JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 6, No. 3, Agustus 2023: hlm 659-668

EISSN 2622-545X

STUDI *MECHANICAL PROPERTIES* MATERIAL *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* PRODUK LOKAL

Bisma Keshava[1] dan Usman Wijaya[2]

[1]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Krida Wacana, Jl. Tanjung Duren Raya No. 4 Jakarta
bisma.2018ts009@civitas.ukrida.ac.id

[2]Program studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Krida Wacana, Jl. Tanjung Duren Raya No. 4 Jakarta
usman.wijaya@ukrida.ac.id

Masuk: 18-06-2023, revisi: 25-06-2023, diterima untuk diterbitkan: 01-07-2023

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) is a material that can be used to strengthen building structures. This study aims to test two CFRP material types, CFRP-A and CFRP-B, for structural strengthening. CFRP-A is an imported product, while CFRP-B is a locally produced product with more than 40% domestic content. Using local materials in CFRP aims to reduce costs for strengthening building structures. In this study, structural strengthening of beam elements with CFRP-A and B was carried out, where there was an increase in the shear strength of the existing beam structure by 31.147% and 25.154%, respectively. In addition, flexural strength also increased from the existing beam structure, which was 35.431% and 21.515% for CFRP-A and CFRP-B, respectively. From the results of this study, it is clear that CFRP-A is superior for shear and flexural strengthening. However, CFRP-B, a local product with a difference in shear strength increase from CFRP-A of 5.993% and at a relatively cheaper cost, can be considered for shear strengthening. Therefore, CFRP strengthening is an alternative to structural strengthening because it is easy to use, does not require much labor, and does not require many connections.

Keywords: Local CFRP; Strengthening; Beam; Flexural; Shear

ABSTRAK

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) merupakan material yang dapat digunakan untuk memperkuat struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dua jenis material CFRP, yaitu CFRP-A dan CFRP-B, sebagai perkuatan struktural. CFRP-A adalah produk impor yang tersedia di pasar Indonesia, sedangkan CFRP-B merupakan produk yang diproduksi secara lokal dengan tingkat kandungan dalam negeri lebih dari 40%. Penggunaan bahan lokal dalam CFRP bertujuan untuk mengurangi biaya dalam memperkuat struktur bangunan. Dalam penelitian ini, dilakukan perkuatan struktural pada elemen balok dengan CFRP-A dan B, dimana terjadi peningkatan kuat geser dari struktur balok *existing* masing-masing sebesar 31,147% dan 25,154%. Selain itu, kuat lentur juga meningkat dari struktur balok *existing* yaitu sebesar 35,431% dan 21,515% untuk CFRP-A dan CFRP-B. Dari hasil penelitian ini terlihat jelas bahwa CFRP-A lebih unggul untuk perkuatan geser dan lentur. Namun CFRP-B yang merupakan produk lokal dengan perbedaan peningkatan geser dari CFRP-A sebesar 5,993% dan dengan biaya yang relatif lebih murah, CFRP-B dapat dipertimbangkan untuk perkuatan geser. Oleh karena itu, secara keseluruhan perkuatan CFRP dapat dipertimbangkan sebagai alternatif perkuatan struktur karena mudah digunakan, tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak, dan tidak memerlukan banyak sambungan.

Kata kunci: CFRP Lokal; Perkuatan; Balok; Lentur; Geser

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang tidak pernah lepas dari ancaman gempa bumi, baik gempa bumi vulkanik maupun tektonik, sehingga bangunan di Indonesia rawan terhadap kerusakan bangunan. Upaya perkuatan struktur perlu dilakukan untuk meningkatkan kapasitas elemen struktur setelah terdampak gempa. Selain gempa bumi terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan dibutuhkannya perkuatan struktur, seperti perubahan fungsi bangunan, perubahan beban, dan penurunan mutu beton (Setiawan et al., 2020). Dalam melakukan perkuatan struktur, salah satu material yang digunakan adalah *fiber reinforced polymer* (FRP) yang memiliki variasi jenis, seperti karbon (*carbon*) dan kaca (*glass*).

FRP yang menggunakan karbon memiliki ketahanan dan kekuatan yang lebih tinggi daripada FRP berbahan kaca (Abbood et al., 2021). Namun, jika dilihat dari segi biaya, FRP yang menggunakan bahan kaca relatif lebih murah dibandingkan dengan yang menggunakan bahan karbon. Properti mekanis FRP dipengaruhi oleh metode manufaktur

pembuatannya. Misalnya, metode *hand layup* dan *printed parts* menghasilkan kekuatan FRP yang berbeda (Chen et al., 2021). Selain metode manufaktur FRP yang memiliki pengaruh terhadap properti mekanis FRP, jumlah lapisan CFRP memiliki pengaruh pada peningkatan kuat lentur yang di mana jumlah maksimal lapisan perkuatan lentur dan geser dengan CFRP maksimal adalah sebanyak 3 lapis (Sumargo et al., 2014).

Dalam melakukan perkuatan struktur, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode *concrete jacketing*, *steel jacketing*, dan CFRP (Sudarsana & Sutapa, 2007). Dari ketiga metode perkuatan tersebut, CFRP memiliki keunggulan karena ringan serta pemasangannya cepat dan mudah dibandingkan dengan metode perkuatan struktur lainnya. Selain itu, CFRP juga memiliki beberapa kelebihan lainnya, seperti tahan korosi, kekuatan yang tinggi, dan stabilitas dimensi. CFRP dapat digunakan sebagai perkuatan pada kolom, balok, dan lantai (Widyaningsih et al., 2016). Oleh karena itu, CFRP sering menjadi pilihan utama karena tidak menambah beban pada saat perkuatan.

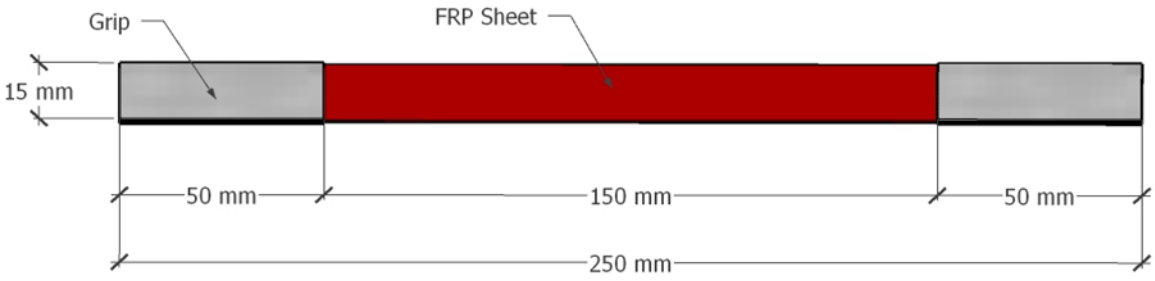
Di sisi lain, CFRP juga memiliki beberapa kekurangan. Pertama, biayanya relatif mahal karena sebagian besar materialnya masih harus diimpor. Hal ini mengakibatkan biaya penggunaan CFRP menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan metode perkuatan struktur lain, seperti *concrete jacketing* dan *steel jacketing.* Selain itu, CFRP juga rentan terhadap degradasi pada lingkungan asam (Shetty et al., 2022). Faktor lingkungan, seperti lingkungan yang bersifat asin, berpengaruh pada kinerja FRP(Ahmed et al., 2020) suhu yang tinggi juga dapat mengurangi kekuatan FRP dibandingkan dengan suhu ruangan (Reid et al., 2014).

Penggunaan material CFRP yang berasal dari impor menyebabkan biaya yang dikeluarkan menjadi relatif lebih mahal sehingga diperlukan alternatif untuk mengurangi biaya tersebut. Salah satu alternatif untuk membuat CFRP menjadi lebih ekonomis adalah memproduksi CFRP dengan material lokal. Penggunaan material lokal untuk pembuatan CFRP, seperti karbon dan material penyusun lainnya, dapat membantu menekan biaya produksi karena bahan-bahan tersebut diproduksi di Indonesia dan memenuhi persyaratan tingkat kandungan dalam negeri minimal sebesar 40% (Wibowo, 2022). Penting untuk dicatat bahwa penggunaan material lokal untuk pembuatan CFRP, terutama karbon, harus berasal dari Indonesia agar dapat mengurangi biaya produksi secara efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi properti mekanis CFRP lokal dan menerapkannya pada elemen struktur, seperti kolom dan balok, guna memahami perilaku CFRP lokal tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan dua sampel CFRP yang sudah tersedia di pasar Indonesia. Salah satu sampel merupakan produk impor yang umumnya beredar di pasaran, sementara sampel yang lain merupakan produk lokal dengan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) minimal sebesar 40%.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua sampel CFRP dengan jenis *unidirectional*, yaitu sampel CFRP-A dan CFRP-B, yang memiliki geometri sesuai dengan standar ASTM-D3039 seperti terlihat pada Gambar 1. CFRP-A adalah produk yang sudah beredar di pasaran Indonesia dan menggunakan material impor, sementara CFRP-B merupakan produk lokal yang memenuhi persyaratan TKDN minimum 40% untuk material penyusunnya. Sampel CFRP memiliki panjang 250 mm dan lebar 15 mm dengan panjang *grip* sebesar 50 mm. Sebelum dilakukan pengujian, sampel CFRP-A dan CFRP-B dikondisikan pada suhu 23°C dengan kelembapan (*relative humidity*) 50% selama lebih dari 40 jam. Pengujian CFRP-A dan CFRP-B dilakukan dengan kecepatan dua mm/menit menggunakan mesin Shimadzu AG-X Plus berkapasitas 50 kN seperti pada Gambar 2. CFRP diuji untuk memperoleh data yang akan digunakan dalam desain perkuatan pada balok.



Gambar 1. Geometri sampel CFRP

Gambar 2. Mesin pengujian tegangan tarik

Setelah spesimen diuji, data yang didapatkan dari pengujian akan digunakan sebagai data perkuatan elemen struktur. Untuk menghitung kekuatan CFRP dalam menahan lentur, dapat digunakan Persamaan 1, sedangkan untuk perkuatan geser dapat menggunakan Persamaan 2 (ACI Committee 440, 2017).

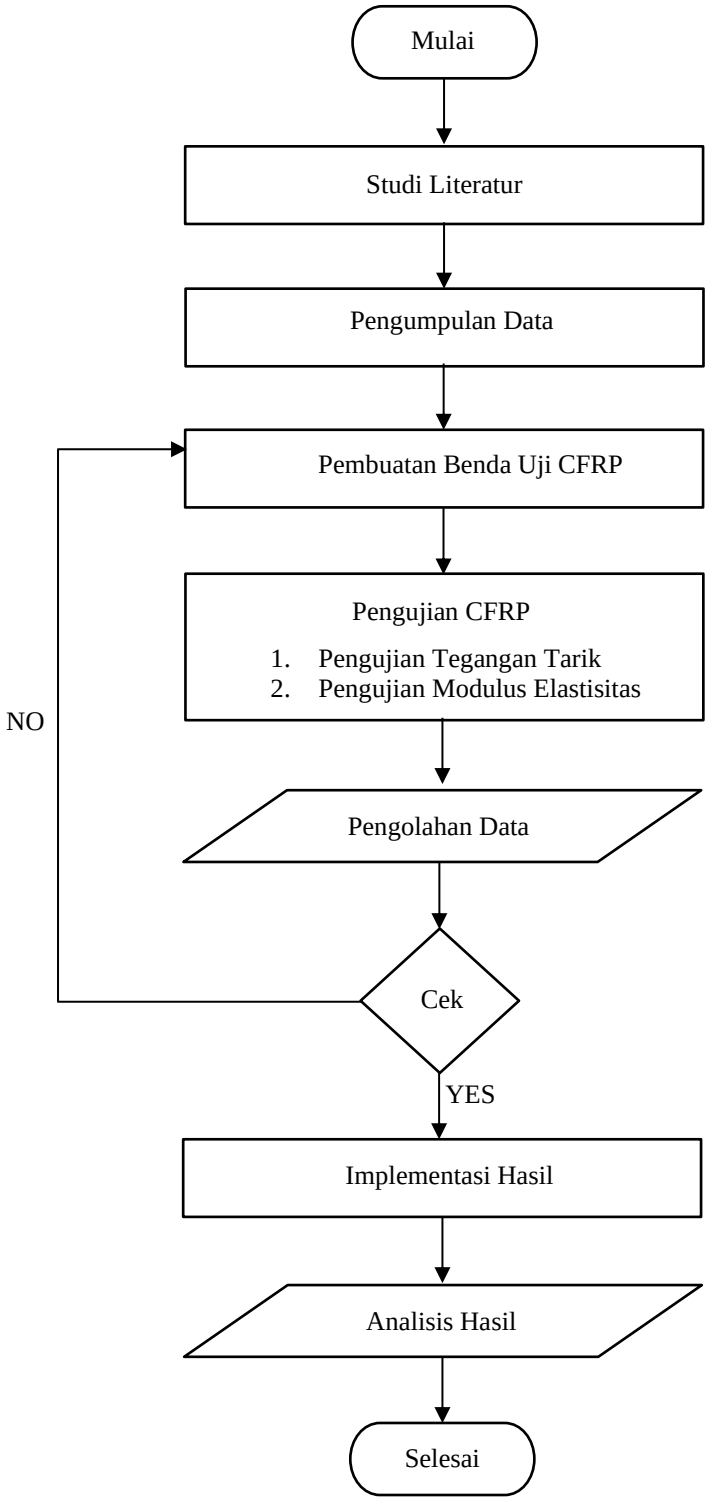
$$M_{nf} = A_f \times f_{fe} \times \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2}\right) \quad (1)$$

dengan M_{nf} = kuat lentur (kN-m), A_f = luas permukaan CFRP (mm^2), d_f = tinggi balok (mm), β_1 = koefisien, c = posisi garis netral

$$V_f = \frac{A_{fv} \times f_{fe} (\sin\alpha + \cos\alpha)\, d_{fv}}{s_f} \quad (2)$$

dengan V_f = kuat geser (kN-m), A_{fv} = luas area geser CFRP (mm^2), d_{fv} = tinggi balok (mm), s_f = jarak antara CFRP

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan informasi dari berbagai referensi, seperti artikel jurnal ilmiah, *code*, dan buku yang relevan dengan penelitian ini. Setelah itu, dilanjutkan dengan pengumpulan data yang diperlukan untuk implementasi desain pada elemen struktur. Data ini mencakup dimensi elemen struktur, ukuran tulangan, serta nilai momen dan geser. Setelah data-data tersebut terkumpul, benda uji CFRP dibuat untuk melakukan pengujian tarik dan modulus elastisitas dengan tujuan untuk mendapatkan nilai-nilai properti benda uji CFRP tersebut. Data properti mekanis yang diperoleh dari pengujian kemudian diolah dan diperiksa sebelum diimplementasikan pada elemen struktur. Selanjutnya, hasil implementasi pada elemen struktur dianalisis sesuai dengan *flowchart* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart* tahapan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang diuji terdiri dari dua produk yang berbeda, yaitu CFRP-A dan CFRP-B. CFRP-A adalah material impor yang telah beredar di pasaran Indonesia dan sudah sering digunakan, sedangkan CFRP-B merupakan material lokal. Pengujian yang dilakukan meliputi tegangan tarik dan modulus elastisitas dengan tujuan untuk mendapatkan data properti yang akan digunakan dalam desain perkuatan elemen struktur balok. Tabel 1 di bawah ini berisi data pengujian CFRP-A yang terdiri dari lima spesimen. Data properti tersebut akan digunakan dalam implementasi desain pada elemen struktur balok.

Tabel 1. Data pengujian CFRP-A

Nama	Modulus elastisitas (MPa)	Beban maksimal (N)	Tegangan maksimal (MPa)	Regangan putus (%)
1A	42308,300	10110,900	1049,720	2,864
2A	35483,700	10597,300	1172,250	3,523
3A	43809,400	11585,600	1200,380	3,083
4A	33124,900	10015,700	1074,550	3,300
5A	41799,100	11786,700	1243,130	3,323
Rata-rata	39305,080	10819,240	1148,006	3,218

Berdasarkan hasil pengujian sebagaimana tercantum dalam Tabel 1, dapat diketahui tegangan tarik CFRP-A meningkat seiring dengan beban yang dapat ditahan. Pada spesimen 5, CFRP-A mencapai nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 1243,130 MPa, sementara modulus elastisitas tertinggi terdapat pada spesimen 3 dengan nilai 43809,400 MPa. Data tersebut menunjukkan bahwa peningkatan laju regangan berhubungan dengan peningkatan modulus elastisitas pada sampel CFRP-A dan menunjukkan adanya deformasi elastik yang linier. Data yang terdapat dalam Tabel 1, termasuk modulus elastisitas, tegangan, dan regangan saat putus, akan digunakan sebagai data perkuatan untuk elemen struktur balok.

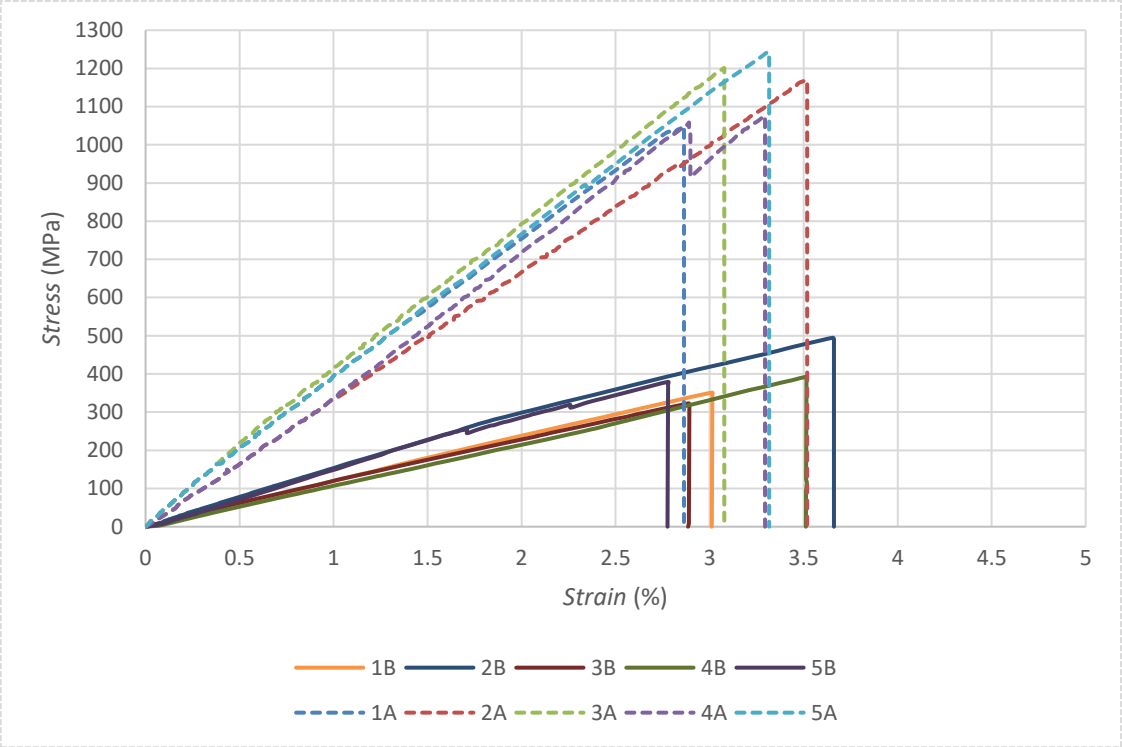
Selanjutnya, Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian CFRP-B yang terdiri dari lima spesimen. Data tersebut akan digunakan dalam implementasi pada elemen struktur balok.

Tabel 2. Data pengujian CFRP-B

Nama	Modulus elastisitas (MPa)	Beban maksimal (N)	Tegangan maksimal (MPa)	Regangan putus (%)
1B	11843,100	10018,300	351,058	3,016
2B	14302,100	11030,500	494,682	3,664
3B	12526,200	10872,100	322,870	2,892
4B	11307,900	11757,300	391,942	3,516
5B	17258,700	10367,000	378,911	2,777
Rata-rata	13447,600	10809,040	387,893	3,173

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera dalam Tabel 2, dapat diketahui bahwa tegangan tarik CFRP-B meningkat seiring dengan beban yang dapat ditahan. Pada spesimen 2, CFRP-B mencapai nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 494,682 MPa, sementara modulus elastisitas tertinggi terdapat pada spesimen 5 dengan nilai 17258,700 MPa. Data tersebut menunjukkan bahwa peningkatan laju regangan berhubungan dengan peningkatan modulus elastisitas pada sampel CFRP-B. Data tersebut juga menunjukkan adanya deformasi elastik yang linier. Data yang terdapat dalam Tabel 2, termasuk modulus elastisitas, tegangan, dan regangan saat putus, akan digunakan sebagai data perkuatan untuk elemen struktur balok.

Grafik *stress-strain* CFRP-A dan CFRP-B dapat dilihat pada Gambar 4. Pada grafik tersebut, CFRP-A akan disimbolkan dengan garis putus-putus.



Gambar 4. Grafik Stress-Strain CFRP

Gambar 4 memperlihatkan hubungan linier antara tegangan dan regangan, di mana semakin tinggi tegangan yang diberikan, semakin besar regangan yang terjadi. Material karbon termasuk dalam kategori material yang bersifat *brittle* yang dapat terlihat pada hasil pengujian grafik pada spesimen A dan B, di mana kedua spesimen tersebut mengalami putus setelah mencapai tegangan maksimum.

Data properti hasil uji tarik dan modulus CFRP-A dan B, diimplementasikan untuk desain perkuatan balok *existing* dengan ukuran 300 x 750 mm, bentang 6-meter dan memiliki momen aktual sebesar 255,978 kNm. Akibat penambahan beban, balok tersebut membutuhkan perkuatan lentur pada momen positif lapangan dan momen negatif tumpuan balok. Hasil analisis elemen balok dengan program komputer menunjukkan nilai momen yang diperlukan mengalami peningkatan menjadi 313,126 kNm. Oleh karena itu, elemen struktur balok membutuhkan perkuatan lentur untuk mengatasi kekurangan momen sebesar 57,148 kNm. Perkuatan akan dilakukan dengan menggunakan CFRP. Informasi mengenai data properti lentur balok dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Asumsi perkuatan lentur

Properties Lentur Balok		
f'c	17	MPa
b	300	mm
h	750	mm
Selimut beton	40	mm
Tulangan utama	19	mm
d	690,5	mm
n	4	
Sengkang	10	mm
Kuat leleh (fy)	400	MPa
Modulus elastisitas tulangan	200000	MPa
Gaya dalam lentur (Mu)	313,126	kNm
Kekuatan lentur nominal (øMn)	255,978	kNm

Gaya geser pada balok yang sama dalam kondisi *existing* adalah sebesar 291,089 kN. Akibat penambahan beban balok membutuhkan perkuatan geser pada area tumpuan kanan dan kiri. Hasil analisis elemen balok dengan program komputer menunjukkan nilai gaya geser yang diperlukan meningkat menjadi 313,901 kN. Oleh karena itu, elemen struktur balok membutuhkan perkuatan geser untuk mengatasi kekurangan gaya geser sebesar 22,812 kN. Perkuatan tersebut akan dilakukan dengan menggunakan CFRP. Informasi mengenai data properti geser balok tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Asumsi perkuatan geser

Properties Geser Balok		
Mutu beton	17	MPa
Lebar balok	300	mm
Tinggi balok	750	mm
Selimut beton	40	mm
Tulangan utama	19	mm
d	690,5	mm
Tebal pelat lantai	120	mm
Tulangan geser	2D10-150	
Kuat leleh (fy)	400	MPa
Gaya dalam geser (Vu)	313,901	kN
Kekuatan geser nominal (øVn)	291,089	kN

Data-data properti pada Tabel 3 dihitung menggunakan Persamaan 1 sehingga didapatkan hasil peningkatan lentur sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan perkuatan lentur

Flexural Strength					
Sampel	*Layers*	Mu *existing* (kNm)	Mu butuh (kNm)	Mu setelah diperkuat (kNm)	Peningkatan (%)
CFRP-A	2	260,556	313,126	352,874	35,431
CFRP-B	2	260,556	313,126	316,613	21,515

Untuk memperkuat elemen struktur balok dengan kuat lentur sebesar 255,978 kNm, digunakan dua jenis CFRP, yaitu CFRP-A dan CFRP-B. Berdasarkan hasil analisis didapatkan tebal CFRP dibutuhkan untuk perkuatan lentur balok sebesar 2 mm, di mana tebal CFRP yang dipasang sebesar 1 mm per lapis sehingga dibutuhkan 2 lapisan CFRP. Setelah dilakukan perkuatan lentur, kapasitas lentur balok dengan CFRP-A menjadi 352,874 kNm, meningkat 35,431%. Sementara itu, dengan CFRP-B, kapasitas lentur balok meningkat menjadi 316,613 kNm dengan peningkatan sebesar 21,515%. Peningkatan kekuatan lentur lebih besar pada CFRP-A dibandingkan dengan CFRP-B karena nilai modulus elastisitas dan tegangan tarik CFRP-A yang lebih tinggi sehingga CFRP-A meningkatkan kekuatan lentur secara lebih efektif dibandingkan dengan CFRP-B.

Selanjutnya, untuk perkuatan geser, data properti yang terdapat pada Tabel 4 dihitung menggunakan Persamaan 2. Hasil peningkatan geser tersaji pada Tabel 6.

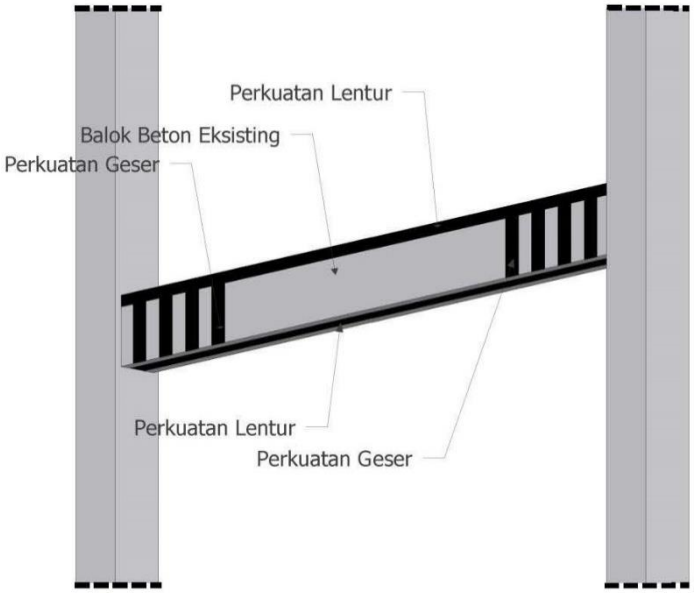
Tabel 6. Perhitungan perkuatan geser

Shear Strength					
Sampel	*Layers*	Vu *existing* (kN)	Vu butuh (kN)	Vu setelah diperkuat (kN)	Peningkatan (%)
CFRP-A	2	291,089	313,901	381,756	31,147
CFRP-B	2	291,089	313,901	364,308	25,154

Untuk elemen struktur balok dengan kuat geser sebesar 291,089 kN, dilakukan perkuatan geser pada elemen struktur tersebut. CFRP-A meningkatkan kapasitas geser menjadi 381,756 kN atau meningkat sebesar 31,147%. Sementara itu, dengan penggunaan CFRP-B, kapasitas geser meningkat menjadi 364,308 kN dengan persentase peningkatan

sebesar 25,154%. Peningkatan kekuatan geser lebih signifikan pada CFRP-A dibandingkan dengan CFRP-B karena nilai modulus elastisitas dan tegangan tarik CFRP-A yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan geser CFRP-A menjadi lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan CFRP-B.

Setelah kebutuhan perkuatan lentur dan geser dihitung, maka selanjutnya adalah mengaplikasikan perkuatan elemen struktur balok dengan CFRP seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Implementasi perkuatan lentur dan geser CFRP

Gambar 5 adalah implementasi perkuatan CFRP-A pada elemen struktur balok yang mengalami kekurangan pada momen positif lapangan dan momen negatif tumpuan sehingga perkuatan lentur elemen struktur balok dilakukan di sisi atas dan bawah badan balok, sedangkan pada perkuatan geser dilakukan pada area tumpuan kiri dan kanan elemen struktur balok.

Gambar implementasi hanya menampilkan CFRP-A karena hasil CFRP-A lebih baik untuk perkuatan lentur dan geser. Namun CFRP B boleh dipertimbangkan untuk digunakan karena lebih murah dan selisih kapasitas terutama geser tidak terlalu signifikan secara volume kebutuhan apabila diimplementasikan kedalam perkuatan balok.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian terhadap modulus elastisitas dan tegangan tarik menunjukkan bahwa CFRP-A (impor) memiliki keunggulan dibandingkan dengan CFRP-B (lokal). Dalam implementasi desain perkuatan lentur pada balok, penggunaan CFRP-A dan CFRP-B menunjukkan selisih peningkatan yang signifikan. CFRP-A memiliki peningkatan yang lebih besar dalam perkuatan lentur balok dibandingkan dengan CFRP-B dengan selisih sebesar 13,916%. Sedangkan pada perkuatan geser, sama halnya CFRP-A juga lebih unggul dari CFRP-B yaitu peningkatan sebesar 5,993%. Namun, dengan selisih peningkatan geser hanya sebesar 5,993% pada CFRP-B dengan pertimbangan biaya yang relatif lebih ekonomis dan untuk meningkatkan industri dalam negeri, CFRP-B sebagai produk lokal dapat dipertimbangkan penggunaannya pada perkuatan geser.

Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk pengujian eksperimental penggunaan CFRP lokal pada berbagai elemen struktur, seperti elemen balok dan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

Abbood, I. S., Odaa, S. A., Hasan, K. F., & Jasim, M. A. (2021). Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures - A review. *Materials Today: Proceedings*, *43*, 1003–1008. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.636

ACI Committee 440. (2017). 440.2R-17: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. *Technical Documents*.

Ahmed, A., Guo, S., Zhang, Z., Shi, C., & Zhu, D. (2020). A review on durability of fiber reinforced polymer (FRP) bars reinforced seawater sea sand concrete. In *Construction and Building Materials* (Vol. 256). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119484

Chen, A. Y., Baehr, S., Turner, A., Zhang, Z., & Gu, G. X. (2021). Carbon-fiber reinforced polymer composites: A comparison of manufacturing methods on mechanical properties. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, *4*(4), 468–479. https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2021.04.001

Reid, E. R. E., Bilotta, A., Bisby, L., & Nigro, E. (2014). Mechanical properties of fibre reinforced polymer reinforcement for concrete at high temperature. *8th International Conference on Structures in Fire*, *2*, 1227–1234.

Setiawan, A. M., Muhammad, A., Padli, N., Ali, M. Y., Bachtiar, E., Tandioga, V., & Fitriany, C. N. (2020). Perilaku lentur balok beton pada kombinasi daerah geser dan tarik yang menggunakan material FRP sebagai perkuatan eksternal di lingkungan ekstrim. In *Indonesian Journal of Fundamental Sciences* (Vol. 6, Issue 2).

Shetty, S., Pinkard, B. R., & Novosselov, I. V. (2022). Recycling of carbon fiber reinforced polymers in a subcritical acetic acid solution. *Heliyon*, *8*(12), e12242. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12242

Sudarsana, I. K., & Sutapa, A. A. G. (2007). Perkuatan kolom bulat beton bertulang dengan lapis glass fiber reinforced polymer (GFRP). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *11*(1), 1–9.

Sumargo, Ruslan, U., & Rifqi, M. (2014). Kapasitas penggunaan carbon fiber reinforced polymer (CFRP) berlapis banyak terhadap perkuatan lentur struktur balok beton bertulang. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, *5*, 126–133.

Wibowo, A. P. S. (2022). Strategies to increase the utilization of products MSEs post enactment of concerning job creation act. *Jurnal Budget : Isu Dan Masalah Keuangan Negara*, *7*(2). https://ejurnal.dpr.go.id/index.php/jurnalbudget/article/view/135

Widyaningsih, E., Herbudiman, B., & Hardono, S. (2016). Kajian eksperimental kapasitas sambungan material fiber reinforced polymer. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, *2*(3), 29.