
ANALISIS PERKUATAN STRUKTUR BETON DENGAN MENGGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)*, DAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* TERHADAP BIAYA

Derianto Rahmahadi Pranata¹⁾, Budi Witjaksana²⁾, Hanie Teki Tjendani³⁾

Program studi Magister Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945

rahmaderi157@yahoo.com¹⁾, Budiwitjaksana@gmail.com²⁾, hanie@untag-sby.ac.id³⁾

ABSTRAK

Permasalahan yang sering ditemui pada pelaksanaan dan perawatan pekerjaan struktur bangunan yaitu desain seperti perubahan fungsi bangunan, pada saat pelaksanaan tidak sesuai dengan desain perencanaan. kebakaran, gempa bumi, dimensi berkurang, dan mutu beton tidak sesuai dengan persyaratan (SNI) atau perencanaan. Sehingga diperlukan perkuatan struktur. Perkuatan tersebut menimbulkan biaya pada pelaksanaannya. Sehingga perlu memilih jenis perkuatan yang sesuai aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, biaya Pelaksanaan dan estetika. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis (1) Kekuatan struktur beton menggunakan CFRP, dan GFRP (2) Biaya dari CFRP, dan GFRP. Metode yang dilakukan yaitu analisis perkuatan struktur (1) Pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 v 22 disesuaikan dengan gambar *As Built Drawing* disesuaikan dengan kondisi *eksisting* Gedung Pasar Pon Trenggalek (2) analisis perhitungan struktur balok untuk lentur dan geser (dengan adanya perkuatan) CFRP dan GFRP, (3) analisis balok menggunakan *finite element* untuk mengetahui lendutan dan pola kekuatan CFRP dan GFRP (4) analisis biaya perkuatan struktur dengan menghitung biaya pada perkuatan balok beton bertulang dari CFRP dan GFRP menggunakan analisa harga satuan pekerjaan. Dari hasil analisis perkuatan struktur beton menggunakan CFRP dan GFRP meningkatkan kekuatan lentur dan geser balok yaitu momen nominal yang dihasilkan CRFP lebih besar daripada GRFP yaitu 34,421 kNm (1 strip) sedangkan, GRFP yaitu 20,078 kNm (1 strip). Rengangan efektif yang CRFP lebih besar daripada GRFP yaitu 368,587 Mpa sedangkan, GRFP yaitu 215,557 Mpa. Peningkatan tersebut mempengaruhi beban maksimum yang mampu dipikul yaitu menurunkan angka lendutan dari 52,2 mm (balok biasa) menjadi 40,6 mm (perkuatan CRFP) dan 31,5 mm (perkuatan GRFP). Analisa biaya penggunaan CFRP dan GRFP didapatkan selisih biaya perkuatan GRFP lebih besar daripada CRFP dengan selisih biaya Rp. 17.409.149,72 dengan prosentase 22,695 % dari total biaya.

Kata kunci: perkuatan struktur beton, biaya perkuatan struktur, CRFP, dan GRFP

ABSTRACT

Problems that are often encountered in the implementation and maintenance of building structure work are designs such as changes in building functions, when the implementation is not in accordance with the planning design. fire, earthquake, reduced dimensions, and the quality of the concrete is not in accordance with the requirements (SNI) or planning. So it is necessary to strengthen the structure. The strengthening incurs costs in its implementation. So it is necessary to choose the type of reinforcement according to the aspects of strength, ease of implementation, implementation time, implementation costs and aesthetics. The purpose of this study was to analyze (1) the strength of the concrete structure using CFRP, and GFRP (2) Cost of CFRP, and GFRP. The method used is structural reinforcement analysis (1) Structural modeling using SAP 2000 v 22 adapted to the *As Built Drawing* image adapted to the existing conditions of the Trenggalek Pon Market Building (2) analysis of beam structure calculations for bending and shear (with reinforcement) CFRP and GFRP, (3) analysis of beams using finite elements to determine

the deflection and pattern of strength of CFRP and GFRP (4) analysis of the cost of structural reinforcement by calculating the cost of strengthening reinforced concrete beams from CFRP and GFRP using unit price analysis. From the analysis of reinforcement of concrete structures using CFRP and GFRP, it increases the flexural and shear strength of the beam, namely the nominal moment produced by CRFP is greater than GRFP, which is 34,421 kNm (1 strip), while the GRFP is 20.078 kNm (1 strip). The effective strain that CRFP is greater than GRFP is 368,587 MPa, while the GRFP is 215,557 MPa. This increase affects the maximum load that can be carried, namely reducing the deflection rate from 52.2 mm (regular beam) to 40.6 mm (CRFP reinforcement) and 31.5 mm (GRFP reinforcement). Analysis of the cost of using CFRP and GRFP found that the difference in the cost of strengthening GRFP is greater than that of CRFP with a cost difference of Rp. 17,409,149.72 with a percentage of 22.695% of the total cost.

Keywords: *reinforced concrete structure, cost of structural reinforcement, CRFP, and GRFP*

PENDAHULUAN

Terdapat jenis-jenis perkuatan pada struktur beton bisa dilakukan dengan beberapa cara yaitu *concrete jacketing, steel jacketing, Fiber reinforced polymer*. Diantara jenis-jenis perkuatan struktur beton yang akan dilakukan penelitian yaitu menggunakan *fiber reinforced polymer (FRP)*. Material *fiber reinforced polymer (FRP)* merupakan material komposit yang terbuat dari *fibers* dengan *polymeric resin* dengan system *fiber* dan *resin* yang menjadi dilaminasi menjadi komposit (*composite laminate*) dengan cara kerja melekatkan bahan *fiber* dengan resin pada permukaan (*substrate*) beton. Permasalahan yang sering ditemui pada pelaksanaan dan perawatan pekerjaan struktur bangunan yaitu desain seperti perubahan fungsi bangunan, (bisa menambahkan pembebanan), salah pada saat pelaksanaan yang tidak sesuai dengan desain perencanaan. kebakaran, gempa bumi, dimensi berkurang, dan mutu beton tidak sesuai dengan persyaratan (SNI) atau perencanaan. Apabila dilakukan pembongkar struktur eksisting dan membangun struktur yang baru tentunya memakan banyak tenaga, biaya, dan waktu Sehingga diperlukan perkuatan atau perbaikan struktur. Perbaikan tersebut menimbulkan biaya pada pelaksanaannya. Sehingga perlu memilih jenis perkuatan yang sesuai aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, biaya Pelaksanaan dan estetika. Dari kajian yang telah dilakukan pada perkuatan balok yaitu perkuatan beton dengan *Fiber Reinforced Polymer* dengan jenis *Nitoplate CP Strips* dipasang pada balok area lentur dan geser dapat menambahkan kekutan balok pada Pasar Pon Trenggalek. Berdasarkan uraian permasalahan sehingga mendorong untuk melaksanakan penelitian terkait perkuatan struktur beton sebagai alternatif dalam perkuatan beton. Penelitian yaitu dengan melakukan Analisis pekuatan struktur dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* terhadap biaya. Adapun tujuan penelitian: (1). menganalisis kekuatan struktur beton menggunakan *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)*, dan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)*; (2). menganalisis biaya dari penggunaan *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)*, dengan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi dasar bagi penelitian

ini diantaranya terdapat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penelitian, Tahun	Judul Penelitian
1	Heri Purnomo dan Dian Sestining Ayu, 2019	Analisis Struktur Perkuatan Jembatan Beton Menggunakan <i>Steel Plate Bonding</i> dan <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i> untuk mendukung efisiensi biaya pekerjaan
2	Alvin Purmawinata dan Edison Leo, 2020	Analisis Penggunaan <i>Carbon Fiber Reinforced Plate</i> pada kapasitas lentur beton bertulang dengan metode elemen hingga
3	Menurut Ireneus Petrico G, 2014	Perbandingan kekuatan lentur balok beton bertulang dengan menggunakan perkuatan <i>CFRP</i> dan <i>GFRP</i>
4	Heri Khoeri, 2018	Pemilihan Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)
5	Samuel Agustinus, Cindrawaty Lesmana 2019	Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat dengan Metode Elemen Hingga
6	Sri Rejeki Laku Utami, 2019	Pengaruh <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> terhadap balok beton bertulang
7	Gian Ningsih Luastika, Andry Alim Lingga, Yoke Lestyowati, 2021	Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>
8	Hassan, Jaberl Alqam, Shereen K. H, Mu`tasim S. Abdel- Maha, 2018	<i>Rehabilitation of Reinforced Concrete Deep Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP)</i>
9	Tae-Kyun Kim, Jong-Sup Park, Sang-Hyun Kim and Woo-Tai Jung, 2021	<i>Structural Behavior Evaluation of Reinforced Concrete Using the Fiber-Reinforced Polymer Strengthening Method</i>
10	Ciro Del Vecchio, Marco Di Ludovico, and Andrea Prota, 2021	<i>Cost and Effectiveness of Fiber-Reinforced Polymer Solutions for the Large-Scale Mitigation of Seismic Risk in Reinforced Concrete Buildings</i>

Sumber: Olahan peneliti, 2021

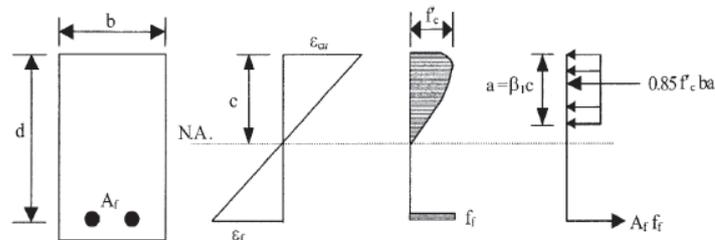
CFRP adalah aplikasi lanjutan atau perkembangan dari *FRP*. *Carbon Fiber Reinforced Polymer* digunakan pada konstruksi struktur bangunan yang harus diperbaiki. Teknik perkuatan seperti ini dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti plat baja eksternal. Fungsi perkuatan dengan sistim komposit *CFRP* adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas

lentur, geser, aksial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya. Kerugian yang paling prinsip penggunaan CFRP sebagai sistem perkuatan adalah harga material yang relative lebih mahal. (Meier, 1997).

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat halus dari kaca. Jenis kekuatan GFRP memiliki kekuatan yang lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku. Bahannya sangat ringan tetapi juga lebih rapuh. Dalam pemasangannya menggunakan perekat epoxy resin sama dengan CFRP. Selain dipakai untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur lainnya, GFRP juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan karena GFRP adalah bahan yang tahan akan segala jenis cuaca.

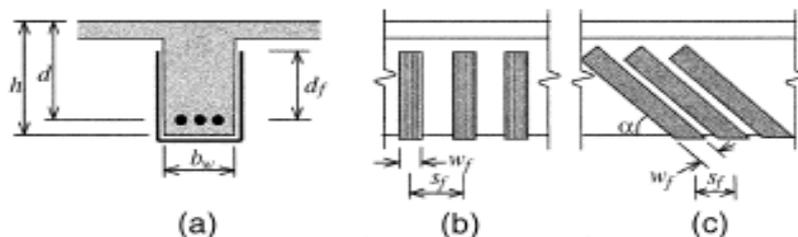
Perencanaan FRP yang sudah dikeluarkan, salah satunya yang digunakan di Indonesia adalah mengacu pada *ACI 440.2R-08 (Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures)*.

Kapasitas lentur balok didasarkan pada limit state sesuai dengan *ACI 318*, yang ditentukan oleh batasan kuat tekan beton dan tegangan leleh baja tulangan serta tegangan efektif FRP. Pada Gambar 1 merupakan kondisi beton menerima beban pada permukaan beton.



Gambar 1. *Failure governed by concrete crushing*
(Sumber : ACI 440.2R-17)

Kuat geser nominal V_n merupakan gabungan kontribusi beton V_c dan tulangan geser V_s dan *FRP* V_f (*ACI Committee 440*). Ketahanan geser masih dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 2. Perkuatan geser *FRP*
(Sumber : Kuriger, 2001)

Metode Finite Element Analysis atau Metode Elemen hingga pertama kali diperkenalkan oleh Turner et al, yang merupakan teknik komputasi yang kuat yang mencari solusi kompleks. Metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku dari sebuah material sehingga dapat mengetahui karakteristik dari material tersebut nantinya dan dapat mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan (Schreiber, 2015). Abaqus/Standar adalah modul elemen hingga untuk tujuan umum (Simula, 2012).

Analisa harga satuan pekerjaan adalah suatu cara perhitungan harga satuan

pekerjaan konstruksi yang dijabarkan dalam perkalian kebutuhan bahan bangunan, upah kerja, dan peralatan dengan harga bahan bangunan, standart pengupahan pekerja dan harga sewa / beli peralatan untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan konstruksi.

1. $P_j.f \times L.f \times n.f$, dimana: $P_j.f$ = Panjang bagian yang akan diperkuat (m); $L.f$ = Lebar permukaan yang akan diperkuat (m); $n.f$ = Jumlah lapis perkuatan (lapis), satuan = m^2
2. Pelaksanaan perkuatan dengan menggunakan FRP menurut Bina Marga, 2011 yaitu: (a). persiapan permukaan, semua jenis lapis permukaan atau pelindung permukaan struktur beton yang akan diperkuat bahan *fiber* harus dibersihkan sampai permukaan beton yang kuat. (b). pencampuran bahan *fiber* dengan *epoxy*, batas temperature pencampuran bahan *epoxy* harus berada pada Batasan antara $10^0 - 38^0$ (c). Pemasangan *fiber composite*, semua struktur beton yang akan diperkuat dan yang telah bersih serta dengan dimensi yang disyaratkan diberi lapisan *epoxy* dengan menggunakan kuas. . (d). *curing*, waktu bahan *fiber curing* adalah 49 – 72 jam dan tergantung pada Batasan temperature udara pada waktu pemasangan. (e). pekerjaan akhir, setelah selesai semua proses pelaksanaan pada permukaan struktur beton yang diperkuat atau dikembalikan kapasitasnya, maka apabila permukaan tersebut dapat kembali dilapisi dengan plesteran dengan bahan khusus setelah 2 – 3 jam.

METODE PENELITIAN

Alir penelitian adalah menunjukkan langkah-langkah pengerjaan secara keseluruhan dari penelitian ini. Seperti pada Gambar 3.

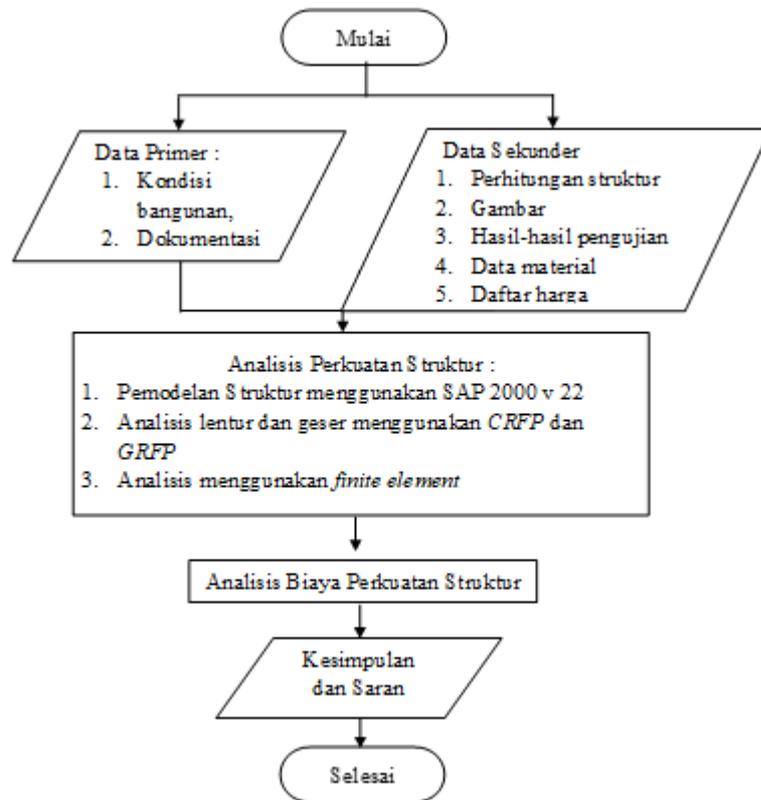
Data primer adalah data yang didapatkan dari peneliti sendiri secara langsung. Adapun data primer yang dimaksudkan mencakup data-data: Kondisi eksisting pertama kali dilakukan survei visual dan pengukuran dimensi elemen-elemen struktur yang ada. Data sekunder adalah data yang didapatkan melalui orang lain, pemerintah, dan swasta. Perhitungan struktur (perhitungan perencanaan dan asumsi perencanaan), Data gambar (Perencanaan, dan *As Built Drawing*), Data hasil-hasil pengujian beton., Data material bahan CRFP dan GRFP, Daftar harga material dari *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)*.

Teknik Analisis Data

1. Pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 v 22 disesuaikan dengan gambar *As Built Drawing* pada Gedung Pasar Pon Trenggalek.
2. Analisis lentur dan geser menggunakan *CRFP* dan *GRFP* Struktur beton betulang yang ditinjau pada penelitian ini yaitu satu jenis elemen struktur utama. Elemen tersebut adalah balok yang merupakan salah satu elemen yang memikul beban kombinasi antara lentur dan geser,
3. Analisis perkuatan menggunakan *finite element* Program *Finite Element* digunakan untuk melakukan pemodelan serta analisis yang dilanjutkan dengan membandingkan hasil dari penggunaan *CRFP* dan *GRFP*.

Analisis Biaya Perkuatan Struktur dengan menghitung biaya yang dilaksanakan pada proses perkuatan balok beton bertulang dari *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)*

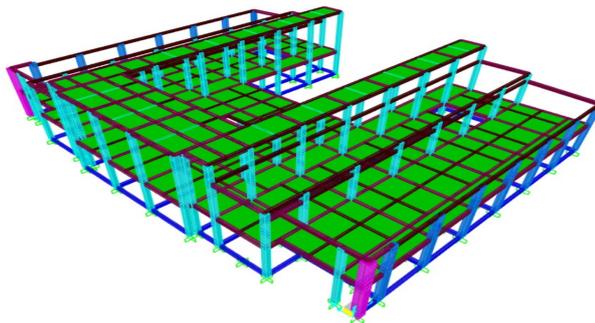
berdasarkan pedoman perbaikan dan perkuatan struktur beton pada jembatan (Bina Marga, 2011)



Gambar 3. Alur Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisa struktur terhadap gedung ini, menggunakan asumsi bahwa sistem struktur merupakan model *space frame (3D frame system)*.



Gambar 4. Permodelan struktur
Sumber: Olahan Peneliti, 2022.

Analisis lentur dan geser menggunakan CRFP dan GRFP

1. Analisis lentur menggunakan CRFP dan GRFP Perkuatan lentur bisa terpenuhi apabila: $M_u \leq \Phi \cdot M_n$. Maka $\Phi \cdot M_n$ di desain dengan menjumlahkan M_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan (M_{nf}) yang diakalikan dengan factor reduksi ψ_f . Berikut ini adalah hasil rekapitulasi

perhitungan lentur kebutuhan dari kekuatan CRFP dan GRFP

Tabel 3. Rekapitulasi Jumlah dan Panjang CRFP Type Balok 300 x 500 B arah melintang

Lokasi	Momen	Perkuatan		Perkuatan	
		CRFP		GRFP	
		Panjang (m)	Jumlah (strip)	Panjang (m)	Jumlah (strip)
As A (4 s/d 5)	Tumpuan	1,8	3	1,8	4
	Lapangan	1,8	1	1,8	2
As B (5 s/d 6)	Tumpuan	1,8	3	1,8	6
	Lapangan	1,8	1	1,8	1
As B (6 s/d 7)	Tumpuan	1,8	3	1,8	6
	Lapangan	1,8	1	1,8	1
As B (7 s/d 8)	Tumpuan	1,8	2	1,8	6
	Lapangan	1,8	1	1,8	1
As B (8 s/d 9)	Tumpuan	1,8	2	1,8	6
	Lapangan	1,8	1	1,8	1
As B (10 s/d 11)	Tumpuan	1,8	2	1,8	6
	Lapangan	1,8	1	1,8	1

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

2. Analisis geser menggunakan CRFP dan GRFP

Perkuatan lentur bisa terpenuhi apabila: $\Phi V_n > V_u$, Maka ΦV_n di desain dengan menjumlahkan V_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan ($V_n f$) yang diakalikan dengan factor reduksi . $\Psi f \Phi (V_c + V_s + \Psi f \cdot V_f) > V_u$. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi perhitungan geser kebutuhan dari perkuatan CRFP dan GRFP.

Tabel 4. Rekapitulasi Jumlah dan Panjang CRFP Type Balok 300 x 500 A arah melintang

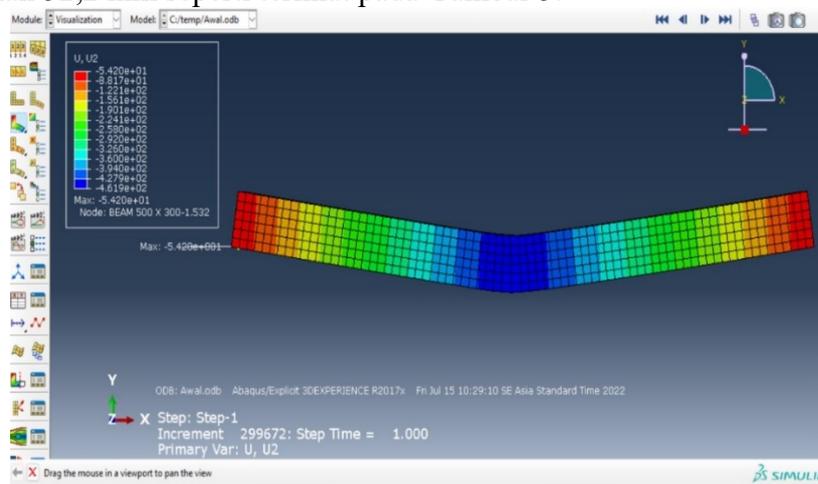
Lokasi	Geser	Perkuatan	
		CRFP	GRFP
		Lembar	Lembar
As C (4 s/d 5)	Tumpuan	1	2
As C (6 s/d 7)	Tumpuan	1	2
As C (7 s/d 8)	Tumpuan	1	2
As C (8 s/d 9)	Tumpuan	1	2
As C (9 s/d 10)	Tumpuan	1	2

Sumber: Olahan Peneliti, 2022.

Hasil *output program finite element* terdapat 3 model yaitu balok beton bertulang tanpa perkuatan, balok beton bertulang dengan CRFP, dan balok beton bertulang dengan GRFP:

1. Balok Beton Bertulang

Pada pengujian *Finite Element* pada model base lendutan maksimumnya adalah 52,2 mm seperti terlihat pada Gambar 5.

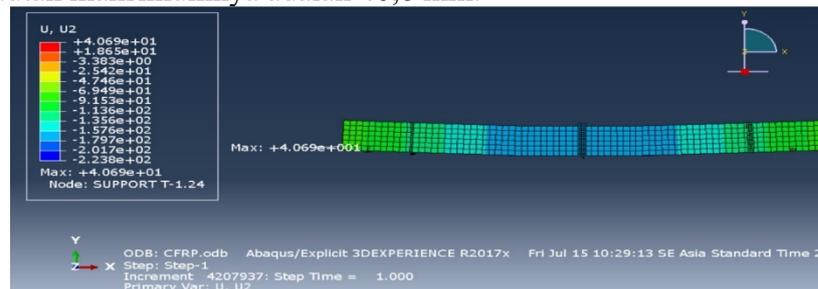


Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Gambar 5. Lendutan maksimumnya 52,2 mm

2. Balok Beton Bertulang CRFP

Pada pengujian *Finite Element* pada model CRFP, seperti terlihat pada Gambar lendutan maksimumnya adalah 40,6 mm.

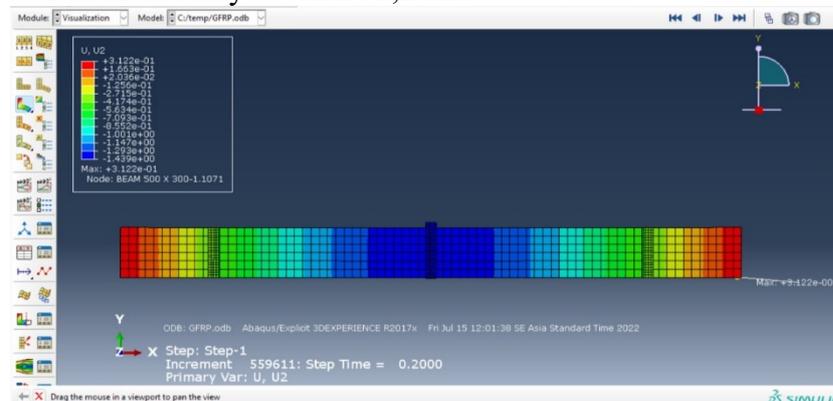


Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Gambar 6 . Lendutan maksimumnya adalah 40,6 mm

3. Balok Beton Bertulang GRFP

Pada pengujian *Finite Element* pada model GRFP, seperti terlihat pada gambar lendutan maksimumnya adalah 31,2 mm



Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Gambar 7 . Lendutan maksimumnya adalah 31,2 mm.

Dari hasil lendutan maksimum GRFP memiliki hasil yang lebih kecil yaitu 31,2 mm daripada CRFP 40,6 mm dikarenakan jumlah strip yang digunakan pada GRFP lebih banyak yaitu 5 strip pada lapangan dan CRFP 3 strip. Biaya pelaksanaan didapat yaitu dengan menghitung biaya yang dilaksanakan pada proses perkuatan balok beton bertulang dari *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)* berdasarkan pedoman perbaikan dan perkuatan struktur beton pada jembatan (Bina Marga, 2011) . Pada tabel berikut merupakan hasil dari perhitungan biaya penggunaan *CRFP* dan *GRFP*.

Tabel 5. Hasil perhitungan biaya penggunaan perkuatan *CRFP* dan *GRFP*

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Perkutan Balok <i>CRFP</i>				
a	Pembersihan beton	m2	87,45	Rp 11.217,50	Rp 980.970,38
b	Perkutan Balok <i>CRFP</i>	m2	24,402	Rp 2.389.987,46	Rp 58.320.473,97
				Total	Rp 59.301.444,35
2	Perkutan Balok <i>GRFP</i>				
a	Pembersihan beton	m2	87,45	Rp 11.217,50	Rp 980.970,38
b	Perkutan Balok <i>GRFP</i>	m2	43,944	Rp 1.723.321,13	Rp 75.729.632,60
				Total	Rp 76.710.594,06

Sumber: Olahan Peneliti, 2022.



Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Gambar 8. Biaya Pelaksanaan dari *CRFP* dan *GRFP*

Dari Gambar 8, didapatkan biaya yang pelaksanaan oleh perkuatan *GRFP* lebih besar daripada *CRFP* dengan selisih biaya Rp. 17.409.149,72 dengan prosentase 22,695 %. Dengan biaya total menggunakan *CRFP* Rp 59.301.444,35, sedangkan *GRFP* yaitu Rp 76.710.594,06.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Perkuatan struktur beton menggunakan *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* lebih baik dalam meningkatkan lentur balok beton bertulang dengan kapasitas momen nominal sebesar 34,421 kNm (1 strip), geser nominal sebesar 31,632 kN (1 lembar), dan rengangan efektif sebesar 368,587 Mpa, daripada penggunaan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)* peningkatan lentur balok beton bertulang dengan kapasitas momen nominal sebesar 20,078 kNm (1 strip), geser nominal sebesar 31,632 kN (1 lembar), dan rengangan efektif sebesar 215,557 Mpa. Peningkatan tersebut mempengaruhi beban maksimum yang mampu dipikul yaitu menurunkan angka lendutan dari 52,2 mm (balok biasa) menjadi 40,6 mm (perkuatan CFRP) dan 31,5 mm (perkuatan GRFP).
2. Biaya perkuatan struktur menggunakan *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* yaitu sebesar Rp 59.301.444,35 lebih murah daripada menggunakan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)* yaitu Rp 76.710.594,06

Saran

1. Penelitian selanjutnya melakukan perbandingan perkuatan *CFRP* dengan jenis yang lain dari segi kekuatan dan juga biaya.
2. Harap memperhitungkan juga waktu pelaksanaan dari menggunakan *Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)*, dan *Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP)* dari kedua material tersebut dari segi waktu yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- , Z., Darma, E., & Nuryati, S. (2020). Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Perkuatan Lentur pada Balok Beton. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 8(1), 20–28. <https://doi.org/10.33558/bentang.v8i1.1947>
- ACI Committee 440. (2015). ACI440.1R-15 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. In *American Concrete Institute* (Vol. 22, Issue 4).
- Agustinus, S., & Lesmana, C. (2019). Perbandingan Analisis Perkuatan Struktur Pelat dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 1–25. <https://doi.org/10.28932/jts.v15i1.1852>
- Aprisandi, D., Hariyanto, B., & Masturoh, T. S. (2021). PERENCANAAN BIAYA DAN WAKTU TERHADAP PERKUATAN STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN FRP (FIBER REINFORCED POLYMER). *Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE)*, 3(02). <https://doi.org/10.47080/josce.v3i02.1413>
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2012). Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Pekerjaan Umum. *Standar Nasional Indonesia (SNI)*, 337. www.bsn.go.id.
- Del Vecchio, C., Di Ludovico, M., & Prota, A. (2021). Cost and effectiveness of fiber-reinforced polymer solutions for the large-scale mitigation of seismic risk in reinforced concrete buildings. *Polymers*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/polym13172962>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2011). *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Pada Jembatan* (p. 335).
- Khoeri, H. (2021). Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat

-
- Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu). *Konstruksia*, 12(1), 93. <https://doi.org/10.24853/jk.12.1.93-104>
- Kim, T. K., Park, J. S., Kim, S. H., & Jung, W. T. (2021). Structural behavior evaluation of reinforced concrete using the fiber-reinforced polymer strengthening method. *Polymers*, 13(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym13050780>
- Kumar Das, S., & Roy, S. (2018). Finite element analysis of aircraft wing using carbon fiber reinforced polymer and glass fiber reinforced polymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 402(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/402/1/012077>
- Mugahed Amran, Y. H., Alyousef, R., Rashid, R. S. M., Alabduljabbar, H., & Hung, C. C. (2018). Properties and applications of FRP in strengthening RC structures: A review. In *Structures* (Vol. 16, pp. 208–238). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.09.008>
- Purmawinata, A., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2020). *ANALISIS PENGGUNAAN CARBON FIBER REINFORCED PLATE PADA Latar belakang*. 3(2), 389–398.
- Rachman, T. (2018). 濟無 No Title No Title No Title. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 10–27.
- Rejeki, S., & Utami, L. (2019). *PENGARUH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) Beton bertulang merupakan kombinasi yang baik antara beton dengan baja tulangnya . Beton mempunyai perilaku bekerja sudah melampaui kekuatan bahan , keruntuhan daktail , yaitu adanya peristiwa pembebanan . XV(1), 23–42.*
- Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, 8, 254.
- Systems, F. R. P. (n.d.). *TYFO ® FRP SYSTEMS Kemajuan Dalam Bidang Konstruksi Rehabilitasi Beton , Baja & Kayu Tyfo Fibrwrap ® Composite Systems.*

