

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG 5 LANTAI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WARMADewa BERBASIS SISTEM KOMPOSIT

Si Ngurah Nyoman Dwipayana¹ I Ketut Yasa Bagiarta² Ida Ayu Cri Vinantya Laksmi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No.24, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Timur, Denpasar, Bali

Email: vinantya.laksmi@warmadewa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi konstruksi menuntut sistem struktur yang lebih efisien, kuat, dan ekonomis. Struktur komposit yang menggabungkan elemen baja dan beton merupakan salah satu alternatif yang dapat meningkatkan kinerja struktur dibandingkan sistem beton bertulang konvensional. Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa yang semula direncanakan menggunakan beton bertulang kemudian dianalisis kembali dengan sistem struktur komposit. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merencanakan ulang struktur gedung menggunakan sistem komposit serta membandingkan kinerja struktur terhadap simpangan antar lantai dengan struktur beton bertulang eksisting. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data gambar dan data tanah, perencanaan pembebanan sesuai standar SNI, pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak ETABS v.21, serta perencanaan elemen struktur komposit yang meliputi pelat lantai dengan deck baja bergelombang, balok baja IWF, kolom komposit, sambungan, dan fondasi tiang pancang. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur komposit memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan struktur beton bertulang eksisting. Nilai simpangan maksimum struktur komposit sebesar 30,176 mm pada arah X dan 25,334 mm pada arah Y, sedangkan struktur beton bertulang eksisting mencapai 35,649 mm pada arah X dan 32,866 mm pada arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa sistem struktur komposit lebih efektif dalam meningkatkan kekakuan dan mengurangi simpangan bangunan.

Kata kunci: Balok komposit, ETABS, Simpangan antar lantai, Struktur komposit

Abstract

The development of construction technology demands a more efficient, strong, and economical structural system. Composite structures that combine steel and concrete elements are one alternative that can improve structural performance compared to conventional reinforced concrete systems. The G2 Building of the Faculty of Engineering and Planning, Warmadewa University, which was originally planned to use reinforced concrete, was then reanalyzed with a composite structural system. The problem in this study is how to redesign the building structure using a composite system and compare the performance of the structure against inter-story drift with the existing reinforced concrete structure. The methods used include collecting image and soil data, planning loads according to SNI standards, structural modeling using ETABS v.21 software, and planning composite structural elements including floor slabs with corrugated steel decks, IWF steel beams, composite columns, connections, and pile foundations. The results of the analysis show that the composite structure has better performance than the existing reinforced concrete structure. The maximum deviation value of the composite structure is 30.176 mm in the X direction and 25.334 mm in the Y direction, while the existing reinforced concrete structure reaches 35.649 mm in the X direction and 32.866 mm in the Y direction. This shows that the composite structural system is more effective in increasing stiffness and reducing building deviations.

Keywords: Composite beams, ETABS, Inter-story deviations, Composite structures

1. PENDAHULUAN

Bangunan gedung bertingkat memerlukan sistem struktur yang mampu menahan berbagai jenis beban seperti beban gravitasi, beban angin, serta beban gempa. Dalam perencanaan struktur bangunan modern, pemilihan sistem struktur yang efisien menjadi faktor penting untuk menjamin keamanan, kenyamanan, serta efisiensi penggunaan material (FAHIM et al., 2022) (Setiawan, 2008). Selain itu, aspek kinerja struktur terhadap beban lateral seperti gempa menjadi perhatian utama, terutama pada wilayah rawan gempa, sehingga diperlukan sistem struktur yang memiliki kekuatan,

kekakuan, dan daktilitas yang memadai (Alfidaus et al., 2019). Gedung Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa merupakan bangunan pendidikan yang memiliki lima lantai dan berfungsi sebagai fasilitas kegiatan akademik seperti ruang kuliah, laboratorium, ruang administrasi, serta ruang pertemuan yang menunjang aktivitas pendidikan. Gedung ini awalnya dirancang menggunakan sistem struktur beton bertulang yang umum digunakan pada bangunan bertingkat di Indonesia.

Perkembangan teknologi konstruksi mendorong penggunaan sistem struktur alternatif yang lebih efisien dan memiliki performa yang lebih baik, salah satunya adalah struktur komposit baja–beton (Rofa & PG, n.d., 2022). Sistem ini menggabungkan keunggulan baja yang memiliki kekuatan tarik tinggi dan daktilitas yang baik dengan beton yang memiliki kekuatan tekan tinggi serta ketahanan terhadap api dan korosi (Giatmajaya et al., 2020). Kombinasi kedua material ini memungkinkan terciptanya elemen struktur yang lebih optimal dalam menahan beban (Park et al., 2022). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kolom komposit, seperti *concrete-filled steel tube* (CFST), memiliki kinerja yang sangat baik terhadap beban aksial maupun siklik (Mansour et al., 2024)

Penggunaan struktur komposit pada bangunan bertingkat memiliki berbagai keuntungan, antara lain peningkatan kapasitas beban, efisiensi dimensi elemen struktur, serta percepatan waktu konstruksi (Nursani & Al Huseinny, 2022). Selain itu, struktur komposit cenderung memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan beton bertulang, sehingga dapat mengurangi gaya gempa yang bekerja pada struktur (Sirimontree et al., 2021). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan struktur komposit dapat meningkatkan efisiensi material dan menghasilkan desain yang lebih ekonomis (Zakiya et al., 2019) (Karya & Sipil, 2017). Dari sisi performa material, baja modern juga mengalami peningkatan sifat mekanik seperti kekuatan dan daktilitas melalui berbagai inovasi teknologi (Arora et al., 2019).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan sistem struktur komposit pada bangunan bertingkat. (Zakiya et al., 2019) menyatakan bahwa struktur komposit baja–beton mampu meningkatkan efisiensi penggunaan material serta menghasilkan dimensi elemen struktur yang lebih ramping dibandingkan struktur beton bertulang konvensional (Di Sarno et al., 2021). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa kolom komposit yang terdiri dari profil baja yang dibungkus beton memiliki kapasitas aksial dan lentur yang lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang biasa (Kulasuriya, 2005).

Penelitian terdahulu telah banyak membahas penerapan struktur komposit pada bangunan bertingkat, baik dari segi kapasitas elemen maupun perilaku struktural secara keseluruhan (Gokhan Tunc, 2022) (Rodrigues, 2023). Selain itu, aspek stabilitas seperti perilaku *buckling* juga menjadi perhatian dalam desain elemen baja dan komposit (Rabi, 2025). Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada elemen struktur secara parsial atau pada bangunan baru, sementara kajian terkait redesain bangunan eksisting menggunakan sistem komposit serta evaluasi kinerja struktur berdasarkan simpangan antar lantai masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini berkaitan dengan bagaimana merencanakan ulang struktur bangunan Gedung G2 Fakultas Teknik Universitas Warmadewa menggunakan sistem struktur komposit yang aman dan efisien sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja struktur antara sistem struktur komposit yang direncanakan dengan struktur beton bertulang eksisting, khususnya berdasarkan parameter simpangan antar lantai sebagai indikator penting dalam evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa (Alfidaus et al., 2019).

Sejalan dengan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk merancang ulang struktur Gedung G2 Fakultas Teknik Universitas Warmadewa menggunakan sistem struktur komposit baja–beton yang memenuhi persyaratan perencanaan struktur bangunan gedung sesuai standar nasional Indonesia. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja struktur antara sistem komposit dan struktur beton bertulang eksisting berdasarkan hasil analisis respons struktur terhadap pembebanan, khususnya simpangan antar lantai, sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai efektivitas penggunaan sistem struktur komposit pada bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa.

2. METODELOGI PERENCANAAN

2.1 Lokasi Perencanaan

Lokasi dari Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa ini berada di Jl. Terompong No.24, Sumerta Kelod, Kec. Denpasar Tim., Kota Denpasar, Bali 80239.

2.2 Data umum Bangunan

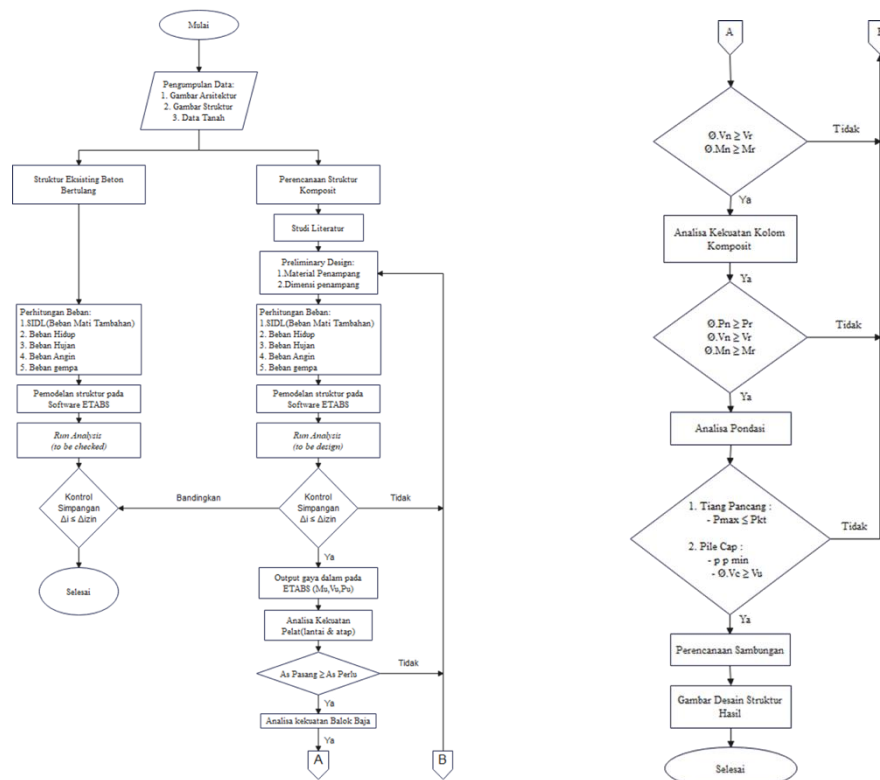
Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa merupakan bangunan Gedung yang dibangun menggunakan struktur beton bertulang dan lantai paling atas merupakan struktur baja. Gedung G2 ini terdiri dari 5 lantai yang di fungsikan sebagai Gedung kampus.

Spesifikasi Bangunan

- Nama Bangunan = Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan
- Luas Bangunan = 966 m²
- Jumlah Lantai = 5 lantai dengan 1 lantai berisi Kopi Shop
- Fungsi Bangunan = Gedung Kampus
- Lantai 1 = 4,15 m
- Lantai 2 = 4 m
- Lantai 3 = 3,8 m
- Lantai 4 = 3,8 m
- Lantai 5 = 3 m

2.3 Flowchart Penelitian

Berikut merupakan bagan alir dari Perencanaan Ulang Desain Gedung 5 Lantai G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa Dengan Menggunakan Struktur Komposit :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian dimulai dari tahap pengumpulan data berupa gambar arsitektur, gambar struktur, dan data tanah. Selanjutnya, alur terbagi menjadi dua bagian: evaluasi struktur eksisting beton bertulang dan perencanaan struktur komposit. Pada struktur eksisting dilakukan perhitungan beban (SDL, beban hidup, hujan, angin, gempa), kemudian dimodelkan pada ETABS dan dianalisis untuk mengecek simpangan apakah masih dalam batas izin. Sementara pada perencanaan struktur komposit, dilakukan studi literatur dan *preliminary design* (pemilihan material serta dimensi

penampang), dilanjutkan dengan perhitungan beban dan pemodelan pada ETABS untuk mendapatkan respons struktur.

Hasil analisis kemudian dievaluasi melalui kontrol simpangan dan dibandingkan dengan struktur eksisting. Jika memenuhi syarat, dilanjutkan dengan analisis gaya dalam, kekuatan pelat, balok baja, kolom komposit, hingga fondasi (tiang pancang atau *pile cap*). Setiap tahap harus memenuhi kriteria kekuatan (geser, momen, aksial). Jika tidak memenuhi, dilakukan perbaikan desain. Setelah semua elemen dinyatakan aman, proses dilanjutkan ke perencanaan sambungan dan pembuatan gambar desain struktur akhir, kemudian penelitian dinyatakan selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Material dan Penampang

Data material struktur komposit ditetapkan berdasarkan SNI 1729:2020 untuk baja struktural dan SNI 2847:2019 untuk beton struktural, dan dimodelkan dalam ETABS sesuai mutu material rencana:

1. Data Material

- Tegangan Tarik Baja (fu) = 410 MPa
- Tegangan Leleh Baja (fy) = 250 MPa
- Kuat Tekan Beton (f'c) = 25 MPa
- Modulus Elastisitas (Ec) = 23500 MPa
- Baja Tulangan Polos (BJTP) → fy = 240 MPa
- Baja Tulangan Polos (BJTP) → fy = 420 MPa
- Baja Tulangan Sirip (BJTP) → fy = 420 MPa
- Baja Tulangan Sirip (BJTP) → fy = 525 MPa

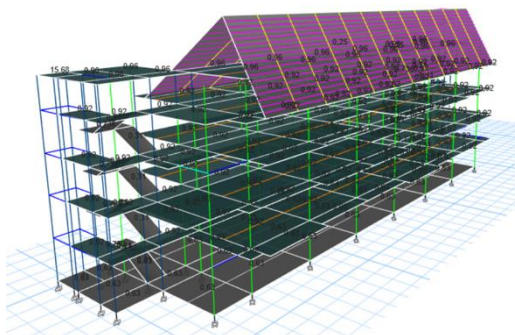
2. Data Penampang

Penampang struktur yang akan digunakan pada pemodelan ETABS v.21 untuk mendesain Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa adalah sebagai berikut :

- Penampang B1 = IWF 600x200x11x17x22
- Penampang BA1 = IWF 400x200x8x13x16
- Penampang BK1 = IWF 400x200x8x13x16
- Penampang Kolom Komposit = 500x500 dan H-beam 350x350x12x19x21
- Penampang Kolom Komposit = 400x400 dan H-beam 250x250x9x14x16
- Penampang Pelat Komposit = 120 mm
- Penampang CNP = 125x50x20x4,5 mm

3.2 Pemodelan dan Hasil Pembebanan

Pembebanan struktur pada penelitian ini meliputi beban mati, beban hidup, beban hujan, serta beban gempa sesuai dengan standar SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Beban gempa dianalisis menggunakan metode *Response Spectrum* yang mempertimbangkan karakteristik gempa wilayah Indonesia.



Gambar 2. Pemodelan dan Input Pembebanan

Berdasarkan gambar 2, pemodelan Pemodelan struktur Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS V.21 dengan mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan SNI 2847:2019, meliputi pendefinisian geometri struktur, material, elemen struktur, perletakan, dan pembebanan untuk memperoleh respons struktur.

3.2.1 Beban Mati Tambahan (SIDL)

Menurut SNI 1727:2020, beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang secara permanen, termasuk elemen struktural dan non-struktural. Dalam praktik perencanaan, beban mati sering dibedakan menjadi **berat** sendiri struktur (*Self Weight*) dan beban mati tambahan (SIDL).

Tabel 1 Beban Mati Tambahan

Material	Ukuran	Berat Jenis	
Pelat Lantai 1			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Berat keramik	5 mm	0,118	kN/m ²
Jumlah		0,63	kN/m ²
Pelat Lantai 2			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Berat MEP		0,30	kN/m ²
Berat keramik	5 mm	0,118	kN/m ²
Jumlah		0,93	kN/m ²
Pelat Lantai 3			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Berat MEP		0,30	kN/m ²
Berat keramik	5 mm	0,118	kN/m ²
Jumlah		0,93	kN/m ²
Pelat Lantai 4			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Berat MEP		0,30	kN/m ²
Berat keramik	5 mm	0,118	kN/m ²
Jumlah		0,93	kN/m ²
Pelat Lantai 5			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Berat MEP		0,30	kN/m ²
Berat keramik	5 mm	0,118	kN/m ²
Jumlah		0,93	kN/m ²
Pelat Lantai 6			
Berat spesi	30 mm	0,510	kN/m ²
Plafon Akustik		0,150	
Berat MEP		0,300	kN/m ²
Jumlah		0,960	kN/m ²

Tabel 1 menunjukkan perhitungan beban mati tambahan pada setiap lantai bangunan yang berasal dari elemen non-struktural seperti spesi, keramik, instalasi MEP, dan plafon. Pada lantai 1, beban tambahan terdiri dari spesi setebal 30 mm sebesar 0,510 kN/m² dan keramik 5 mm sebesar 0,118 kN/m² dengan total 0,63 kN/m². Untuk lantai 2 hingga lantai 5, selain spesi dan keramik juga diperhitungkan beban MEP sebesar 0,30 kN/m² sehingga total beban mati tambahan tiap lantai menjadi 0,93 kN/m². Sementara itu, pada lantai 6 terdapat tambahan plafon akustik sebesar 0,150 kN/m² bersama spesi dan MEP, menghasilkan total beban sebesar 0,960 kN/m². Data ini digunakan

sebagai *input* pembebanan dalam analisis struktur karena berkontribusi terhadap beban permanen yang bekerja pada elemen bangunan.

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada Gedung G2 Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa mengacu pada SNI 1727:2020 tabel 4.3-1. Berikut merupakan beban hidup yang diinput pada area pelat. :

Tabel 2 Beban Hidup

Nama Ruangan Pelat Lantai 1	Berat Ruangan	Satuan
Coffe Shop	= 4,79	kN/m ²
Kantor	= 2,4	kN/m ²
Lab. Beton	= 2,87	kN/m ²
Kamar Mandi	= 2,87	kN/m ²
Koridor	= 4,79	kN/m ²
Nama Ruangan Pelat Lantai 2	Berat Ruangan	Satuan
Kantor	= 2,4	kN/m ²
Kamar Mandi	= 2,87	kN/m ²
Koridor	= 4,79	kN/m ²
Nama Ruangan Pelat Lantai 3	Berat Ruangan	Satuan
Ruang Kelas Arsitek	= 1,92	kN/m ²
Kamar Mandi	= 2,87	kN/m ²
Koridor	= 4,79	kN/m ²
Nama Ruangan Pelat Lantai 4	Berat Ruangan	Satuan
Ruang Kelas Sipil,Kom.	= 1,92	kN/m ²
Kamar Mandi	= 2,87	kN/m ²
Koridor	= 4,79	kN/m ²
Nama Ruangan Pelat Lantai 5	Berat Ruangan	Satuan
Ruang Pertemuan(Audit.)	= 4,79	kN/m ²
Kamar Mandi	= 2,87	kN/m ²
Koridor	= 4,79	kN/m ²
Nama Ruangan Pelat Lantai 6	Berat Ruangan	Satuan
Tempat Pertemuan	= 4,79	kN/m ²
Pembebanan Atap	= 0,96	kN/m ²
Atap datar	= 0,96	kN/m ²

Berdasarkan Tabel 2, pada lantai 1, beban hidup bervariasi mulai dari kantor (2,4 kN/m²), laboratorium dan kamar mandi (2,87 kN/m²), hingga area dengan aktivitas tinggi seperti coffee shop dan koridor (4,79 kN/m²). Lantai 2 memiliki fungsi yang lebih sederhana dengan kantor, kamar mandi, dan koridor, sedangkan lantai 3 dan 4 didominasi oleh ruang kelas dengan beban lebih rendah (1,92 kN/m²), serta tetap mempertahankan beban kamar mandi dan koridor. Pada lantai 5 dan 6, fungsi ruang berupa ruang pertemuan atau auditorium yang memiliki beban cukup besar (4,79 kN/m²), sementara atap datar memiliki beban hidup lebih kecil yaitu 0,96 kN/m².

3.2.3 Beban Kombinasi

Kombinasi beban adalah penggabungan beberapa jenis beban yang bekerja secara bersamaan pada suatu struktur untuk mendapatkan kondisi gaya dalam yang paling kritis dalam perencanaan. Kombinasi beban digunakan agar elemen struktur dapat dirancang mampu menahan berbagai kemungkinan kondisi pembebanan yang terjadi selama masa layan bangunan. Dalam perencanaan struktur bangunan, kombinasi beban umumnya melibatkan beban mati (D), beban hidup (L), serta beban lateral seperti gempa (E) atau angin (W). Kombinasi tersebut digunakan untuk menentukan

kondisi pembebanan yang menghasilkan gaya dalam terbesar pada elemen struktur sehingga desain yang dihasilkan tetap aman dan memenuhi persyaratan kekuatan.

3.3 Analisis Gaya Geser Struktur

Analisis gaya geser adalah proses evaluasi gaya dalam yang bekerja sejajar penampang pada suatu elemen struktur akibat pengaruh beban luar.

3.3.1 Partisipasi Massa Struktur

Sebagai alternatif pada SNI 1726:2019 jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam paling sedikit 90%. Hasil partisipasi massa struktur yang diperoleh dari analisa ETABS V.21 yaitu sebagai berikut :

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	99,84	77,82
Modal	Acceleration	UY	99,81	77,73
Modal	Acceleration	UZ	0	0
MODAL NEXT	Acceleration	UX	100	94,77
MODAL NEXT	Acceleration	UY	100	94,33
MODAL NEXT	Acceleration	UZ	0	0

Gambar 3. Partisipasi Massa Hasil Output ETABS V.21 Struktur Komposit

Pada Gambar 3. Berdasarkan hasil analisis modal menggunakan ETABS V.21, diperoleh nilai partisipasi massa kumulatif yang lebih besar dari 90% pada arah translasi X dan Y, sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah ragam getar yang digunakan telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dan analisis dinamik yang dilakukan dianggap telah mewakili respons struktur secara memadai.

3.3.2 Penentuan Nilai Periode Struktur

Berikut nilai periode struktur yang akan di pakai pada T_{use} . Penentuan nilai periode fundamental struktur mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2, yang menyatakan bahwa periode fundamental pendekatan dapat dihitung menggunakan persamaan empiris sebagai berikut:

Tabel 3. Penentuan Nilai Periode Struktur

Arah	T_a	T_c	T_{MAX}	T_{use}
X	0,440	0,702	0,616	0,616
Y	0,440	0,645	0,616	0,616

Berdasarkan Tabel 3 periode pendekatan dihitung secara empiris dan kemudian dibandingkan dengan batas maksimum (T_{max}) untuk mendapatkan nilai periode yang digunakan (T_{use}). Pada tabel ditunjukkan bahwa untuk kedua arah struktur (X dan Y), nilai periode pendekatan (T_a) adalah 0,440 detik, sedangkan nilai T_c masing-masing 0,702 detik (arah X) dan 0,645 detik (arah Y). Nilai T_{max} yang diizinkan adalah 0,616 detik, sehingga periode yang dipakai dalam analisis (T_{use}) dibatasi sebesar 0,616 detik untuk kedua arah.

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun hasil perhitungan atau pendekatan awal dapat menghasilkan periode yang lebih besar, nilai tersebut harus dibatasi sesuai ketentuan standar untuk menjaga keamanan desain terhadap beban gempa. Dengan demikian, penggunaan $T_{use} = 0,616$ detik memastikan bahwa analisis respons struktur tetap berada dalam batas konservatif sesuai peraturan yang berlaku.

3.3.3 Penentuan Nilai Simpangan Struktur Komposit dan eksisting

Pengendalian simpangan struktur pada penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 tentang batasan simpangan antar lantai. Simpangan desain dihitung menggunakan persamaan $\Delta = (Cd \times \delta_e) / I_e$. Nilai simpangan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan simpangan izin sebesar 0,015 hsx sesuai dengan Tabel 20 SNI 1726:2019 untuk memastikan bahwa struktur memenuhi persyaratan kinerja terhadap gempa.

Tabel 4. Tabel Displacement Struktur Komposit

NO	Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
		δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)		δe_x (mm)	δe_y (mm)		
6	Story5	30,176	25,334	4,083	0,69	3000	14,971	2,530	34,615	OK!
5	Story4	26,093	24,644	4,59	7,829	3800	16,83	28,706	43,846	OK!
4	Story3	21,503	16,815	6,426	4,935	3800	23,562	18,095	43,846	OK!
3	Story2	15,077	11,88	8,237	5,99	4000	30,202	21,963	46,153	OK!
2	Story1	6,84	5,89	6,723	5,8	4150	24,651	21,266	47,884	OK!
1	Base	0,117	0,09	0,117	0,09	500	0,429	0,33	5,7692	OK!
0	Pedestal	0	0	0	0	0	0	0	0	OK!

Dari hasil perhitungan *drift*, seluruh lantai menunjukkan nilai *inelastic drift* yang masih lebih kecil dibandingkan dengan batas *drift* yang diizinkan (*drift limit*). Hal ini ditunjukkan oleh keterangan “OK!” pada setiap lantai, yang berarti struktur telah memenuhi persyaratan kinerja simpangan sesuai standar (umumnya SNI gempa). Dengan demikian, struktur komposit yang direncanakan memiliki kekakuan yang cukup dan aman terhadap deformasi akibat beban lateral seperti gempa.

Tabel 5. Tabel Displacement Struktur Eksisting

NO	Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
		δe_x (mm)	δe_y (mm)	δe_x (mm)	δe_y (mm)		δe_x (mm)	δe_y (mm)		
6	Story5	35,649	32,866	3,286	-0,229	3000	12,048	-0,839	34,615	OK!
5	Story4	32,363	33,095	5,152	10,75	3800	18,890	39,416	43,846	OK!
4	Story3	27,211	22,345	7,419	6,211	3800	27,203	22,773	43,846	OK!
3	Story2	19,792	16,134	10,075	7,93	4000	36,941	29,076	46,153	OK!
2	Story1	9,717	8,204	7,794	6,596	4150	28,578	24,185	47,884	OK!
1	Base	1,923	1,608	1,923	1,608	1500	7,051	5,896	17,307	OK!
0	Pedestal	0	0	0	0	0	0	0	0	OK!

Dari Tabel 5 Nilai *displacement* terbesar terjadi pada lantai teratas (Story 5), yaitu sekitar 35,649 mm (arah X) dan 32,866 mm (arah Y), kemudian nilainya berkurang secara bertahap hingga ke dasar struktur. Selain itu, ditampilkan juga *elastic drift* dan *inelastic drift* yang menunjukkan besarnya simpangan antar lantai akibat beban lateral seperti gempa, dengan mempertimbangkan faktor reduksi. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan, seluruh nilai *inelastic drift* pada setiap lantai masih berada di bawah batas *drift* yang diizinkan (*drift limit*) sesuai peraturan. Hal ini dibuktikan dengan keterangan “OK!” pada semua lantai, yang berarti struktur eksisting masih memenuhi persyaratan kinerja deformasi. Dengan demikian, struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban lateral tanpa mengalami simpangan berlebih yang dapat membahayakan elemen struktur maupun non-struktur

Simpangan maksimum struktur komposit pada lantai teratas berada pada kisaran $\pm 25-30$ mm (arah X : 30,176 mm dan arah Y : 25,334 mm), sedangkan struktur beton bertulang eksisting pada Tabel 4.35 menunjukkan simpangan yang lebih besar, yaitu mencapai $\pm 32-35$ mm (arah X : 35,649 mm dan arah Y : 32,866 mm). Hal ini menunjukkan bahwa simpangan struktur beton bertulang lebih besar dibandingkan struktur komposit pada tingkat yang sama.

3.4 Analisis Pelat Bonded

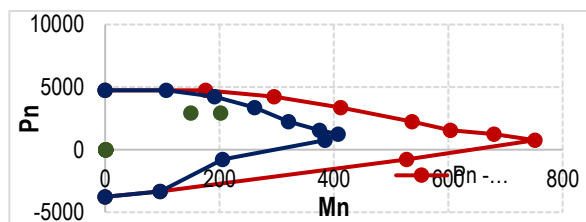
Analisa dilakukan menggunakan pelat komposit dengan tebal total 120 mm dan tinggi rusuk gelombang (hr) 20 mm, di mana dek baja berfungsi ganda sebagai bekisting tetap saat pengecoran sekaligus sebagai tulangan tarik positif setelah beton mengeras. Perhitungan gaya dalam menunjukkan *momen ultimate* (M_u) sebesar 79,975 kNm dengan garis netral penampang retak (Y_{cc}) sedalam 32,76 mm, yang masih berada dalam batas aman terhadap tinggi efektif pelat. Dari sisi kekakuan, rasio modulus antara baja dan beton (n) adalah 8,51 dengan inersia penampang retak sebesar $106,30 \times 10^6 \text{ mm}^4$, yang menghasilkan nilai lendutan di bawah batas izin sehingga kontrol lendutan dinyatakan memenuhi syarat keamanan (OK).

3.5 Analisa Penampang Balok IWF

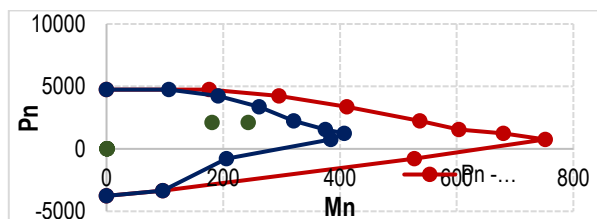
Balok induk B1 dirancang menggunakan profil baja IWF 600x200x11x17x22 dengan mutu material BJ 41 (f_y 250 MPa dan f_u 410 MPa) yang bekerja secara komposit dengan pelat beton. Hasil analisis menunjukkan kapasitas momen nominal sebesar 644,215 kNm untuk arah X dan 51,141 kNm untuk arah Y, serta kapasitas geser nominal sebesar 861,300 kN (arah X) dan 382,500 kN (arah Y). Dengan beban yang bekerja, didapatkan rasio kapasitas sebesar 0,64, yang berarti penampang balok ini dinyatakan AMAN dan efisien karena masih berada di bawah batas izin. Pengecekan terhadap aspek kekakuan juga menunjukkan bahwa seluruh lendutan yang terjadi memenuhi standar batas maksimum yang diizinkan (Status OK).

3.6 Analisa Penampang Kolom Komposit

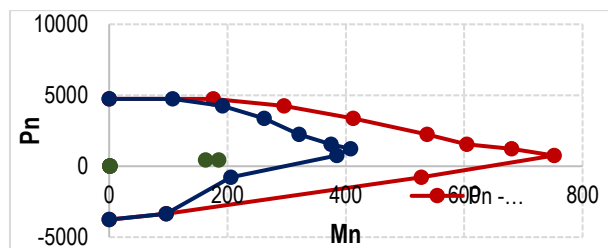
Perencanaan dan analisis kolom komposit pada penelitian ini mengacu pada SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, khususnya pada ketentuan mengenai elemen tekan komposit. Dalam perencanaan ini dilakukan evaluasi terhadap kapasitas aksial dan momen kolom berdasarkan interaksi gaya yang terjadi, serta memastikan bahwa kapasitas penampang lebih besar daripada gaya dalam hasil analisis struktur (Wang et al., 2024). Berikut analisa menggunakan Diagram Interaksi untuk mengontrol 3 kondisi P_{max} , M_{max} dan $M_{y_{max}}$:



Gambar 4. Kondisi P_{max} Kolom Komposit



Gambar 5. Kondisi M_{max} Kolom Komposit



Gambar 6. Kondisi Mymax Kolom Komposit

Berdasarkan hasil analisis diagram interaksi pada Gambar 4., 5., dan 6., dapat disimpulkan bahwa kolom komposit berada dalam kondisi Aman (OK). Seluruh titik pembebanan (P_{max} , M_{max} , dan $M_{y_{max}}$) berada di dalam kurva kapasitas $P_n - M_n$ baik pada arah X maupun arah Y, sehingga kolom memiliki kapasitas yang memadai untuk memikul beban desain.

3.7 Perhitungan SCWB

SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, khususnya pada perencanaan elemen tekan komposit yang mempertimbangkan kontribusi material baja dan beton secara bersamaan (Pardeshi & Patil, 2021). Berdasarkan hasil analisis dalam dokumen tersebut, pemeriksaan prinsip SCWB (*Strong Column Weak Beam*) dilakukan dengan membandingkan kapasitas momen kolom (M_{pc}) dan balok (M_{pb}) pada pertemuan penampang kolom K1 dan balok induk B1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah kapasitas momen kolom (M_{pc}) adalah sebesar 864.779.637,4 Nmm, sedangkan jumlah kapasitas momen balok (M_{pb}) yang telah diperhitungkan dengan faktor perkuatan adalah 507.822.000,0 Nmm. Dengan membagi kedua nilai tersebut, diperoleh nilai rasio SCWB sebesar 1,12, yang berarti kapasitas kolom jauh lebih kuat dibandingkan balok ($1,12 > 1,0$), sehingga struktur tersebut dinyatakan telah memenuhi syarat keamanan desain gedung tahan gempa.

3.8 Perencanaan Sambungan Balok-Kolom

Perencanaan sambungan ini menggunakan baut dengan diameter 35 mm berjumlah 4 atas dan dibawah 4. Mulai dari kontrol diameter (33,48), Jarak pola garis leleh terhadap baut tarik terdalam (81,24 mm) dan sampai kontrol geser pada kolom sudah memenuhi.



Gambar 7. Analisis Sambungan Menggunakan Software IDEA Statica

Berdasarkan tampilan antarmuka IDEA StatiCa dalam gambar 7, analisis koneksi ini dinyatakan valid dan memenuhi syarat keamanan (*pass*) karena seluruh komponen utama telah melewati verifikasi kapasitas sesuai standar desain yang berlaku. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa analisis telah rampung 100%, dengan pemanfaatan material pelat (*Plates*) yang sangat aman di angka $0,2 < 5,0\%$, serta baut (*Bolts*) dan las (*Welds*) yang bekerja dalam batas elastis-plastis yang diizinkan (masing-masing di bawah 100% pemanfaatan). Penggunaan pengaku (*stiffeners*) pada kolom memberikan integritas struktural yang diperlukan untuk menahan gaya dari balok, sehingga secara teknis desain ini optimal, stabil, dan siap untuk tahap fabrikasi dengan estimasi biaya produksi yang sudah terhitung secara transparan.

3.9 Perencanaan Sambungan Base Plate Angkur

Perencanaan sambungan angkur pada dasar kolom menggunakan pelat landasan (*base plate*) berdimensi 600x600 mm dengan ketebalan 25 mm yang dipasang di atas *pedestal* beton mutu $f_c = 30$ MPa. Sambungan ini menggunakan 20 buah angkur baut tipe ASTM A325M berdiameter 22 mm (masing-masing 10 buah pada sisi tarik dan tekan) dengan jarak antar angkur 100 mm dan jarak ke tepi pelat 45 mm untuk memikul gaya aksial terfaktor sebesar 2.925.762 N, momen lentur 242.571 Nmm, serta gaya geser 165.164 N. Keseluruhan desain ini telah divalidasi menggunakan perangkat lunak IDEA Statica untuk memastikan distribusi gaya pada baut, las, dan pelat telah memenuhi syarat keamanan dan efisiensi sesuai standar SNI 1729:2020.

3.10 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dan Pile Cap

Perencanaan fondasi tiang pancang pada penelitian ini mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Tata Cara Perencanaan Geoteknik yang digunakan untuk menentukan daya dukung aksial tiang, daya dukung kelompok tiang, serta penurunan fondasi. Perencanaan elemen struktur fondasi seperti *pile cap* mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sistem fondasi pada redesain gedung ini menggunakan kombinasi tiang pancang beton pracetak (*spun pile*) berdiameter 30 cm dengan panjang 7 meter yang difungsikan sebagai *end bearing pile* untuk mencapai lapisan tanah keras, di mana setiap titik kolom tipe K1 ditumpu oleh kelompok 6 buah tiang. Beban dari struktur atas kemudian disalurkan melalui *pile cap* beton bertulang berdimensi 1,9 x 1,9 meter dengan ketebalan 700 mm, yang dirancang menggunakan penulangan utama D19-120 pada sisi bawah dan D19-150 pada sisi atas untuk menjamin kekakuan struktural. Di atas *pile cap* tersebut, terdapat sambungan kolom komposit yang menggunakan *base plate* baja berukuran 600 x 600 mm dengan ketebalan 25 mm, yang diperkuat dengan 20 buah angkur baut ASTM A325M berdiameter 22 mm pada *pedestal* beton ukuran 700 x 700 mm. Seluruh rangkaian dimensi ini secara integratif mampu memikul beban aksial terfaktor sebesar 2.842,79 kN serta momen lentur dan gaya geser secara aman sesuai dengan standar teknis SNI yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa redesain Gedung 5 Lantai Fakultas Teknik Universitas Warmadewa menggunakan sistem komposit (baja terbungkus beton) terbukti lebih aman dan efisien dibandingkan struktur beton eksisting, ditunjukkan dengan nilai rasio kapasitas kolom (K1) sebesar 0,81 dan balok (B1) sebesar 0,64 serta kinerja simpangan antar lantai yang lebih kaku dan stabil sesuai standar SNI 1726:2019. Perencanaan struktur bawah juga dinyatakan memenuhi syarat keamanan dengan penggunaan fondasi tiang pancang diameter 30 cm sedalam 7 meter yang ditopang oleh *pile cap* 1,9 x 1,9 meter, serta sistem sambungan *base plate* setebal 25 mm dengan 20 buah angkur baut diameter 22 mm yang secara keseluruhan mampu memikul beban aksial terfaktor sebesar 2.842,79 kN secara optimal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alfidaus, A. P., Dapas, S. O., & Handono, B. D. (2019). Evaluasi Teknis Penggunaan Kolom Komposit Baja Beton Pada Bangunan Bertingkat Banyak. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 285–290. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/22799>
- Arora, H. S., Ayyagari, A., Saini, J., Selvam, K., Riyadh, S., Pole, M., Grewal, H. S., & Mukherjee, S. (2019). High Tensile Ductility and Strength in Dual-phase Bimodal Steel through Stationary Friction Stir Processing. *Scientific Reports*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38707-3>
- Di Sarno, L., Majidian, A., & Karagiannakis, G. (2021). The effect of atmospheric corrosion on steel structures: A state-of-the-art and case-study. *Buildings*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/buildings11120571>
- Fahmi, M. T. H., Bangladesh, C., & Study, A. (2022). *Material Science Research India Composite Columns in Building Structure - A Analytical Study*. 19(2).
- Giatmajaya, I. W., Darmayasa, I. G. O., & Astaty Sukawati, N. K. S. (2020). Perencanaan

Struktur Komposit Baja-Beton Dengan Metode Lrfd (Load And Resistance Factor Design) Ruang Kelas Lantai Iii Smk Pariwisata Labuan Bajo – Flores – Ntt. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 3(2), 52–61. <https://doi.org/10.47532/jiv.v3i2.214>

Gokhan Tunc, M. M. O. and H. C. M. (2022). *Encased Steel Composite Columns*.

Karya, J., & Sipil, T. (2017). Gambar 1 Pengaruh Konfigurasi Baja Dan Faktor Kelangsingan Terhadap Kapasitas Tekan Kolom. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(1), 366–374. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>

Kulasuriya, C. (2005). Aesthetics in Structures. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 38(3), 45. <https://doi.org/10.4038/engineer.v38i3.7222>

Mansour, W., Osama, B., Li, W., Wang, P., & Sobuz, H. R. (2024). Numerical Response of Concrete - Filled Steel Tubular (CFST) Columns Externally Strengthened with FRP Composites Subjected to Cyclic Loading. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00716-6>

Nursani, R., & Al Huseinny, M. S. (2022). Analisis Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Komposit Dan Kolom Non Komposit. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 196. <https://doi.org/10.26418/jtst.v21i2.50218>

Pardeshi, R. T., & Patil, Y. D. (2021). Review of Various Shear Connectors in Composite Structures. *Advanced Steel Construction*, 17(4), 394–402. <https://doi.org/10.18057/IJASC.2021.17.4.8>

Park, K., Lee, S., Bae, K., & Moon, J. (2022). *Strength of Partially Encased Steel-Concrete Composite Column for Modular Building Structures*.

Rabi, M. (2025). Investigation on the Buckling Behavior of Normal Steel CHS Beam–Columns: A Revised Design Approach with Reliability Analysis. *Buildings*, 15(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/buildings15101708>

Rodrigues, C. (2023). *Finite element analysis criteria for composite steel decking concrete slabs subjected to fire*. 139(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103818>

Rofa, D. M. S., & PG, R. (n.d.). *Comparison Of Seismic Behavior Of A Structure With Composite*. 8(Xii), 2133–2139.

Sirimontree, S., Thongchom, C., Keawsawasvong, S., & Nuaklong, P. (2021). *Experimental Study on the Behavior of Steel – Concrete Composite Decks with Different Shear Span-to-Depth Ratios*.

Wang, J., Jiao, Y., Cui, M., Yang, W., Fang, X., & Yan, J. (2024). *The investigation on flexural performance of prestressed concrete-encased high strength steel beams*. 0–1. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.148919>