

Sifat Sifat Mekanik Beton dengan Menggunakan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

**Hanafi Ashad, Rezki Muhammad Suharto Hartawan Nurdin,
Muhammad Chairus Nizar, Toni Utina, Muhammad Syarif**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia Makassar

*Correspondence email: hanafi.ashad@umi.ac.id, suhartohartawan@gmail.com, chairus.co@gmail.com,
toni.utina@umi.ac.id, muhammad.syarif@umi.ac.id

Abstrak. Penelitian ini menginvestigasi dampak perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* terhadap sifat-sifat mekanik beton, dengan menguji kuat tekan, tarik belah, tarik lentur, dan kuat geser beton dengan dan tanpa perkuatan CFRP. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam semua aspek setelah penerapan CFRP. Secara khusus, kuat tekan beton meningkat secara konsisten setelah penerapan CFRP, dengan perkuatan CFRP 2 Lapis menunjukkan peningkatan tertinggi. Demikian pula, tarik belah dan tarik lentur beton juga mengalami peningkatan yang signifikan setelah perkuatan CFRP, menunjukkan daya tahan yang lebih baik terhadap tekanan dan tarikan. Terakhir, perkuatan CFRP memberikan dampak positif yang sangat besar pada kekuatan geser beton, dengan peningkatan hingga 123% setelah penerapan CFRP 2 Lapis. Hasil ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kinerja struktur beton melalui penggunaan CFRP, dengan peningkatan terbesar terjadi pada kekuatan geser.

Kata Kunci: Sifat Mekanik Beton; *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

Abstract. This study investigates the impact of *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* reinforcement on the mechanical properties of concrete, by testing the compressive strength, tensile strength, flexural strength, and shear strength of concrete with and without CFRP reinforcement. The results of the study show a significant improvement in all aspects after the application of CFRP. Specifically, the compressive strength of concrete consistently increases after CFRP reinforcement, with CFRP 2 Layer reinforcement showing the highest increase. Similarly, the tensile strength and flexural strength of concrete also experience significant improvement after CFRP reinforcement, indicating better resistance to compression and tension. Lastly, CFRP reinforcement has a significantly positive impact on the shear strength of concrete, with an increase of up to 123% after the application of CFRP 2 Layers. These results indicate a substantial potential for improving the performance of concrete structures through the use of CFRP, with the greatest improvement observed in shear strength.

Keywords: Concrete Mechanical Properties; *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

PENDAHULUAN

Kerusakan struktur dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kesalahan desain, beban berlebih, beban sesaat, perubahan fungsi, usia struktur bangunan dan penurunan kapasitas elemen struktur pada suatu konstruksi. Untuk menanggulangi faktor-faktor penyebab kerusakan struktur tersebut dibutuhkan perkuatan struktur. Metode perkuatan yang umum dilakukan adalah memperpendek bentang struktur, memperbesar dimensi dari beton (*concrete jacketing*), menambah plat baja (*steel jacketing*), melakukan *external prestressing*, dan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* (Haris & Hidayat, 2020).

Fiber Reinforced Polymer (FRP) adalah bahan yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi. *FRP* dapat ditempelkan dengan mudah pada beton dan telah ditunjukkan sebagai bahan yang ekonomis ketika digunakan untuk meningkatkan dan memperkuat ketahanan struktur (Sarungallo, 2013). Alasan lain Penggunaan *FRP* adalah karena *FRP* memiliki kekuatan ultimat yang lebih tinggi dan bobot yang lebih rendah daripada baja, menggunakannya menjadi lebih mudah (Layang, 2021). Namun kelemahan pemasangan *FRP* adalah harganya yang relatif mahal dibandingkan dengan material perkuatan lainnya (Susanto et al., 2021). Tujuan penggunaan *CFRP* dengan berbagai lapisan adalah untuk meningkatkan kapasitas struktur (Ghulam Rifqi & Ruslan, 2015).

Secara umum, *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* terdiri dari 3 jenis, yaitu serat gelas (*Glass Fiber Reinforced Polymer*), serat aramid (*Aramid Fiber Reinforced Polymer*), dan serat karbon

(Carbon Fiber Reinforced Polymer). Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) adalah serat material yang tahan terhadap korosi dan tidak pecah pada suhu kamar, mampu meningkatkan kapasitas lentur, axial dan geser, serta superior dalam daktilitas (Achmad et al., 2013).

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi Pengujian pada Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Waktu Penelitian selama 3 bulan yaitu Bulan November 2023 hingga Januari 2024. Metode Perkuatan Fiber Reinforced Polymer (FRP) menggunakan Panduan perancangan dan pelaksanaan system lembaran serat berpolimer terlekat eksternal untuk perkuatan struktur beton (Badan Standardisasi Nasional, 2021)

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Alat alat yang digunakan dalam pembuatan beton metode Standar Nasional Indonesia (SNI) ini sebagai berikut:

1. Timbangan dengan Kapasitas 20 kg dengan ketelitian 0,1 kg
Timbangan ini digunakan untuk mengukur berat material yang jauh lebih berat dan tidak memerlukan ketelitian yang tepat
2. Digital
Timbangan digital berkapasitas 30 kg dengan ketelitian hingga 0,001 gram. Alat ini digunakan untuk menimbang berat material yang berada dibawah Kapasitasnya.
3. Satu Set saringan ASTM-C33 dan mesin penggetar
Satu set saringan ASTM masing masing no.4 (5 mm), no.8 (2,5 mm), no 16 (1,2 mm), no. 30 (0,6 mm), no 50 (0,3 mm), no 100 (0,15 mm) dan pan. Dan untuk agregat kasar 1 inch (25 mm). 3/4 inch (19 mm), 1/2 inch (12,5 mm), 3/8 inch (10 mm). Mesin penggetar ayakan (sieve shacker).
4. Oven dengan Temperature 150 °C
Sebelum pengukuran berat jenis agregat dilakukan, agregat di oven selama kurang lebih 24 jam pada suhu 150°C.
5. *Conical Mould*
Corong konik dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm dan tinggi 7,6 cm lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD) agregat halus.
6. Cetakan Silinder
Cetakan benda uji kuat tekan berupa silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm.
7. Cetakan Balok
Cetakan benda uji kuat tarik lentur berupa balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.
8. *Compression Strength Machine Compression Strength Machine* dengan kapasitas 2000 kN digunakan untuk pengujian kuat tekan beton.
9. *Universal Testing Machine (UTM)* digunakan untuk pengujian kuat tarik belah beton.
10. *Hydraulic Concrete Beam Machine* digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur beton dan kuat geser beton.
11. *StrongWrap C-300 (CFRP)*
Lembaran *FRP* dari serat *Carbon*
12. Epoxy resin
Bahan Polimer yang digunakan untuk perekat *FRP*
13. Alat bantu lain
 - a. Gelas ukur 250 ml untuk pengujian kadar lumpur dan kandungan zat organik dalam pasir
 - b. Gelas ukur 100 ml untuk menakar air
 - c. Cetok semen
 - d. Ember
 - e. Alat tulis
 - f. Sekop
 - g. Ayakan pasir
 - h. Corong kaca

i. Kuas

HASIL

Hasil Pengujian Sifat-sifat Mekanik Beton

1. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *compressive machine*, dengan mesin ini beton dapat diuji kekuatannya dalam hal memikul beban tekan oleh benda uji beton. Langkah kerja dari pengujian ini adalah memasukkan benda uji beton berbentuk silinder 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian pada mesin tersebut akan terlihat beban pada benda uji beton dengan arah vertikal sampai benda uji tidak mampu lagi untuk memikul beban hancur (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton mencapai 3 hari, 14 hari dan 28 hari. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut :

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{F}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$P = \frac{130 \text{ KN}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2} = \frac{130 \text{ KN}}{0,01766} = 7,64 \text{ MPa}$$

Adapun hasil kuat tekan, dapat dilihat pada tabel 1. berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Sampel	Jumlah Lapisan (n)	Umur Pengujian (Hari)	Hasil Nilai Slump (mm)	Standar Nilai Slump (mm)	Beban Hancur (KN)	Luas Penampang (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	Non	3	80	75-100	135	0,0176	7,64	11,18
2	CFRP		80		260	0,0176	14,72	
3	Non	14	85	75-100	325	0,0176	18,40	20,24
4	CFRP		85		390	0,0176	22,08	
5	Non	28	80	75-100	420	0,0176	23,78	24,20
6	CFRP		80		435	0,0176	24,63	
7	1 Lapis	28	85	75-100	440	0,0176	24,91	28,17
8			85		555	0,0176	31,42	
9	2 Lapis	28	85	75-100	450	0,0176	25,48	28,87
10			85		570	0,0176	32,27	

Sumber: Data Olahan, 2024



Gambar 1. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP

Sumber: Data Olahan, 2024

Berdasarkan Gambar 1. menunjukkan hubungan antara kuat tekan rata-rata beton dan pengaruh perkuatan *CFRP*. Berdasarkan grafik bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton diperoleh beton tanpa perkuatan dan dengan beton dengan perkuatan *FRP*. Tanpa Perkuatan *CFRP* adalah 24,20 MPa, Perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 28,17 MPa, Perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 28,87 MPa.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan beton sebesar 16% dan perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan beton sebesar 19%.

2. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik beton 8% - 15% dari kuat tekan beton. Kekuatan tarik adalah suatu sifat penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam suatu struktur. Kekuatan tarik biasanya ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder, dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan kuat tekan diletakkan pada sisinya diatas mesin uji dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji (sni 03 2491 2002, 2002). Kuat tarik belah dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$f't = \frac{2p}{\pi \times D \times L}$$

$$f't = \frac{2 \times 145000 \text{ N}}{3,14 \times 300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}}$$

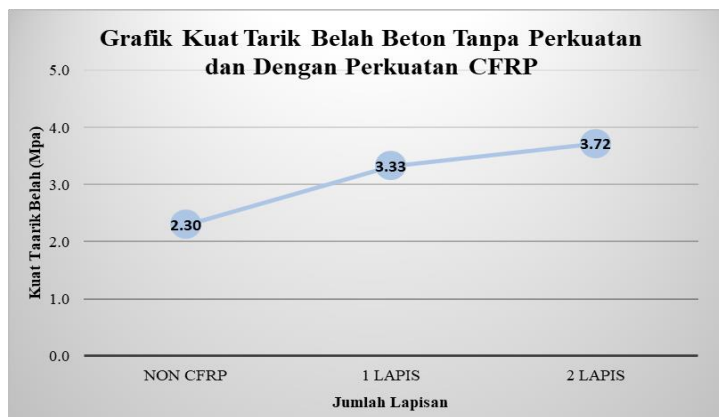
$$f't = 2,05 \text{ MPa}$$

Adapun hasil pengujian kuat tarik belah, didapat dilihat pada tabel 2. berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Sampel	Jumlah Lapisan (n)	Umur Pengujian (Hari)	Hasil Nilai Slump (mm)	Standar Nilai Slump (mm)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
1	Non	28	80	75-100	145	2,05	2,30
2	CFRP		80		180	2,55	
3	1 Lapis	28	85	75-100	205	2,90	3,33
4			85		265	3,75	
5	2 Lapis	28	85	75-100	230	3,26	3,72
6			85		295	4,18	

Sumber: Data Olahan, 2024



Gambar 2. Grafik Hasil Tarik Belah Beton Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP

Sumber: Data Olahan, 2024

Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan hubungan antara kuat tarik belah rata-rata beton dan pengaruh perkuatan CFRP. Berdasarkan grafik bahwa nilai kuat tarik belah rata-rata beton diperoleh beton tanpa perkuatan dan dengan beton dengan perkuatan CFRP. Tanpa Perkuatan CFRP adalah 2,30 MPa, Perkuatan CFRP 1 Lapis sebesar 3,33 MPa, Perkuatan CFRP 2 Lapis sebesar 3,72 MPa.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan tarik belah beton sebesar 45 % dan perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan tarik belah beton sebesar 62 %.

3. Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gas dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang dinyatakan dalam mega pascal (MPa)

gaya tiap satuan luas (SNI 4431, 2011), sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, dan oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Kuat tarik lentur beton dihitung dengan Persamaan berikut :

$$f_r = \frac{PL}{bh^2}$$

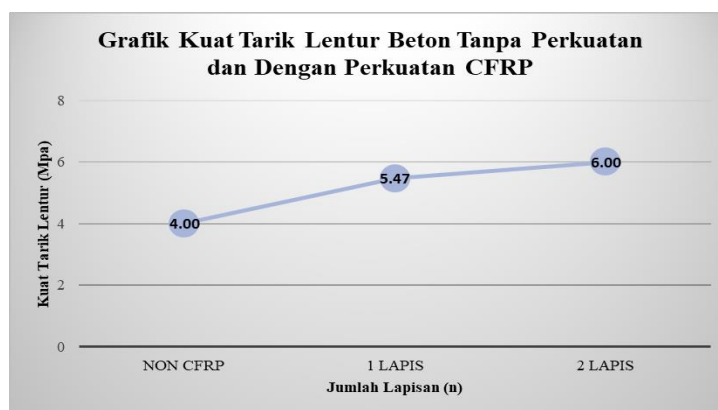
$$f_r = \frac{25000 \text{ N} \times 450 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}^2} = 3,33 \text{ Mpa}$$

Adapun hasil pengujian kuat tarik lentur, didapat dilihat pada tabel 3. Berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Sampel	Jumlah Lapisan (n)	Umur Pengujian (Hari)	Hasil Nilai Slump (mm)	Standar Nilai Slump (mm)	Beban Hancur (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata - Rata (MPa)
1	Non	28	80	75-100	25	3,33	4,00
2	CFRP	28	80	75-100	35	4,67	
3	1 Lapis	28	85	75-100	31	4,13	5,47
4		28	85	75-100	51	6,80	
5	2 Lapis	28	85	75-100	29	3,87	6,00
6		28	85	75-100	61	8,13	

Sumber: Data Olahan, 2024



Gambar 3. Grafik Hasil Kuat Tarik Lentur Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP

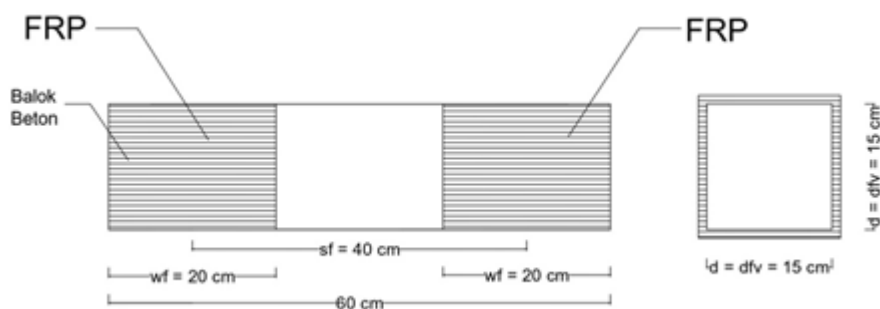
Sumber: Data Olahan, 2024

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan hubungan antara kuat tarik lentur beton rata- rata dan pengaruh perkuatan *CFRP*. Berdasarkan grafik bahwa nilai kuat tarik lentur rata-rata beton diperoleh beton tanpa perkuatan dan dengan beton dengan perkuatan *CFRP*. Tanpa Perkuatan *CFRP* adalah 4,00 MPa, Perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 5,47 MPa, Perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 6,00 MPa.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perkuatan *CFRP* 1 Lapis meningkatkan kekuatan tarik lentur beton sebesar 37 % dan perkuatan *CFRP* 2 Lapis meningkatkan kekuatan tarik lentur beton sebesar 50 %.

4. Kuat Geser

Kuat geser balok beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya geser. Kuat geser balok beton dengan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) merujuk pada kemampuan balok beton yang telah diperkuat dengan *CFRP* untuk menahan gaya geser. *CFRP* adalah bahan berkualitas tinggi yang dibuat dari serapan karbon dan polimer yang memiliki sifat seperti ringan serta tahan terhadap korosi.



Gambar 4. Perkuatan Geser CFRP pada Balok Beton

Sumber: Data Olahan, 2024

Adapun hasil dari kuat geser balok beton sebagai berikut:

Diketahui Data StrongWrap C300

Ketebalan Tiap Lapisan Serat (tf)	= 0,17 mm	
Kepadatan serat	= 300 gr/cm ²	
Kekuatan tarik (fu)	= 4500 Mpa	= 4,5 kN/mm ²
Modulus Elastisitas	= 230 Gpa	= 230 kN/mm ²
Regangan Putus (efu)	= 0,017 mm	

Diketahui Data Beton

Mutu Beton (fc)	= 24,2 MPa
Jumlah Lapisan (n)	= 1 Lapis dan 2 lapis
Lebar Tiap Lembaran (wf)	= 200 mm
Dimensi Penampang Minimum (dfv)	= 150 mm
Jarak Bentang (sf)	= 400 mm

a. Kuat Geser Balok Beton Tanpa Perkuatan CFRP

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{24,2} \times 150 \times 150$$

$$= 18449 \text{ N}$$

$$= 18,45 \text{ kN}$$

b. Kuat Geser Balok Beton Dengan Perkuatan CFRP Satu Lapis

1) Hitung sifat material desain sistem CFRP

$$ffu = CE \cdot ffu^*$$

$$ffu = 0,95 \times 4,5 \text{ kN/mm}^2 = 4,275 \text{ kN}$$

$$efu = CE \cdot \epsilon fu^*$$

$$efu = 0,95 \times 0,017 = 0,01615$$

2) Hitung tingkat regangan efektif perkuatan CFRP geser

$$Le = \frac{23,3}{(ntf \cdot Ef)^{0,58}}$$

$$= \frac{23,3}{\left[\left(1 \times (0,17 \text{ mm}) \times 230 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \right) \right]^{0,58}}$$

$$= 2,779 \text{ mm}$$

$$k1 = \left(\frac{fc'}{27} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \left(\frac{24,2 \text{ kN/mm}^2}{27} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,930 \\
 k_2 &= \left(\frac{dfv - Le}{dfv} \right) \\
 &= \frac{150 \text{ mm} - 2,779 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\
 &= 0,981 \\
 k_v &= \frac{k_1 k_2 Le}{468 e f_u} \leq 0,75 \\
 &= \frac{(0,930) \times (0,981) \times (2,779)}{468 (0,01615)} \leq 0,75 \\
 &= 0,336 \leq 0,75 \\
 \varepsilon_{fe} &= k_v \cdot e f_u \\
 &= 0,336 \times 0,01615 \\
 &= 0,005
 \end{aligned}$$

- 3) Hitung kontribusi perkuatan CFRP terhadap kekuatan geser balok

$$\begin{aligned}
 AFV &= 2 n t f \cdot W f \\
 &= 2 \times (1) \times (0,17 \text{ mm}) \times (200 \text{ mm}) \\
 &= 68 \text{ mm}^2 \\
 FFe &= \varepsilon_{fe} \cdot E f \\
 &= 0,005 \times (230 \text{ kN/mm}^2) \\
 &= 1,246 \text{ kN/mm}^2 \\
 Vf &= \frac{Afv \cdot Ffe \cdot (\sin a + \cos a) dfv}{sf} \\
 &= \frac{(68 \text{ mm}^2 \times 1,246 \text{ kN/mm}^2 \times 1 \times 150 \text{ mm})}{(400 \text{ mm})} \\
 &= 31,779 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- 4) Hitung kekuatan geser penampang

$$\begin{aligned}
 \varphi V_n &= \varphi (V_c + \psi f Vf) \\
 &= 0,75 \times (18,45 + 0,85 \times 31,779) \\
 &= 0,75 \times 45,460 \\
 &= 34,095 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- c. Kuat Geser Balok Beton Dengan Perkuatan CFRP Dua Lapis

- 1) Hitung sifat material desain sistem CFRP

$$\begin{aligned}
 ffu &= CE \cdot ffu * \\
 ffu &= 0,95 \times 4,5 \text{ kN/mm}^2 = 4,275 \text{ kN} \\
 efu &= CE \cdot efu * \\
 efu &= 0,95 \times 0,017 = 0,01615
 \end{aligned}$$

- 2) Hitung tingkat regangan efektif perkuatan CFRP geser

$$\begin{aligned}
 Le &= \frac{23,3}{(ntf \cdot E f)^{0,58}} \\
 &= \frac{23,3}{[(2 \times (0,17 \text{ mm}) \times 230 \times 10^3 \text{ kN/mm}^2)]^{0,58}} \\
 &= 1,859 \text{ mm} \\
 k_1 &= \left(\frac{f'c}{27} \right)^{\frac{2}{3}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{24,2 \text{ kN/mm}^2}{27} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= 0,930 \\
 k_2 &= \left(\frac{dfv - Le}{dfv} \right) \\
 &= \frac{150 \text{ mm} - 1,859 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\
 &= 0,988 \\
 kv &= \frac{k_1 k_2 Le}{468 efu} \leq 0,75 \\
 &= \frac{(0,930) \times (0,988) \times (1,859)}{468 (0,01615)} \leq 0,75 \\
 &= 0,226 \leq 0,75 \\
 \varepsilon_{fe} &= kv \cdot efu \\
 &= 0,226 \times 0,01615 \\
 &= 0,004
 \end{aligned}$$

3) Hitung kontribusi perkuatan CFRP terhadap kekuatan geser balok

$$\begin{aligned}
 AFV &= 2 ntf \cdot Wf \\
 &= 2 \times (2) \times (0,17 \text{ mm}) \times (200 \text{ mm}) \\
 &= 136 \text{ mm}^2 \\
 FFe &= \varepsilon_{fe} \cdot Ef \\
 &= 0,004 \times (230 \text{ kN/mm}^2) \\
 &= 0,839 \text{ kN/mm}^2 \\
 Vf &= \frac{Afv \cdot Ffe \cdot (\sin a + \cos a) dfv}{sf} \\
 &= \frac{(136 \text{ mm}^2 \times 0,839 \text{ kN/mm}^2 \times 1 \times 150 \text{ mm})}{(400 \text{ mm})} \\
 &= 42,784 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4) Hitung kekuatan geser penampang

$$\begin{aligned}
 \phi Vn &= \phi (Vc + \psi f Vf) \\
 &= 0,75 \times (18,45 + 0,85 \times 42,784) \\
 &= 0,75 \times 54,815 \\
 &= 41,111 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Adapun hasil pengujian kuat geser, dapat dilihat pada tabel 4. berikut:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kuat Geser Beton

Sampel	Lapisan (n)	F_{fu} (kN/mm ²)	ε_{fu}	Le (mm)	k_1	k_2	K_v
1	Non CFRP	-	-	-	-	-	-
2	1 Lapis	4,275	0,016	2,779	0,930	0,981	0,336
3	2 Lapis	4,275	0,016	1,859	0,930	0,988	0,226

Sampel	Lapisan (n)	ε_{fe}	A_{fv} (mm ²)	F_{fe} (kN/mm ²)	V_c (kN)	V_f (kN)	$\phi V_n = \phi (V_c + \psi_f V_f)$ (kN)
1	Non CFRP	-	-	-	18,45	-	18,45
2	1 Lapis	0,005	68	1,246	18,45	31,779	34,09
3	2 Lapis	0,004	136	0,839	18,45	42,784	41,11

Sumber: Data Olahan, 2024



Gambar 4. Grafik Hasil Kuat Geser Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP
 Sumber: Data Olahan, 2024

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kuat geser beton dan pengaruh perkuatan *CFRP*. Berdasarkan grafik bahwa nilai kuat geser beton diperoleh kuat geser yang disumbangkan oleh beton dan kuat geser yang disumbangkan oleh perkuatan *CFRP*. Tanpa Perkuatan *CFRP* adalah 18,45 kN, Perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 34,09 kN, Perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 41,11 kN.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perkuatan *CFRP* 1 Lapis meningkatkan kekuatan geser beton sebesar 85 % dan perkuatan *CFRP* 2 Lapis meningkatkan kekuatan geser sebesar 123 %. *CFRP* ditempatkan di sepanjang sisi-sisi struktur beton, yang dapat menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata di sepanjang permukaan beton. Hal ini dapat meningkatkan resistensi terhadap gaya geser yang bekerja secara horizontal pada struktur. Kuat geser beton juga dipengaruhi oleh adhesi antara lapisan *CFRP* dengan beton serta kontribusi *CFRP* terhadap meningkatkan tegangan geser pada bidang retak. Perkuatan *CFRP*, terutama pada permukaan yang rawan geser, secara signifikan meningkatkan kuat geser beton.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Sifat Mekanik Beton

Jumlah Lapisan	Sifat - Sifat Mekanik Beton			
	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	Kuat Geser (kN)
NON CFRP	24,20	2,30	4,00	18,45
1 Lapis	28,17	3,33	5,47	34,09
2 Lapis	28,87	3,72	6,00	41,11

Sumber: Data Olahan, 2024

Berdasarkan Tabel 5. menunjukkan hubungan antara sifat-sifat mekanik beton dan pengaruh perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Ketebalan lapisan *CFRP* memiliki pengaruh yang signifikan dalam perkuatan beton, yang secara keseluruhan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik beton.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* memberikan dampak positif terhadap sifat-sifat mekanik beton.
 - a. Kuat tekan rata-rata beton tanpa perkuatan *CFRP* sebesar 24,20 MPa, perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 28,17 MPa, sedangkan perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 28,87 MPa.
 - b. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa perkuatan *CFRP* sebesar 2,30 MPa, perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 3,33 MPa, sedangkan perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 3,72 MPa.
 - c. Kuat tarik lentur rata-rata beton tanpa perkuatan *CFRP* sebesar 4,00 MPa, perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 5,47 MPa, sedangkan perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 6,00 MPa.
 - d. Kuat geser beton tanpa perkuatan *CFRP* sebesar 18,45 KN, perkuatan *CFRP* 1 Lapis sebesar 34,09 KN, sedangkan perkuatan *CFRP* 2 Lapis sebesar 41,11 KN.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan CFRP dalam perkuatan beton dapat meningkatkan sifat mekanik beton, yaitu kuat tekan, tarik belah, tarik lentur, dan kuat geser, yang menunjukkan potensi besar untuk memperbaiki kinerja struktur beton.

2. Peningkatan sifat-sifat mekanik beton akibat penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) sangat signifikan.
 - a. Perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan beton sebesar 16%. Perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan beton sebesar 19%.
 - b. Perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan tarik belah sebesar 45%. Perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan tarik belah sebesar 62%.
 - c. Perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan tarik lentur sebesar 37%. Perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan tarik lentur sebesar 50%.
 - d. Perkuatan CFRP 1 Lapis meningkatkan kekuatan geser sebesar 85%. Perkuatan CFRP 2 Lapis meningkatkan kekuatan geser sebesar 123%.

Dapat disimpulkan bahwa peningkatan terbesar terjadi pada sifat mekanik beton, yaitu kekuatan geser, dimana peningkatan kekuatannya mencapai 123%.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, K., SMD, A., & Tavio, T. (2013). Metode Eksperimental Struktur Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan CFRP Sebagai Eksternal Confinement. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 1(1), 30–36. <https://doi.org/10.32487/jtt.v1i1.14>
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). Panduan Perancangan dan Pelaksanaan System Lembaran Serat Berpolimer Terlekat Eksternal Untuk Perkuatan Struktur Beton. SNI 8971:2021. BSN. Jakarta.
- Ghulam Rifqi, M., & Ruslan, U. (2015). *Delaminasi Lapis Majemuk Cfrp Pada Balok Beton Bertulang Skala Terbatas (Delamination of Cfrp Multilayers Cfrp on Reinforced Concrete Sub Scale Beam)*. 32(6), 1–74.
- Haris, S., & Hidayat. (2020). Analisis Biaya Dan Waktu Perkuatan Kolom Struktur. *ISU TEKNOLOGI STT MANDALA VOL.15 NO.1 JULI 2020 p-ISSN 1979-4819 e-ISSN 2599-1930*, 15(1), 74–82.
- Layang, S. (2021). Fiber Reinforced Polymer As a Reinforcing Material for Concrete Structures. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 9(1), 41–48. <https://doi.org/10.37304/balanga.v9i1.3276>
- Sarungallo, A. (2013). *Studi Pemodelan Berbasis Fem Balok Beton Bertulang Menggunakan Lusas 14.0 Yang Diperkuat Dengan Gfrp*. <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/8408/1/anastasi-1157-1-13-anast-3-1-2.pdf>
- SNI 03 2491 2002. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.
- SNI 4431, B. S. N. (2011). SNI 4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–16.
- Susanto, S. E., Hidayat, I., H., Widiyanto, D., & Kriswandhono, A. (2021). Implementasi Konstruksi Berkelanjutan Pada Penanganan Bangunan Pasca Kebakaran Dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP) Dan Jacketing. *G-Smart*, 2(2), 87. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v2i2.1688>