

ANALISIS BIAYA PERKUATAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGUNAKAN CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*)

Dwifri Aprillia Karisma¹, Budi Witjaksana², Hanie Teki Tjendani³
Pascasarjana Teknik Sipil Universitas 17 Agustus Surabaya^{1,2,3}

*Email: dwifiaprilliakarisma@gmail.com¹, budiwitjaksana@gmail.com², hanie@untag-sby.ac.id³

ABSTRAK

Penambahan lantai pada sebuah bangunan merupakan salah satu alternatif serta solusi dalam mengatasi peningkatan jumlah kebutuhan ruang namun dengan keterbatasan lahan. Apabila suatu struktur tidak mampu menahan beban yang ditimbulkan maka diperlukan adanya perkuatan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis biaya perkuatan struktur akibat dari penambahan lantai. Evaluasi awal struktur bangunan dilakukan dengan memperhitungkan kuat nominal yang dihitung dengan metode-metode konservatif sesuai dengan standart peraturan terbaru. Sedangkan kuat perlu struktur didapatkan dari hasil pemodelan dengan program ETABS. Evaluasi dilakukan pada elemen struktur bangunan balok dan kolom. Perkuatan dilakukan menggunakan metode Fiber Reinforced Polymer (FRP) dengan jenis Carbon. Jumlah kebutuhan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung biaya yang dibutuhkan dalam melakukan perkuatan akibat dari penambahan lantai. Hasil penelitian didapatkan bahwa diperlukan perkuatan lentur balok diperlukan pada lantai 6 dengan jumlah kebutuhan perkuatan 29 strip CFRP Tape (10m²) pada daerah tumpuan dan lapangan. Perkuatan geser balok diperlukan pada lantai 1 dan 6 jumlah kebutuhan perkuatan 17 CFRP Wrap (6 m²) pada area tumpuan. Sedangkan untuk kekuatan elemen struktur kolom eksisting masih memenuhi, sehingga tidak diperlukan perkuatan. Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perkuatan elemen struktur eksisting menggunakan CFRP sebesar Rp 38.239.799,36.

Kata kunci: Perkuatan struktur, *Carbon Fiber Reinforced Concrete*, Biaya Perkuatan

ABSTRACT

The addition of a floor in a building is an alternative and a solution in overcoming the increasing number of space requirements but with limited land. If a structure is not able to withstand the resulting load, it is necessary to strengthen the structure. This study aims to analyze the cost of strengthening the structure due to the addition of floors. The initial evaluation of the building structure is carried out by taking into account the nominal strength calculated by conservative methods in accordance with the latest regulatory standards. Meanwhile, the strength needed for the structure is obtained from the modeling results with the ETABS program. Evaluation is carried out on structural elements of beams and columns. Reinforcement is carried out using the Fiber Reinforced Polymer (FRP) method with Carbon type. The number of needs is then used to calculate the costs needed to do the reinforcement due to the addition of the floor. The results showed that the required beam flexural reinforcement was needed on the 6th floor with a total reinforcement requirement of 29 strips of CFRP Tape (10m²) in the support area and the field. Shear reinforcement of beams is required on the 1st and 6th floors, the amount of reinforcement required is 17 CFRP Wrap (6 m²) in the support area. Meanwhile, the strength of the existing column structure elements is still adequate, so no reinforcement is needed. The cost required to strengthen the existing structural elements using CFRP is Rp. 38,239,799.36.

Keywords: Structural reinforcement, *Carbon Fiber Reinforced Concrete*, Reinforcement Cost

Pendahuluan

Rumah sakit merupakan salah satu sarana pelayanan kesehatan yang penting keberadaannya bagi masyarakat. Fasilitas rumah sakit yang lengkap dan memadai berperan sebagai upaya dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat. Inti terpenting dari rumah sakit selain lokasi yang strategis adalah struktur bangunan yang memenuhi standar. Rumah Sakit harus memenuhi kriteria keselamatan dan layanan yang prima. Fasilitas rumah sakit bukan hanya pelayanan dan kelengkapan alat, melainkan juga kebutuhan akan ruang sehingga mampu menampung pasien (Jaya 2019). Rumah Sakit Bhayangkara Kediri merupakan salah satu rumah sakit yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan akan pelayanan kesehatan masyarakat. Semakin meningkatnya jumlah pasien akibat dari Pandemi Covid 19 menjadikan kebutuhan fasilitas akan rumah sakit ini semakin meningkat. Rumah Sakit Bhayangkara Kediri berlokasi di Jl. Kombes Pol Duryat 17 Kediri dengan kategori rumah sakit kelas B. Rumah sakit kelas B merupakan rumah sakit yang mampu memberikan pelayanan kedokteran spesialis luas dan subspecialis terbatas (Listiyono 2015). Rumah sakit kelas B didirikan di setiap ibukota propinsi yang menampung pelayanan rujukan dari rumah sakit kabupaten. Rumah sakit Bhayangkara Kediri terletak ditengah kota Kediri yang cukup padat dengan luas tanah 12740 m². Bangunan ini awalnya memiliki enam lantai yang di fungsikan sebagai ruang poli spesialis dan ruang inap. Seiring dengan berjalannya waktu, diperlukan penambahan ruang. Keterbatasan lahan mengakibatkan susahya melakukan penambahan luas bangunan ke arah horisontal. Salah satu cara untuk memperluas ruangan pada gedung adalah penambahan lantai atau pembangunan ke arah vertikal (Priscasari 2546). Sehingga, akan direncanakan penambahan 1 lantai sebagai upaya pemenuhan kebutuhan ruang inap.

Adanya penambahan jumlah lantai bangunan, maka tentunya dibutuhkan evaluasi dari struktur bangunan eksisting. Sehingga dapat diketahui kemampuan struktur bangunan akibat dari penambahan tingkat bangunan tersebut, apakah struktur bangunan tersebut masih layak setelah adanya penambahan beban dengan kondisi awal struktur atau perlu dilakukan perkuatan struktur jika struktur tidak mampu menerima beban akibat penambahan tingkat bangunan (Violita et al. 2017). Perkuatan dibutuhkan agar elemen- elemen struktur pada gedung eksisting mampu menahan beban yang bekerja akibat penambahan tingkat bangunan. Rumah Sakit Bhayangkara Kediri dibangun dengan struktur beton bertulang. Struktur beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dengan baja. Beton mempunyai perilaku keruntuhan getas, yaitu keruntuhan yang terjadi secara tiba tiba jika beban yang bekerja sudah melampui kekuatan bahan, sementara baja mempunyai perilaku keruntuhan daktail, yaitu adanya peristiwa kelelahan sebelum bahan runtuh akibat pembebanan yang diberikan.

Sebagaimana diketahui keruntuhan pada beton bertulang terdiri dari dua jenis, tipe keruntuhan pertama adalah keruntuhan lentur dimana beton runtuh akibat kegagalan tulangan lentur yang ditandai dengan retak lentur dari tengah bentang dan menjalar sampai ke bagian serat atas sehingga beton mengalami kehancuran. Tipe kedua yaitu keruntuhan geser dimana beton runtuh akibat kegagalan pada tulangan sengkang yang ditandai dengan retak miring di sekitar daerah tumpuan dan menjalar ke bagian serat atas sehingga beton mengalami kehancuran. Namun demikian untuk struktur yang mengalami beban berlebih (overload) ataupun salah

perencanaan (misplanning) selama struktur tidak mengalami deformasi yang berlebih kondisi tersebut masih bisa diperbaiki dengan memberikan perkuatan pada struktur (-, Darma, and Nuryati 2020).

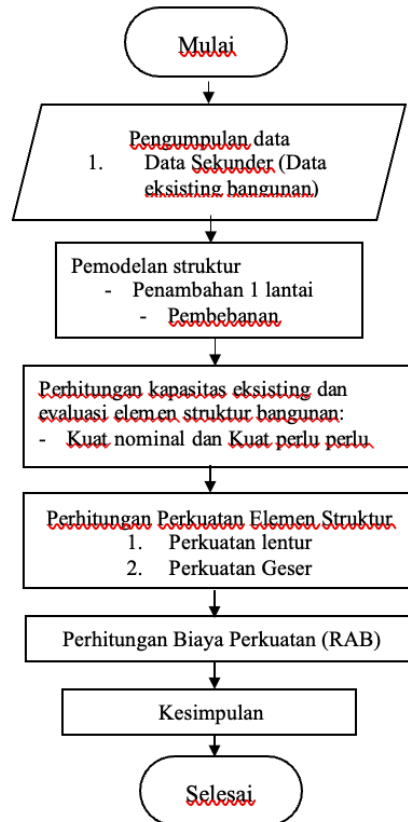
Perkuatan (*Strengthening*) pada struktur bangunan adalah suatu tindakan modifikasi struktur yang sudah atau belum mengalami kerusakan, dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan atau daktilitas struktur. Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana (Purmawinata et al. 2020)(Agustinus and Lesmana 2019). Ketika perkuatan akan dilakukan semua kegagalan harus dievaluasi. Perkuatan harus didesain dengan pertimbangan untuk meminimalkan pemeliharaan dan kebutuhan perbaikannya. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode(Khoeri 2020).

Salah satu jenis perkuatan struktur dengan metode Fiber Reinforced Polymer (FRP) yaitu Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP merupakan salah satu perkuatan stuktur berbentuk serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% serat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas (Zega 2020). Pembalutan CFRP pada balok beton bertulang diharapkan memberikan kontribusi terhadap peningkatan daktilitas (Rejeki and Utami 2019).

Evaluasi dan anlisis dilakukan untuk mengetahui kebutuhan perkuatan elemen struktur Rumah Sakit Bhayangkara Kediri akibat dari penambahan lantai. Analisis yang dilakukan meliputi penentuan penentuan elemen struktur yang harus diperkuat, jumlah kebutuhan perkuatan, serta menganalisa berapa jumlah biaya yang diperlukan untuk memperkuat struktur eksisting sehingga mampu menahan beban akibat dari penambahan lantai bangunan

Metode

Analisis perhitungan mengacu pada Standart Nasional Indonesia (SNI) dengan berbasis kekuatan. Evaluasi awal struktur bangunan dilakukan dengan memperhitungkan kuat nominal yang dihitung dengan metode-metode konservatif sesuai dengan standart peraturan terbaru. Sedangkan kuat perlu struktur didapatkan dari hasil pemodelan dengan program ETABS. Evaluasi dilakukan pada elemen struktur bangunan pelat, balok dan kolom. Dari hasil evaluasi awal , akan didapatkan elemen struktur bangunan yang memerlukan perkuatan . Perkuatan dilakukan menggunakan metode Fiber Reinforced Polymer (FRP) dengan jenis Carbon. Kebutuhan perkuatan diperhitungkan sesuai dengan ACI 440.2R-008. Jumlah kebutuhan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung biaya yang dibutuhkan dalam melakukan perkuatan akibat dari penambahan lantai. Untuk lebih jelasnya diuraikan pada bagan alur seperti pada Gambar 1. Pemodelan struktur bertujuan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Pemodelan struktur dibuat dengan program bantu Etabs v19.1.0 Pemodelan struktur yang telah dibuat dibebani oleh beban-beban. Data perencanaan struktur bangunan terdiri dari data umum bangunan, peraturan yang digunakan , mutu material gambar arsitek dan gambar struktur yang mengacu pada data eksisting dengan penambahan 1 lantai.



Gambar 1. Alur Penelitian

Data-data perencanaan gedung adalah sebagai berikut:

a. Data Umum Bangunan:

Nama Bangunan : Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Kediri
Tipe bangunan : Gedung fasilitas Kesehatan
Jumlah lantai : 7 Lantai + Basement
Lebar Bangunan : 26 m
Panjang Bangunan : 68 m
Tinggi Bangunan : 31,25 m2
Lokasi : Kediri, Jawa Timur

b. Peraturan yang Dipakai

Perencanaan struktur mengacu pada SNI 03-2847- 2019.
Pembebanan gravitasi dihitung berdasarkan SNI 1727- 2020 dan PPIUG 1983
Pembebanan gempa dihitung berdasarkan SNI 03- 1726- 2019.
Standar dan mutu CFRP mengacu pada ACI 440.2R-08.

c. Data Bahan

Beton bertulang : $f_c' = 24,9$ Mpa

Mutu Baja Tulangan : $f_y = 240$ (Tulangan Polos)

$f_y = 420$ (Tulangan Ulir).

Perhitungan kapasitas eksisting dilakukan pada elemen struktur balok dan kolom. Selain itu dilakukan evaluasi kapasitas untuk menentukan apakah elemen struktur eksisting masih mampu menerima beban tambahan akibat penambahan lantai. Perhitungan kapasitas eksisting balok dilakukan untuk mengetahui momen nominal (ϕM_n) dan geser nominal (ϕV_n) dari tulangan balok terpasang. Perhitungan dilakukan pada tulangan lentur dan tulangan Tarik, baik pada daerah tumpuan maupun lapangan. Untuk menganalisis kapasitas lentur balok beton bertulang digunakan persamaan keseimbangan $\Sigma F_x = 0$ sehingga, $0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$

Sehingga diperoleh nilai a

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

Dengan mendistribusikan nilai a , diperoleh

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_u < \phi \cdot M_n.$$

Dengan :

M_n = Momen nominal (Nmm);

M_u = Momen ultimit; f_c' = Kuat tekan beton (Mpa);

f_y = Tegangan leleh baja (f_y);

a = tinggi balok tegangan tekan (mm);

b = lebar balok (mm);

A_s = Luas baja tulangan (mm²);

d = tinggi efektif balok (mm);

ϕ = factor reduksi kekuatan

Gaya geser balok dihitung berdasarkan kombinasi gaya geser akibat beban gravitasi dan momen kapasitas balok induk. Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi ϕ , dengan persamaan yang digunakan sebagai berikut: $V_u \leq \phi V_n$. Kuat geser nominal (V_n) dari balok beton bertulang dengan tulangan geser, sebagian disumbangkan oleh kuat geser beton (V_c), dan sebagian disumbangkan oleh kuat geser tulangan geser (V_s); $V_n = V_c + V_s$. Dengan besarnya faktor reduksi (ϕ) untuk geser adalah sebesar 0,75. V_c dapat diambil = 0 jika Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum V_u atau Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan seismik, kurang dari $A_g f_c' / 20$; $V_s = V_n - V_c$.

Hasil gaya dalam berupa beban aksial terfaktor (P_u) dan momen lentur terfaktor (M_u) dari program Etabs akan menjadi bahan untuk diinput pada program SP Column untuk dianalisis kapasitas penampang kolomnya. Diagram interaksi yang dihasilkan program SP Column dicek secara teoritis serta hasil output berupa nilai momen nominal digunakan sebagai dasar perhitungan secara manual yang mengacu pada SNI 03-2847-2002. Untuk memenuhi syarat strong coloumn weak

beam, maka didapat syarat : $\sum Mnc \geq (1,2) \sum Mnb$ Dimana : $\sum Mnc$ = jumlah kuat momen kolom yang berada di muka joint yang ditinjau; $\sum Mnb$ = jumlah kuat momen nominal balok T yang berada di muka joint yang di tinjau.

Tulangan transversal sebagai penahan gaya geser direncanakan nilai gaya geser desain (V_e) tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor dari analisa struktur. Gaya-gaya joint ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi M_{pr} , disetiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada kolom

$$V_{e1} = \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{l_n}$$

Dimana : M_{pr-} = kuat momen maksimum penampang kolom ujung atas; M_{pr+} = kuat momen maksimum penampang kolom ujung bawah; l_n = panjang kolom; Nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke joint

$$V_{e2} = \frac{M_{pr-} \times DF_{atas} + M_{pr+} \times DF_{bawah}}{l_n}$$

Setelah dilakukan evaluasi kekuatan elemen struktur eksisting, maka didapatkan elemen-elemen struktur eksisting yang masih kuat, dan elemen struktur eksisting yang membutuhkan perkuatan. Pada elemen struktur yang tidak kuat dilakukan perhitungan perkuatan struktur dengan menggunakan CFRP. Perhitungan kekuatan struktur yang dilakukan terdapat dua macam, yaitu perkuatan terhadap lentur (Flexural Strengthening) dan perkuatan terhadap geser (Shear Strengthening), untuk menentukan kebutuhan perkuatan lentur dilakukan perhitungan desain material meliputi perhitungan desain kuat Tarik ultimate FRP, regangan yang terjadi, serta perhitungan tegangan. Perkuatan lentur dapat terpenuhi apabila : $M_u \leq \phi M_n$. Apabila momen nominal tidak dapat melebihi momen ultimit dari alias strutrur yang ada maka ϕM_n harus didesain dengan menjumlahkan momen nominal tulangan dengan momen nominal perkuatan yang dikalikan dengan factor reduksi.

Sehingga didapatkan persamaan: $M_u \leq \phi M_n$; $M_u \leq \phi M_n + \psi f \cdot M_{nf}$;
 $M_u - \phi M_n \leq \psi f \cdot A_f \cdot f_{fe} (h - \frac{\beta_{1,c}}{2})$

Perkuatan geser dapat terpenuhi apabila geser nominal yang ada lebih besar dari geser ultimat $\phi V_n > V_u$. Apabila persamaan tersebut tidak terpenuhi maka Maka ϕV_n di desain dengan menjumlahkan V_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan (V_{nf}) yang diakalikan dengan factor reduksi ψf . Sehingga didapatkan persamaan: $\phi (V_c + V_s + \psi f V_f) > V_u$; Dengan; $\phi = 0,9$; V_c = kuat geser yang disumbang beton = 0; V_s = kuat geser yang disumbang tulangan baja; $\psi f = 0,95$; V_f = kuat geser yang disumbang FRP. Rencana anggaran biaya (RAB) adalah jumlah dari masing-masing hasil perkiraan volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan. Secara umum dapat disimpulkan sebagai berikut : $RAB = \sum (Volume) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}$

Tabel 1 .Analisa Harga Satuan Pekerjaan Perkuatan Struktur *Carbon Fibre*

No	Komponen	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah Harga
A	Tenaga				
1	Pekerja	OH	0,875	Rp 16.087,50	Rp 14.076,56
2	Tukang	OH	0,875	Rp 20.000,00	Rp 17.500,00

3	Mandor	OH	0,2917	Rp 25.000,00	Rp 7.292,50
Jumlah Harga Tenaga					Rp 38.869,06
B	Bahan				
1	Epoxy Resin	Kg	2,2	Rp 234.100	Rp 515.020,00
2	Carbon Fiber	m2	1	Rp 1.833.333	Rp 1.833.333,00
Jumlah Harga Bahan					Rp 2.348.353,00
C	Peralatan				
1	Epoxy Mixer	Unit/Jam	0,0221	Rp 7.484,00	Rp 165,40
2	Alat Bantu	Ls	1	Rp 2.600,00	Rp 2.600,00
Jumlah Harga Peralatan					Rp 2.765,40
D	Jumlah A+B+C				Rp 2.389.987,46

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Hasil dan Pembahasan

Perkuatan lentur diperlukan pada 17 balok induk lantai 6. Sedangkan kekuatan lentur untuk elemen kolom pada struktur Rs Bhayangkara kediri masih memenuhi sehingga tidak diperlukan perkuatan lentur. Balok membutuhkan perkuatan lentur apabila Momen nominal (ϕMn) dari tulangan balok terpasang tidak cukup untuk menahan Momen ultimate (Mu) dari beban terfaktor. Data Material Perkuatan; Nama bahan = SIKA Carbodur S1012; Tipe = CFRP Laminate Tape; Lebar = 100 mm; Tebal (tf) = 1,2 mm; Luasan FRP (Af) = 120 mm²; Tensile Strengt (Ffu^*) = 2800Mpa; Regangan Putus (ϵfu^*) = > 1,7%; Modulus elastisitas (Ef) = 160000 Mpa; Faktor Reduksi(CE) = 0,95.

Perkuatan lentur dapat terpenuhi apabila $Mu \leq \phi Mn$. Apabila momen nominal tidak dapat melebihi momen ultimit dari alias strutrur yang ada maka ϕMn harus didesain dengan menjumlahkan momen nominal tulangan dengan momen nominal perkuatan yang dikalikan dengan factor reduksi.

$$Mu \leq \phi Mn ; Mu \leq \phi Mn + \psi f . Mn f ; Mu - \phi Mns \leq \psi f . Af . ffe (h - \frac{\beta 1.c}{2})$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan mengenai kebutuhan jumlah perkuatan lentur pada lantai 6 didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi perkuatan lentur balok lantai 6

No	Tipe balok	Eksisting		Hasil Etabs		Keterangan		Perkuatan CFRP Tape (Strip)	
		T	L	T	L	Tumpuan	Lapangan	T	L
		$\phi Mn(kNm)$		$\phi Mu(kNm)$					
1	BA1 as D Join 3-4	285,95	285,95	327,68	310,30	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
2	BA1 as D Join 4-5	285,95	285,95	338,35	317,68	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
3	BA1 as D Join 6-7	285,95	285,95	334,09	315,39	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
4	BA1 as D Join 7-8	285,95	285,95	333,20	313,14	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
5	BA1 as D Join 8-9	285,95	285,95	332,55	313,52	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
6	BA1 as D Join 9-10	285,95	285,95	333,96	311,09	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
7	BA2 as 4 Join C-D	195,24	195,24	205,80	211,75	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
8	BA2 as 5 Join C-D	195,24	195,24	203,87	211,16	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
9	BA2 as 6 Join C-D	195,24	195,24	201,19	213,08	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
10	BA2 as 7 Join C-D	195,24	195,24	204,62	212,24	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
11	BA2 as 8 Join C-D	195,24	195,24	201,98	212,89	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
12	BA2 as 9 Join C-D	195,24	195,24	202,20	212,44	Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	1	1
13	BA2 as 3 Join C-D	195,24	195,24	183,54	201,26	Tdk Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	0	1
14	BA2 as 4 Join D-E	195,24	195,24	184,14	214,29	Tdk Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	0	1
15	BA2 as 7 Join D-E	195,24	195,24	186,81	215,24	Tdk Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	0	1
16	BA2 as 8 Join D-E	195,24	195,24	182,39	213,09	Tdk Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	0	1
17	BA2 as 9 Join D-E	195,24	195,24	183,61	213,88	Tdk Perlu Perkuatan	Perlu Perkuatan	0	1
Total Kebutuhan								12	17

Sumber: Olahan Penulis, 2022

Dari hasil perhitungan perkuatan lentur perkuatan lentur balok sebanyak 29 CFRP Tape (Strip). Hasil tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan volume kebutuhan CFRP. Dari hasil perhitungan kapasitas eksisting struktur, didapatkan Beberapa elemen kolom dan balok yang tidak mampu menahan kapasitas perlu akibat dari penambahan lantai. Perkuatan geser diperlukan pada 17 balok induk lantai 6. Balok membutuhkan perkuatan geser karena geser nominal (ϕV_n) dari tulangan balok terpasang tidak cukup untuk menahan geser ultimate (V_u) dari beban terfaktor.

Data Material Perkuatan;

Nama bahan = SIKA Wrap 231C;

Tipe = CFRP Wrap; Lebar (wf)= 500 mm;

Tebal (tf)= 0,13 mm; Tensile Strength (F_{fu}^*) = 4.800 Mpa;

Regangan Putus (ϵ_{fu}^*) = > 1,8%;

Modulus elastisitas (E_f) = 234.000 Mpa;

Faktor Reduksi(CE) = 0,95.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan mengenai kebutuhan jumlah perkuatan geser pada lantai 1 dan 6 didapatkan hasil perkuatan geser didapatkan kebutuhan perkuatan pada daerah tumpuan sebanyak 19 CFRP Wrap (Lembar) sedangkan pada daerah lapangan tidak diperlukan perkuatan geser. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diketahui volume perkuatan balok pada tumpuan 4,2 m² dan lapangan sebesar 5,8 m². Sehingga volume total kebutuhan perkuatan lentur balok sebesar 10 m². Volume tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan biaya berdasarkan persamaan 2.51 dengan uraian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RAB} &= \Sigma (\text{Volume}) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan} = 10 \text{ m}^2 \times \text{Rp } 2.389.987,46 \\ &= \text{Rp } 23.899.874,6 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan kebutuhan biaya untuk melakukan perkuatan lentur pada balok akibat dari penambahan lantai sebesar Rp. 23.899.874,60. Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui volume perkuatan balok pada tumpuan dan lapangan sebesar 3,1025 m².

Volume tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan biaya dengan uraian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RAB} &= \Sigma (\text{Volume}) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan} = 6 \text{ m}^2 \times \text{Rp } 2.389.987,46 \\ &= \text{Rp } 14.339.924,76 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan kebutuhan biaya untuk melakukan perkuatan geser pada balok akibat dari penambahan lantai sebesar Rp 7.414.934,67. Sehingga didapatkan biaya total untuk melakukan perkuatan pada Gedung Rumah sakit Bhayangkara Kediri sebesar Rp 38.239.799,36

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perkuatan lentur balok diperlukan pada lantai 6 dengan jumlah kebutuhan perkuatan 29 strip CFRP Tape (10m²) pada daerah tumpuan dan lapangan. Perkuatan geser balok diperlukan pada lantai 1 dan 6 jumlah kebutuhan perkuatan 17 CFRP Wrap (6 m²) pada area tumpuan. Sedangkan untuk kekuatan elemen struktur kolom eksisting masih memenuhi, sehingga tidak diperlukan perkuatan.

2. Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perkuatan elemen struktur eksisting menggunakan CFRP sebesar Rp 38.239.799,36 (Tiga puluh delapan dua ratus tiga puluh Sembilan tujuh ratus Sembilan puluh Sembilan ribu rupiah)

Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk didapatkannya analisis biaya secara keseluruhan , dapat dilakukan perhitungan mengenai kebutuhan biaya struktur lantai tambahan.
2. Penggunaan metode perkuatan lain seperti concrete jacketing dan steel jacketing dapat menjadi alternatif lain untuk didapatkannya biaya yang paling efisien.

Daftar Pustaka

- , Zainurrahman, Eko Darma, and Sri Nuryati. 2020. "Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Perkuatan Lentur Pada Balok Beton." *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 8(1):20–28. doi: 10.33558/bentang.v8i1.1947.
- Agustinus, Samuel, and Cindrawaty Lesmana. 2019. "Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat Dengan Metode Elemen Hingga." *Jurnal Teknik Sipil* 15(1):1–25. doi: 10.28932/jts.v15i1.1852.
- Jaya, Fery Hendi. 2019. "Analisis Struktur Bangunan Terhadap Beban Horizontal Pada Gedung Rawat Inap Rumah Sakit Dadi Tjokro Dipo Bandar Lampung." *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik* 4(1):17–24. doi: 10.24967/teksis.v4i1.635.
- Khoeri, Heri. 2020. "Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)." *Konstruksia* 12(1):93. doi: 10.24853/jk.12.1.93-104.
- Listiyono, Rizky Agustian. 2015. "Studi Deskriptif Tentang Kualitas Pelayanan Di Rumah Sakit Umum Dr. Wahidin Sudiro Husodo Kota Mojokerto Pasca Menjadi Rumah Sakit Tipe B." *Jurnal Kebijakan Dan Manajemen Publik* 1(1):2–7.
- Priscasari, Nindiari Ade. 2546. "ANALISIS PENAMBAHAN JUMLAH LANTAI GEDUNG UNEJ DENGAN KOLOM DIPERKUAT CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) TERHADAP KEKUATAN PONDASI EXISTING."
- Purmawinata, Alvin, Program Studi, Sarjana Teknik, Universitas Tarumanagara, Program Studi, Sarjana Teknik, and Universitas Tarumanagara. 2020. "ANALISIS PENGGUNAAN CARBON FIBER REINFORCED PLATE PADA." 3(2):389–98.
- Rejeki, Sri, and Laku Utami. 2019. "PENGARUH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) Beton Bertulang Merupakan Kombinasi Yang Baik Antara Beton Dengan Baja Tulangannya . Beton Mempunyai Perilaku Bekerja Sudah Melampaui Kekuatan Bahan , Keruntuhan Daktail , Yaitu Adanya Peristiwa Pembebanan ." XV(1):23–42.

- Violita, Cintya, Saruni Servie, O. Dapas, and H. Manalip. 2017. "Evaluasi Dan Analisis Perkuatan Bangunan Yang Bertambah Jumlah Tingkatnya." *Jurnal Sipil Statik* 5(9):591–602.
- Zega, Adrianus. 2020. "Pemodelan Dan Analisis Reinforced Concrete Kolom Persegi Panjang Dengan Komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer Modeling and Analysis of Rectangular Reinforced Concrete Columns with Carbon Fiber Reinforced Polyme Composites." 18(1):17–24.

