

Evaluasi Kinerja Perkuatan Gedung Menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP)*

Performance Evaluation Of Building Reinforcement Fiber Reinforced Polymer (CRFP)

Edi Suprpto¹, Michael Andryan Candra Purnama², Toni Budi Santoso³

^{1,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

³Email Korespondensi : prawoto.poni@gmail.com

Abstract

Building G at Semarang University is a building that was built to support the lecture process of Semarang University students. In an effort to meet the needs of building infrastructure, the building will be converted. The Second Floor Lecture Room, G Building, Semarang University, is a case study in the transfer of building functions to meet the needs of library space. The change in the function of the building causes a change in the load from 250 kg/m² to 500 kg/m², so it is necessary to evaluate the strength of the structure under the existing conditions. This research will evaluate the performance and strength of the structure in its existing condition and provide a reinforcement solution based on the concrete regulations of SNI-2847-2013. For the strengthening of Building G, Semarang University is planning to use CFRP technology because, in its implementation, CFRP is easier to do in the field because there is no need to dismantle existing structural elements, so it can speed up construction work. The CFRP that will be used is the CFRP produced by SIKA. Based on the results of the structural analysis that has been carried out to evaluate the change in the function of the building from a classroom to a library room, the building is declared eligible for a change in the function of the building from a classroom to a library room, with the condition that the previous structure must be strengthened.

Keywords: *Building, Structural Reinforcement, CRFP*

Abstrak

Gedung G Universitas Semarang adalah gedung yang di bangun untuk mendukung proses perkuliahan mahasiswa Universitas Semarang, dalam usaha untuk memenuhi kebutuhan insfrastuktur bangunan gedung, maka dilakukan alih fungsi gedung. Ruang kuliah lantai 2 gedung G Universitas Semarang menjadi studi kasus dalam alih fungsi bangunan untuk memenuhi kebutuhan ruang perpustakaan. Alih fungsi bangunan menyebabkan terjadi perubahan pembebanan dari 250 kg/m² menjadi 500 kg/m² sehingga dibutuhkan evaluasi kekuatan struktur kondisi eksisting. Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi kinerja dan kekuatan struktur pada kondisi eksisting dan memberikan solusi perkuatan berdasarkan peraturan beton SNI-2847-2013. Perkuatan gedung G Universitas Semarang direncanakan menggunakan teknologi CFRP karena dalam pelaksanaan CFRP lebih mudah dilakukan dilapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya. CFRP yang digunakan adalah CFRP yang diproduksi oleh SIKA. Dari hasil analisa struktur yang telah dilakukan untuk mengevaluasi perubahan ahli fungsi gedung dari ruang kelas menjadi ruang perpustakaan maka gedung tersebut dinyatakan layak untuk perubahan ahli fungsi ruang kelas menjadi ruang perpustakaan dengan syarat harus dilakukan perkuatan struktur.

Kata kunci: Gedung, Perkuatan Struktur, CFRP

1. PENDAHULUAN

Dalam usaha memenuhi kebutuhan insfrastuktur bangunan gedung, alih fungsi bangunan yang sudah ada untuk digunakan dengan fungsi baru dapat menjadi pilihan. Dari segi pembiayaan dan ketersediaan lahan akan lebih hemat apabila dibandingkan dengan pembangunan

gedung baru. Ahli fungsi bangunan menyebabkan terjadi perubahan pembebanan dari 250 kg/m² menjadi 500 kg/m² sehingga dibutuhkan evaluasi kekuatan struktur kondisi eksisting.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan solusi terhadap pengelola gedung dalam pengalihan fungsi

gedung sehingga menjamin keamanan bagi para pengguna gedung.

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban rencana. Perkuatan gedung dapat dilakukan dengan beberapa metode. Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan cara penyelubungan dengan beton atau *concrete jacketing*, penyelubungan dengan baja atau *steel jacketing* dan penyelubungan dengan material ringan komposit yaitu *fiber reinforced polymer* (FRP) (Mitchell, Sadek, & Kinsey, 2022).

FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya dilapangan (Li *et al*, 2023). FRP dapat terbuat dari tiga bahan komposit yaitu *carbon*, *glass* dan *aramid* (Rocha & Pereira, 2022). Perkuatan gedung ini direncanakan menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP).

CFRP lebih mudah dilakukan dalam pelaksanaannya dilapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya. CFRP adalah serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung 90% berat karbon (Hammerl & Kromoser, 2021). Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu ruangan (Tabaka *et al*, 2021). Fungsi perkuatan dengan sistem CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas (Samy *et al*, 2022). Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkan mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat *epoxy resin*. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional (Jongvivatsakul, Thongchom, & Mathuros, 2022).

Perkuatan struktur gedung G Universitas Semarang direncanakan menggunakan teknologi CFRP yang diproduksi oleh SIKA. Penulis akan menganalisa jumlah CFRP yang digunakan untuk memperkuat struktur eksisting sehingga mampu menahan beban sesuai

peraturan baru dan metode pelaksanaannya dilapangan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan metode analisis menggunakan program bantu SAP200 v14.25. Metode dilakukan dengan dengan pengambilan data dilapangan untuk mengetahui mutu baja dan mutu beton yang ada pada struktur gedung. Gedung G Universitas Semarang memiliki 3 lantai dengan panjang bangunan 31 m dan lebar bangunan 22 m. Ahli fungsi ruang kelas menjadi ruang perpustakaan berada pada lantai 2 (**Gambar 1**).

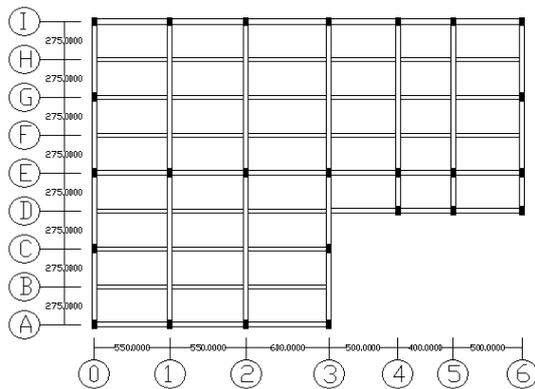
Data dari lapangan kemudian dihitung dengan pembebanannya dengan SAP v14.25, untuk kemudian dianalisis strukturnya. Analisis struktur berupa perhitungan gaya dalam elemen. Setelah itu dievaluasi kekuatan elemen stuktur eksisting. Setelah memenuhi syarat dalam SNI-2847-2013 maka dapat direalisasikan menjadi ruang perpustakaan yang semula adalah ruang kelas. Perhitungan lanjutan perkuatan dilakukan apabila evaluasi kekuatan elemen struktur eksisting tidak memenuhi persyaratan dalam SNI-2847-2013 dengan menggunakan *carbon*, *glass* dan *aramid*.

Dalam penelitian ini, menggunakan CFRP produksi SIKA yaitu, SIKA CARboDur, SIKA Warp dan NSM (*Near Surface Mounted*). SSIKA CARboDur berbentuk pelat tipis dengan bahan perekat menggunakan *epoxy* SIKADUR 30. SIKA Wrap berbentuk serat fiber dengan bahan perekat *epoxy* SIKADUR 330 dan yang terbaru NSM yaitu menanam NSM dalam beton berbentuk plat kecil dan tulangan.

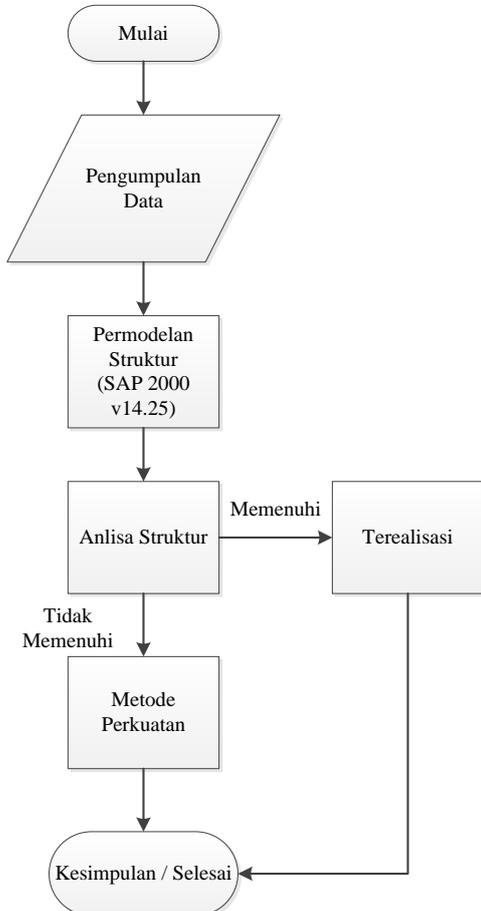
Glass yang digunakan adalah *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) yang berupa serat halus dari kaca (Santhosh *et al*, 2022). GFRP memiliki kekuatan yang lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku. Bahannya sangat ringan tetapi juga rapuh. Dalam pemasangannya menggunakan perekat *epoxy resin* (Song *et al*, 2021). Selain dipakai untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur lainnya, GFRP juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan (Rocha & Pereira, 2022).

Penggunaan GFRP karena bahan yang tahan akan segala jenis cuaca (Jahani *et al*, 2022).

Serat *aramid* juga dikenal sebagai serat *kaveler* yang memiliki kekuatan tinggi, tahan panas dan kuat tarik yang tinggi. Pemasangan *aramid* dengan menempelkan pada permukaan elemen struktur yang membutuhkan perkuatan menggunakan perekat *epoxy resin* (Huang *et al.*, 2022). Adapun diagram alur pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Denah Eksisting Lantai 2

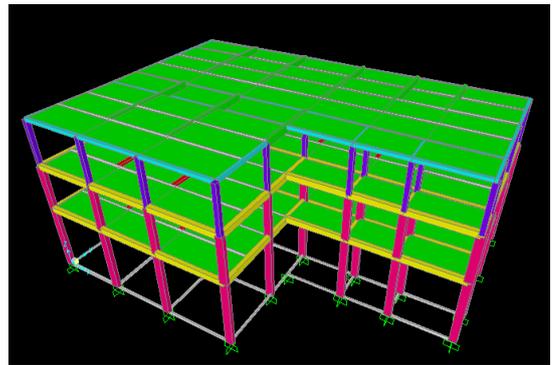


Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Struktur

Analisis struktur pelat, balok dan kolom dilakukan pada seluruh elemen. Sedangkan pembahasan dilakukan hanya pada pelat, balok dan kolom yang memerlukan perkuatan. Analisa elemen struktur dilakukan dengan menggunakan SAP 2000 v14.25 untuk mengetahui gaya dalam setelah diberi beban perpustakaan (*live load*) sebesar 500 kg/m². Permodelan pada SAP 2000 v14.25 dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Permodelan dengan SAP 2000 v14.25

Evaluasi Struktur Pelat

Hasil analisis struktur pelat lantai eksisting lantai 2 yang membutuhkan perkuatan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Gaya Yang Terjadi Pada Pelat

Kondisi Eksisting (LL = 250 kg/m ²)				
Momen Ult (kN/m)	As Perlu (mm ²)	As Pakai (mm ²)	Tul. Pakai	
M 2,744	412,820	785,398	10-tx	100
M 1,300	47,305	314,159	10-lx	250
M 2,058	412,821	785,398	10-ty	100
M 0,614	26,746	314,159	10-ly	250
Kondisi Eksisting (LL = 500 kg/m ²)				
Momen Ult (kN/m)	As Perlu (mm ²)	As Pakai (mm ²)	Tul. Pakai	

M	3,961	412,821	785,398	10-
tx				100
M	1,876	68,394	314,519	10-
lx				250

M	2,970	412,821	785,398	10-
ty				100
M	0,886	28,637	314,519	10-
ly				250

Evaluasi Struktur Pelat

Dari hasil analisis struktur didapatkan elemen balok eksisting pada lantai 3 memenuhi untuk menerima beban baru, sedangkan balok eksisting pada lantai 2 perlu perkuatan lentur. Hasil analisis balok dapat dilihat pada **Tabel 2**.

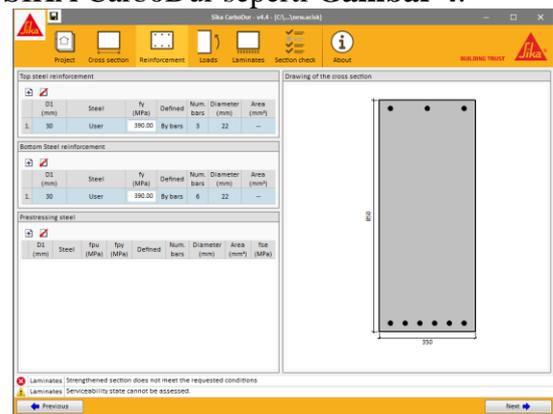
Tabel 2. Gaya Yang Terjadi Pada Balok

Kode	Dim	Kond. Eks			
		Tulangan		Mn (kN)	
		Tum	Lap	(-)	(+)
1-EI	35x8	6D2	6D2	626,	626,
	5	2	2	1	1
2-AE	35x8	6D2	6D2	626,	626,
	5	2	2	1	1
2-EI	35x8	6D2	6D2	626,	626,
	5	2	2	1	1
3-EI	35x8	6D2	6D2	626,	626,
	5	2	2	1	1
G-01	25x3	3D1	4D1	87,8	116,
	5	9	9	5	1
G-56	25x3	3D1	4D1	87,8	116,
	5	9	9	5	1

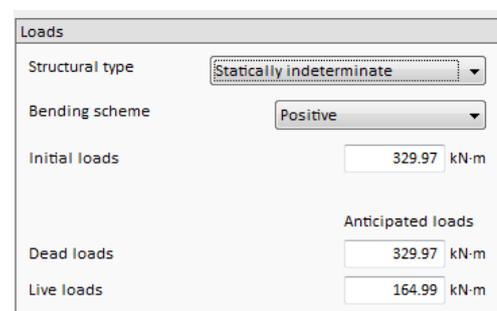
Kode	Dim	Kond. Eks			
		Tulangan		Mu (kN)	
		Tum	Lap	(-)	(+)
1-EI	35x8	6D2	6D2	-	549,
	5	2	2	738,	3
				4	
2-AE	35x8	6D2	6D2	-	255,
	5	2	2	651,	5
				9	
2-EI	35x8	6D2	6D2	-	659,
	5	2	2	826,	9
				0	
3-EI	35x8	6D2	6D2	-	660,
	5	2	2	701,	2
				3	
G-01	25x3	3D1	4D1	104,	17,7
	5	9	9	5	
G-56	25x3	3D1	4D1	105,	21,3
	5	9	9	6	

Dari **Tabel 2** dapat diketahui bahwa pada balok 1-EI mengalami perkuatan (-), balok 2-AE mengalami perkuatan (-), balok 2-EI mengalami perkuatan (+)(-), balok 3-EI mengalami perkuatan (+)(-), kemudian untuk balok G-01 mengalami perkuatan (-) dan balok G-56 mengalami perkuatan (-).

Dari beberapa hasil momen nominal balok lebih kecil dari momen *ultimate*, maka diperhitungkan perkuatan untuk elemen balok yang memiliki nilai $M_n < M_u$, dan pada elemen balok tidak ditemukan kegagalan pada geser. Perhitungan dilakukan menggunakan program bantu SIKACarboDur seperti **Gambar 4**.



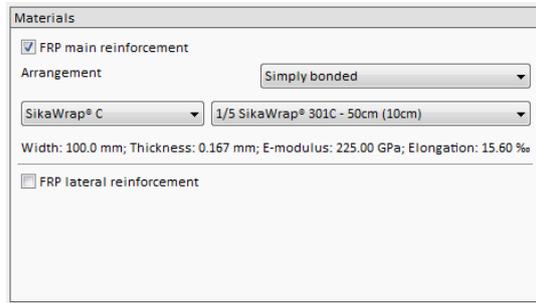
Gambar 4. Permodelan Elemen Balok Pada SIKACarboDur



Gambar 5. Input Hasil Momen Ultimate Balok

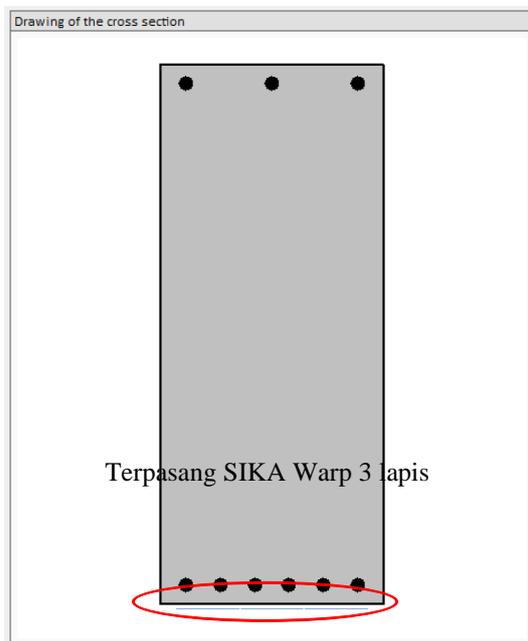
Pada **Gambar 5** input hasil momen *ultimate* balok diambil sample perhitungan momen positif pada balok 2-EI yang mempunyai momen *ultimate* 659,95 kN/m. Maka SIKACarboDur, nilai *Initial Load* =

$0.5 M_u = 329,7 \text{ kN/m}$, kemudian nilai *Dead Load* = *Initial Load* dan nilai *Live Load* $0.5 DL = 164,99 \text{ kN/m}$. Setelah nilai M_u dimasukkan maka dilanjutkan perhitungan perkuatan yang diperlukan.



Gambar 6. Jenis Perkuatan CFRP

Pada properti **Gambar 6** dipilih jenis perkuatan yang diinginkan dan terdapat 3 jenis perkuatan yaitu SIKA CarboDur, SIKA Warp dan NSM yang dihitung secara otomatis oleh program bantu SIKA CarboDur dengan menggunakan jenis perkuatan yang paling optimum. Pada **Gambar 7** digunakan jenis perkuatan berupa SIKA Warp 3 lapis yang membuat M_n pada balok meningkat.



Gambar 7. Balok Dengan Perkuatan Sika Warp 3 Lapis

Strengthening limits (ACI440.2R-17, 9.2)				
Loading	ϕ	M_u (kN-m)	M_n (kN-m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ ($N = N_u$)
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$	0.90	486.71	695.69	Un-strengthened section $626.12 \text{ kN-m} \geq 486.71 \text{ kN-m}$ ✓

Strengthened section under anticipated loads				
Loading	ϕ	M_u (kN-m)	M_n (kN-m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ ($N = N_u$)
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.90	659.95	753.74	Strengthened section $678.37 \text{ kN-m} \geq 659.95 \text{ kN-m}$ ✓

Gambar 8. Hasil Setelah Perkuatan

Hasil M_n balok setelah diperkuat dengan Sika Warp tipe 1/5 SikaWarp 301c-150 (10cm) maka perbandingan M_n nya menjadi $M_n = 753,74 > M_u = 659,95 \text{ kN/m}$ yang artinya balok masih dapat diperkuat untuk menahan beban yang ada. Untuk perhitungan elemen balok lainnya dengan menggunakan langkah yang sama. Hasil dan jenis perkuatannya dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Hasil Perkuatan

Kode	Dimen	Redesain		Perkuatan	
		M_u (kN)		M_n (kN)	
		(-)	(+)	(-)	(+)
1-EI	35x8 5	-	738,	760,	9
			4		
2-AE	35x8 5	-	651,	671,	5
			8		
2-EI	35x8 5	-	659,	844,	753,
			826,	9	5
			0		
3-EI	35x8 5	-	660,	760,	753,
			701,	2	5
			3		
G-01	25x3 5	104,	5	115,	2
G-56	25x3 5	105,	6	115,	2

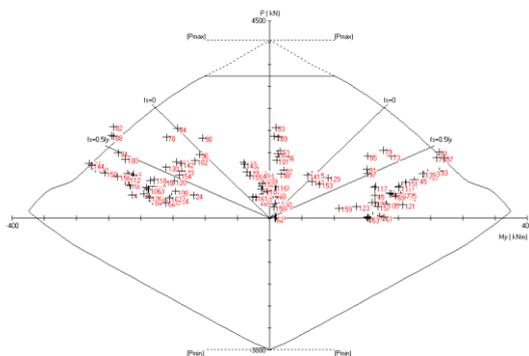
Tabel 4. Jenis Perkuatan

Kode	Dimen	Jenis Perkuatan	
		(-)	(+)
1-EI	35x8 5	SIKA CarboDur BC@3	
2-AE		SIKA CarboDur	

	35x8	BC@1	
	5		
		SIKA	½ SIKA
2-EI	35x8	CarboDur	Warp 301c
	5	BC@5	WV-50cm
			(10 cm) 3
			lapis
		SIKA	½ SIKA
3-EI	35x8	CarboDur	Warp 301c
	5	BC@3	WV-50cm
			(10 cm) 3
			lapis
		½ SIKA	
G-01	25x3	Warp	
	5	600C WV-	
		50cm (25	
		cm) 1 lapis	
		½ SIKA	
G-56	25x3	Warp	
	5	600C WV-	
		50cm (25	
		cm) 1 lapis	

Evaluasi Struktur Kolom

Dari hasil analisis struktur didapatkan elemen kolom eksisting pada lantai 2 dan 3 memenuhi untuk menerima beban baru, sedangkan kolom eksisting pada lantai 1 perlu perkuatan. Hasil analisa kolom dilakukan menggunakan program bantu Spcolumn, terdapat gaya yang berada di luar diagram interaksi seperti pada **Gambar 9**. Hasil rekapitulasi kolom yang memerlukan perkuatan dapat dilihat pada **Tabel 5**.



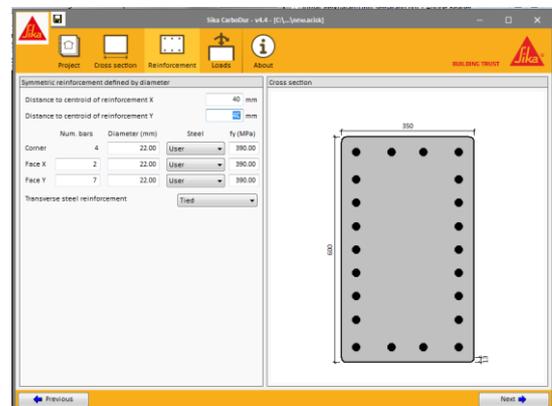
Gambar 9. Diagram Interaksi Kolom

Tabel 5. Kolom Memerlukan Perkuatan

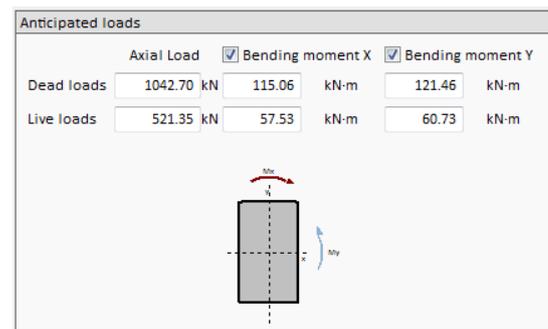
Kode	PU	Mux	Muy
------	----	-----	-----

1-E	1884,1	-234,659	-245,054
	59		
2-E	2085,3	-230,123	-242,922
	95		
3-E	1864,3	-226,610	-242,749
	10		
2-I	1249,9	-192,643	-280,984
	27		

Dari beberapa hasil rekapitulasi kolom yang memiliki gaya diluar kapasitas diagram interaksi, maka diperhitungkan perkuatan untuk elemen kolom tersebut. Perhitungan dilakukan menggunakan program bantu SIKA CarboDur (**Gambar 10**).



Gambar 10. Permodelan Kolom pada SIKA CarboDur



Gambar 11. Input Gaya Dalam Kolom

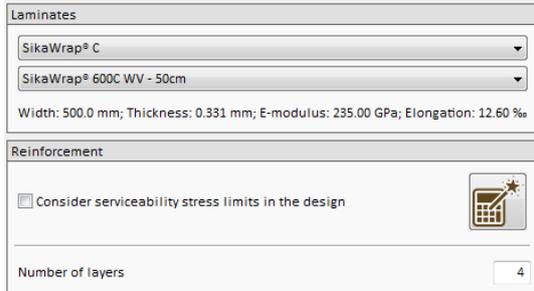
Pada **Gambar 11** diambil contoh perhitungan perkuatan pada kolom elemen 216 yang mempunyai $P_{ultimate}$ sebesar 2085,4 kN. Maka pada SIKA CarboDur memunculkan nilai :

$$\begin{aligned}
 \text{Dead Load} &= 0,5 P_u = 1042,70 \text{ kN} \\
 \text{Live Load} &= 0,5 DL = 521,35 \text{ kN} \\
 M_x &= 0,5 M_{ux} = 115,06 \text{ kNm} \\
 LL (M_x) &= 0,5 M_x = 57,53 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$My = 0,5 My_u = 121,46 \text{ kNm}$$

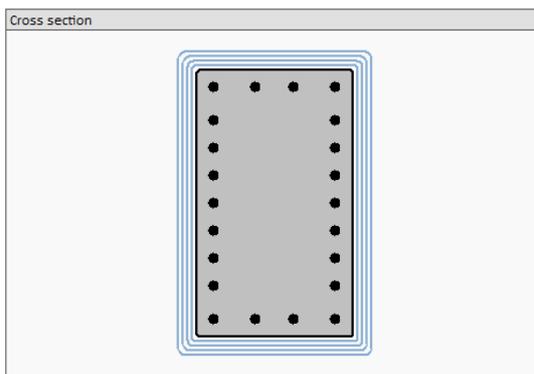
$$LL (My) = 0,5 My_u = 60,73 \text{ kNm}$$

Setelah nilai yang diperlukan dimasukkan maka dilanjutkan perhitungan perkuatan yang diperlukan.



Gambar 12. Jenis Perkuatan CFRP pada Kolom

Pada propertis **Gambar 12** hanya terdapat 1 jenis perkuatan yang terdapat pada perkuatan kolom yaitu SIKAWarp dengan 3 tipe SIKAWarp, yang dihitung secara otomatis oleh program bantu SIKACarboDur dan akan disarankan jumlah lapisan perkuatan yang paling optimum. Pada **Gambar 12** tersebut di sarankan menggunakan jenis perkuatan berupa SIKAWarp 4 lapis (**Gambar 13**) yang akan membuat kapasitas kolom meningkat seperti pada **Gambar 14**.



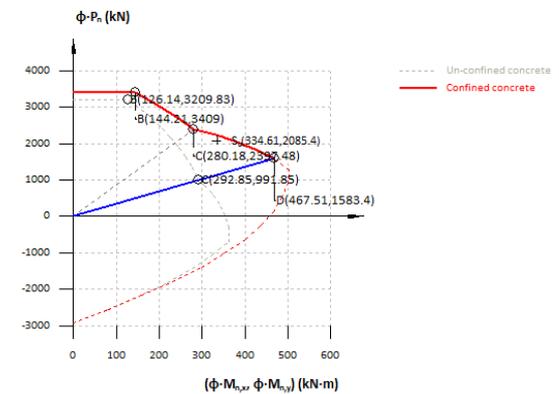
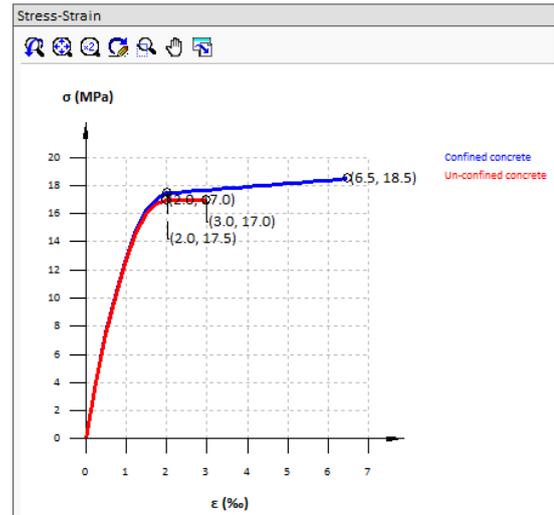
Gambar 13. Penampang Kolom dengan Perkuatan SIKAWarp

5.1. - Summary of results

Strengthening limits (ACI440.2R-17, 9.2)					
Loading	ϕ	P_u (kN)	$M_{u,x}$ (kN-m)	$M_{u,y}$ (kN-m)	$\phi P_{n,max} \geq P_u; \phi S_n \geq S_u$
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$	0.65	1537.98	169.71	179.15	Un-strengthened section ✓

Strengthened section under anticipated loads					
Loading	ϕ	P_u (kN)	$M_{u,x}$ (kN-m)	$M_{u,y}$ (kN-m)	$\phi P_{n,max} \geq P_u; \phi S_n \geq S_u$
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.71	2085.40	230.12	242.92	Strengthened section ✓

Gambar 14. Hasil Setelah Perkuatan



Gambar 15. Diagram Interaksi dan Diagram Tegangan Regangan Setelah Perkuatan Kolom

Hasil kolom setelah diperkuat menggunakan SIKAWarp tipe SIKAWarp 600C WV- 50 cm 4 lapis dapat dilihat pada **Gambar 15** . Artinya Kolom masih dapat diperkuat untuk menahan beban yang ada. Untuk perhitungan elemen kolom lainnya akan menggunakan langkah yang sama , dan hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Perkuatan Kolom

Kode	Dimensi	Jenis Perkuatan
1-E	35x60	SIKA Warp 600c WV-50cm 3 lapis
2-E	35x60	SIKA Warp 600c WV-50cm 3 lapis
3-E	35x60	SIKA Warp 600c WV-50cm 3 lapis
2-I	35x60	SIKA Warp 600c WV-50cm 3 lapis

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur pelat masih mampu menahan beban perpustakaan sebesar 500 kg m/2. Beberapa elemen balok pada lantai 2 tidak mampu lagi menahan beban rencana, sehingga harus dilakukan perkuatan elemen, dan hasil dari perkuatan elemen balok masih mencukupi dengan menggunakan CFRP. Beberapa elemen kolom pada lantai 1 tidak mampu menahan beban rencana, sehingga harus dilakukan perkuatan elemen, dan hasil dari perkuatan elemen kolom masih mencukupi dengan menggunakan CFRP. Dari hasil analisa struktur yang telah dilakukan untuk mengevaluasi perubahan alih fungsi gedung dari ruang kelas menjadi ruang perpustakaan maka gedung tersebut dinyatakan layak untuk perubahan alih fungsi gedung dari ruang kelas menjadi ruang perpustakaan, dengan syarat harus dilakukan perkuatan struktur sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Hammerl, M., & Kromoser, B. (2021). The influence of pretensioning on the load-bearing behaviour of concrete beams reinforced with carbon fibre reinforced polymers. *Composite Structures*, 273(November 2020), 114265.
- Huang, Y., Lee, M., Kan, Y., Wang, W., Wang, Y., & Pan, W. (2022). Case Studies in Construction Materials Reinforced concrete beams retrofitted with UHPC or CFRP. *Case Studies in Construction Materials*, 17(June), e01507.
- Jahani, Y., Baena, M., Barris, C., & Torres, L. (2022). Effect of fatigue loading on flexural performance of NSM CFRP-strengthened RC beams under different service temperatures. 273(October).
- Jongvivatsakul, P., Thongchom, C., & Mathuros, A. (2022). Case Studies in Construction Materials Enhancing bonding behavior between carbon fiber-reinforced polymer plates and concrete using carbon nanotube reinforced epoxy composites. *Case Studies in Construction Materials*, 17(June), e01407.
- Li, C., Viswanathan-chettiar, S., Sun, F., & Shi, Z. (2023). Effect of CFRP surface topography on the adhesion and strength of composite-composite and composite-metal joints. *Composites Part A*, 164(October 2022), 107275.
- Mitchell, B., Sadek, A., & Kinsey, B. (2022). Advantages of water droplet machining over abrasive waterjet cutting of carbon fiber reinforced polymer. *Manufacturing Letters*, 33, 342–348.
- Rocha, J., & Pereira, E. (2022). Influence of adhesive stiffness on the post-cracking behaviour of CFRP-reinforced structural glass beams. 247(May).
- Samy, K., Attia, M., Fawzy, A., & Elsayed, T. (2022). Case Studies in Construction Materials Enhancing the Effectiveness of Strengthening RC columns with CFRP sheets. *Case Studies in Construction Materials*, 17(June), e01588.
- Santhosh, M. S., Markandan, K., Natarajan, E., & In, L. (2022). Experimental and numerical analysis on suitability of S-Glass-Carbon fiber reinforced polymer composites for submarine hull. (xxxx).
- Song, G., Zhang, C., Chen, X., & Zheng, D. (2021). Galvanic activity of carbon fiber reinforced polymers and electrochemical behavior of carbon fiber. *Corrosion Communications*, 1, 26–39.
- Tabaka, W., Timme, S., Lauterbach, T., Medina, L., Berglund, L. A., Carosio, F., ... Schartel, B. (2021). Bench-scale fire stability testing – Assessment of protective systems on carbon fibre reinforced polymer composites. *Polymer Testing*, 102(September), 107340.

