

## Perbandingan Kinerja Struktur Beton Bertulang dan Struktur Komposit pada Gedung Universitas Katolik Darma Cendika

Yonatan Gidio<sup>1</sup>, Eka Susanti<sup>1\*</sup>, Dewi Pertiwi<sup>1</sup>, Indra Komara<sup>1</sup>, Dita Kamarul F<sup>1</sup>, Yanisfa Septiarsilia<sup>1</sup>, Jaka Propika<sup>1</sup>, Heri Istiono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: \*[ekasusanti@itats.ac.id](mailto:ekasusanti@itats.ac.id)

### Abstract

*The Universitas Katolik Darma Cendika building is multistory building that uses a reinforced concrete structural system with relatively large member dimensions, resulting in a heavy structural weight and lower efficiency against seismic load. This study aims to evaluate the behavior of the existing structure and redesign it using composite structural system to improve structural efficiency and performance. The analysis was conducted using ETABS software based on SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019 and SNI 1729:2020. The evaluation include structural irregularities, structural behavior, capacity ratios, and comparison of structural element weights between the existing structure and the redesigned composite structure. The result show that building has horizontal irregularities type 2 and 3, as well as vertical irregularity type 1a, requiring a 25% increase in seismic design force and the use of response spectrum analysis. The structural behavior evaluation indicates that both the existing reinforced concrete structure and the composite structure satisfy the requirements for fundamental period, mass participation, base shear, and interstory drift. The redesigned structure uses WF 500x200x11x19 as the main beam and a 400x400 mm composite column with a WF 200x200x8x12 steel profile. The composite structure also provide significant weight efficiency, there is a 34,3% reduction in beam weight and a 58,8% reduction in column weight. Therefore, the composite structural system is capable of producing a lighter, more efficient structure while still meeting the required strength and structural behavior criteria.*

**Keywords:** composite structure, reinforced concrete, structural irregularity, structural behavior, capacity ratio

### Abstrak

Gedung Universitas Katolik Darma Cendika merupakan bangunan beringkat yang menggunakan struktur beton bertulang dengan dimensi elemen struktur yang relatif besar sehingga menghasilkan berat struktur yang tinggi dan kurang efisien terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku struktur eksisting dan melakukan redesain menggunakan struktur komposit guna meningkatkan efisiensi dan kinerja struktur. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019 dan SNI 1729:2020. Evaluasi meliputi ketidakberaturan struktur, perilaku struktur, rasio kapasitas, serta perbandingan berat elemen struktur antara struktur eksisting dan struktur komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2 dan 3 serta ketidakberaturan vertikal tipe 1a, sehingga diperlukan peningkatan gaya desain gempa sebesar 25% dan analisis respon spektrum. Evaluasi perilaku struktur menunjukkan bahwa struktur eksisting maupun struktur komposit memenuhi persyaratan periode, partisipasi massa, gaya geser dasar, dan simpangan antar alantai. Hasil redesain menghasilkan balok utama WF 500x200x11x19 dan kolom komposit 400x400mm dengan profil WF 200x200x8x12. Struktur komposit juga memberikan efisiensi berat yang signifikan, dimana terdapat efisiensi berat balok 34,3% dan efisiensi berat kolom 58,8%. Dengan demikian, struktur komposit mampu menghasilkan struktur yang lebih ringan, efisien dan tetap memenuhi persyaratan kekuatan serta perilaku struktur.

**Kata Kunci:** struktur komposit, beton bertulang, ketidakberaturan struktur, perilaku struktur, rasio kapasitas

## 1. Pendahuluan

Perencanaan struktur bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa memerlukan sistem struktur yang memiliki kekuatan, kekakuan dan daktilitas yang memadai agar mampu menahan beban lateral secara aman. Pada bangunan dengan sistem beton bertulang, kebutuhan tersedut sering kali menyebabkan dimensi elemen struktur menjadi relatif besar, terutama pada kolom dan balok. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya berat sendiri struktur yang secara langsung memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Selain itu, dimensi elemen yang besar juga dapat mengurangi efisiensi ruang, fleksibilitas tata ruang dan kualitas estetika bangunan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sistem struktur yang lebih efisien namun tetap mampu memenuhi persyaratan dan kinerja struktur tahan gempa.

Gedung Universitas Katolik Darma Cendika (UKDC) merupakan bangunan 11 lantai, dengan tinggi 40 meter, lebar 30 meter, dan panjang 44 meter yang menggunakan sistem struktur beton bertulang dengan dimensi kolom 800 mm × 800 mm dan balok 300 mm × 650 mm. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk wilayah dengan tingkat risiko gempa sedang, sehingga memerlukan kapasitas struktur yang tinggi dalam menahan gaya lentur dan geser [1][2]. Penggunaan struktur beton bertulang pada bangunan ini menyebabkan dimensi elemen struktur menjadi cukup besar dan menghasilkan berat struktur yang tinggi.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa struktur komposit mampu meningkatkan kapasitas beban, kekakuan, serta daktilitas struktur dibandingkan beton bertulang konvensional [3][4]. Selain itu, penggunaan struktur komposit dapat menurunkan beban seismik 46%, serta mengurangi berat bangunan 20% dibandingkan struktur beton bertulang pada kondisi pembebanan yang sama [5][6]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa struktur komposit memiliki kemampuan disipasi energi dan perilaku histeresis yang lebih baik, khususnya pada sambungan balok–kolom, sehingga efektif dalam menghadapi beban gempa [7][8][9][10].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pengembangan sistem komposit baru, pengujian elemen atau sambungan secara parsial, serta analisis perilaku struktur komposit yang dirancang sejak awal. Kajian yang membahas evaluasi struktur eksisting beton bertulang berdimensi besar, kemudian dilakukan redesain menjadi struktur komposit dengan mempertimbangkan perilaku global struktur, ketidakberaturan, serta efisiensi berat dan kapasitas elemen secara menyeluruh, masih sangat terbatas. Hal tersebut menjadi *research gap* yang mendasari penelitian ini.

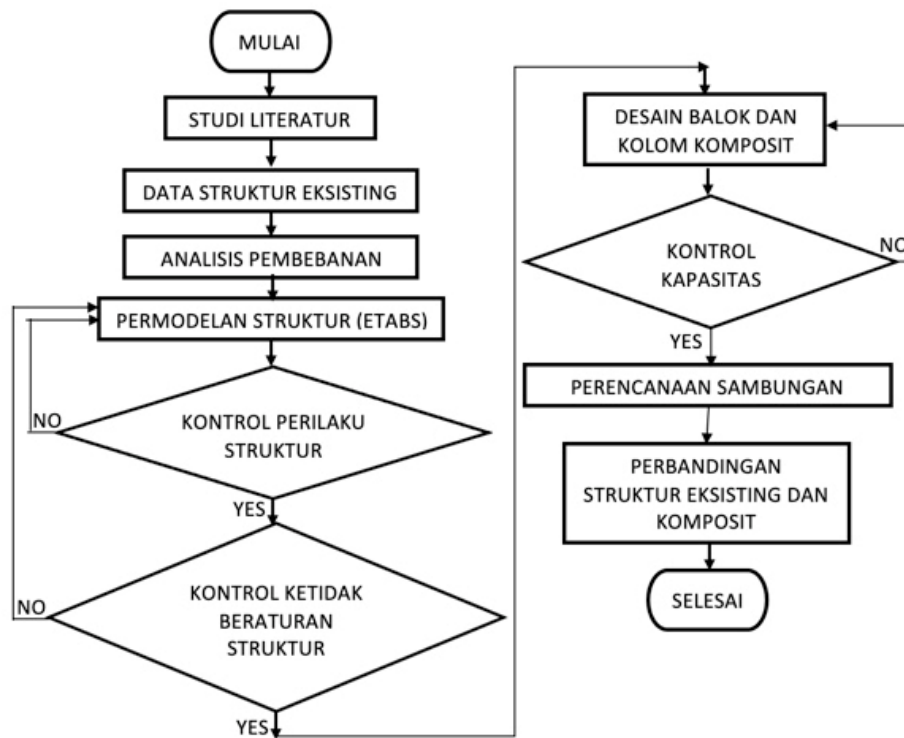
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku dan ketidakberaturan struktur eksisting gedung UKDC, serta melakukan redesain menggunakan sistem komposit pada elemen kolom dan balok. Selanjutnya, dilakukan analisis perbandingan antara struktur beton bertulang eksisting dan struktur komposit dari segi kapasitas elemen dan berat struktur. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa alternatif desain struktur yang lebih efisien, lebih ringan dan memiliki kinerja yang baik terhadap beban gempa.

Penelitian dilakukan menggunakan data struktur eksisting gedung UKDC berupa struktur beton bertulang dengan mutu beton 25 MPa, mutu baja tulangan 400 MPa, dan tebal pelat 120 mm. Analisis dan permodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan pembebanan sesuai SNI 1726:2019[11] dan SNI 1727:2020[12], standar perencanaan beton sesuai SNI 2847:2019[13] dan perencanaan baja sesuai SNI 1729:2020[14]. Fokus penelitian meliputi perilaku struktur, identifikasi ketidakberaturan struktur, perencanaan elemen komposit, serta perbandingan kapasitas dan berat struktur antara sistem beton bertulang dan sistem komposit.

## 2. Metode

Metodologi penelitian disusun untuk mengevaluasi struktur eksisting gedung UKDC serta melakukan redesain menggunakan sistem struktur komposit. Tahapan penelitian ditunjukkan pada diagram alir penelitian, Gambar 1, pembebanan dianalisis sesuai Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 dengan denah dan potongan melintang bangunan terdapat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

---



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Adapun Tabel 1 menunjukkan beban mati dan beban hidup, Tabel 2 menunjukkan Kombinasi Pembebanan. Beban mati berupa berat sendiri (beton dan baja), berat dinding batako, berat plafond, berat lantai ubin, dan berat spesi semen.

**Tabel 1. Beban Mati dan Beban Hidup**

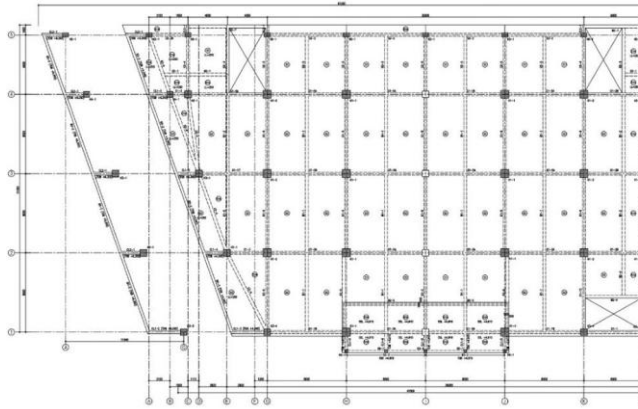
Beban Mati	Nilai	Beban Hidup	Nilai
Berat beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>	Sekolah	1,92 kN/m <sup>2</sup>
Berat baja	7850 kg/m <sup>3</sup>	Koridor	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Berat dinding pasangan batako	300 kg/m <sup>2</sup>	Panggung pertemuan	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Berat plafond	11 kg/m <sup>2</sup>	Kursi dapat dipindahkan	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Berat lantai ubin	24 kg/m <sup>2</sup>	Lantai podium	7,18 kN/m <sup>2</sup>
Berat spesi dari semen	21 kg/m <sup>2</sup>		

Sumber SNI 1727:2020

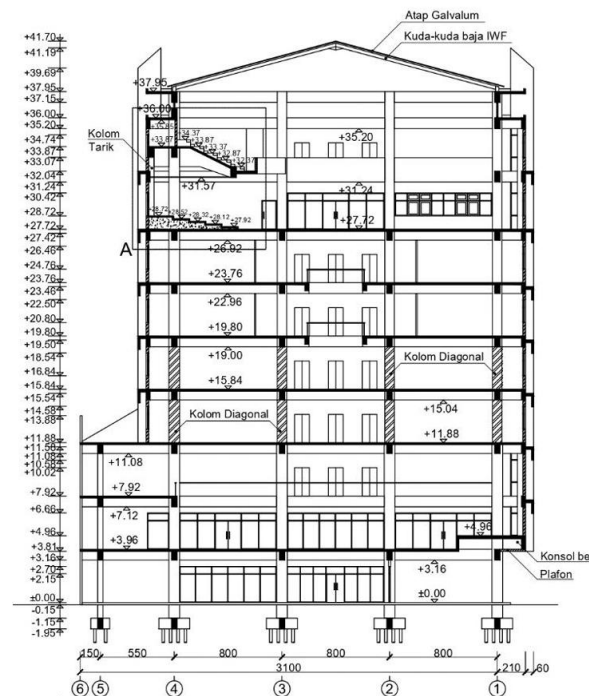
**Tabel 2. Kombinasi Beban**

No	Kombinasi Beban	No	Kombinasi Beban
1	1,4 DL	4.1	1,2 DL ± 0,3 (ρ · QEx + 0,2 · SDS · DL) ± 1,0 (0,2 · SDS · DL + ρ · QEy) + 1,0 LL
2	1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 Lr	4.2	1,2 DL ± 1,0 (ρ · QEx + 0,2 · SDS · DL) ± 0,3 (0,2 · SDS · DL + ρ · QEy) + 1,0 LL
3	1,2 DL + 1,0 LL + 1,6 Lr	5.1	0,9 DL ± 0,3 (ρ · QEx - 0,2 · SDS · DL) ± 1,0 (0,2 · SDS · DL - ρ · QEy)
4	1,2 DL + 1,0 W + L + 0,5 (Lr atau S atau R)	5.2	0,9 DL ± 1,0 (ρ · QEx - 0,2 · SDS · DL) ± 0,3 (0,2 · SDS · DL - ρ · QEy)
5	0,9 DL + 1,0 W		

Sumber SNI 1726:2019



**Gambar 2. Potongan dan Denah Gedung UKDC**



**Gambar 3. Potongan dan Denah Gedung UKDC**

**Tabel 3. Parameter Beban Gempa**

Parameter Beban Gempa	Nilai	Parameter Beban Gempa	Nilai
Klasifikasi situs (data tanah, N = 2,46)	SE	Percepatan pada periode pendek (SMS)	0,946
Kategori resiko	IV	Percepatan pada periode 1 detik (SM1)	0,749
Faktor keutamaan (Ie)	1,50	Percepatan desain pada periode pendek (SDS)	0,63
Percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek (Ss)	0,73	Percepatan desain pada periode 1 detik (SD1)	0,57
Percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S1)	0,31	Parameter periode (Ts)	0,79
Faktor amplifikasi periode pendek (Fa)	1,30	Parameter periode (T0)	0,16
Faktor implifikasi periode 1 detik (Fv)	2,40		

Sumber SNI 1726:2019

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini disajikan hasil evaluasi struktur bangunan eksisting Universitas Katolik Darma Cendika serta hasil redesain menggunakan struktur komposit. Evaluasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian model dengan kondisi eksisting, kemudian hasil gaya dalam digunakan sebagai dasar dalam perencanaan struktur komposit.

Data struktur eksisting yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: bangunan terdiri dari 11 lantai dengan tinggi 37,95 meter, lebar 32,8 meter, dan panjang 49,96 meter. Sistem struktur menggunakan beton bertulang dengan mutu beton 25 MPa, mutu baja tulangan 400 MPa, serta tebal pelat 120 mm. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS dengan penampang sesuai kondisi eksisting.

#### 3.1. Diagram Interaksi Kolom

Analisis ketidakberaturan dilakukan untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan perilaku struktur baik secara horizontal maupun vertikal berdasarkan SNI 1726:2019.

**Tabel 4. Kontrol Ketidakberaturan Struktur Horizontal (SNI 1726:2019 ps 7.3.2.1 Tabel 13)**

Tipe	Jenis Ketidakberaturan Horizontal	Persyaratan	Hasil Analisis	Kontrol
1	Ketidakteraturan Tori dan Torsi Berlebihan	$Ratio < 1,2 \& 1,4$	$Ratio\ max = 1,190$	Regular
2	Ketidakteraturan Sudut Dalam	$Px / Lx < 15\%$	$(Px / Lx)max = 24\%$	Irregular
3	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	A bukaan $> 50\%$ A total	A bukaan max = 844,88 m <sup>2</sup>	Irregular
4	Ketidakteraturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang	Diskontinuitas dalam Lintasan Gaya Lateral	Gambar 3, tidak terdapat diskontinuitas dalam lintasan gaya lateral	Regular
5	Ketidakteraturan Sistem Nonparalel	Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral Pararel	Gambar 3, terdapat Elemen vertikal pemikul gaya lateral paralel terhadap sumbu orthogonal utama.	Regular

**Tabel 5. Kontrol Ketidakberaturan Struktur Vertikal (SNI 1726:2019 ps 7.3.2.2 Tabel 14)**

Tipe	Jenis Ketidakberaturan Vertikal	Persyaratan	Hasil Analisis	Kontrol
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak	$K < 70\% K_{n+1}$ $K < 80\% K_{n+1+2+3}$	$K=K(lt2)=264.717,38kN/m$ $K_{n+1}=K(lt3)= 361.101,79 kN/m$ $K_{n+2}=K(lt4)= 343.466,76 kN/m$ $K_{n+3}=K(lt5)=436.318,13 kN/m$ $70\% K_{n+1}=252.771,25 kN/m$ $80\% K_{n+1+2+3}=304.236,45 kN/m$	Irregular
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	$K < 60\% K_{n+1}$ $K < 80\% K_{n+1+2+3}$	$60\% K_{n+1}= 336.735,03 kN/m$ $80\% K_{n+1+2+3}= 304.236,45 kN/m$	Regular Regular
2	Ketidakteraturan Berat atau Massa	$W < 150\% W_{n+1}$ $W < 150\% W_{n-1}$	$W\ max\ (lt-3) = 836.157,01\ kg$ $W_{n+1}=W\ (lt-4)= 1.063.275,25kg$ $W_{n-1}= W(lt2)=1.135.292,54\ kg$ $150\%W_{n+1}= 1.702.938,81$ $150\%W_{n-1}= 1.594.912,88$	Regular Regular
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal	$L < 130\% L_{n+1}$ $L < 130\% L_{n-1}$	$L=L(lt2)=16,20\ m^2$ $L_{n-1}=L(lt1) = 17,44\ m^2$ $L_{n+1}=L(lt3) = 15,75\ m^2$ $130\% L_{n+1}=20,472\ m^2$ $130\% L_{n-1}=22,669\ m^2$	Regular
4	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral	Perubahan Posisi Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral	Gambar 3, tidak terdapat diskontinuitas atau perubahan posisi elemen vertikal pemikul gaya lateral	Regular
5a	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat	$K > 80\% K_{n+1}$	$K=K(lt2)=4.560,06kN/m$ $K_{n+1}=K(lt3)= 4.289,42 kN/m$	Regular
&5b	Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	$K > 65\% K_{n+1}$	$80\% K_{n+1}=3.431,54 kN/m$ $65\% K_{n+1}=2.788,13 kN/m$	Regular

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa bangunan memiliki beberapa ketidakberaturan, yaitu:

- Ketidakberaturan horizontal sudut dalam (tipe 2), konsekuensinya sesuai SNI 1726:2019 ps 7.3.3.4, harus meningkatkan gaya desain gempa sebesar 25%, sehingga ditambahkan beban kombinasi baru yaitu beban gempa dengan faktor skala 1,25, mendefinisikan gaya gempa pada beban gempa respon spektrum dan mengaplikasikan beban tersebut pada diafragma.
- Ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma (tipe 3), ketidakberaturan vertikal tingkat lunak (tipe 1a) dan ketidakberaturan vertikal geometri (tipe 3), konsekuensinya sesuai SNI 1726:2019 tabel 14, dinyatakan untuk mengacu pada tabel 16 dan disyaratkan untuk menggunakan analisis spektrum respon ragam sesuai SNI 1726:2019 ps 7.9.1.1.

### 3.2. Evaluasi Perilaku Struktur Eksisting

Evaluasi perilaku struktur dilakukan untuk memastikan bahwa kinerja struktur memenuhi ketentuan SNI 1726:2019. Parameter yang ditinjau meliputi periode fundamental, partisipasi massa, gaya geser dasar, dan simpangan antar lantai. Analisis perilaku struktur berikut menggunakan nilai  $h$  37,9 m;  $SD1$  0,57g;  $Cu$  1,4 dan  $x$  0,9;  $Cs$  0,1132;  $Csx$  0,0632;  $Csy$  0,0664;  $W$  76905 kN;  $SF_x$  2262,41 mm/s<sup>2</sup>;  $SF_y$  2558,8 mm/s<sup>2</sup>;  $Cd$  5,5.

**Tabel 6. Kontrol Perilaku Struktur Eksisting**

Kontrol Perilaku Struktur	Persyaratan	Hasil Analisis	Kontrol	Standar
Periode Fundamental	$T_a < T_c < T_{max}$	$T_a = 1,228$ detik $T_{cX} = 1,698$ $T_{cY} = 1,615$ $T_{max} = 1,719$	OK	SNI 1726:2019 ps 7.8.2
Partisipasi Massa	> 90% Massa Struktur	Arah X = 91,48% Arah Y = 93,50%	OK	SNI 1726:2019 ps 7.9.11
Gaya Geser Dasar	$V_{spec}$ Penskalaan Gaya > $V_{statik}$	$V_{statik} = 4696,39$ kN $V_{spec EX} = 4860,21$ kN $V_{spec EY} = 5109,98$ kN	OK	SNI 1726:2019 ps 7.8.1
Simpangan Antar Lantai	$\Delta < \Delta_{max}$	$\Delta X = 27,3$ mm $\Delta Y = 30,0$ mm $\Delta_{max} = 30,5$ mm	OK	SNI 1726:2019 ps 7..1

Hasil analisis menunjukkan bahwa periode fundamental struktur arah X sebesar 1,698 detik dan arah Y sebesar 1,615 detik, yang berada dalam rentang yang diizinkan. Partisipasi massa masing-masing arah telah melebihi 90%, sehingga memenuhi persyaratan analisis dinamik. Nilai gaya geser dasar hasil respons spektrum juga lebih besar dibandingkan gaya geser statik, yang menunjukkan bahwa hasil analisis telah memenuhi ketentuan penskalaan.

Simpangan antar lantai maksimum terjadi pada lantai 3 dengan nilai 27,3 mm (arah X) dan 30,0 mm (arah Y), yang masih berada di bawah batas izin sebesar 30,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum struktur eksisting telah memenuhi kriteria kinerja yang disyaratkan. Namun demikian, nilai simpangan yang mendekati batas maksimum mengindikasikan bahwa struktur bekerja cukup optimal dan memiliki keterbatasan dalam efisiensi kekakuan, yang menjadi salah satu alasan perlunya alternatif desain yang lebih efisien.

### 3.3. Analisis dan Desain Struktur Komposit

Berdasarkan hasil evaluasi struktur eksisting, dilakukan redesain menggunakan sistem struktur komposit. Pemodelan dilakukan di ETABS dengan mendefinisikan material baja dan beton serta elemen struktur komposit.

Balok komposit dirancang menggunakan profil baja IWF yang dikombinasikan dengan pelat beton melalui penghubung geser. Desain pelat menggunakan tebal 120 mm dan tebal selimut beton 20mm. Desain kolom komposit menggunakan profil baja WF yang diselimuti beton bertulang dengan tebal selimut beton 20mm; diameter sengkang 10 mm. Sistem ini memungkinkan distribusi gaya yang lebih efisien, sehingga elemen struktur dapat dirancang lebih ramping dibandingkan beton bertulang. Analisis elemen struktur eksisting dan komposit menggunakan persamaan pada Tabel 7, hasil desain elemen struktur komposit terdapat pada Tabel 8.

Tabel 7. Analisis Elemen Struktur Balok Eksisting dan Balok Komposit

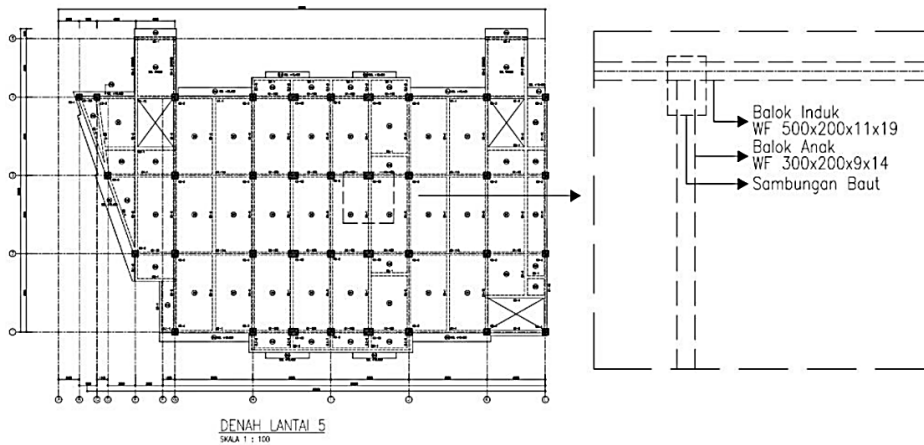
Keterangan	Analisis	Standar
<b>STRUKTUR EKSISTING</b>		
Aksial Kolom	$\phi P_n = 0,75 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}$ Dimana $A_g$ = dimensi kolom; $A_{st}$ = luas tulangan baja = $n \frac{\pi}{4} D^2$ ; $f_c'$ 25 MPa; $f_y$ = 400 MPa	SNI 2847: 2019 pasal 22.4
Lentur Balok	$\phi M_n = 0,8 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$ dimana $a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$ ; $A_s = n \frac{1}{4} \pi D^2$ ; $d = h - t_s - d_s - \left( \frac{1}{2} D \right)$	SNI 2847: 2019 pasal 22.2 dan 22.3
Geser Balok	$\phi V_n = 0,75 (V_c + V_s)$ dimana $V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d$ ; $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$	SNI 2847: 2019 pasal 22.5
<b>STRUKTUR KOMPOSIT</b>		
Aksial Kolom	$\phi P_n = 0,75 \times 0,85 f_c' (A_c - A_s) + f_y A_s + f_{ys} A_{sr}$	SNI 1729: 2020 pasal 12.1
Lentur Balok	$\phi M_n = 0,9 f_y A_s y$ dimana $y = \frac{h}{2} + t - \frac{a}{2}$ ; $a = \frac{f_y A_s}{0,85 f_c' t b_{ef}}$ ; $A_s = A_s$ profil WF balok	SNI 1729: 2020 pasal F
Geser Balok	$\phi V_n = 0,9 \times 1,0 \times 0,6 \times f_y A_w C_v$ dimana $A_w = d t_w$	SNI 1729: 2020 pasal G

Tabel 8. Hasil Desain Balok dan Kolom Komposit

Jenis Penulangan Pelat	Pelat eksisting	Mu-kN.m	Tulangan	ØMn-kN.m
Lapangan arah x		30,718	D10-50	37,245
Tumpuan arah x	Tebal pelat 120 mm	-15,071	D10-150	15,093
Lapangan arah y		10,294	D10-150	13,208
Tumpuan arah y		-15,071	D10-125	15,672
Jenis Balok	Balok eksisting		Balok Komposit	
B1	300x650		WF 300x200x11x9	
B2	300x550		WF 500x200x10x16	
B3	250x550		WF 300x150x6,5x9	
Jenis Kolom	Kolom eksisting		Kolom Komposit	
		Dimensi	Baja Profil WF	Tulangan
K1	800x800			
K2	700x700			
K3	650x650	400x400	200x200x8x12	4D19
K4	600x600			
K5	400x600			
K6	300x300			

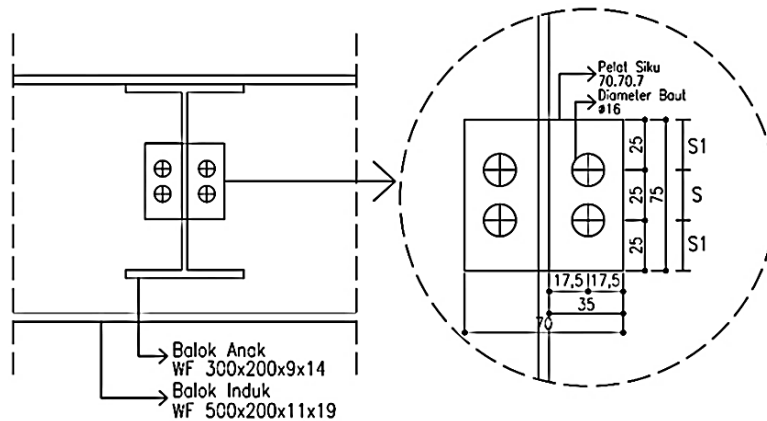
### Perencanaan Sambungan

Sambungan antara balok induk dan balok anak direncanakan untuk memastikan kedua elemen struktur dapat bekerja secara terpadu dalam menahan beban. Sambungan yang digunakan adalah sambungan baut, yang didesain berdasarkan gaya dalam pada balok anak, khususnya gaya geser sebesar 56,586 kN sebagai acuan dalam menentukan kapasitas dan jumlah baut.

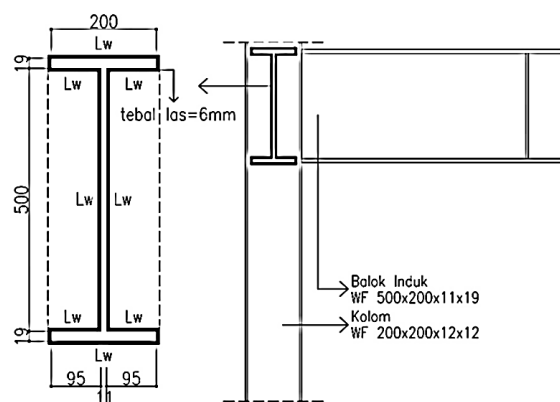


**Gambar 4. Letak Sambungan Balok Induk dan Balok Anak**

Sambungan ini menggunakan baut berdiameter 16 mm dengan lubang 18 mm untuk menahan gaya geser. Sementara itu, sambungan antara kolom dan balok menggunakan las dengan tebal 6 mm yang dirancang untuk menahan gaya aksial dan geser. Pemilihan jenis sambungan tersebut mempertimbangkan aspek kekuatan, kemudahan pelaksanaan, serta kemampuan dalam mendukung perilaku duktil struktur.



**Gambar 5. Sambungan Antara Balok Induk dan Balok Anak**



**Gambar 6. Sambungan Antara Kolom dan Balok**

### 3.4. Evaluasi Perilaku Struktur Komposit

**Tabel 9. Kontrol Perilaku Struktur Komposit**

Kontrol Perilaku Struktur	Persyaratan	Hasil Analisis	Kontrol	Standar
Periode Fundamental	$T_a < T_c < T_{max}$	$T_a = 0,746$ detik $T_{cX} = 1,003$ $T_{cY} = 0,994$ $T_{max} = 1,003$	OK	SNI 1726:2019 ps 7.8.2
Partisipasi Massa	> 90% Massa Struktur	Arah X = 90,56% Arah Y = 96,79%	OK	SNI 1726:2019 ps 7.9.11
Gaya Geser Dasar	$V_{spec}$ Penskalaan Gaya > $V_{statik}$	$V_{statik} = 3047,59$ kN $V_{spec EX} = 3402,83$ kN $V_{spec EY} = 3433,64$ kN	OK	SNI 1726:2019 ps 7.8.1
Simpangan Antar Lantai	$\Delta < \Delta_{max}$	$\Delta X = 40,8$ mm $\Delta Y = 41,6$ mm $\Delta_{max} = 42,6$ mm	OK	SNI 1726:2019 ps 7..1

Hasil analisis menunjukkan bahwa perilaku struktur komposit aman ditinjau dari semua parameter perilaku struktur. Hal tersebut meliputi periode, partisipasi massa, gaya geser dasar, serta simpangan antar lantai Memenuhi persyaratan dari SNI 1726-2019.

### 3.5. Rasio Kapasitas Struktur

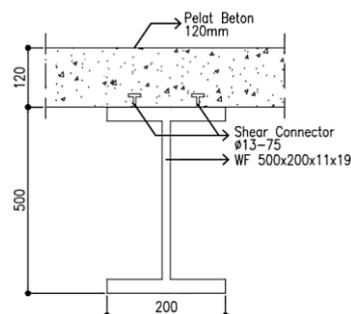
Rasio kapasitas struktur digunakan untuk mengevaluasi keamanan elemen struktur terhadap gaya dalam yang bekerja.

**Tabel 10. Rasio Kapasitas Balok Struktur Eksisting Beton Bertulang**

Balok Jenis	$M_u$ (kN.m)	$\phi M_n$ (kN.m)	Rasio Kapasitas	$V_u$ (kN)	$\phi V_n$ (kN)	Rasio Kapasitas
B1	642,50	731,98	0,878	399,27	430,46	0,928
B2	592,77	619,87	0,956	189,64	364,24	0,521
B3	140,75	261,06	0,539	46,56	346,71	0,134
		Rata--Rata	0,719		Rata--Rata	0,528

**Tabel 11. Rasio Kapasitas Kolom Struktur Eksisting Beton Bertulang**

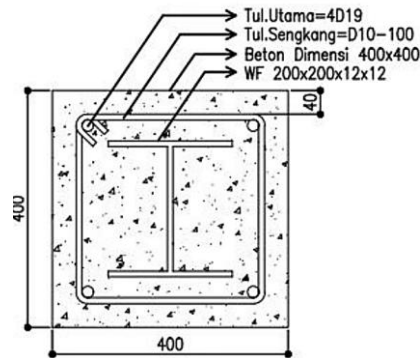
Jenis Kolom	$P_u$ (kN)	$\phi P_n$ (kN)	Rasio Kapasitas	$P_u$ (kN)	$\phi P_n$ (kN)	Rasio Kapasitas
K1-1	1089,01	6307,5	0,173	K3-2	1046,70	5175,3
K1-2	1086,77	6195,9	0,175	K3-3	936,11	5773,9
K2-1	1623,52	6911,1	0,235	K3-4	1101,35	5474,6
K2-2	1076,60	6404,0	0,052	K4-1	2184,98	4871,0
K2-3	1611,23	4769,6	0,338	K5-1	941,83	3849,3
K3-1	1623,52	5865,9	0,277	K6-1	364,79	1311,1
		Rata—Rata Rasio Kapasitas = 0,719				



**Gambar 4. Desain Balok Komposit**

**Tabel 12. Rasio Kapasitas Balok Struktur Komposit**

Balok Jenis	Mu (kN.m)	ØMn (kN.m)	Rasio Kapasitas	Vu (kN)	ØVn (kN)	Rasio Kapasitas
B1	969,16	978,99	0,990	478,12	843,9	0,573
B2	815,95	835,64	0,976	284,00	750,0	0,379
B3	135,19	226,26	0,597	46,29	292,5	0,158
		Rata--Rata	0,854		Rata--Rata	0,528

**Gambar 5. Desain Kolom Komposit****Tabel 13. Rasio Kapasitas Kolom Struktur Komposit**

Jenis Kolom	Pu (kN)	ØPn (kN)	Rasio Kapasitas	Pu (kN)	ØPn (kN)	Rasio Kapasitas
K1-1	1250,22	4757,06	0,263	K3-2	1475,48	4614,53
K1-2	1063,67	4614,53	0,231	K3-3	1675,50	4614,53
K2-1	2180,67	4614,53	0,473	K3-4	1091,65	4614,53
K2-2	1304,56	4757,06	0,274	K4-1	2845,12	4645,74
K2-3	1665,62	4614,53	0,361	K5-1	791,13	4614,53
K3-1	1091,65	4757,06	0,229	K6-1	114,69	4384,05
Rata—Rata Rasio Kapasitas = 0,719						

Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya dalam pada struktur komposit masih berada dalam batas aman, dengan rasio kapasitas elemen kolom dan balok memenuhi persyaratan desain. Hal ini menunjukkan bahwa struktur komposit mampu menggantikan fungsi struktur eksisting dengan performa yang setara atau lebih baik.

### 3.6. Perbandingan Struktur Eksisting dan Struktur Komposit

Analisis perbandingan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan struktur komposit terhadap struktur beton bertulang eksisting. Hasil menunjukkan bahwa struktur komposit memiliki dimensi elemen yang lebih kecil dibandingkan struktur eksisting, sehingga menghasilkan penurunan berat struktur secara signifikan. Penurunan berat ini berdampak langsung pada berkurangnya gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Berikut merupakan hasil analisisnya:

**Tabel 14. Perbandingan Berat Elemen Struktur Balok Eksisting dan Balok Komposit**

Balok Jenis	Balok Eksisting		Balok Komposit	
	Dimensi (mm)	Berat (kg)	Baja Profil WF (mm)	Berat (kg)
B1	300 x 650	8059,26	500 x 200 x 11 x 19	5435,69
B2	300 x 550	4687,52	500 x 200 x 10 x 16	3133,01
B3	250 x 550	852,29	300 x 150 x 6,5 x 9	363,01
	Berat Rata-rata	4533,02	Berat Rata-rata	2977,24

Persentase perbandingan berat elemen balok komposit terhadap balok eksisting:

$$= \frac{(4533,02-2977,24)}{4533,02} \times 100\% = 34,3\%$$

**Tabel 15. Perbandingan Berat Elemen Struktur Kolom Eksisting dan Kolom Komposit**

Balok Jenis	Kolom Eksisting		Kolom Komposit		
	Dimensi (mm)	Berat (kg)	Dimensi (mm)	Baja Profil WF (mm)	Berat (kg)
K1-1	800 x 800	6485,05	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1816,01
K1-2	800 x 800	6437,37	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K2-1	700 x 700	4996,75	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K2-2	700 x 700	5126,58	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1816,91
K2-3	700 x 700	5044,00	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K3-1	650 x 650	4355,54	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1816,91
K3-2	650 x 650	4300,48	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K3-3	650 x 650	4394,97	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K3-4	650 x 650	4347,73	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K4-1	600 x 600	3650,96	400 x 400	200 x 200 x 12 x 12	1816,01
K5-1	400 x 600	2538,48	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1803,15
K6-1	300 x 300	948,87	400 x 400	200 x 200 x 8 x 12	1780,90
	Berat Rata-rata	4385,57		Berat Rata-rata	1805,73

Persentase perbandingan berat elemen kolom komposit terhadap kolom eksisting:

$$= \frac{(4385,57-1805,73)}{4385,57} \times 100\% = 58,8\%$$

Analisis kapasitas elemen struktur komposit dan eksisting dilakukan sebagai berikut:

Hasil analisis kapasitas terdapat pada tabel-tabel berikut:

**Tabel 16. Perbandingan Kapasitas Geser Balok Eksisting dan Balok Komposit**

Elemen Struktur	Balok Eksisting			Balok Komposit		
	Vu (kN)	$\phi V_n$	Rasio kapasitas	Vu (kN)	$\phi V_n$	Rasio kapasitas
Balok B1	399,27	430,46	0,928	478,12	843,9	0,573
Balok B2	189,64	364,24	0,521	284,00	750,0	0,379
Balok B3	46,56	346,71	0,134	46,29	292,5	0,158
		Rata-rata	0,528		Rata-rata	0,370

**Tabel 17. Perbandingan Kapasitas Lentur Balok Eksisting dan Balok Komposit**

Elemen Struktur	Balok Eksisting			Balok Komposit		
	Mu (Kn.m)	$\phi M_n$	Rasio kapasitas	Mu (kN.m)	$\phi M_n$	Rasio kapasitas
Balok B1	642,5	731,98	0,878	969,16	978,99	0,990
Balok B2	592,77	619,87	0,956	815,95	835,64	0,976
Balok B3	140,75	261,06	0,539	135,19	226,26	0,597
		Rata-rata	0,791		Rata-rata	0,854

**Tabel 18. Perbandingan Kapasitas Aksial Kolom Eksisting dan Kolom Komposit**

Elemen Struktur	Kolom Eksisting			Kolom Komposit		
	Pu (Kn)	$\Phi P_n$	Rasio kapasitas	Pu (Kn)	$\Phi P_n$	Rasio kapasitas
K1-1	1089,01	6307,5	0,173	1250,22	4757,06	0,263
K1-2	1086,77	6195,9	0,175	1063,67	4614,53	0,231
K2-1	1623,52	6911,1	0,235	2180,67	4614,53	0,473
K2-2	1076,60	6404,0	0,052	1304,56	4757,06	0,274
K2-3	1611,23	4769,6	0,338	1665,62	4614,53	0,361
K3-1	1623,52	5865,9	0,277	1091,65	4757,06	0,229
K3-2	1046,70	5175,3	0,202	1475,48	4614,53	0,320
K3-3	936,11	5773,9	0,162	1675,50	4614,53	0,363
K3-4	1101,35	5474,6	0,201	1091,65	4614,53	0,237
K4-1	2184,98	4871,0	0,450	2845,12	4645,74	0,612
K5-1	941,83	3849,3	0,245	791,13	4614,53	0,171
K6-1	364,79	1311,1	0,278	114,69	4384,05	0,026
		Rata-rata	0,232		Rata-rata	0,302

Persentase Perbandingan Rasio Kapasitas elemen struktur Komposit terhadap elemen struktur Eksisting:

$$\text{Kapasitas lentur balok} = \frac{(0,791-0,854)}{0,791} 100\% = -8\%$$

$$\text{Kapasitas geser balok} = \frac{(0,528-0,370)}{0,528} 100\% = 29\%$$

$$\text{Kapasitas aksial kolom} = \frac{(0,232-0,302)}{0,232} 100\% = -29\%$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok komposit menurun sebesar 8%, namun kapasitas geser meningkat sebesar 29% dibandingkan balok eksisting, sehingga tetap memenuhi kekuatan yang disyaratkan. Struktur komposit memungkinkan balok mencapai kapasitas yang setara atau lebih tinggi dibandingkan balok konvensional, hal ini sesuai dengan Ahka, 2020 [15]. Sementara itu, kapasitas aksial kolom komposit menurun sebesar 29% dibandingkan kolom eksisting, tetapi masih berada dalam batas aman dan lebih efisien dalam penggunaan material, hal ini sesuai dengan Alfirdaus, 2019 dan Propika dkk, 2020 [16] [17].

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- Struktur bangunan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2 dan 3 serta ketidakberaturan vertikal tipe 1a, sehingga diperlukan peningkatan gaya desain gempa sebesar 25% dan penggunaan analisis respon spektrum sesuai SNI 1726:2019.
- Evaluasi perilaku struktur menunjukkan bahwa struktur eksisting maupun struktur komposit hasil redesain memenuhi persyaratan periode, partisipasi massa, gaya geser dasar dan simpangan antar lantai.
- Hasil redesain menggunakan struktur komposit menghasilkan pelat tebal 120 mm, balok utama B1 adalah WF 500x200x11x19 serta kolom komposit K1 berdimensi 400x400 mm dengan profil baja WF 200x200x8x12 dan tulangan 4D25.
- Rasio kapasitas struktur eksisting dan struktur komposit masih berada dalam batas aman, dengan rata-rata kapasitas lentur balok komposit lebih besar dibanding balok eksisting. Selain itu, struktur komposit memberikan efisiensi berat yang signifikan, dimana terdapat efisiensi berat balok 34,3% dan efisiensi berat kolom 58,8%. Dengan demikian, penggunaan struktur komposit mampu menghasilkan struktur lebih ringan, lebih efisien dan tetap memenuhi persyaratan kekuatan serta perilaku struktur.

## Referensi

- [1]. Adriyani, Y. (2021). Analisis Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Terhadap Karakterisasi Kelas Situs Batuan Keras (SA), Batuan (SB), dan Batuan Lunak (SC) Berbasis Response Spectrum. *Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur II*, 2.
- [2]. Faisal, I. B. (2020). Studi Alternatif Perencanaan Gedung SMA Petra Surabaya Menggunakan Struktur Komposit. *Skripsi*, 1.
- [3]. Febriyani, G. (2023). Modifikasi Perencanaan Royal 55 Office Tower Royal Residence Menggunakan Struktur Baja Komposit Dengan Sistem Bresing Eksentris. *Skripsi*, 12.
- [4]. Septiarsilia et al. (2025). Comparison of composite beam-column connection development under cyclic loading using finite element modelling. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol 21.
- [5]. Kencanawati, N. N. (2023). Parameter Desain Struktur Bangunan Komposit Baja-Beton Dengan Isolasi Dasar (Studi Kasus Hotel Sutan Raja Mataram). 136.
- [6]. Idrus, M. (2022). Studi Perancangan Ulang Struktur Atas Menggunakan Baja Komposit Gedung Bussines Centre Di Jakarta Selatan. *Jurnal Teknik Sipil*, 9.
- [7]. Prastianto, D. (2022). Studi Alternatif Perencanaan Struktur Komposit pada Rumah Sakit Hermina Tangkuban Prahur Malang. *Skripsi*, 1.
- [8]. Chen et al. (2025). Seismic performance of a novel steel-concrete composite beam-column joint. *Journal of Constructional Steel Research*, 229.
- [9]. Fayed et al. (2026). Numerical investigation on performance of concrete steel composite beams incorporating multi-transverse holes. *Scientific Reports*, 792.
- [10]. Le et al. (2020). Cyclic testing of a composite joint between a reinforced concrete column and a steel beam. *Journal of Applied Sciences*, (10)7.
- [11]. *Standar Nasional Indonesia 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. (2019). Jakarta: BSN.
- [12]. *Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. (2020). Jakarta: BSN.
- [13]. *Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. (2019). Jakarta: BSN.
- [14]. *Standar Nasional Indonesia 1729:2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. (2020). Jakarta: BSN.
- [15]. Ahkan, R. (2020). Perbandingan Perencanaan Struktur Beton Bertulang dan Struktur Baja Komposit pada Daerah Rawan Gempa. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia*, 10.
- [16]. Alfirdaus, A. P. (2019). Evaluasi Teknis Penggunaan Kolom Komposit Baja Beton pada Bangunan Bertingkat Banyak. *Jurnal Sipil Statik*, 289.
- [17]. Propika dkk. (2020). Analisa Perbandingan Kolom Komposit *Inside Steel* dan *Outside Steel* Terhadap Kapasitas Tahanan Aksial dan Momen. *Jurnal Reka Buana*, 159-170.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

---