas No. 1 Blok Z, Malang. Data sekunder (as-built drawing, data tanah) diperoleh dari PT. Archikon Wiratama melalui studi dokumentasi dan literatur SNI 1726:2019, SNI 1729:2020, SNI 2847:2019, serta SNI 1727:2020. Instrumen yang digunakan adalah Tekla Structures untuk pemodelan BIM 3D dan ETABS untuk analisis struktur. Analisis data mencakup preliminary design, pemodelan pembebanan gravitasi, angin, dan gempa menggunakan analisis second-order, kontrol desain lentur, geser, dan tekan sesuai SNI 1729:2020, hingga perencanaan sambungan. Hasil perencanaan menghasilkan pelat lantai 130 mm, pelat atap 120 mm, balok anak WF 300.150.6.5.9, balok bordes WF 250.125.6.9, balok induk WF 400.200.8.13 dan WF 350.175.7.11, serta kolom WF 588.300.12.20. Seluruh elemen telah dimodelkan 3D dan memenuhi persyaratan keamanan struktur sesuai SNI yang berlaku. Penelitian lanjutan disarankan mengkaji struktur bawah serta aspek ekonomi dan arsitektur.

Kata kunci

struktur komposit, baja-beton, BIM, Tekla Structures, ETABS

ABSTRACT

Bethany Yestoya Church in Malang originally consists of a reinforced concrete structure with three main floors and seven basement levels, covering a total area of 6,753.05 m². This study investigates modifying the existing structure into a steel-concrete composite system to improve structural performance and reduce weight while maintaining efficient member dimensions. The objectives were to determine structural steel member dimensions and produce detailed modification drawings using Tekla Structures. The study was conducted at Jl. Telaga Bodas No. 1 Blok Z, Malang, using secondary data including as-built drawings and soil investigation results from PT. Archikon Wiratama. Structural design was based on SNI 1726:2019, SNI 1729:2020, SNI 2847:2019, and SNI 1727:2020. ETABS was used for structural analysis, while Tekla Structures was used for three-dimensional modeling and detailing. The analysis included preliminary design, gravity, wind, and earthquake load modeling, followed by flexural, shear, and compression capacity checks and structural connection design. The final design comprised 130 mm floor slabs, 120 mm roof slabs, WF 300.150.6.5.9 secondary beams, WF 250.125.6.9 landing beams, WF 400.200.8.13 and WF 350.175.7.11 main beams, and WF 588.300.12.20 columns. All structural members satisfied the applicable SNI requirements. Further studies are recommended to evaluate substructure design, construction cost, and architectural aspects

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi meningkatkan kebutuhan ruang di kawasan perkotaan, sementara ketersediaan lahan yang terbatas menjadi salah satu kendala dalam pengembangan kawasan. Kondisi tersebut mendorong penerapan pembangunan secara vertikal seperti apartemen sebagai salah satu strategi untuk mengoptimalkan pemanfaatan lahan (Prasetya, Ho and Kubota, 2023).

Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah sistem struktur komposit baja-beton yang menggabungkan keunggulan material baja dan beton. Sistem tersebut relevan digunakan pada konstruksi yang membutuhkan kemampuan menahan beban tinggi dengan dimensi penampang yang relatif kecil. Selain itu, produksi elemen baja secara fabrikasi dan kemudahan pemasangannya dapat mendukung efisiensi serta mempercepat waktu konstruksi (Berger and Mylnikov, 2023).

Perkembangan teknologi *Building Information Modelling* (BIM) turut mendukung peningkatan efisiensi dalam proses perencanaan dan pendetailan struktur. *Tekla Structures* merupakan salah satu *software* berbasis BIM yang mendukung kegiatan pemodelan struktur secara terintegrasi (Suasira *et al.*, 2021), sehingga dapat digunakan dalam pemodelan dan pendetailan modifikasi struktur Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang. Sementara itu, ETABS dapat digunakan untuk melakukan analisis struktur, termasuk analisis beban gempa dan kombinasi pembebanan (Husein and Darwis, 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan BIM dalam perancangan struktur dapat membantu mempercepat proses desain, memvisualisasikan struktur, serta mengurangi potensi kesalahan akibat *human error* (Zulkifli, Sitompul and Kurniawandy, 2022). Penggunaan *Tekla Structures* juga dapat mendukung efisiensi proses perencanaan dan visualisasi struktur (Pramudya *et al.*, 2024). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada objek penelitian serta penggunaan *software* dalam setiap tahapan perencanaan. Penelitian ini menggunakan ETABS untuk melakukan analisis struktur, sedangkan *Tekla Structures* digunakan secara terpisah untuk pemodelan tiga dimensi, pendetailan, dan pembuatan shop drawing struktur hasil modifikasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memodifikasi struktur Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang menggunakan sistem komposit baja-beton. Analisis struktur dilakukan menggunakan ETABS, sedangkan pemodelan tiga dimensi dan pendetailan struktur dilakukan menggunakan *Tekla Structures*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi elemen struktur hasil modifikasi serta menghasilkan model tiga dimensi dan detail struktur yang sesuai dengan hasil perencanaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi perencanaan terhadap objek penelitian berupa Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Archikon Wiratama, meliputi gambar (*as-built drawing*) struktur eksisting Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang dan data tanah (*soil testing & research administration*) pada lokasi Jl. Telaga Bodas No. 1 Blok Z, Malang.

Metode perencanaan dalam penelitian ini diawali dengan *preliminary design* untuk menentukan dimensi awal elemen struktur, dilanjutkan dengan pemodelan pembebanan gravitasi, angin, dan gempa menggunakan analisis orde kedua (*second-order analysis*) yang memperhitungkan pengaruh *P-Delta* pada *software ETABS*. Hasil analisis struktur kemudian dikontrol terhadap simpangan antar lantai sesuai SNI 1726:2019, dilanjutkan kontrol desain terhadap kapasitas lentur, geser, dan tekan elemen sesuai SNI 1729:2020, termasuk perencanaan balok komposit dengan metode (LRFD). Tahap selanjutnya adalah perencanaan sambungan struktur, meliputi desain sambungan balok anak-balok induk, sambungan balok induk-kolom, sambungan kolom-kolom, base plate, angkur baut (*anchor rod*). Seluruh elemen struktur yang telah memenuhi syarat kekuatan kemudian dimodelkan dalam bentuk 3D menggunakan *software Tekla Structures* untuk menghasilkan gambar detail modifikasi struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Preliminary Design

Sistem pelat lantai pada bangunan ini direncanakan menggunakan pelat komposit steel deck, yang berfungsi sebagai tulangan positif sekaligus bekisting tetap. Perhitungan ketebalan pelat mengacu pada SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1. Hasil perhitungan Preliminary Design pelat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1: Hasil Preliminary Design Pelat

Nama	Tipe	Tebal
		mm
Pelat Lantai	(Composite deck slab)	130
Pelat Atap	(Composite deck slab)	120

Perencanaan awal dimensi balok komposit mengacu pada buku *steel designer manual* yang dilampirkan pada Persamaan (1).

$$h_{min} = \frac{L}{25} \quad (1)$$

Dimensi awal balok ditentukan berdasarkan rasio bentang terhadap tinggi balok. Untuk bentang balok sebesar L , tinggi awal balok ditentukan berdasarkan rasio $L/25$, kemudian dipilih profil baja terdekat yang memenuhi kebutuhan dimensi awal. Sehingga hasil perhitungan *preliminary design* balok disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Preliminary Design Balok

Tipe	Profil Balok	Luas Profil
		cm ²
B1	WF 400.200.8.13	96,9
B2	WF 300.150.6,5.9	46,78
B3	WF 350.175.7.11	63,14

Perencanaan awal dimensi kolom menurut (Annaba and Kabdiyono, 2025), ditentukan dari persamaan berikut.

$$A = \frac{P_u}{\phi F_y} \quad (2)$$

A adalah luas penampang baja yang dibutuhkan, P_u adalah gaya aksial terfaktor, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan (untuk kolom baja, $\phi = 0,9$), dan F_y adalah tegangan leleh baja (direncanakan BJ41). Hasil perhitungan *Preliminary Design* kolom disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3: Hasil Preliminary Design Kolom

Tipe	Profil Kolom	Luas Profil
		cm ²

K1	WF 588.300.12.20	192,5
----	------------------	-------

3.2 Pembebanan

Penentuan besaran beban mati tambahan dan beban hidup pada penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2020, secara berurutan melalui Tabel C3.1-1 dan Tabel 4.3-1. Nilai beban hidup yang diterapkan diambil sama untuk masing-masing lantai karena berfungsi sebagai tempat pertemuan/tribun penonton, yaitu sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$.

Bangunan yang direncanakan berfungsi sebagai gereja, sehingga berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 3, tergolong dalam kategori risiko IV (rumah ibadah), dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,5. Parameter *respons spektral* diperoleh melalui aplikasi Desain Spektra Indonesia (Kementerian PUPR, 2021). dengan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4: Data Parameter Respons Spektral

Kelas	T_0	T_s	S_{ds}	S_{D1}
SD	0,15	0,76	0,67	0,51
Bujur			112,5990701	
Lintang			-7,962714724	

Dengan nilai S_{D1} sebesar 0,51, serta gedung ini termasuk Kategori Desain Seismik D (KDS D), maka menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), yang memiliki parameter $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, dan $C_d = 5,5$.

Perhitungan beban angin mengacu pada SNI 1727:2020 dengan mempertimbangkan kecepatan angin dasar, kategori eksposur, faktor arah angin, dan koefisien tekanan.

Analisis struktur menggunakan kombinasi pembebanan metode ultimit (LRFD) sesuai SNI 1727:2020 Pasal 4.2.2.1 dan Pasal 4.2.2.3.

3.3 Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan menggunakan *software* ETABS 2022 terhadap model bangunan 8 lantai dengan tinggi total 28 m yang menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis respons spektrum mengacu pada parameter percepatan desain periode 1 detik (S_{D1}) sebesar 0,511 g sesuai SNI 1726:2019.

Gaya geser dasar statik ekuivalen (V) diperoleh sebesar 2646,86 kN, sementara gaya geser dinamik hasil ETABS pada arah X dan Y berturut-turut sebesar 1774,79 kN dan 1391,68 kN. Karena nilai gaya geser dinamik tersebut kurang dari 100% gaya geser statik ekuivalen, dilakukan penskalaan dengan faktor 1,491 untuk arah X dan 1,902 untuk arah Y, sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.

Kontrol partisipasi massa ragam menunjukkan bahwa translasi arah X mencapai 96,44% pada mode ke-11 dan translasi arah Y mencapai 98,14% pada mode ke-12, sehingga telah memenuhi syarat minimum 90% sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1.

Kontrol simpangan antar lantai (*story drift*) pada seluruh tingkat bangunan untuk arah X dan Y menghasilkan nilai simpangan maksimum berturut-turut sebesar 110,836 mm dan 141,750 mm, keduanya lebih kecil dari simpangan izin sebesar 215,385 mm, sehingga struktur dinyatakan memenuhi syarat kekakuan lateral.

Kontrol pengaruh P-Delta pada setiap tingkat menghasilkan koefisien stabilitas (θ) maksimum sebesar 0,026, jauh di bawah batas izin 0,1, sehingga pengaruh P-Delta terhadap stabilitas struktur dapat diabaikan. Selain itu, hasil pengecekan ketidakberaturan struktur vertikal menunjukkan distribusi massa antar lantai memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3, sehingga struktur dikategorikan beraturan.

Secara keseluruhan, hasil analisis struktur ini menjadi dasar penentuan gaya-gaya dalam desain (P_u , M_u , V_u) yang digunakan pada perencanaan elemen balok komposit, kolom, dan sambungan pada bagian selanjutnya

3.4 Kontrol Desain

3.4.1 Pelat Lantai

Pelat lantai didesain menggunakan *steel deck*, karena penggunaan *steel deck* pada pelat komposit dapat memberikan efisiensi dalam pelaksanaan konstruksi karena *steel deck* berfungsi sebagai bagian dari sistem pelat dan tidak memerlukan pembongkaran setelah proses pengecoran beton selesai (Yulianto, 2021). Berdasarkan buku (Steel Deck Institute, 2017) perhitungan momen pelat komposit dilampirkan sebagai berikut.

$$M_n = \frac{F_y \times I_{cr}}{h - Y_{cc}} \quad (3)$$

Dengan M_n adalah momen nominal pelat komposit *steel deck*, F_y adalah tegangan leleh *steel deck*, h adalah tinggi pelat dari atas beton hingga bawah *steel deck*, I_{cr} adalah momen inersia penampang komposit, Y_{cc} adalah posisi sumbu penampang. Perhitungan kontrol desain pelat komposit disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil Rasio Tulangan dan Kapasitas Pelat *Steel deck*

Pelat <i>Steel deck</i>	M_u (kNm)	M_n (kNm)	ρ	$M_u / \phi M_n$
Pelat Lantai	2,81	22,82	0,0041	0,123 (OK)
Pelat Atap	1,98	18,90	0,0033	0,105 (OK)

Rasio kapasitas yang jauh di bawah 1,0 (0,123 dan 0,105) menunjukkan bahwa ketebalan pelat 130 mm dan 120 mm yang dipilih dari preliminary design sudah cukup konservatif, sehingga pelat komposit *steel deck* ini mampu mendukung efisiensi konstruksi tanpa perlu penambahan tulangan signifikan

3.4.2 Balok Anak

Balok anak merupakan salah satu elemen struktur sekunder yang berfungsi menyalurkan beban yang diterima menuju struktur utama dan tidak direncanakan untuk menahan gaya lateral akibat gempa (Rahman and Khatulistiani, 2024). Berdasarkan hasil perhitungan, balok anak (B2) dengan profil IWF 300.150.6,5.9 memenuhi syarat kekuatan lentur, geser, dan lendutan.

3.4.3 Balok Induk Komposit

Perencanaan balok komposit menggunakan penampang B1 dan B3 dari Tabel 2 Rekapitulasi Hasil *Preliminary Design* Balok, menggunakan mutu baja BJ37 ($F_y = 240$ MPa). Lebar efektif pelat (b_{eff}) ditentukan dari syarat lebar efektif balok interior $L/4$ dan b_o berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal I3.1a. (b_{eff}) diambil sebesar 1000 mm.

Balok komposit direncanakan menggunakan metode *unshored*, metode ini dipilih untuk mengurangi kebutuhan terhadap perancah selama tahap konstruksi (El-Aghoury, Ebid and Onyelowe, 2022). Pada metode *unshored* (tanpa perancah), profil baja WF harus mampu memikul seluruh beban tahap konstruksi (berat sendiri, beban beton basah, dan beban pelaksanaan) secara mandiri sebelum beton mengeras, sehingga tampang komposit hanya bekerja memikul beban hidup setelah aksi komposit terbentuk (Theopuspitasari and Afriadi, 2026).

Kriteria penampang balok yang ditinjau mengacu pada SNI 1729:2020 Pasal I3.2a sebagai berikut.

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4)$$

Dengan h adalah tinggi bersih *web* penampang balok. t_w adalah tebal *web* penampang balok, E adalah modulus elastisitas baja, F_y adalah tegangan leleh baja.

Menentukan tinggi blok tekan efektif

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff}} \quad (5)$$

Dengan a adalah tinggi blok tegangan tekan beton, A_s adalah luas penampang baja, F_y adalah tegangan leleh baja, f'_c adalah kuat tekan beton, b_{eff} adalah lebar efektif pelat.

Merujuk dari Persamaan (5), sumbu netral plastis terletak pada pelat beton jika $a < t_s$, dengan t_s adalah tebal pelat beton. Tebal pelat beton yang direncanakan pada balok induk (IWF 400.200.8.13) adalah 130 mm dengan mutu beton (f'_c) 25 MPa.

$$a = \frac{8410(240)}{0,85 \cdot (25)(1000)} = 95 \text{ mm} < 130 \text{ mm}$$

Tebal pelat beton yang direncanakan pada balok induk atap (IWF 350.175.7.11) adalah 120 mm dengan mutu beton (f'_c) 25 MPa.

$$a = \frac{6314(240)}{0,85 \cdot (25)(1000)} = 71 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Hitung gaya tekan (C) dan gaya tarik penampang baja (T), diambil nilai terkecil dari gaya tekan dan gaya tarik.

$$C = 0,85 \times f'_c \times t_s \times b_{eff} \quad (6)$$

$$T = A_s \times F_y \quad (7)$$

Berdasarkan buku (Setiawan, 2008) perhitungan kuat lentur positif balok komposit untuk penampang kompak, dan PNA jatuh pada pelat beton disajikan sebagai berikut.

Momen Positif

$$M_n = C \cdot d_1 = T \cdot d_1 \quad (8)$$

Persamaan (8) menyatakan M_n adalah momen nominal positif penampang komposit, C adalah resultan gaya tekan pada pelat beton, T adalah resultan gaya tarik pada profil baja, d_1 adalah lengan momen.

Menghitung momen nominal negatif, beton diasumsikan retak dan tidak berkontribusi menahan tarik, sehingga gaya tarik hanya berasal dari tulangan longitudinal pelat yang berada dalam lebar efektif (b_{eff}).

$$T = n \times A_r \times f_{yr} \quad (9)$$

Persamaan (9) menyatakan T adalah gaya tarik pada tulangan, n adalah jumlah tulangan pada lebar efektif, A_r adalah luas total penampang tulangan longitudinal, f_{yr} adalah tegangan leleh tulangan.

Menghitung kapasitas gaya tekan pada penampang profil baja (P_y).

$$P_y = A_s \times F_y \quad (10)$$

Gaya tarik pada sayap (T_f)

$$T_f = b \times t_f \times F_y \quad (11)$$

Dengan, b adalah lebar profil baja, t_f adalah tebal sayap profil baja.

Gaya tarik pada badan baja (T_w)

$$T_w = \left(\frac{P_y - T}{2} \right) - T_f \quad (12)$$

Menghitung jarak dari tepi bawah sayap profil baja menuju garis netral/tinggi zona tekan pada web baja (a_w).

$$a_w = \frac{T_w}{F_y \times t_w} \quad (13)$$

Menentukan jarak-jarak dari centroid gaya-gaya yang bekerja, ditentukan melalui (14), (15), (16).

$$d_1 = h_r + t_b - s_b \quad (14)$$

Persamaan (14) menyatakan d_1 adalah jarak dari serat atas profil baja ke titik berat tulangan pada pelat beton, h_r adalah tinggi *steel deck*, t_b adalah tinggi beton di atas *steel deck*, s_b adalah selimut beton.

$$d_2 = \frac{(T_f \times 0,5t_f) + (T_w(t_f + 0,5a_w))}{T_f + T_w} \quad (15)$$

Dengan d_2 adalah jarak titik berat gaya tarik total profil baja terhadap serat atas profil.

$$d_3 = d/2 \quad (16)$$

Dengan d_3 adalah jarak dari serat atas profil baja ke sumbu netral elastis profil.

Momen negatif (M_n) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$M_n = T(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2) \quad (17)$$

Hasil perhitungan momen nominal tereduksi (ϕM_n) balok induk komposit, dengan faktor reduksi lentur (ϕ) sebesar 0,9, disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6: Rekapitulasi Kapasitas Momen Nominal Balok Induk Komposit

Gaya Dalam	Balok Induk	Balok Induk Atap
	IWF 400.200.8.13	IWF 350.175.7.11
M_u^+	331,08 kNm	32,76 kNm
M_u^-	357,52 kNm	63,04 kNm
ϕM_n^+	513,18 kNm	353,91 kNm
ϕM_n^-	446,22 kNm	295,07 kNm
$M_u^+ / \phi M_n^+$	0,61 (OK)	0,10 (OK)
$M_u^- / \phi M_n^-$	0,80 (OK)	0,21 (OK)

Penghubung geser (*shear connector*) berfungsi menyalurkan gaya geser horizontal yang timbul antara pelat beton dan balok baja akibat pembebanan, sehingga kedua elemen tersebut bekerja secara integral membentuk satu kesatuan penampang komposit dan mencegah terjadinya slip antar material selama masa layan (Afrina and Putera, 2021).

Balok induk (B1) dan balok induk atap (B3) direncanakan menggunakan *stud* diameter 25,4 mm/1 in', dipasang 2 buah *stud* disepanjang bentang balok dalam satu baris.

Syarat perencanaan diameter *shear stud* (d_s) mengacu pada SNI 1729:2020 Tabel J3.1, dilampirkan pada (18).

$$d_s \leq 2,5(t_f) \quad (18)$$

Kontrol syarat diameter *shear stud* (d_s).

Balok induk (IWF 400.200.8.13)	Balok induk atap (IWF 350.175.7.11)
25,4 mm $\leq$ 32,5 mm (memenuhi)	25,4 mm $\leq$ 27,5 mm (memenuhi)

Kuat geser nominal *shear stud* (Q_n). mengacu pada SNI 1729:2020 Tabel I8.2a, dilampirkan pada (19).

$$Q_n = 0,5A_{sa}\sqrt{f_c E_c} < R_g R_p A_{sa} F_u \quad (19)$$

Persamaan (19) menyatakan A_{sa} adalah luas penampang *shear stud*, E_c adalah modulus elastisitas beton, R_g diambil 0,85 untuk *shear stud* dipasang sejumlah dua dalam satu baris (SNI 1729:2020 Pasal I8.2a), R_p diambil 0,6 untuk *steel deck* terpasang tegak lurus terhadap arah balok baja.

Mengacu pada ISO 898-1 Tabel 3 (International Organization for Standardization, 2013), Tegangan putus (F_u) *stud* diambil sebesar 830 MPa, sehingga perhitungan Q_n menggunakan (19), sebagai berikut.

Balok induk (IWF 400.200.8.13)

$$Q_n = 193510,94 \text{ N/stud} < 214380,50 \text{ N/stud}$$

$$Q_n = 193510,94 \text{ N/stud (dipakai)}$$

Jumlah *shear stud* untuk setengah bentang dengan *shear stud* dipasang 2 buah dalam satu baris dihitung menggunakan (20).

$$n_{sc} = \frac{V_h}{2 \cdot Q_n} \quad (20)$$

Dengan n_{sc} adalah jumlah *shear stud*, V_h adalah gaya geser horizontal total yang harus disalurkan antara pelat beton dan profil baja (diambil nilai terkecil dari $A_g F_y$; $0,85 \cdot f_c \cdot A_c$).

Jarak *shear stud* harus memenuhi standar yang ditetapkan pada SNI 1729:2020 Tabel I8.2d, dengan jarak minimum longitudinal $6d_s$, jarak maksimum longitudinal 6 kali tebal slab total, dan jarak transversal $4d_s$.

Hasil rekapitulasi kebutuhan *shear stud* balok induk dan balok induk atap disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7: Rekapitulasi Kebutuhan Shear Stud Satu Bentang

Profil	Bentang (m)	Shear Stud (mm)	Jumlah buah	Jarak (mm)
IWF 400.200.8.13	6	25,4	24	300
	4	25,4	24	300
IWF 350.175.7.11	6	25,4	32	300
	4	25,4	32	300

Selanjutnya, berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal G2, perhitungan kontrol balok terhadap geser mengacu pada Persamaan (21).

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \quad (21)$$

Persamaan (21) menyatakan V_n adalah kuat geser nominal, F_y adalah tegangan leleh, A_w adalah luas badan penampang, C_{v1} adalah koefisien kekuatan geser badan.

Hasil perhitungan kuat geser nominal tereduksi (ϕV_n) balok induk komposit, dengan faktor reduksi geser (ϕ) sebesar 0,9, disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8: Hasil Perhitungan Rasio Kapasitas Geser Balok Induk

Gaya Dalam	Balok Induk	Balok Induk Atap
	IWF 400.200.8.13	IWF 350.175.7.11
V_u	176,50 kN	43,88 kN
ϕV_n	414,72 kN	272,16 kN
$V_u / \phi V_n$	0,61 (OK)	0,10 (OK)

Lendutan (f_{ijin}) dihitung menggunakan rumus $L/240$ untuk syarat defleksi Beban mati + hidup lantai. Perhitungan lendutan pada balok komposit menghasilkan lendutan

izin (f_{Ijin}) sebesar 1,67 cm untuk bentang 4 meter dan 2,50 cm untuk bentang 6 meter, sedangkan lendutan aktual (f_{maks}) diambil dari nilai lendutan balok pada ETABS. Hasil dari kontrol lendutan ($f_{maks} < f_{Ijin}$) disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9: Rekapitulasi Lendutan Balok Induk Komposit

Profil	Bentang	f_{maks}	f_{Ijin}	Kontrol
	(m)	(mm)	(mm)	$f_{maks} < f_{Ijin}$
IWF 400.200.8.13	6	3,60	25	OK
	4	0,27	16,7	OK
IWF 350.175.7.11	6	2,10	25	OK
	4	0,35	16,7	OK

Perbedaan rasio kapasitas antara balok induk lantai (0,61–0,80) dan balok induk atap (0,10–0,21) mencerminkan perbedaan beban yang dipikul — balok atap hanya menerima beban atap yang jauh lebih ringan dibanding beban lantai fungsional gereja. Hal ini menegaskan bahwa dimensi balok hasil modifikasi telah proporsional terhadap kebutuhan masing-masing elemen, sekaligus menjawab tujuan penelitian dalam menentukan dimensi elemen struktur yang efisien.

3.4.4 Kolom

Berbeda dengan balok yang direncanakan sebagai penampang komposit, kolom pada struktur ini didesain sebagai profil baja penuh guna mempertahankan kemudahan fabrikasi dan efisiensi waktu pelaksanaan konstruksi, Kolom pada struktur ini direncanakan menggunakan profil IWF 588.300.12.20 hasil dari *preliminary design* Kolom, dengan kontrol kapasitas tekan dan interaksi lentur-aksial mengacu pada SNI 1729:2020 Bab E dan Bab H.

Tabel 10: Data Material dan Geometri Kolom

Parameter	Nilai	Satuan
Tinggi kolom (L)	3500	mm
Mutu baja (F_y)	250	MPa
Modulus elastisitas baja (E)	200000	MPa
Luas penampang (A_g)	19250	mm ²
Radius girasi sumbu x (r_x)	248	mm
Radius girasi sumbu y (r_y)	68,50	mm
Gaya aksial terfaktor (P_u)	1908,48	kN
Momen lentur terfaktor, sumbu x (M_{ux})	310,25	kNm
Momen lentur terfaktor, sumbu y (M_{uy})	25,38	kNm

Kuat tekan nominal dihitung menggunakan faktor reduksi kolom sebesar 0,9 (ϕ), SNI 1729:2020 Pasal E1 dan Kapasitas momen nominal kolom ditentukan berdasarkan kondisi batas leleh yang mengacu pada SNI 1729:2020 Pasal F2.1.

Tabel 11: Rekapitulasi Kontrol Desain Kolom

Parameter	Nilai	Kontrol	Status
ϕP_n (Tekuk lentur)	3364,84 kN	$P_u < \phi P_n$	OK
ϕP_n (Tekuk torsi)	3916,07 kN	$P_u < \phi P_n$	OK
ϕM_{nx}	969,52 kNm	$M_{ux} < \phi M_{nx}$	OK
ϕM_{ny}	207 kNm	$M_{uy} < \phi M_{ny}$	OK

Cek interaksi aksial-lentur kolom menggunakan SNI 1729:2020 Pasal H1 sebagai berikut. Untuk momen lentur dominan.

$$\frac{P_r}{P_c} > 0,20 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1,00; \quad \text{Untuk gaya aksial dominan.} \quad \frac{P_r}{P_c} < 0,20 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1,00 \quad (22)$$

Persamaan (22) menyatakan $P_r = P_u$ adalah kekuatan aksial perlu, $P_c = \phi P_n$ = kekuatan aksial tersedia, $M_r =$ kekuatan lentur perlu, $M_c = \phi M_n$ = kekuatan lentur tersedia kolom.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1916,85}{3364,84} = 0,57 \geq 0,20 \rightarrow \frac{1916,85}{3364,84} + \frac{8}{9} \left(\frac{310,25}{969,52} + \frac{25,38}{207} \right) \leq 1,00$$

$$0,96 \leq 1,00 \text{ (OK)}$$

Rasio interaksi aksial-lentur sebesar 0,96 menunjukkan bahwa profil WF 588.300.12.20 bekerja mendekati kapasitas maksimumnya, sehingga profil ini merupakan pilihan paling efisien secara struktural tanpa terjadi over-design, namun juga menjadi indikator bahwa kolom ini menjadi elemen kritis yang perlu diperhatikan pada tahap pelaksanaan konstruksi.

3.5 Sambungan

3.5.1 Perencanaan Sambungan Balok Anak-Balok Induk

Sambungan balok-balok direncanakan menggunakan tipe sambungan geser, dengan menggunakan pelat siku. Hasil perhitungan dan pemeriksaan kapasitas sambungan balok-balok mengacu pada ketentuan SNI 1729:2020 yang disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12: Kontrol Kapasitas (ϕR_n) Sambungan Balok-Balok

Komponen kritis	Gaya perlu (V_u)	Kapasitas (ϕR_n)	Status
Baut, Ø12,7 mm (Kuat geser, menentukan)	50,26 kN	178,43 kN	OK
Pelat siku L.120.120.8 (Kuat leleh tarik, menentukan)	50,26 kN	259,20 kN	OK

3.5.2 Perencanaan Sambungan Balok-Kolom

Sambungan balok-kolom pada struktur ini didesain sebagai sambungan momen tipe *extended end plate with voute* (pelat ujung diperpanjang dengan penebalan berupa *voute/haunch*), penggunaan perkuatan pada daerah sambungan merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kapasitas lentur sambungan (Panjaitan et al., 2025).

Sambungan *extended end plate with voute* yang digunakan pada penelitian ini belum termasuk dalam daftar sambungan prakualifikasi (prequalified connections) untuk SRPMK sesuai SNI 7972:2020/AISC 358. Oleh karena itu, kapasitas sambungan pada penelitian ini didekati melalui pendekatan analitis berbasis SCI P60 dan divalidasi terhadap penelitian terdahulu (Sadid et al., 2022) yang meninjau perilaku serupa. Penerapan sambungan ini pada kondisi aktual/konstruksi sesungguhnya memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui pengujian kualifikasi siklik sesuai AISC 341 Bab K untuk memastikan kapasitas rotasi plastis dan mekanisme keruntuhan daktail (*strong column-weak beam*) benar-benar tercapai.

Tabel 13: Kontrol Kapasitas (ϕR_n) Sambungan Balok-Kolom

Komponen Kritis	Gaya perlu	Kapasitas (ϕR_n)	Status
Baut Ø20 mm (kuat tarik, menentukan)	$T_{maks} = 267,44 \text{ kN}$	$2\phi R_n = 353,34 \text{ kN}$	OK
Pelat penyambung (Kuat runtuh, menentukan)	$V_u = 228,92 \text{ kN}$	$\phi R_n = 922,5 \text{ kN}$	OK

Meskipun demikian, hasil kontrol kapasitas menunjukkan sambungan ini secara analitis mampu menyalurkan gaya dalam hasil modifikasi struktur, sehingga secara konseptual mendukung tercapainya tujuan penelitian dalam menentukan detail sambungan struktur hasil modifikasi.

3.5.3 Sambungan Kolom-Kolom

Sambungan kolom-kolom direncanakan menggunakan sambungan splice untuk mengakomodasi keterbatasan panjang elemen selama proses transportasi dan ereksi, serta memungkinkan perubahan ukuran penampang kolom pada bangunan bertingkat (Singh, 2021). Sambungan splice kolom menggunakan las gruv *Complete Joint Penetration* (CJP) dengan elektroda E70XX sesuai ketentuan SNI 1729:2020 Pasal J2. Kontrol kapasitas (ϕR_n) disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14: Kontrol Kapasitas (ϕR_n) Sambungan Kolom-Kolom

Komponen Kritis	Gaya perlu	Kapasitas (ϕR_n)	Status
Bagian flens			
Baut Ø22 mm (kuat tarik, menentukan)	$T_u = 92,72 \text{ kN}$	$\phi R_n = 176,67 \text{ kN}$	OK
Bagian web			
Baut Ø22 mm (kuat tarik, menentukan)	$T_u = 145,49 \text{ kN}$	$\phi R_n = 176,67 \text{ kN}$	OK
Kuat Tumpuan Plat (kuat geser baut, menentukan)	$V_u = 12,40 \text{ kN/baut}$	$\phi R_n = 133,64 \text{ kN}$	OK

3.5.4 Sambungan Kolom-Base plate

Perencanaan sambungan *base plate* pada penelitian ini mengacu pada *AISC Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design, Second Edition* (Fisher and Kloiber, 2006), Penggunaan pedoman tersebut sesuai dengan ketentuan SNI 1729:2020 Pasal J9, yang menyatakan bahwa perencanaan batang angkur dan penyaluran gaya ke pondasi beton harus mengacu pada ketentuan yang berlaku dalam *AISC Design Guide 1*. kontrol kapasitas *base plate* (ϕR_n) disajikan pada Tabel 15.

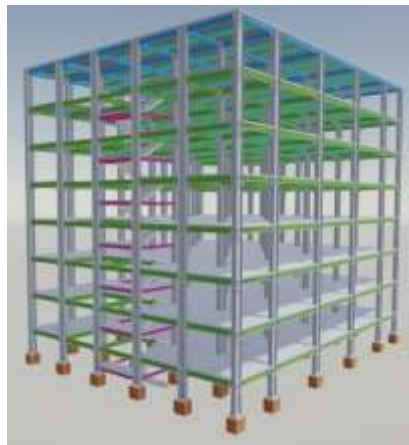
Tabel 15: Kontrol Kapasitas Angkur Sambungan Base plate

Komponen Kritis	Gaya perlu	Kapasitas	Status
Angkur Ø25,4 mm (kuat tarik, menentukan)	$T_u = 304,56 \text{ kN}$	$4\phi N_{sa} = 606,13 \text{ kN}$	OK
Angkur Ø25,4 mm (kuat geser, menentukan)	$V_u = 118,78 \text{ kN}$	$8\phi V_{sa} = 630,37 \text{ kN}$	OK
Pelat <i>base plate</i> tebal = 80 mm dengan sirip pengaku	$M_{pl} = 30,85 \text{ kN}$	$\phi R_n = 360 \text{ kN}$	OK
Las F60xx (a=15 mm)	$R_u = 481,25 \text{ kN}$	$\phi R_{nw} = 738,45 \text{ kN}$	OK

3.6 Output BIM 3D

Tekla Structures merupakan perangkat lunak berbasis *Building Information Modelling* (BIM) yang mendukung pemodelan, detailing, engineering, pembuatan gambar, *report* dan manajemen struktur (Arystianto and Kurniawan, 2021). Sehingga dalam penelitian ini *software Tekla Structures* digunakan untuk menghasilkan pemodelan, detailing dan laporan material. Hasil pemodelan struktur dalam bentuk visualisasi tiga dimensi menggunakan *Tekla Structures* ditunjukkan pada Gambar 1. Visualisasi tersebut

menunjukkan konfigurasi struktur secara keseluruhan serta detail sambungan sebagai bagian dari keluaran pemodelan berbasis BIM.



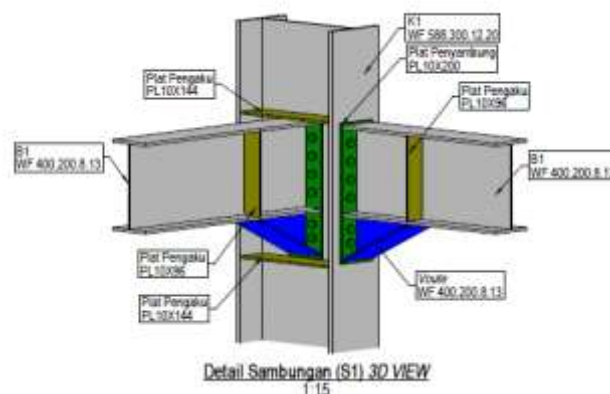
Gambar 1: Visualisasi Bangunan 3D

Berdasarkan hasil dari pemodelan menggunakan *Tekla Structures* menunjukkan total berat struktur baja saja sebesar 316.488 kg, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Material List Steel Part

No	Profil	Mutu	Qty	Berat (kg)
1	WF 588.300.12.20	BJ41	108	145657
2	WF 400.200.8.13	BJ37	420	117628
3	WF 300.150.6,5.9	BJ37	305	34903
4	WF 350.175.7.11	BJ37	60	15898
5	WF 250.125.6.9	BJ37	28	2402

Detail hasil pemodelan sambungan balok-kolom pada *software Tekla Structures*, yang menjadi dasar penyusunan gambar kerja (*shop drawing*), ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Detail Sambungan Balok-Kolom (Tekla Structures)

Selanjutnya Pemeriksaan *clash detection* dilakukan untuk mengidentifikasi potensi konflik antar-komponen pada model BIM. Konflik yang ditemukan selanjutnya diperbaiki melalui penyesuaian model, kemudian dilakukan pemeriksaan ulang untuk memastikan tidak terdapat konflik pada model akhir.



Gambar 3 Hasil Pemeriksaan *Clash Detection* Pada Model Struktur

Hasil *zero clashes* pada pemeriksaan *clash detection* menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur hasil perhitungan manual telah terintegrasi secara konsisten dalam model BIM, sehingga tujuan penelitian untuk menghasilkan model tiga dimensi dan gambar detail struktur modifikasi yang akurat dan siap diproduksi telah tercapai.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, perhitungan, dan pemodelan modifikasi struktur Gedung Gereja Bethany Yestoya Malang, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi struktur beton bertulang eksisting menjadi sistem struktur baja dan komposit baja-beton berhasil menghasilkan konfigurasi elemen yang memenuhi seluruh persyaratan kekuatan dan kekakuan sesuai SNI yang berlaku. Sistem pelat lantai dan pelat atap direncanakan menggunakan pelat komposit *steel deck* dengan ketebalan masing-masing 130 mm dan 120 mm, sementara balok sekunder dan balok induk didesain sebagai elemen komposit baja-beton menggunakan profil WF 300.150.6,5.9 (balok anak), WF 400.200.8.13, dan WF 350.175.7.11 (balok induk) yang dilengkapi *shear connector* untuk menyalurkan gaya geser horizontal antara pelat beton dan profil baja, dengan seluruh kontrol kapasitas lentur, geser, dan lendutan menunjukkan hasil memenuhi syarat (rasio kapasitas maksimum 0,80). Kolom struktur, berbeda dari balok, direncanakan sebagai profil baja penuh WF 588.300.12.20 tanpa penampang komposit, dengan hasil kontrol interaksi aksial-lentur menunjukkan rasio 0,96 terhadap kapasitas maksimum yang diizinkan. Hasil analisis struktur menggunakan ETABS menunjukkan bahwa sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang diterapkan telah memenuhi syarat simpangan antar lantai, partisipasi massa ragam, dan pengaruh P-Delta sesuai SNI 1726:2019.
2. Pemodelan dan detailing struktur menggunakan *software Tekla Structures* menghasilkan model tiga dimensi dan gambar detail struktur modifikasi. Pemeriksaan *clash detection* pada model akhir menunjukkan tidak terdapat konflik antar elemen struktur (0 *clashes*), sehingga model telah melalui proses pemeriksaan dan perbaikan sebelum menghasilkan gambar detail akhir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Afrina, S.D. and Putera, T.A. (2021) 'Analisis Perbandingan Shear Connector Pada Balok Komposit', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik JIMT*, 1(3), pp. 1–9.
- Annaba, A. and Kabdiyono, E. (2025) 'Redesign of the Sophos School "Indonesia BSD School Building Using a Steel Structure with a Special Moment Bearing Frame Structure Method"', *Jurnal Ilmiah Teknik*, 4(3), pp. 28–45. Available at:

- <https://doi.org/10.56127/juit.v4i3.2285>.
- Arystianto, D.P. and Kurniawan, A.M. (2021) 'Pengaruh Pemanfaatan Aplikasi Building Informasi Modelling (BIM) Tekla Structure Educational Terhadap Pembuatan Shop Drawing Dan Bill Of Material', *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil*, vol 15, no(2), pp. 50–58. Available at: <https://doi.org/10.33795/prokons.v15i2.333>.
- Badan Standardisasi Indonesia (2019) *SNI 1726:2019 — Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Indonesia (2020a) *SNI 1727:2020 — Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Indonesia (2020b) *SNI 1729:2020 — Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *SNI 2847:2019 — Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Berger, M. and Mylnikov, I. (2023) 'Study of the features of the work of concrete-steel composite beams in buildings with a steel frame', *E3S Web of Conferences*, 410. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341003016>.
- El-Aghoury, M.A., Ebid, A.M. and Onyelowe, K.C. (2022) 'Optimum Design of Fully Composite, Unstiffened, Built-Up, Hybrid Steel Girder Using GRG, NLR, and ANN Techniques', *Journal of Engineering (United Kingdom)*, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/7439828>.
- Fisher, J.W. and Kloiber, L.A. (2006) *Design guide 1: Base plate and anchor rod design*. 2nd edn. Chicago: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Husein, S. and Darwis, M. (2024) 'Implementasi Software ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building System) Untuk Struktur Gedung Kos 3 Lantai Kab.Gowa', *Jurnal Bangunan Konstruksi (BARAKKA)*, 2(2), pp. 104–109. Available at: <https://doi.org/10.63877/jbk.v2i2.98>.
- International Organization for Standardization (2013) *ISO 898-1:2013 — Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread*. Geneva.
- Pramudya, B. *et al.* (2024) "Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Atas Baja Pada Gedung 7 Lantai Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design Di Surabaya", *Jurnal Ilmiah REAKTIP*, 04(02), pp. 10–16.
- Prasetya, A., Ho, A.D. and Kubota, T. (2023) 'Analysis of Typical Layout of Apartment Buildings in Indonesia', *Buildings*, 13(6). Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings13061387>.
- Rahman, F. and Khatulistiani, U. (2024) 'Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel', *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, 12(3), pp. 147–160. Available at: <https://doi.org/10.30742/axial.v12i3.4024>.
- Setiawan, A. (2008) *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*, Erlangga. Jakarta.
- Singh, D.K. (2021) 'Static and dynamic analyses of spliced column', *Sound and Vibration*, 55(3), pp. 253–262. Available at: <https://doi.org/10.32604/sv.2021.011627>.
- Steel Deck Institute (2017) *Standard for Composite Steel Floor Deck*. Steel Deck Institute.
- Suasira, I.W. *et al.* (2021) "Analisis Komparasi Metode Building Information Modeling (Bim) Dan Metode Konvensional Pada Perhitungan Rab Struktur Proyek (Studi Kasus Pembangunan Pasar Desa Adat Pecatu)", *Jurnal Teknik Gradien*, 13(1), pp. 12–19. Available at: <https://doi.org/10.47329/teknikgradien.v13i1.737>.
- Theopuspitasari, T.L. and Afriadi, Y. (2026) 'Analisis Perbandingan Struktur Komposit Pelat Beton Balok Baja Sebelum Dan Sesudah Kastela', *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 9(1), pp. 181–196. Available at: <https://doi.org/10.24912/jmts.v9i1.36758>.
- Yulianto, H. (2021) 'Komparasi Kapasitas Nominal Lentur Pelat Komposit Beton-Dek Baja

- Antara Metode Ulitmit, Tegangan Kerja, Dan SDI-ANSI 2017', *Teknisia*, XXVI, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol26.iss1.art1>.
- Zulkifli, R., Sitompul, I.R. and Kurniawandy, A. (2022) 'Perancangan Struktur Gedung Rangka Baja Tahan Gempa yang Terintegrasi dengan BIM (Building Information Modeling)', *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 9(1), p. 3. Available at: <https://doi.org/10.21063/jts.2022.v901.03>.