

Evaluasi dan perkuatan elemen struktur balok pada bangunan gedung hotel di Yogyakarta menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP)

Hajrah Zulfika^{1,*}, Jafar¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Beams
Capacity ratio
Structural strengthening
CFRP

Corresponding Author:

Hajrah zulfika
zulfikahajrah@gmail.com

Abstract

Indonesia is an earthquake-prone region; therefore, building structures need to be evaluated to determine their ability to resist gravity and seismic loads in accordance with applicable standards. The addition of floors to a building can increase loads and internal forces acting on structural elements, causing beam capacities to potentially no longer satisfy structural strength requirements. Therefore, strengthening is required to improve the capacity of structural elements. One strengthening method that can be used is Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). This study aims to evaluate the capacity of beam structural elements in a hotel building in Ngampilan, Yogyakarta, which experienced the addition of one floor, and to analyze the effect of CFRP strengthening. The analysis was conducted using ETABS software to obtain internal structural forces. Structural evaluation was carried out by comparing the ultimate forces with the nominal capacity of structural elements multiplied by the strength reduction factor in accordance with SNI 2847:2019. Structural elements are considered satisfactory if they have a capacity ratio of less than one ($R < 1$). The analysis results showed that several beams did not satisfy flexural and shear capacities due to the additional floor. Strengthening using CFRP in accordance with SNI 8971:2021 proved effective in improving structural capacity. CFRP laminate tape increased beam flexural capacity by 28% to 131%, while CFRP wrap increased beam shear capacity by 29% to 45%. The results indicate that the use of CFRP effectively improves the capacity of structural elements so that they satisfy structural strength requirements with a capacity ratio value of less than one ($R < 1$).

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia merupakan negara yang berada pada kawasan cincin api Pasifik dan dilalui oleh tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia sehingga memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan bangunan gedung di Indonesia harus dirancang sebagai bangunan tahan gempa serta bangunan eksisting perlu dievaluasi untuk menjamin keandalan struktur.

Peningkatan kebutuhan ruang yang menyebabkan penambahan lantai merupakan

salah satu bentuk perubahan struktur yang dapat mempengaruhi kinerja bangunan. Penambahan lantai mengakibatkan bertambahnya beban gravitasi dan gempa sehingga meningkatkan momen lentur dan gaya geser pada elemen struktur, khususnya balok. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kapasitas elemen struktur tidak lagi memenuhi persyaratan kekuatan sesuai standar yang berlaku.

Objek pada penelitian ini adalah bangunan hotel di Ngampilan, Yogyakarta yang dibangun pada tahun 2012 dan mengalami penambahan satu lantai akibat peningkatan kebutuhan ruang. Penambahan lantai tersebut

dapat menyebabkan struktur eksisting menerima beban yang lebih besar sehingga diperlukan evaluasi terhadap kapasitas balok untuk mengetahui apakah struktur masih memenuhi standar yang berlaku serta menentukan kebutuhan perkuatan apabila diperlukan. Berdasarkan penelitian Wandaning (2023), penambahan lantai dapat menyebabkan balok mengalami kegagalan lentur dan geser serta kolom tidak mampu menahan beban aksial tambahan. Oleh karena itu, diperlukan tindakan perkuatan struktur. Salah satu metode perkuatan yang efektif adalah Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), yaitu material komposit yang mampu meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan aksial elemen struktur tanpa menambah dimensi maupun berat struktur secara signifikan. Berdasarkan penelitian Salam (2023), mengenai perkuatan struktur menggunakan FRP pada gedung rumah sakit Dr. Cipto Mangunkusumo *Central Medical Unit 3* Jakarta Pusat dapat meningkatkan kapasitas geser balok sebesar 67% serta kapasitas aksial dan lentur kolom sebesar 40%.

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi kapasitas balok menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memperoleh gaya dalam yang terjadi pada struktur bangunan gedung hotel di Ngampilan. Evaluasi dilakukan berdasarkan nilai rasio kapasitas sesuai standar yang berlaku. Elemen struktur dinyatakan aman apabila memiliki nilai rasio kapasitas kurang dari satu ($R < 1$). Jika nilai rasio kapasitas lebih dari satu ($R > 1$), maka diperlukan perkuatan struktur menggunakan CFRP sesuai SNI 8971:2021. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas kekuatan elemen struktur balok serta menganalisis pengaruh penggunaan CFRP dalam meningkatkan kapasitas kekuatan struktur pada bangunan hotel di Ngampilan, Yogyakarta.

Landasan Teori

Pembebanan struktur

Pembebanan struktur merupakan aspek penting dalam perencanaan gedung karena

struktur harus mampu menahan seluruh beban yang bekerja sesuai standar yang berlaku. Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional SNI 1727:2020, beban struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup. Beban mati merupakan berat seluruh komponen bangunan yang terpasang secara permanen, sedangkan beban hidup merupakan beban yang berasal dari aktivitas penghuni dan penggunaan bangunan.

Selain itu, struktur bangunan juga harus direncanakan terhadap beban gempa sesuai SNI 1726:2019. Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan metode respons spektrum, yaitu metode analisis dinamik untuk mengevaluasi respons struktur terhadap pengaruh gempa bumi.

Balok

Balok merupakan elemen struktur horizontal yang berfungsi menahan dan mendistribusikan beban menuju kolom. Pada balok beton bertulang, gaya dalam utama yang bekerja adalah momen lentur dan gaya geser.

1. Momen lentur balok

Momen lentur terjadi akibat beban yang menyebabkan balok mengalami lendutan. Berdasarkan SNI 2847:2019, kapasitas lentur balok dihitung menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2) berikut.

$$\phi M_n = \phi \left\{ A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A_s' \times f_s' \times (d - d')) \right\} \quad (1)$$

$$R = \frac{M_u}{\phi M_n} < 1 \quad (2)$$

Dengan,

- a = Garis netral (mm)
- d = Tinggi efektif balok (mm)
- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- f_y = Kuat leleh baja (MPa)
- A_s = Lua tulangan tarik (mm²)
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm²)
- f_s' = Tegangan tekan baja (MPa)
- ϕ = Faktor reduksi
- R = Rasio kapasitas
- M_u = Momen ultimit (kNm)
- M_n = Momen nominal (kNm)

2. Gaya geser balok

Gaya geser merupakan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok akibat pembebanan. Kapasitas geser balok dihitung menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4) berikut.

$$\phi V_{n_n} = \phi (V_c + V_s) \quad (3)$$

$$R = \frac{V_u}{\phi V_n} < 1 \quad (4)$$

Dengan,

V_c = Gaya geser beton (kN)

V_s = Gaya geser tulangan (kN)

V_u = Gaya geser ultimit (kN)

V_n = Gaya geser nominal (kN)

Perkuatan elemen struktur

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan material komposit buatan yang terdiri dari serat sebagai penguat dan resin sebagai matriks pengikat. Material ini digunakan sebagai metode perkuatan struktur untuk meningkatkan kapasitas elemen bangunan. FRP mampu meningkatkan kapasitas lentur balok pada daerah tarik, meningkatkan kapasitas geser balok dan kolom, serta meningkatkan kapasitas aksial kolom. Beberapa jenis FRP yang umum digunakan sebagai perkuatan struktur yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), dan *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP).

Perkuatan struktur dilakukan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktur yang mengalami penurunan kapasitas akibat kerusakan, perubahan fungsi, maupun penambahan beban. Pemilihan metode perkuatan perlu mempertimbangkan aspek biaya, waktu pelaksanaan, tenaga kerja, material, dan estetika bangunan.

FRP umumnya tersedia dalam bentuk lembaran tipis sehingga mudah menyesuaikan bentuk elemen struktur yang diperkuat. Penggunaan FRP memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. Memiliki kuat tarik tinggi melebihi baja.
2. Memiliki berat yang ringan.
3. Proses pemasangan relatif cepat dan mudah.

4. Tidak memerlukan area kerja yang luas.

5. Tahan terhadap korosi..

Perkuatan balok

Perkuatan balok pada penelitian ini dilakukan menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Perkuatan CFRP merupakan metode penguatan struktur dengan menempelkan lembaran serat karbon pada permukaan balok untuk meningkatkan kapasitas lentur dan kapasitas geser elemen struktur.

1. Perkuatan terhadap momen lentur balok

Kapasitas lentur balok setelah perkuatan dihitung menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (6) berikut.

$$\phi M_n = \phi \left[A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + (A_s' \times f_s' \times (d - d')) + \Psi_f (A_f \times f_{fe} \times \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)) \right] \quad (5)$$

$$R = \frac{M_u}{\phi M_{n,CFRP}} < 1 \quad (6)$$

Dengan,

A_f = Luasan CFRP (mm²)

f_{fe} = Tegangan CFRP (MPa)

d_f = Tinggi dari serat tekan balok (mm)

Ψ_f = Faktor reduksi CFRP

2. Perkuatan terhadap gaya geser balok

Kapasitas geser balok setelah perkuatan dihitung menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (6) berikut.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \Psi_f V_f) \quad (7)$$

$$R = \frac{V_u}{\phi V_{n,CFRP}} < 1 \quad (8)$$

Dengan,

V_f = Gaya geser CFRP (kN)

Metode Penelitian

Objek penelitian

Objek penelitian ini adalah bangunan gedung hotel di Ngampilan, Yogyakarta yang dibangun pada tahun 2012. Gedung memiliki 6 lantai eksisting dan mengalami penambahan satu lantai akibat peningkatan kebutuhan ruang. Struktur bangunan menggunakan beton bertulang dengan tinggi total gedung 23,1 meter dan tinggi antar lantai 3,3 meter.

Data penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa *as built drawing* yang diperoleh dari konsultan atau kontraktor. Spesifikasi bangunan meliputi mutu beton sebesar 25 MPa dan mutu baja tulangan sebesar 400 MPa. Elemen struktur yang ditinjau terdiri dari beberapa tipe kolom dan balok dengan variasi dimensi sesuai kondisi eksisting bangunan. Adapun tipe dan dimensi balok dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Tipe dan dimensi balok

No	Tipe	Dimensi	
		B (mm)	H (mm)
1	B1	600	1200
2	B2	400	600
3	B3	400	600
4	B4	400	600
5	B5	400	600
6	B6	200	600
7	B7	300	600
8	B8	400	700
9	B9	250	500
10	B10	400	600
11	B11	400	700
12	B12	250	300

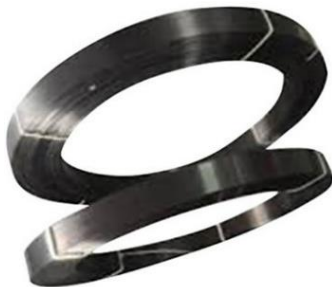
(Sumber : *as built drawing* hotel di area Ngampilan, Yogyakarta)

Data material CFRP

Adapun data material CFRP yang digunakan pada penelitian ada dua adalah sebagai berikut.

1) CFRP Laminat Tape

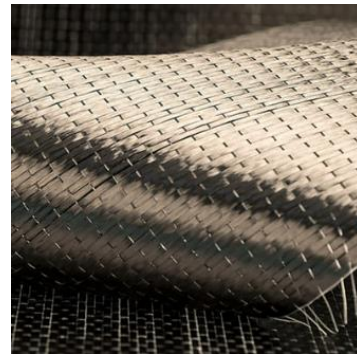
SIKA Carbodur S1012 dengan jenis CFRP Laminat Tape dengan ketebalan 1,2 mm.



Gambar 1. CFRP laminate tape
(Sumber : Katalog SIKA Carbodur S1012)

2) CFRP Wrap

SIKA Wrap 600C dengan jenis CFRP Wrap dengan ketebalan 0,33 mm.



Gambar 2. CFRP wrap
(Sumber : Katalog SIKA Wrap 600C)

Analisis data

Tahap analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pembebanan Struktur

Pembebanan meliputi beban mati, beban hidup berdasarkan Badan Standardisasi Nasional SNI 1727:2020, serta beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

2. Pemodelan Struktur

Struktur eksisting dan struktur tambahan dimodelkan dalam bentuk rangka terbuka tiga dimensi menggunakan ETABS

3. Analisis Struktur

Analisis dilakukan untuk memperoleh gaya dalam dan kapasitas ultimit elemen struktur berupa momen lentur dan gaya geser balok

4. Evaluasi Struktur

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan gaya ultimit terhadap kapasitas nominal elemen struktur sesuai SNI 2847:2019. Elemen struktur dinyatakan aman apabila memiliki rasio kapasitas kurang dari satu ($R < 1$).

5. Perkuatan Struktur

Elemen struktur yang tidak memenuhi persyaratan kekuatan dilakukan perkuatan menggunakan CFRP sesuai SNI 8971:2021.

Hasil dan Pembahasan

Pembebanan struktur

Pembebanan struktur yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk

bangunan gedung dan struktur lain. Pada bangunan gedung hotel di area Ngampilan, Yogyakarta dengan tinggi 7 lantai ini pembebanan yang diperhitungkan terdiri dari beban mati berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup. Sedangkan analisis beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Adapun beban tambahan pelat lantai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban tambahan pelat lantai

No	Komponen	Q (kN/m ²)
1	Partisi	0,72
2	Pasir	0,471
3	Spesi	0,412
4	Keramik	0,206
5	Plafon	0,108
6	Rangka plafon	0,069
7	MEP	0,294
Total Q_{SIDL PL}		1,985

Adapun beban tambahan pelat lantai dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban mati tambahan pelat atap

No	Komponen	Q (kN/m ²)
1	Spesi	0,412
2	Waterproofing	0,412
3	Plafond	0,108
4	Rangka plafond	0,069
5	MEP	0,294
Total Q_{SIDL PA}		1,295

Adapun beban tambahan pelat lantai dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Beban mati tambahan pelat atap

No	Komponen	Q _L kN/m ²
1	Ruang pribadi dan koridornya	1,92
2	Ruang pertemuan	4,79
3	Atap	0,96

Adapun untuk nilai – nilai parameter desain ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai – nilai parameter desain

Parameter	Simbol	Nilai
Kategori Risiko struktur bangunan		II
Faktor keutamaan gempa sesuai kategori Risiko bangunan	I_e	1,0
Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan (MCER) untuk periode pendek	S_s	1,122 g
Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan (MCER) untuk periode 1 detik	S_1	0,510 g
Koefisien situs untuk periode pendek	F_a	1,051
Koefisien situs untuk periode Panjang	F_v	1,790
Parameter spektrum respons percepatan untuk periode pendek	S_{MS}	1,179 g
Parameter spektrum respons percepatan untuk periode 1 detik	S_{M1}	0,913 g
Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek	S_{DS}	0,786 g
Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik	S_{D1}	0,609 g
Periode batasan percepatan spektral desain untuk periode pendek	T_0	0,155 detik

Analisis balok

Penambahan lantai pada bangunan gedung hotel menyebabkan peningkatan beban struktur yang berpengaruh terhadap besarnya gaya dalam pada elemen balok. Analisis momen ultimit pada daerah tumpuan dan lapangan dilakukan melalui pemodelan struktur menggunakan ETABS. Respons struktur hasil analisis digunakan sebagai dasar evaluasi kapasitas penampang balok yang meliputi kapasitas lentur dan kapasitas geser untuk mengetahui kemampuan balok dalam

menahan beban tambahan akibat penambahan lantai.

Evaluasi kapasitas balok mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Analisis kapasitas lentur dilakukan terhadap momen positif dan momen negatif pada daerah tumpuan maupun lapangan, sedangkan analisis kapasitas geser dilakukan dengan mengevaluasi kemampuan balok dalam menahan gaya geser pada daerah sendi plastis dan luar sendi plastis. Hasil evaluasi kapasitas lentur balok disajikan pada Tabel 6 dan hasil

evaluasi kapasitas geser balok disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi kapasitas lentur balok

Kode Balok	Letak	Kapasitas Lentur Momen Positif				Kapasitas Lentur Momen Negatif			
		M_u^+ (kNm)	ϕM_n^+ (kNm)	R	Ket	M_u^- (kNm)	ϕM_n^- (kNm)	R	Ket
B1	Tumpuan	2277,325	1875,470	1,214	TM	2560,038	2406,709	1,064	TM
	Lapangan	1841,007	2748,798	0,670	M	642,464	968,221	0,664	M
B2	Tumpuan	185,312	266,565	0,695	M	592,250	644,998	0,918	M
	Lapangan	374,844	644,998	0,581	M	289,884	266,565	1,087	TM
B3	Tumpuan	202,439	266,314	0,760	M	616,031	506,035	1,217	TM
	Lapangan	310,537	576,717	0,538	M	282,674	266,363	1,061	TM
B4	Tumpuan	244,493	266,678	0,917	M	561,222	350,549	1,601	TM
	Lapangan	372,016	266,712	1,395	TM	326,377	266,712	1,224	TM
B5	Tumpuan	513,214	266,712	1,924	TM	608,914	266,712	2,283	TM
	Lapangan	558,160	266,712	2,093	TM	546,741	266,712	2,050	TM
B6	Tumpuan	207,585	154,057	1,347	TM	200,398	154,057	1,301	TM
	Lapangan	102,483	154,057	0,665	M	117,847	154,057	0,765	M
B7	Tumpuan	234,586	157,268	1,492	TM	248,455	157,268	1,580	TM
	Lapangan	237,173	157,268	1,508	TM	250,109	157,268	1,590	TM
B8	Tumpuan	89,553	319,664	0,280	M	380,415	521,782	0,729	M
	Lapangan	47,812	319,664	0,150	M	196,575	521,782	0,377	M
B9	Tumpuan	112,142	125,092	0,896	M	150,684	125,092	1,205	TM
	Lapangan	71,376	125,092	0,571	M	48,671	125,092	0,389	M
B10	Tumpuan	85,547	182,337	0,469	M	90,913	350,252	0,260	M
	Lapangan	137,752	182,337	0,755	M	158,783	350,252	0,453	M
B11	Tumpuan	190,069	218,756	0,869	M	602,421	609,016	0,989	M
	Lapangan	415,172	319,327	1,300	TM	292,750	709,253	0,413	M
B12	Tumpuan	58,677	71,179	0,824	M	62,505	71,179	0,878	M
	Lapangan	67,229	71,179	0,945	M	67,392	71,179	0,947	M

Keterangan :

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Hasil analisis kapasitas momen lentur balok pada bangunan hotel di Ngampilan, Yogyakarta menunjukkan bahwa penambahan satu lantai menyebabkan peningkatan beban struktur sehingga momen ultimit yang bekerja pada balok, baik pada daerah tumpuan maupun lapangan, menjadi lebih besar. Evaluasi kapasitas lentur dilakukan berdasarkan Badan Standardisasi Nasional SNI 2847:2019 dengan membandingkan momen ultimit (M_u) terhadap kapasitas momen nominal tereduksi (ϕM_n) sehingga diperoleh nilai rasio kapasitas (R). Elemen

struktur dinyatakan memenuhi apabila nilai rasio kapasitas lentur kurang dari satu ($R < 1$), sedangkan nilai rasio kapasitas lentur lebih dari satu ($R > 1$) menunjukkan bahwa elemen struktur tidak memenuhi persyaratan. Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis seluruh tipe balok pada Tabel 6, diperoleh bahwa beberapa balok masih tidak memenuhi persyaratan kapasitas lentur, terutama pada balok tipe B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B9 dan B11. Sedangkan pada balok tipe B8, B10 dan B12 telah memenuhi persyaratan kapasitas lentur balok.

Tabel 7. Rekapitulasi kapasitas geser balok

Kode Balok	Letak	Kapasitas Geser			Ket
		V_u (kN)	ϕV_n (kN)	R	
B1	Sendi plastis	1552,648	1752,815	0,886	M
	Luar sendi plastis	1063,340	1752,815	0,607	M
B2	Sendi plastis	468,715	498,964	0,939	M
	Luar sendi plastis	371,935	295,251	1,260	TM
B3	Sendi plastis	341,228	384,301	0,888	M
	Luar sendi plastis	277,642	301,180	0,922	M
B4	Sendi plastis	424,989	390,353	1,089	TM
	Luar sendi plastis	326,014	305,923	1,066	TM
B5	Sendi plastis	285,285	390,353	0,731	M
	Luar sendi plastis	225,635	305,923	0,738	M
B6	Sendi plastis	72,515	323,618	0,224	M
	Luar sendi plastis	67,226	238,717	0,282	M
B7	Sendi plastis	110,849	358,075	0,310	M
	Luar sendi plastis	93,780	273,174	0,343	M
B8	Sendi plastis	281,475	462,977	0,608	M
	Luar sendi plastis	233,865	462,977	0,505	M
B9	Sendi plastis	148,775	277,785	0,536	M
	Luar sendi plastis	124,143	208,592	0,595	M
B10	Sendi plastis	123,549	390,353	0,317	M
	Luar sendi plastis	114,852	263,708	0,436	M
B11	Sendi plastis	465,878	456,925	1,020	TM
	Luar sendi plastis	348,997	308,681	1,131	TM
B12	Sendi plastis	60,363	149,771	0,403	M
	Luar sendi plastis	54,775	93,811	0,584	M

Keterangan :

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Hasil analisis kapasitas geser balok pada bangunan gedung hotel di Ngampilan, Yogyakarta yang mengalami penambahan satu lantai sehingga mengalami peningkatan beban struktur yang menyebabkan bertambahnya gaya geser ultimit yang bekerja pada elemen balok daerah sendi plastis maupun daerah luar sendi plastis. Evaluasi kapasitas geser dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 dengan membandingkan gaya geser ultimit yang bekerja (V_u) terhadap gaya geser nominal tereduksi (ϕV_n) sehingga diperoleh nilai rasio kapasitas (R). Elemen struktur dinyatakan memenuhi apabila nilai rasio kapasitas geser kurang dari satu ($R < 1$), sedangkan nilai rasio kapasitas geser lebih dari satu ($R > 1$) menunjukkan bahwa elemen struktur tidak memenuhi persyaratan. Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis seluruh tipe balok pada Tabel 7., diperoleh bahwa beberapa balok masih tidak memenuhi persyaratan kapasitas geser,

terutama pada balok tipe B2, B4 dan B11. Sedangkan pada balok tipe B1, B3, B5, B6, B7, B8, B9, B10 dan B12 telah memenuhi persyaratan kapasitas geser balok.

Analisis perkuatan balok

Analisis perkuatan balok pada bangunan gedung hotel di Ngampilan, Yogyakarta dilakukan untuk meninjau pengaruh penerapan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap peningkatan kapasitas kekuatan balok dalam menahan gaya lentur dan geser. Hasil evaluasi struktur eksisting menunjukkan bahwa beberapa elemen balok memiliki nilai rasio kapasitas lebih besar dari satu ($R > 1$), yang menandakan bahwa gaya ultimit telah melampaui kapasitas rencana sehingga tidak memenuhi persyaratan SNI 2847:2019. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan struktur menggunakan CFRP sebagai metode perkuatan eksternal guna meningkatkan

kapasitas balok agar memenuhi ketentuan kekuatan dan keselamatan struktur.

Hasil rekapitulasi perkuatan kapasitas lentur balok dapat dilihat pada Tabel 8 dan hasil

rekapitulasi perkuatan kapasitas geser balok dapat dilihat pada Tabel 9. Adapun gambar perkuatan terhadap kapasitas lentur pada balok B2 dapat dilihat pada Gambar 3 .

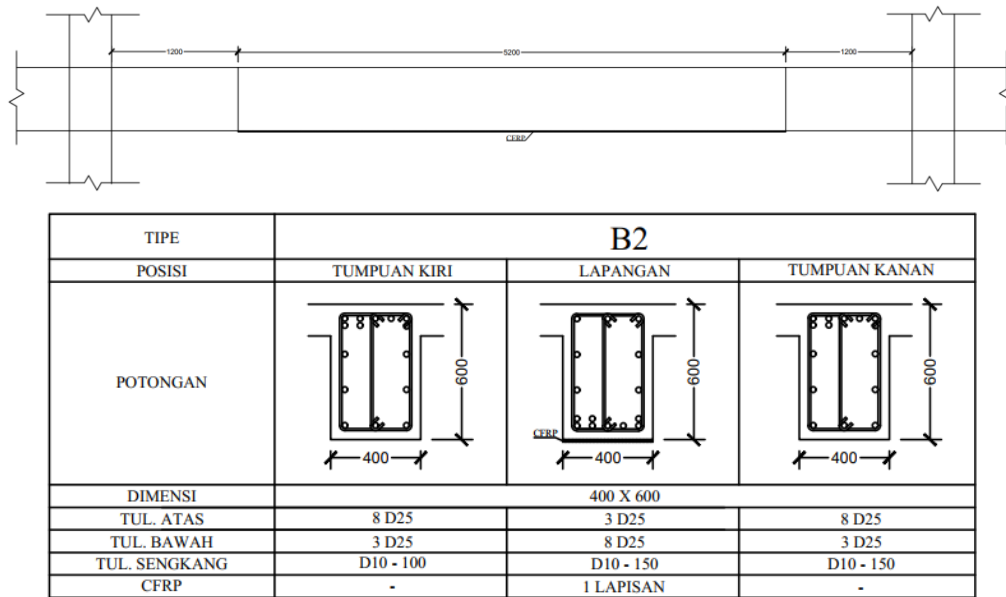
Tabel 8. Rekapitulasi perkuatan kapasitas lentur balok

Kode Balok	Letak	Kapasitas Lentur Momen Positif						Ket
		M_u^+ (kNm)	ϕM_n^+ (kNm)	$\phi M_{n,CFRP}^+$ (kNm)	N (Lapisan)	R	Peningkatan (%)	
B1	Tumpuan	2277,325	1875,470	2547,991	1	0,894	36%	M
B2	Lapangan	-	-	-	-	-	-	-
B3	Tumpuan	-	-	-	-	-	-	-
B3	Lapangan	-	-	-	-	-	-	-
B4	Tumpuan	-	-	-	-	-	-	-
B4	Lapangan	372,016	266,712	398,929	1	0,933	50%	M
B5	Tumpuan	513,214	266,712	538,622	2	0,953	102%	M
B5	Lapangan	558,160	266,712	615,820	2	0,906	131%	M
B6	Tumpuan	207,585	154,057	236,933	1	0,876	54%	M
B7	Tumpuan	234,586	157,268	270,207	1	0,868	72%	M
B7	Lapangan	237,173	157,268	269,131	1	0,881	71%	M
B9	Tumpuan	-	-	-	-	-	-	-
B11	Lapangan	292,750	709,253	464,400	1	0,894	45%	M

Kode Balok	Letak	Kapasitas Lentur Momen Negatif						Ket
		M_u^- (kNm)	ϕM_n^- (kNm)	$\phi M_{n,CFRP}^-$ (kNm)	N (Lapisan)	R	Peningkatan (%)	
B1	Tumpuan	2560,038	2406,709	3132,095	1	0,817	30%	M
B2	Lapangan	289,884	266,565	369,905	1	0,784	39%	M
B3	Tumpuan	616,031	506,035	650,044	1	0,948	28%	M
B3	Lapangan	282,674	266,363	373,219	1	0,757	40%	M
B4	Tumpuan	561,222	350,549	592,448	1	0,947	69%	M
B4	Lapangan	326,377	266,712	352,104	1	0,927	32%	M
B5	Tumpuan	608,914	266,712	614,800	2	0,990	131%	M
B5	Lapangan	546,741	266,712	615,820	2	0,888	131%	M
B6	Tumpuan	200,398	154,057	236,933	1	0,846	54%	M
B7	Tumpuan	248,455	157,268	270,207	1	0,919	72%	M
B7	Lapangan	250,109	157,268	269,131	1	0,929	71%	M
B9	Tumpuan	150,684	125,092	185,400	1	0,813	48%	M
B11	Lapangan	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan :

M : Memenuhi



Gambar 3. Perkuatan kapasitas lentur pada balok B2

Hasil evaluasi kapasitas lentur balok pada bangunan gedung hotel di Ngampilan, Yogyakarta, diketahui bahwa beberapa tipe balok memiliki nilai rasio kapasitas lebih dari satu ($R > 1$), sehingga kapasitas lentur balok tidak memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847:2019. Oleh karena itu, dilakukan perkuatan menggunakan CFRP sesuai SNI 8971:2021 untuk meningkatkan kapasitas lentur balok. Perkuatan dilakukan menggunakan CFRP tipe SIKAR Carbodur S1012 dengan ketebalan 1,2 mm per lapisan. Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis seluruh tipe balok pada Tabel 8 seluruh balok yang sebelumnya tidak memenuhi

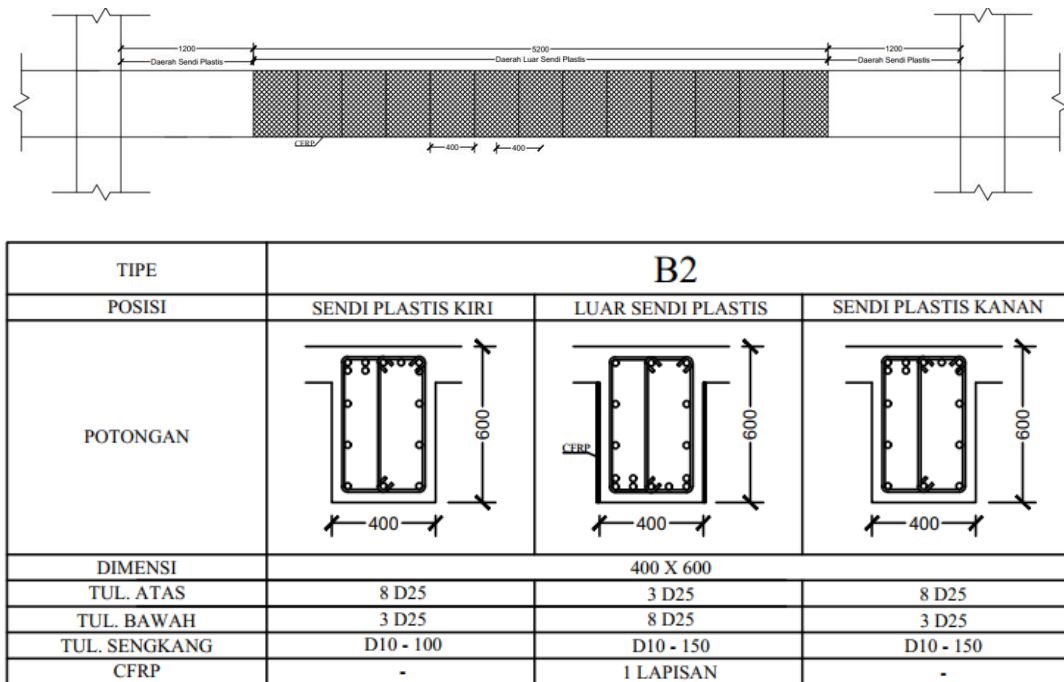
kapasitas lentur mengalami peningkatan kapasitas setelah dilakukan perkuatan CFRP. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan CFRP efektif dalam meningkatkan kapasitas lentur balok sebesar 28% hingga 131%. Peningkatan terbesar terjadi pada balok B5, sedangkan peningkatan terkecil terjadi pada balok B3 tanpa menambah dimensi maupun berat struktur secara signifikan.

Adapun Gambar perkuatan terhadap kapasitas geser pada balok B2 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Tabel 9. Rekapitulasi perkuatan kapasitas geser balok

Kode Balok	Letak	Kapasitas Geser						Ket
		V_u (kN)	ϕV_n (kN)	$\phi V_{n,CFRP}$ (kN)	N (lapisan)	R	Peningkatan (%)	
B2	Luar sendi plastis	371,935	295,251	408,483	1	0,911	38%	M
B4	Sendi plastis	424,989	390,353	503,585	1	0,844	29%	M
	Luar sendi plastis	326,014	305,923	419,155	1	0,778	37%	M
B11	Sendi plastis	465,878	456,925	596,760	1	0,781	31%	M
	Luar sendi plastis	348,997	308,681	448,516	1	0,778	45%	M

Keterangan :
M : Memenuhi



Gambar 4. Perkuatan kapasitas geser pada balok B2

Hasil evaluasi kapasitas geser balok pada bangunan gedung hotel di Ngampilan, Yogyakarta, diketahui bahwa beberapa tipe balok memiliki nilai rasio kapasitas lebih dari satu ($R > 1$), sehingga kapasitas geser balok tidak memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847:2019. Oleh karena itu, dilakukan perkuatan menggunakan CFRP sesuai SNI 8971:2021 untuk meningkatkan kapasitas geser balok. Perkuatan dilakukan menggunakan CFRP tipe Sika *Wrap* 600C dengan ketebalan 0,331 mm per lapisan. Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis seluruh tipe balok pada Tabel 9 seluruh balok yang sebelumnya tidak memenuhi kapasitas lentur mengalami peningkatan kapasitas setelah dilakukan perkuatan CFRP. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan CFRP efektif dalam meningkatkan kapasitas geser balok sebesar 29% hingga 45%. Peningkatan terbesar terjadi pada balok B11, sedangkan peningkatan terkecil terjadi pada balok B4 tanpa menambah dimensi maupun berat struktur secara signifikan.

Kesimpulan

Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa beberapa elemen balok tidak memenuhi standar kapasitas struktur sesuai SNI 2847:2019. Pada elemen balok, tipe balok B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B9 dan B11 tidak memenuhi kapasitas lentur, sedangkan tipe balok B2, B4 dan B11 tidak memenuhi kapasitas geser. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rasio kapasitas yang lebih dari satu ($R > 1$).

Perkuatan struktur menggunakan CFRP mampu meningkatkan kapasitas elemen struktur. Setelah dilakukan perkuatan, kapasitas lentur dan geser balok mengalami peningkatan sehingga nilai rasio kapasitas memenuhi persyaratan struktur yang sesuai SNI 2847:2019, yaitu memiliki nilai rasio kapasitas kurang dari satu ($R < 1$).

Pada elemen balok, perkuatan dengan menggunakan CFRP *Laminate Tape* ketebalan 1,2 mm per lapisan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok sebesar 28% hingga 131%. Peningkatan terbesar terjadi pada balok B5, sedangkan peningkatan terkecil terjadi pada balok B3.

Selain itu, penggunaan CFRP *Wrap* 600C dengan ketebalan 0,331 mm mampu meningkatkan kapasitas geser balok sebesar 29% hingga 45%. Peningkatan terbesar terjadi pada balok B11, sedangkan peningkatan terkecil terjadi pada balok B4. Dengan demikian, metode perkuatan menggunakan CFRP dinilai efektif untuk meningkatkan kapasitas kekuatan struktur akibat penambahan beban karena pertambahan lantai tanpa menambah dimensi dan berat struktur secara signifikan.

Daftar Pustaka

- Alhaddad, M. S., Binyahya, A. S., Alrubaidi, M., & Abadel, A. A. (2021). *Seismic Performance of R.C Buildings with Beam-Column Joints Upgraded Using FRP Laminates*. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(6), 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.05.008>
- Badan Standardisasi Indonesia. (2020). *Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019a). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019b). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2021). *Pedoman Perancangan Dan Pelaksanaan Sistem Lembaran Serat Berpolimer Terletak Eksternal Untuk Perkuatan Struktur Beton (SNI 8971:2021)*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Jakarta.
- Hannanto, A. (2020). *Analisis dan Desain Retrofitting Struktur Gedung Apartemen The Conexio LRT Superblock Menggunakan Material Carbon Fiber Reinforced Polymer Akibat Pembebanan Gempa SNI 1726-201X*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hirwo, N., & Rozak, A. (2022). *Evaluasi Perkuatan Struktur Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Struktur Beton Bertulang Proyek Transformasi Gedung Sarinah Thamrin, Jakarta Pusat*. *Jurnal Ismetek*, 14(2), 75–80.
- Iswandi Imran, E. Z. (2019). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. ITB Press.
- Khoeri, H. (2021). *Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)*. *Konstruksia*, 12(1), 93–104. <https://doi.org/10.24853/jk.12.1.93-104>
- Natraj, K., Elavenil, S., & Ragavendra, S. (2022). *Analysis and Design of Multi-Story Building Retrofitted with Carbon Fibre Reinforced Polymer*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1125(1), 0–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1125/1/012021>
- Salam, S. I. (2023). *Perkuatan Komponen Struktur Balok dan Kolom Bangunan Gedung Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Skripsi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sika® CarboDur® S Pultruded Carbon Fibre Plates for Structural Strengthening as Part of the Sika® CarboDur® System. (2022). July, 3–6.
- SikaWrap® -600 C Woven Unidirectional Carbon Fibre Fabric , Designed For Structural Strengthen-. (2018). June, 1–4.
- Valentina, G., Poiani, M., Clementi, F., Pace, G., & Lenci, S. (2019). *Influence of FE Modelling Approaches on Vulnerabilities of RC School Buildings and Proposal of a CFRP Retrofitting Intervention*. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 13(1), 269–287. <https://doi.org/10.2174/1874836801913010269>
- Wandaning, D. H. (2023). *Evaluasi dan Analisis Perkuatan Struktur Gedung Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Yulianto, U. (2024). *Analisis Perkuatan Struktur Balok Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pada Bangunan Villa PT. Bangun Karya Filadelfia DI Kota Denpasar-Bali*. *Jurnal Ismetek*, 18(1), 10–18.