



Analisis Komposit Struktur Baja dengan Beton (*Jacketing*) pada Proyek Gedung Pertemuan dan Pernikahan, Ciwaruga - Bandung

Tian Eko Saputra, Asri Winita

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

tianida2227@gmail.com, asri.winita@dosen.undira.ac.id

Abstrak

Dalam studi ini, perancangan sistem struktur komposit baja-beton pada proyek gedung pertemuan dan pernikahan di Ciwaruga, Bandung Barat, dikaji secara mendalam. Proyek awal dirancang menggunakan material dominan baja pada rangka utama dan pelat beton pada lantai, yang menyebabkan munculnya titik kritis non-monolit yang meningkatkan potensi pergeseran struktur dan risiko kebocoran, khususnya pada area kolam. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang detail sistem struktur komposit yang optimal menggunakan metode pembungkus beton (*jacketing*) sesuai dengan SNI 1729:2020 dan SNI 2847:2019, serta membandingkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) antara desain full-baja eksisting dengan desain komposit. Penelitian ini menggunakan pemodelan struktur komposit tiga dimensi untuk mengevaluasi gaya dalam ultimit akibat kombinasi beban gravitasi dan beban seismik dinamis (*Spektrum Respons*). Hasil utama menunjukkan bahwa metode *jacketing* secara efektif mengintegrasikan balok baja dan pelat lantai beton untuk berperilaku secara monolitik, sehingga mengeliminasi risiko pergeseran. Selanjutnya, sistem komposit ini memungkinkan reduksi dimensi profil baja secara signifikan sambil tetap mempertahankan tingkat lendutan yang aman. Secara ekonomis, struktur komposit membutuhkan total biaya sebesar Rp. 2.374.033.478, yakni 5% lebih tinggi daripada desain baja awal, karena penambahan volume beton dan tulangan melebihi penghematan dari pengurangan berat baja. Kesimpulannya, sistem *jacketing* sangat esensial untuk menjamin integrasi struktural pada area basah meskipun membutuhkan investasi awal yang sedikit lebih tinggi.

Kata kunci: Struktur Komposit Baja-Beton, *Jacketing*, Non-Monolit, Rencana Anggaran Biaya (RAB), Gedung Pertemuan.

1. Pendahuluan

Penggunaan struktur baja sangat populer pada konstruksi saat ini. Selain kekuatannya dalam menahan beban, keunggulan utama lainnya terletak pada waktu konstruksi yang cepat karena tidak membutuhkan bekisting seperti pada struktur beton. Namun, struktur baja tidak fleksibel untuk bangunan arsitektural yang terdapat banyak perbedaan level lantai dan banyak spot area kolam. Teori "Ruang Universal" oleh Ludwig Mies van der Rohe (1950) menyatakan bahwa penggunaan balok IWF secara seragam dan netral dimaksudkan untuk satu bentang lurus tanpa ditekuk (*voute*), karena penekukan akan mengurangi kekuatan balok tersebut.



Gambar 1 Perbedaan Struktur Beton dan Baja

Proyek gedung pertemuan dan pernikahan di Jl. Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat dirancang sebagai destinasi multifungsi dengan konsep arsitektur modern-artistik. Bangunan ini mengandalkan struktur bentang lebar yang didominasi oleh material baja ($\pm 80\%$) sebagai rangka utama dan beton ($\pm 20\%$) sebagai pelat lantai. Interaksi antara dua material yang memiliki sifat berbeda (non-monolit) ini menciptakan sebuah "Titik Kritis" pada desain dan

pelaksanaan. Kompleksitas yang muncul menuntut perhatian khusus untuk menjamin transfer beban yang sempurna. Konstruksi yang bergantung pada sambungan memerlukan desain khusus untuk mencapai kontinuitas struktural, guna mencegah potensi kebocoran pada area pertemuan balok baja dengan pelat beton di area kolom.

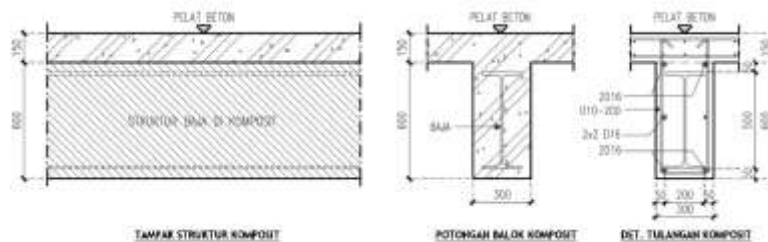
Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan merancang detail sistem struktur komposit baja-beton (*jacketing*) yang optimal pada area kolom. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan konfigurasi elemen beton pembungkus secara efektif guna menyatukan balok baja dan pelat beton agar berperilaku monolit, serta membandingkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) antara desain awal full baja dengan desain baru bersistem komposit.

2. Tinjauan Pustaka

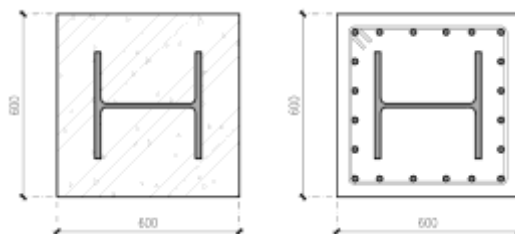
2.1. Dasar Teori

Struktur komposit baja-beton telah menjadi solusi struktural yang sangat diunggulkan dalam dunia teknik sipil modern, khususnya untuk konstruksi gedung bertingkat tinggi dan bentang panjang. Penggunaan material komposit ini didasari oleh kebutuhan untuk memadukan keunggulan sifat-sifat fundamental baja dan beton, yaitu kuat tekan tinggi dan ketahanan api beton dengan kuat tarik tinggi dan daktilitas baja (Salmon & Johnson, 1996; Tjokrodinulyo, 2007).

Struktur Baja Terbungkus Beton (*Concrete Encased Steel Column - SRC*): Profil baja, seperti profil King Cross (KC) atau WF, sepenuhnya diselubungi oleh beton bertulang. Beton pada tipe ini berfungsi sebagai pelindung baja dari korosi dan api, sekaligus menahan sebagian besar gaya tekan dan meningkatkan kekakuan elemen (Alfirdaus, 2019).



Gambar 2 Contoh Komposit dan penulangan pada balok



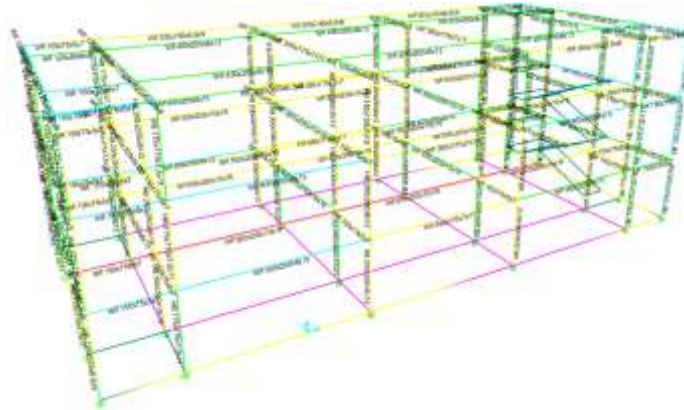
Gambar 3 Contoh komposit dan penulangan pada kolom

Menurut Sumampouw dkk. (2018) dalam Jurnal Sipil Statik, balok baja dan pelat beton harus dihubungkan menggunakan shear connector agar kedua elemen tersebut bekerja secara integral dan mencegah slip, yang merupakan cara untuk mengatasi sifat non-monolit dan mencapai aksi komposit penuh. *Shear connector*, seperti stud atau channel, berfungsi sebagai penghubung fisik yang mentransfer gaya geser longitudinal antara pelat beton dan balok baja. Keberadaan dan desain shear connector yang tepat sangat vital; ia harus memastikan kedua material tersebut berperilaku seolah-olah mereka adalah satu kesatuan (monolit). Perhitungan yang cermat terhadap tipe, jumlah, dan spasi shear connector harus dilakukan berdasarkan SNI untuk menjamin efisiensi transfer beban, mencegah kegagalan geser pada sambungan, serta memastikan keandalan struktur secara keseluruhan.

2.2. Struktur Pemodelan

Pemodelan struktur gedung pertemuan dilakukan dalam format tiga dimensi (3D) untuk merepresentasikan kondisi eksisting secara komprehensif, mengadopsi standar pembebanan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Sistem pemikul beban utama awalnya menggunakan profil baja *Wide Flange* (WF) dan *H-Beam* murni. Untuk memitigasi kelemahan sifat non-monolit antara baja dan pelat beton, diterapkan konsep struktur komposit baja terbungkus beton (*Concrete Encased Steel Column / SRC* atau *Jacketing*). Pemodelan komposit ini mensyaratkan integrasi elemen menggunakan *shear connector* (seperti sengkang pengekang dan tulangan longitudinal) agar material yang memiliki sifat mekanis berbeda dapat bekerja secara bersama-sama (monolitik) dalam menahan kombinasi beban

aksial, lentur, dan geser, khususnya pada titik rawan pergeseran di area basah seperti kolam. Beban gempa diaplikasikan menggunakan metode Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons (*Response Spectrum Analysis*) untuk mengevaluasi secara akurat perilaku dinamis struktur terhadap getaran seismik.



Gambar 4 Pemodelan 3D Struktur Baja Existing

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas: SD - Tanah Sedang

Periode T(s): 0.73

PGA MCE: 0.3385 (g) bedrock

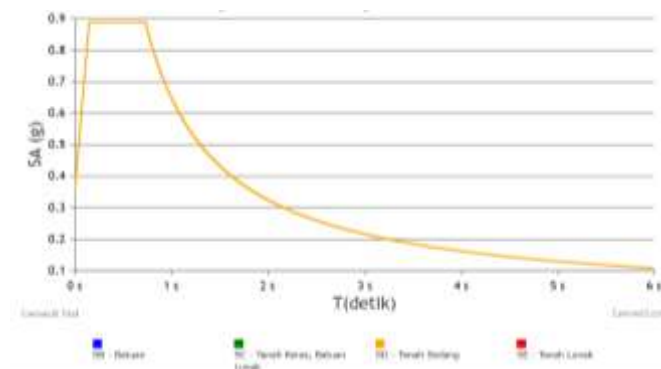
SS MCE: 1.3396 (g) bedrock

SI MCE: 0.5588 (g) bedrock

TL: 0 Detik

TD(detik)	Td(detik)	Sds(g)	Sdt(g)
0.15	0.73	0.89	0.15

Gambar 5 Parameter Spektrum Respon Lokasi Proyek



Gambar 6 Grafik Spektrum Respon Lokasi proyek

2.3. Analisis Struktur

Analisis struktur pada elemen komposit mencakup evaluasi kekuatan batas (*Ultimate Strength*) dan kelayakan (*Serviceability*) berdasarkan pedoman SNI 1729:2020 dan SNI 2847:2019. Pendekatan teoritis yang fundamental dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Metode Penampang Transformasi (*Transformed-Section Method*) : Digunakan pada kondisi linier elastis untuk menentukan distribusi beban aksial dan momen lentur. Karena baja lebih kaku daripada beton, luasan profil baja ditransformasikan secara imajiner menjadi luasan beton ekuivalen dengan mengalikan luas aktualnya terhadap Rasio Modular ($n=E_s/E_c$). Prinsip ini didasari oleh asumsi kompatibilitas regangan (*strain compatibility*), di mana $\epsilon_s = \epsilon_c$

- 2) Kapasitas Aksial dan Lentur (Interaksi P-M) : Kekuatan elemen vertikal seperti kolom dievaluasi melalui diagram interaksi P-M untuk memastikan bahwa kombinasi gaya aksial terfaktor (P_u) dan momen lentur terfaktor (M_u) tidak melampaui batas selubung kapasitas penampang (titik berada di dalam area aman).
- 3) Kapasitas Geser dan Pengekangan (*Confinement*) : Analisis gaya geser ultimit (V_u) pada balok dan kolom umumnya dapat dipikul secara mandiri oleh pelat badan baja ($V_{ns} = 0,6 \times f_y \times A_{web}$). Walaupun kapasitas geser baja telah memadai, beton pembungkus tetap harus dilengkapi dengan sengkang (tulangan *transversal*) pengekan untuk mematuhi kaidah pendetailan seismik, menghindari retak mikro, serta menjaga ikatan lekatan (*bond*) antara baja dan beton.
- 4) Analisis Kelayakan (Lendutan dan Simpangan Lateral) : Integritas non-struktural diuji melalui analisis lendutan. Karena pengaruh gaya aksial dan potensi retak beton, inersia penampang utuh tidak dapat digunakan. Oleh karenanya, dihitung Kekakuan Lentur Efektif (EL_{eff}), yang mereduksi kontribusi inersia beton. Lendutan aktual (Δ_{aktual}) harus dijaga ketat agar selalu lebih kecil dari lendutan izin (Δ_{izin}), yaitu $H/300$ untuk kolom komposit dan $L/360$ untuk balok komposit.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis pendekatan Studi Kasus Teknik (*Engineering Case Study*) yang difokuskan pada analisis perancangan struktur komposit. Data yang digunakan bersifat Kuantitatif yang bersumber dari dokumen proyek (data dimensi, gambar, spesifikasi material) dan studi literatur (peraturan SNI dan literatur terkait). Objek penelitian dibatasi secara spesifik pada area kolom 1 di proyek gedung pertemuan dan pernikahan yang berlokasi di Jl. Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat. Analisis difokuskan pada struktur atas (kolom dan balok) tanpa meninjau struktur bawah atau fondasi.

3.1. Bahan dan Sumber Data

Sumber data yang digunakan terdiri dari data primer berupa dokumen proyek (gambar arsitektur, gambar struktur eksisting, dan spesifikasi teknis) serta data sekunder yang meliputi pedoman Standar Nasional Indonesia (SNI) dan literatur terkait. Material utama yang ditetapkan dan digunakan secara spesifik untuk analisis struktur ini meliputi:

- 1) Beton: Mutu beton yang digunakan adalah f'_c 25 MPa untuk seluruh komponen selubung beton (*jacketing*), dengan berat jenis 2400 kg/m^3 dan modulus elastisitas $E_c = 23.500 \text{ MPa}$.
- 2) Baja Profil (Struktur Utama): Rangka baja utama menggunakan mutu baja BJ 37 dengan tegangan leleh (f_y) = 240 MPa, tegangan ultimit (f_u) = 370 MPa, berat jenis baja 7850 kg/m^3 , dan modulus elastisitas $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.
- 3) Baja Tulangan: Besi tulangan polos (untuk diameter $< 12 \text{ mm}$) menggunakan mutu TS-28 ($f_y = 280 \text{ MPa}$) yang dialokasikan untuk sengkang, sedangkan besi ulir (untuk diameter $\geq 12 \text{ mm}$) menggunakan mutu TS-42 ($f_y = 400 \text{ MPa}$) yang diaplikasikan untuk tulangan longitudinal.

3.2. Tahapan Analisis dan Kerangka Kerja

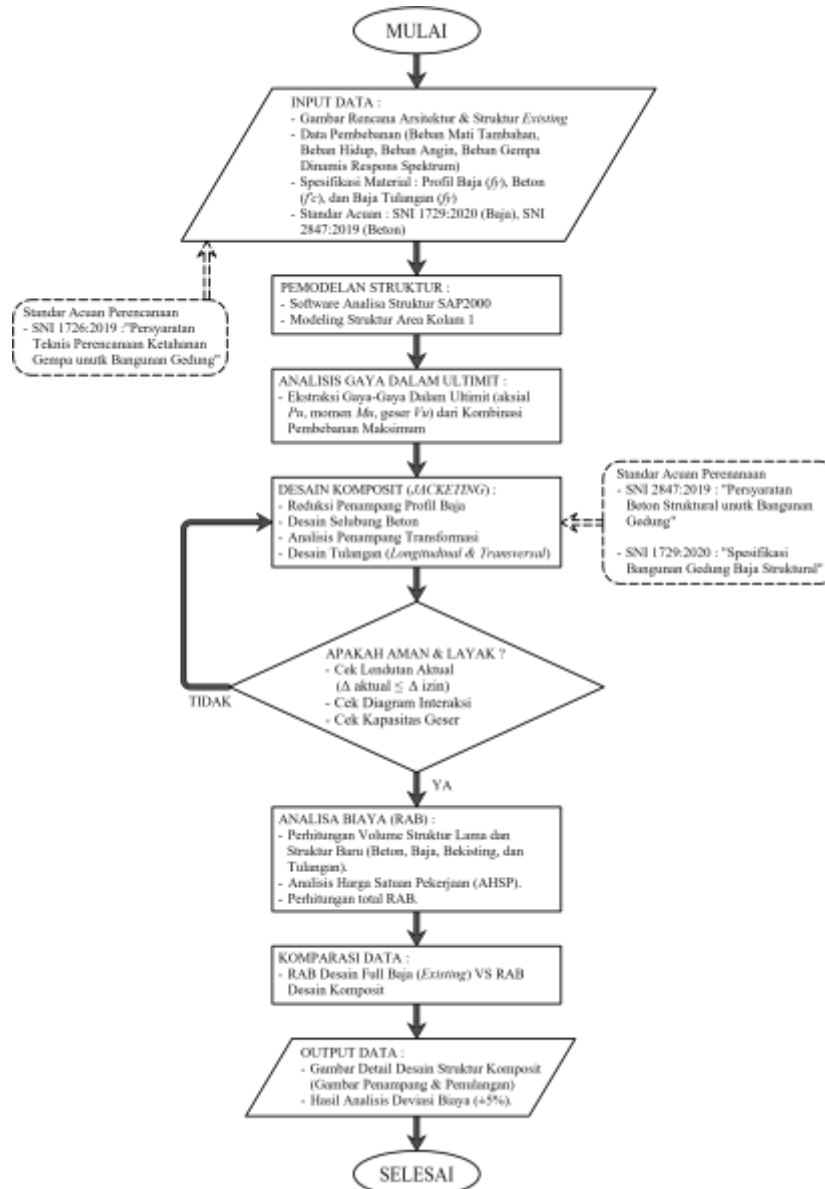
Metode analisis dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Rincian tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Pemodelan dan Ekstraksi Gaya Dalam : Struktur gedung dimodelkan secara tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SAP2000. Pembebanan diaplikasikan berdasarkan SNI 1727:2020 untuk beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) serta SNI 1726:2019 untuk beban gempa dinamis menggunakan metode Analisis Ragam Spektrum Respons. Hasil pemodelan ini digunakan untuk mengekstraksi gaya dalam ultimit maksimum (gaya aksial P_u , geser V_u , dan momen M_u) pada elemen baja murni (*eksisting*).
- 2) Perancangan Desain Komposit (*Jacketing*) : Setelah profil baja kritis teridentifikasi dan gaya dalamnya diperoleh, penampang profil baja direduksi dimensinya dan didesain ulang menjadi struktur komposit berselubung beton. Distribusi beban antara material baja dan beton dievaluasi melalui *Metode Penampang Transformasi Elastis* dengan mengaplikasikan rasio modular penampang ($n = E_s / E_c$). Kebutuhan detail tulangan utama (longitudinal) dan spasi sengkang transversal (untuk *confinement* pengekan) kemudian dihitung menggunakan standar SNI 2847:2019 dan SNI 1729:2020.
- 3) Pengecekan Keamanan dan Kelayakan : Kapasitas penampang kolom komposit hasil perancangan dievaluasi secara grafis menggunakan diagram interaksi P-M, guna memastikan bahwa seluruh kombinasi gaya aksial dan momen lentur berada dalam selubung batas aman keruntuhan tekan maupun tarik. Selain kekuatan batas, pengecekan kelayakan (*serviceability*) juga dihitung secara ketat melalui penentuan kekakuan lentur efektif (EL_{eff}) untuk menjamin simpangan atau lendutan aktual (Δ_{aktual}) tidak melampaui

standar batas lendutan izin, yaitu $H/300$ untuk kolom komposit dan $L/360$ untuk balok komposit.

- 4) Analisis Perbandingan Rencana Anggaran Biaya (RAB) : Pada tahap akhir, setelah desain komposit diverifikasi keamanan dan kelayanannya, dilakukan perhitungan ulang volume pekerjaan struktur (meliputi tonase baja profil, volume pengecoran beton, luasan bekisting, dan berat besi tulangan). Biaya pelaksanaan struktur dihitung dan dibandingkan menggunakan metode Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) mengacu pada pedoman turunan Kementerian PUPR Tahun 2023, guna mendapatkan persentase efisiensi dan deviasi anggaran antara desain *full baja* eksisting dengan desain komposit.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 7 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur dievaluasi secara *komprehensif*. Beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load/SDL*) pada lantai atap/kolam (Lantai 3) mencapai 434 kg/m^2 , yang mencakup beban air kolam setinggi 0,3 meter sebesar 300 kg/m^2 , plafon, dan finishing. Beban hidup (*Live Load*) ruang pertemuan ditetapkan 500 kg/m^2 , sedangkan beban hidup atap untuk perawatan kolam (saat air kosong) ditetapkan 100 kg/m^2 . Beban gempa dianalisis menggunakan

metode Dinamik Spektrum Respons dengan parameter Kategori Risiko III dan Kategori Desain Seismik D ($S_{DS} = 0,89$, $S_{D1} = 0,65$).

4.2. Ekstraksi Gaya Dalam dari Model Baja Eksisting

Berdasarkan *run analysis* SAP2000 pada desain awal (full baja), gaya dalam maksimum diekstraksi untuk proses reduksi. Berikut adalah ringkasan gaya dalam dari elemen paling kritis (Representasi Output Data SAP2000):

Tabel 1 Hasil Run Analysis Gaya Dalam Maksimum Kolom dan Balok Eksisting Kritis

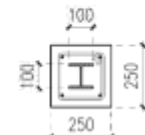
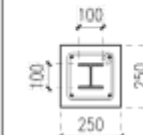
Elemen	Profil Eksisting	Aksial (Pu) (kg)	Lateral (Vu) (kg)	Momen (Mu) (kg.m)
Kolom K9	Hb.400x400x13x21	210.270,80	5.734,08	11.059,27
Kolom K8	Hb.350x350x12x19	143.758,51	10.994,12	9.603,24
Balok WF.500	WF.500x200x10x16	-	13.383,49	21.551,27
Balok WF.400	WF.400x200x8x13	-	14.936,64	18.463,70

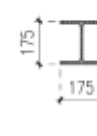
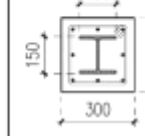
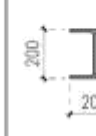
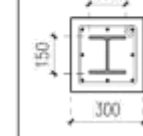
4.3. Perancangan Struktur Komposit (*Jacketing*)

Penerapan sistem komposit memungkinkan profil baja awal untuk direduksi ukurannya. Sebagai contoh pada **Kolom K9**, profil Hb.400x400x13x21 direduksi menjadi Hb.350x350x12x19 dengan selimut beton komposit 50x50cm. Perhitungan kebutuhan tulangan longitudinal menghasilkan $A_{perlu} = 3841,41 \text{ mm}^2$, sehingga dipasang 20 D 16 ($A_s = 4019 \text{ mm}^2$). Senggang transversal menggunakan D10-150 untuk memenuhi kriteria pengekanan (confinement). Kekakuan lentur efektif (El_{eff}) kolom ini mencapai $1,43 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$, menghasilkan lendutan lateral aktual hanya sebesar 1,05 mm, sangat aman dari batas lendutan izin $H/300 = 11,67 \text{ mm}$.

Pada **Balok WF.500**, profil awal WF.500x200x10x16 direduksi menjadi WF.400x200x8x13 dan dibungkus menjadi dimensi 35x75 cm. Tulangan utama yang dibutuhkan adalah 4 D 16 dengan tambahan tulangan pinggang 2 D 13 karena tinggi balok melebihi 60 cm. Distribusi momen pada komposit menunjukkan bahwa dari total $M_u = 21.551,27 \text{ kg.m}$, baja menahan 2.984,50 kg.m, beton menahan 17.761,38 kg.m, dan tulangan menahan 805,40 kg.m. Lendutan aktual balok ini adalah 0,84 mm, jauh di bawah batas izin $L/360 = 22,22 \text{ mm}$.

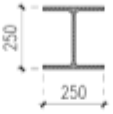
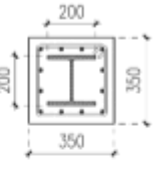
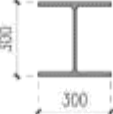
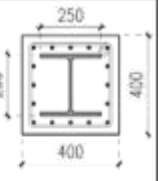
Tabel 2 Penulangan Kolom Komposit

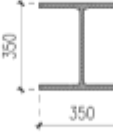
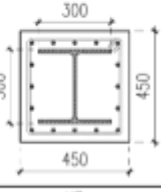
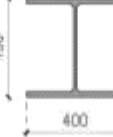
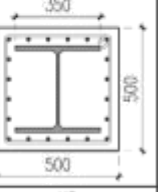
	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT KOLOM			KOMPOSIT KOLOM		
TYPE H-BEAM	K2	K1	TYPE H-BEAM	K3	K1
UKURAN H-BEAM	Hb.125x125x6,5x9	Hb.100x100x6x8	UKURAN H-BEAM	Hb.150x150x7x10	Hb.100x100x6x8
UKURAN KOLOM BETON	-	250x250	UKURAN KOLOM BETON	-	250x250
JUMLAH TULANGAN	-	4 D 13	JUMLAH TULANGAN	-	4 D 13
SENGKANG	-	D10-150	SENGKANG	-	D10-150
TINGGI	3500mm	3500mm	TINGGI	3500mm	3500mm

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT KOLOM			KOMPOSIT KOLOM		
TYPE H-BEAM	K4	K3	TYPE H-BEAM	K5	K3
UKURAN H-BEAM	Hb.175x175x7,5x11	Hb.150x150x7x10	UKURAN H-BEAM	Hb.200x200x8x12	Hb.150x150x7x10
UKURAN KOLOM BETON	-	300x300	UKURAN KOLOM BETON	-	300x300
JUMLAH TULANGAN	-	8 D 13	JUMLAH TULANGAN	-	8 D 13
SENGKANG	-	D10-150	SENGKANG	-	D10-150
TINGGI	3500mm	3500mm	TINGGI	3500mm	3500mm

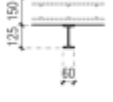
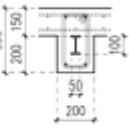
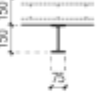
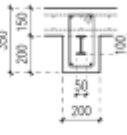
DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i3.13338>

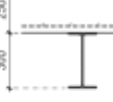
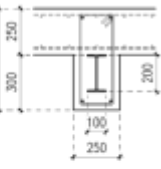
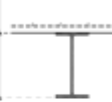
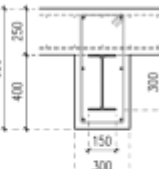
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT KOLOM			KOMPOSIT KOLOM		
TYPE H-BEAM	K6	K5	TYPE H-BEAM	K7	K6
UKURAN H-BEAM	Hb.250x250x9x14	Hb.200x200x8x12	UKURAN H-BEAM	Hb.300x300x10x15	Hb.250x250x9x14
UKURAN KOLOM BETON	—	350x350	UKURAN KOLOM BETON	—	400x400
JUMLAH TULANGAN	—	12 D 16	JUMLAH TULANGAN	—	16 D 16
SENGKANG	—	D10-150	SENGKANG	—	D10-150
TINGGI	3500mm	3500mm	TINGGI	3500mm	3500mm

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT KOLOM			KOMPOSIT KOLOM		
TYPE H-BEAM	K8	K7	TYPE H-BEAM	K9	K8
UKURAN H-BEAM	Hb.350x350x12x19	Hb.300x300x10x15	UKURAN H-BEAM	Hb.400x400x13x21	Hb.350x350x12x19
UKURAN KOLOM BETON	—	450x450	UKURAN KOLOM BETON	—	500x500
JUMLAH TULANGAN	—	16 D 16	JUMLAH TULANGAN	—	20 D 16
SENGKANG	—	D10-150	SENGKANG	—	D10-150
TINGGI	3500mm	3500mm	TINGGI	3500mm	3500mm

Tabel 3 Penulangan Balok Komposit

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT BALOK			KOMPOSIT BALOK		
UKURAN BALOK	Wf.125x60x6x8	Wf.100x50x5x7	UKURAN BALOK	Wf.150x75x5x7	Wf.100x50x5x7
TEBAL PELAT	T=150mm	T=150mm	TEBAL PELAT	T=150mm	T=150mm
UKURAN BALOK BETON	—	250 x 550	UKURAN BALOK BETON	—	250 x 550
TULANGAN ATAS	—	2 D 13	TULANGAN ATAS	—	2 D 13
TULANGAN BAWAH	—	2 D 13	TULANGAN BAWAH	—	2 D 13
TULANGAN PINGGANG	—	—	TULANGAN PINGGANG	—	—
SENGKANG TUMPUAN	—	D10-150	SENGKANG TUMPUAN	—	D10-150
SENGKANG LAPANGAN	—	D10-200	SENGKANG LAPANGAN	—	D10-200
PANJANG BALOK	3000mm	3000mm	PANJANG BALOK	3000mm	3000mm

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT BALOK			KOMPOSIT BALOK		
UKURAN BALOK	Wf.300x150x6,5x9	Wf.200x100x5,5x8	UKURAN BALOK	Wf.350x175x7x11	Wf.300x150x6,5x9
TEBAL PELAT	T=250mm	T=250mm	TEBAL PELAT	T=250mm	T=250mm
UKURAN BALOK BETON	—	250 x 550	UKURAN BALOK BETON	—	300 x 650
TULANGAN ATAS	—	2 D 16	TULANGAN ATAS	—	2 D 16
TULANGAN BAWAH	—	2 D 16	TULANGAN BAWAH	—	2 D 16
TULANGAN PINGGANG	—	—	TULANGAN PINGGANG	—	2 D 13
SENGKANG TUMPUAN	—	D10-150	SENGKANG TUMPUAN	—	D10-150
SENGKANG LAPANGAN	—	D10-200	SENGKANG LAPANGAN	—	D10-200
PANJANG BALOK	8000mm	8000mm	PANJANG BALOK	8000mm	8000mm

	BEFORE	AFTER		BEFORE	AFTER
KOMPOSIT BALOK			KOMPOSIT BALOK		
UKURAN BALOK	WF 400x200x8x13	WF 300x150x6,5x9	UKURAN BALOK	WF 500x200x10x16	WF 400x200x8x13
TEBAL PELAT	T=250mm	T=250mm	TEBAL PELAT	T=250mm	T=250mm
UKURAN BALOK BETON	--	300 x 650	UKURAN BALOK BETON	--	350 x 750
TULANGAN ATAS	--	2 D 16	TULANGAN ATAS	--	2 D 16
TULANGAN BAWAH	--	2 D 16	TULANGAN BAWAH	--	2 D 16
TULANGAN PINGGANG	--	2 D 13	TULANGAN PINGGANG	--	2 D 13
SENGKANG TUMPUAN	--	D10-150	SENGKANG TUMPUAN	--	D10-150
SENGKANG LAPANGAN	--	D10-200	SENGKANG LAPANGAN	--	D10-200
PANJANG BALOK	8000mm	8000mm	PANJANG BALOK	8000mm	8000mm

4.4. Analisis Volume dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rekapitulasi volume pekerjaan menunjukkan penurunan drastis pada tonase baja struktural, namun diimbangi dengan penambahan material beton bertulang. Total volume baja H-Beam dan WF murni (sebelum komposit) adalah 44.605,65 kg. Setelah komposit, volume profil baja menurun menjadi 30.458,95 kg.

Tabel 4 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Struktur Eksisting vs. Komposit

Deskripsi Pekerjaan	Volume Total	Total Harga Eksisting (Rp)	Total Harga Baru/Komposit (Rp)
Pengadaan & Pemasangan Baja H-Beam	14.047,25 kg (Lama) 10.165,75 kg (Baru)	676.548.705	492.891.035
Pengadaan & Pemasangan Baja WF	30.558,40 kg (Lama) 20.293,20 kg (Baru)	1.585.839.200	1.038.082.560
Pekerjaan Beton f'c 25 MPa	123,45 m ³	-	171.178.366
Pekerjaan Bekisting	1.185,60 m ²	-	263.558.880
Pekerjaan Besi Tulangan (D16, D13, D10)	13.116,20 kg	-	408.322.637
TOTAL KESELURUHAN		2.262.387.905	2.374.033.478

4.5. Pembahasan

Pembahasan ini diuraikan untuk menunjukkan hubungan antara hasil yang diamati dan menjelaskan bagaimana studi ini memajukan pemahaman terhadap penyelesaian masalah penelitian.

1) Efektivitas Jacketing Terhadap Perilaku Monolit dan Risiko Kebocoran

Berdasarkan evaluasi terhadap titik kritis pertemuan material, sistem non-monolit pada desain eksisting (pelat beton menumpang pada baja) terbukti rentan terhadap pergeseran akibat deformasi independen antara baja dan beton. Melalui metode *jacketing*, di mana seluruh penampang baja diselubungi oleh beton bertulang dengan *shear connector* berupa sengkang dan tulangan longitudinal, struktur berubah menjadi komposit penuh. Hal ini mengunci pergerakan translasi antara baja dan pelat lantai, menciptakan kekakuan diafragma yang utuh. Secara fungsional, hilangnya retak atau celah geser ini secara langsung mengeliminasi risiko kebocoran pada area kolam lantai 3, yang merupakan masalah utama pada bangunan multifungsi berkonsep *Universal Space*.

2) Evaluasi Reduksi Profil dan Kapasitas Layan

Metode penampang transformasi membuktikan bahwa pembungkus beton tidak hanya berfungsi sebagai pelindung korosi, tetapi secara signifikan menanggung porsi gaya yang masif. Hal ini terlihat pada reduksi profil kolom besar seperti Hb.400x400 menjadi Hb.350x350. Selain itu, pengecekan kurva diagram interaksi (P-M) mengonfirmasi bahwa seluruh beban ultimit (Pu dan Mu) tetap berada dalam zona aman kapasitas penampang komposit. Meskipun dimensi baja menyusut, peningkatan Momen Inersia (Itr) dari tambahan beton dan besi tulangan membuat lendutan aktual struktur tetap terkontrol sangat ketat, terbukti dari lendutan kolom yang hanya mencapai 1,05 mm dibandingkan batas izin 11,67 mm dan lendutan balok yang hanya mencapai 0,84 mm dibandingkan batas izin 22,22 mm

3) Tinjauan Kelayakan Ekonomi

Secara analitis biaya (AHSP), implementasi struktur komposit memicu deviasi pembengkakan anggaran sebesar Rp. 111.645.573 atau sekitar 5% lebih mahal dari nilai struktur murni baja (Rp. 2.262.387.905 menjadi Rp. 2.374.033.478). Kenaikan ini logis karena nilai penghematan dari selisih berat baja tidak sepenuhnya menutupi akumulasi biaya pengecoran, pemasangan bekisting, dan pembesian sengkang/tulangan utama yang cukup padat. Namun demikian, dari perspektif *value engineering*, margin 5% ini adalah investasi yang sangat sepadan (*cost-effective*) guna menghilangkan cacat non-struktural fatal seperti kebocoran kolam yang dapat mengganggu operasional gedung dan merusak interior di lantai bawahnya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa: 1). Penerapan sistem komposit dengan metode pembungkus beton (*jacketing*) terbukti efektif menyatukan elemen baja dan pelat lantai beton sehingga bekerja secara monolit. Sistem ini berhasil mengeliminasi potensi pergeseran antar-material yang memicu keretakan dan kebocoran struktural pada area kolam. 2). Penggunaan sistem komposit memungkinkan reduksi dimensi baja yang sangat signifikan dengan tetap mempertahankan tingkat keamanan struktural yang tinggi. Seluruh elemen balok dan kolom komposit terbukti berada pada zona aman kurva kapasitas P-M dan memiliki lendutan aktual jauh di bawah batas izin H/300 dan L/360. 3). Secara ekonomi, Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan struktur komposit adalah Rp. 2.374.033.478, meningkat sekitar 5% dibandingkan dengan desain baja eksisting murni (Rp. 2.262.387.905). Peningkatan investasi awal ini sangat direkomendasikan demi menjamin integritas bangunan jangka panjang dan mencegah kegagalan operasional akibat kebocoran.

Reference

1. Badan Standardisasi Nasional (BSN), "SNI 2847:2019 – Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung," Jakarta: BSN, 2019.
2. Badan Standardisasi Nasional (BSN), "SNI 1729:2020: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural," Jakarta: BSN, 2020.
3. Badan Standardisasi Nasional (BSN), "SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," Jakarta: BSN, 2019.
4. American Institute of Steel Construction (AISC). (2016). *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-16)*. Chicago, IL: AISC
5. Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T., & Mazurek, D.F. (2015). *Mechanics of Materials (7th ed.)*. New York: McGraw-Hill Education.
6. Hibbeler, R.C. (2014). *Mechanics of Materials (9th Edition)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
7. Hibbeler, R.C. (2012). *Structural Analysis (8th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
8. Gere, J.M., & Goodno, B.J. (2012). *Mechanics of Materials (8th ed.)*. Stamford: Cengage Learning.
9. Johnson, R.P. (2018). *Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings (4th ed.)*. Oxford: Wiley-Blackwell.
10. McCormac, J.C., & Csernak, S.F. (2012). *Structural Steel Design (5th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
11. Salmon, C.G., Johnson, J.E., & Malhas, F.A. (2009). *Steel Structures: Design and Behavior (5th ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
12. Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
13. Sumampouw, F. M. dkk. (2018). *Analisis Penghubung Geser (Shear Connector) Pada Balok Baja Dan Pelat Beton*. Jurnal Sipil Statik - E-Journal Unsrat
14. Asiyanto (2013). *Memahami Secara Singkat Struktur Komposit antara Beton dan Baja*. UI Press
15. Kementerian PUPR. (2023). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum*. Jakarta.
16. Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 7394:2008 Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*. Jakarta: BSN.