



Pengaruh Perkuatan Beton Menggunakan CFRP Terhadap Kuat Tekan

Fikri Aulia¹, Roestaman², Eko Walujodjati³

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut, 44151 Indonesia
Email: jurnal@itg.ac.id

¹1611021@itg.ac.id

²roestaman@itg.ac.id

³eko.walujodjati@itg.ac.id

Abstrak – Beton memiliki kuat terhadap tekan, namun memiliki kelemahan yang dapat mengakibatkan beton tersebut mengalami kerusakan sebelum waktunya. Untuk meminimalisir kerusakan tersebut beton bisa diperkuat dengan menggunakan *carbon fiber reinforced polymer*. material ini digunakan sebagai perkuatan eksternal yang memiliki kelebihan kuat terhadap korosi, ringan, daya kuat tinggi, dan mudah diaplikasikan sesuai dengan permukaan yang akan dipasang CFRP. Penelitian dengan uji laboratorium ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kekuatan beton yang di perkuat dengan menggunakan CFRP terhadap beton normal. Serta mengetahui pengaruh perbedaan tipe pemasangan perkuatan dengan menggunakan CFRP. Ada 4 tipe perkuatan yaitu tipe 1 perkuatan 100%, tipe 2 perkuatan 75%, tipe 3 perkuatan 50%, dan tipe 4 perkuatan 25%, serta beton normal sebagai pembanding. Masing-masing setiap tipe perkuatan dibuat sebanyak 3 sampel. Metode penelitian ini adalah uji eksperimen atau percobaan, data yang didapatkan adalah data primer. Dari hasil pengujian uji kuat tekan dengan menggunakan analisa *trendline*, pengaruh perkuatan beton menggunakan CFRP lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal, dengan nilai uji kuat tekan pada beton normal sebesar 10,67 MPa, perkuatan menggunakan CFRP tipe 1-100% sebesar 11,03 MPa, perkuatan tipe 2-75% sebesar 10,46 MPa, perkuatan tipe 3-50% sebesar 11,31 MPa, dan tipe perkuatan tipe 4-25% sebesar 9,33 MPa. Persentase peningkatan kekuatan dengan perkuatan CFRP yaitu 7% untuk perkuatan 100%, 5% untuk perkuatan 75%, 4% untuk perkuatan 50%, dan 2% untuk perkuatan 25%.

Kata Kunci – CFRP; FRP; Perkuatan Beton; Uji Kuat Tekan.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton sebagai salah satu bahan yang sering di pakai pada desain bangunan sipil yang memiliki sifat istimewa yakni mempunyai kuat terhadap tekan. Beton sendiri merupakan sebuah bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat, air, dan juga semen. Meskipun beton kuat terhadap tekan tetapi ada kelemahan-kelemahan yang terjadi, beton akan mengalami kerusakan seperti retakan atau pecah pada beton yang diakibatkan oleh kegagalan desain, beban tambahan yang tidak sesuai rencana, atau faktor cuaca yang seringkali tidak bisa dihindari [1]. Kebanyakan beton yang rusak dalam struktur bangunan akan langsung dirombak tanpa memperhitungkan adanya kesempatan untuk diperbaiki atau diperkuat [2]. Perkuatan umumnya bertujuan meningkatkan kapasitas elemen struktur dari kapasitas desain awal elemen struktur menjadi perancangan baru dengan kapasitas struktur lebih tinggi agar dapat menahan beban sesuai rencana. Saat ini sudah banyak berbagai cara memperbaiki dan memperkuat bangunan, yaitu dengan perkuatan memakai bahan FRP. Perkuatan menggunakan FRP pada umumnya, dibagi 3 yaitu CFRP, GFRP, dan AFRP [3]. Sistem perkuatan pada FRP menggunakan perekat yaitu *epoxy*. Bahan perkuatan ini berupa pilihan yang begitu efektif untuk

diaplikasikan sebagai perkuatan diluar karena bahannya yang tidak beran, awet terhadap karat, mempunyai kekuatan yang tidak rendah, dan tidak begitu sulit dalam hal pemasangan pada permukaan yang akan dipasang FRP [4].

B. Rumusan Masalah

Dengan meminimalisir kerusakan pada beton yang dapat diperkuat dengan CFRP, maka rumusan masalah yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh perkuatan beton menggunakan CFRP ?
- 2) Bagaimana pengaruh perbedaan tipe pemasangan perkuatan dengan menggunakan CFRP ?

C. Tujuan Penelitian

Melihat latar belakang serta rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Mengetahui pengaruh perkuatan beton menggunakan CFRP;
- 2) Mengetahui pengaruh perbedaan tipe pemasangan perkuatan dengan menggunakan CFRP.

II. URAIAN PENELITIAN

Fiber Reinforced Polymer adalah perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur. Digunakan untuk merehabilitasi atau mengembalikan kekuatan anggota struktural yang rusak, memperbaiki atau memperkuat anggota struktural yang sehat untuk menahan beban yang bertambah karena perubahan penggunaan struktur, atau mengatasi kesalahan desain atau konstruksi (ACI 4402r-08) [5]. FRP yaitu material komposit yang terdiri dari tiga tipe yaitu, FRP ialah material komposit yang terdiri dari tiga tipe yaitu, *Carbon CFRP*, *GFRP*, dan *AFRP* [6].

A. CFRP

Carbon fiber atau serat karbon yaitu memiliki kandungan serat kurang lebih 90% dari bobot karbon. Umumnya serat karbon yang sering dipakai yaitu *fiber graphite* dengan kandungan serat karbonnya diatas 95% bobotnya dengan tipe (PAN), petroleum, serat selulosa dan *fiber phenolic* [3].

B. GFRP

GFRP merupakan *fiber* yang halus darikaca. Kekuatan GFRP lebih rendah dari fiber karbon. Bahannya lebih ringan dan juga rapuh. Dalam pemasangan GFRP dengan menggunakan lem perekat *epoxy* seperti serat karbon. Selain digunakan sebagai perkuatan kolom dan balok, GFRP juga dapat diterapkan di dalam ruangan dan luar ruangan karena memiliki kelebihan material yang tahan terhadap cuaca ekstrim[7].

C. AFRP

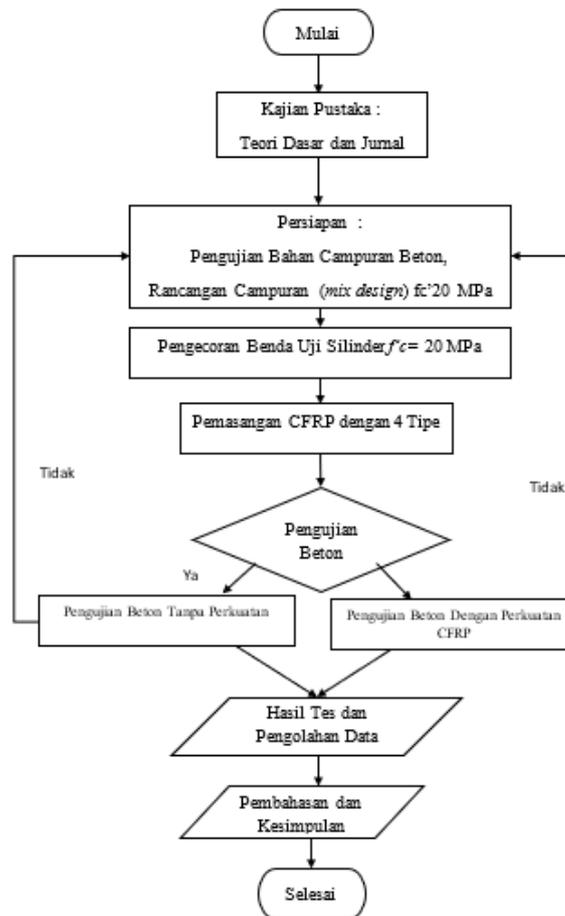
Serat aramid yaitu material yang juga mempunyai kekuatan tinggi, aramid sering dipakai pada jaket anti peluru. *Fiber* aramid mempunyai kekuatan kurang lebih 5x lebihkuat dari besi dengan bobot yang setara, tahan terhadap cuaca ekstrim, dan mempunyai kuat betot yang tinggi. Penempelan *Aramid FiberReinforced Polymer* (AFRP) ialah dengan merekatkan ke permukaan benda struktur yang memerlukan perkuatan dengan memakai lem perekat *epoxy*[7].

D. Metode Penelitian

- 1) Lokasi Penelitian
Lokasi pembuatan benda uji yaitu dilaksanakan di Laboratorium-Teknik Sipil STT-Garut

2) *Flowchart* Penelitian

Untuk memudahkan pengerjaannya, maka dibuat *flowchart* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1: *Flowchart* Penelitian

3) Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan ialah uji eksperimen atau metode percobaan tentang pengujian kekuatan beton silinder yang diperkuat dengan CFRP terhadap kuat tekan. Cara pengumpulan data adalah dengan menguji secara langsung atau data primer dan menggunakan data dari sumber yang telah diuji sebelumnya atau data sekunder. Tahapan dalam melakukan uji eksperimen ini secara berurutan adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur;
- b. Pengujian bahan campuran beton;
- c. *Mix Design* $f'c$ 20 Mpa;
- d. Pengujian *slump*;
- e. Berat isi beton segar;
- f. Perawatan beton;
- g. Pemasangan CFRP;
- h. Pembuatan *Capping* Beton;
- i. Pengujian benda uji

4) Alat dan Bahan

Alat-alat dan bahan yang dipakai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. *Concrete Compression Machine* kapasitas K-700 untuk uji tekan;
- b. Cetakan silinder ukuran 15 x 30 cm;

- c. Kerucut Abram alat *slump test*;
 - d. Mesin pencampur bahan beton (*mixer concret*);
 - e. *Oven* untuk kadar air campuran beton;
 - f. Alat kaping beton;
 - g. Cawan peleleh belerang;
 - h. Timbangan, meteran, kunci pas, sarung tangan, ember kecil, plastic besar, tempat perendaman
- Sedangkan penggunaan bahan pada percobaan ini ialah :
- a. Pasir Cilopang;
 - b. Batu pecah;
 - c. Semen portland komposit tiga roda (*Portland Composite Cement, PCC*);
 - d. Lembaran *Carbon Fiber Reinforced Polymer unidirectional* 300 gram/m² dengan dimensi lebar 50 cm dan panjang 300 cm;
 - e. Lem *epoxy resin*;
 - f. Belerang untuk kaping beton

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Agregat

Pengujian bahan bertujuan untuk mengetahui bahan penyusun beton tersebut layak untuk digunakan atau tidak, yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian material berupa pengujian agregat kasar, pengujian agregat halus, dan pengujian berat jenis semen. Dalam penelitian ini penulis mengambil data pengujian yang sudah dilakukan sebelumnya atau data sekunder, data pengujian agregat halus dan agregat kasar diambil dari laboratorium PUPR Kabupaten Garut, sedangkan jenis semen dalam penelitian ini adalah jenis PCC. Berikut adalah data sekunder hasil pengujian agregat.

Tabel 1: Hasil Pengujian Agregat [8]

No	Jenis Pengujian	Agregat Halus		Agregat Kasar		Keterangan
		Spesifikasi (ASTM)	Hasil Pengujian	Spesifikasi (ASTM)	Hasil Pengujian	
1	Kadar Lumpur	<5%	2,63 %			Memenuhi
2	Berat Isi					
	Gembur	1,4-1,9 kg/l	1,302 kg/l	1,4-1,9 kg/l	1,288 kg/l	Memenuhi
	Padat	1,4-1,9 kg/l	1,592 kg/l	1,4-1,9 kg/l	1,481 kg/l	Memenuhi
3	Berat Jenis					
	Bj. Curah	1,6-3,3	2,71	1,6-3,2	2,45	Memenuhi
	(<i>bulk</i>)	1,6-3,3	2,84	1,6-3,2	2,55	Memenuhi
	Bj. SSD	1,6-3,3	3,10	1,6-3,2	2,71	Memenuhi
	Bj. Apparent					
4	Absorpsi	<2	4,6 %	0,2-4 %	3,92 %	Memenuhi
5	Modulus Kehalusan	1,5-3,8	3,3919	-	-	Memenuhi
6	Keausan			<50%	3,60 %	Memenuhi

Dari hasil pengujian tersebut bahwa penggunaan batu pecah ex Garut dan pasir Cilopang memenuhi standar yang ditentukan sesuai dengan ASTM C.33

B. Mix Design

Dari hasil perhitungan rancangan campuran beton berdasarkan metode SNI 7656-2012 yang di adopsi dari ACI 211. Diketahui data bahan untuk campuran beton dengan rencana kekuatan beton $f'c$ 20 MPa pada usia 28 hari dengan nilai slump (75-100 mm). Ukuran nominal agregat kasar maksimum 37,5 mm dengan berat

kering oven pada kondisi padat 1481 kg/m^3 , semen yang dipakai ialah semen tanpa tambahan udara dengan berat jenis 2,92 [9]. Maka komposisi material untuk 1 m^3 beton dan 15 sampel beton silinder dapat ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2: Bahan Penyusun Beton

Bahan	1 m ³ Beton (kg/m ³)	15 Sampel Beton Silinder (kg)
Air	207,68	16,5
Semen	279,314	22,20
Agregat Kasar	1032,11	82,03
Agregat Halus	842,97	67

C. Uji Slump

Uji *slump* bertujuan untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu [10]. Hasil pengujian *slump* pada percobaan pencampuran pertama, nilai *slump* menunjukkan kurang dari 75 mm yang tidak sesuai dengan rencana awal dalam *mix design*, menandakan kurangnya air dalam pencampuran tersebut. Kemudian ditambahkan air pada campuran beton kurang lebih 576 gram, sampai adanya penurunan pada nilai *slump* antara 75 mm sampai dengan 100 mm.

Tabel 3: Nilai Slump Test

Campuran	Nilai Slump (mm)	Penambahan Air (gram)	Keterangan
1	80	576	Memenuhi
2	80	602	Memenuhi
3	75	422	Memenuhi

Penyebab terjadinya penambahan kadar air yang lebih banyak pada campuran pertama dan ke dua disebabkan oleh suhu udara panas, yang diakibatkan terjadinya penguapan pada air pencampur tersebut. Sedangkan pada campuran ke tiga, penambahan air lebih sedikit dibandingkan dengan yang sebelumnya yaitu sebesar 422 gram, dengan menunjukkan nilai *slump* yang tepat sesuai rencana yaitu 75 mm.

D. Uji Beton Segar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi beton segar. Hasil pengujian berat isi beton segar tiap satu sampel dengan nilai *slump* 75 sampai dengan 100 mm menunjukkan berat isi rata-rata yaitu $2250,22 \text{ kg/m}^3$, hasil pengujian ini memenuhi sesuai dengan standar SNI 1973-2008 [11], yaitu diantara 1842 kg/m^3 sampai 2483 kg/m^3 serta sesuai dengan berat isi beton yang telah direncanakan yaitu $2362,02 \text{ kg/m}^3$ yang selisihnya masih kurang dari 5% dan dapat ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4: Berat Isi Beton Segar

	M _m (Kg)	M _c (Kg)	V _m (m ³)	D (Kg/m ³)
Campuran 1				
1	11,16	23,09	0,0053	2251,47
2	11,25	23,24	0,0053	2262,80
3	11,14	23,02	0,0053	2242,04
4	11,14	23	0,0053	2238,26
5	10,9	22,84	0,0053	2253,36
Campuran 2				

	M_m (Kg)	M_c (Kg)	V_m (m ³)	D (Kg/m ³)
6	11,44	23,22	0,0053	2223,17
7	10,54	22,38	0,0053	2234,49
8	11,08	22,96	0,0053	2242,04
9	11,4	23,24	0,0053	2234,49
10	10,72	22,55	0,0053	2232,60
Campuran 3				
11	10,6	22,6	0,0053	2264,69
12	11,26	23,42	0,0053	2294,88
13	11,1	23,04	0,0053	2253,36
14	11,18	23,16	0,0053	2260,91
15	10,96	22,96	0,0053	2264,69
Jumlah	165,87	344,72		33753,24
Rata-rata	11,058	22,981		2250,22

E. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton normal yang ditargetkan di laboratorium dalam penelitian ini adalah 22,62 MPa pada umur 28 hari [12]. Namun, berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan beton normal dari 8 peneliti yang menggunakan mutu beton rencana, material, dan metode yang sama diperoleh nilai kuat rata-rata tekan beton normal pada usia 14 hari yaitu 10,6775 MPa yang mengindikasikan target mutu rencana pada umur beton 28 hari tidak tercapai. Akibat tidak tercapainya kekuatan beton yang ditargetkan dimungkinkan oleh faktor kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan sampel-sampel silinder beton yang bisa dilihat dari pola kerusakan yang terjadi setelah menerima gaya sampai hancur.



Gambar 2: Bentuk Kehancuran Beton Normal

Hasil uji kuat tekan beton dengan perkuatan CFRP dari ke 4 Tipe nilai kuat tekan yang paling tinggi setelah pembatasan $\pm 5\%$ terhadap nilai rata-rata, yaitu pada perkuatan Tipe 1 sebesar 11,03 MPa dan nilai kuat tekan paling rendah itu 9,99 MPa pada perkuatan Tipe 4. Dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil Uji Kuat Tekan Dengan Perkuatan

Umur Hari	Tipe Perkuatan	Berat kg	Kuat Tekan MPa	Rata-Rata MPa	Gambar
14	Tipe 1 (100%)	11,99	13,02	11,03	
		11,99	9,05		
		11,99	11,03		
	Tipe 2 (75%)	11,78	12,44	10,46	
		11,68	10,46		
		11,52	8,48		
	Tipe 3 (50%)	11,62	12,16	10,84	
		11,56	9,05		
		11,62	11,31		

Tipe 4 (25%)	11,74	9,33	9,99
	11,48	12,16	
	11,42	8,48	

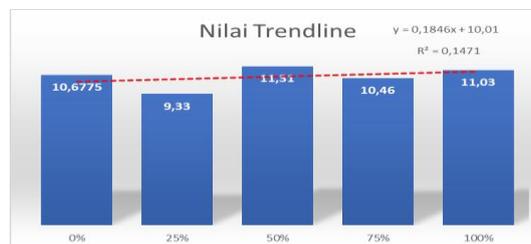


Dari hasil uji tekan tersebut dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan rata-rata pada beton perkuatan terhadap beton normal adanya nilai kuat tekan naik turun, diperoleh grafik perbandingan yang menunjukan nilai kuat tekan beton normal dengan nilai kuat tekan beton perkuatan pada Gambar 3.



Gambar 3: Nilai Beton Rata-Rata

Dari grafik diatas kekuatan beton yang diperkuat menggunakan CFRP Tipe 4-25% dan Tipe 2-75% menunjukan nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, yaitu penurunan nilai kuat tekan pada masing-masing perkuatan tersebut sebesar 13% dan 2%. Sedangkan pada perkuatan Tipe 3-50% dan perkuatan Tipe 1-100% nilai kuat tekannya mengalami peningkatan dari beton normal yaitu masing-masing sebesar 6% dan 3%. Dengan kondisi data seperti itu, untuk mengetahui seperti apa pengaruh perkuatan CFRP terhadap mutu kekuatan beton, maka perlu dibuat suatu *trendline* yang merepresentasikan keberadaan kondisi data yang ada sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4: Nilai Trendline

Dari grafik trendline tersebut, maka didapat nilai R kuadrat sebesar 0,1901 dan persamaan $y = 0,1846x + 9,9167$. Pada grafik tersebut nilai kuat tekan beton yang diperkuat menggunakan CFRP mengalami kenaikan terhadap beton normal yang ditunjukan garis berwarna merah. Dari hasil analisa yang menggunakan persamaan tersebut, diperoleh data pada Tabel 6.

Tabel 6: Nilai Kuat Tekan Beton Berdasarkan Persamaan *Trendline*

No	Tipe Perkuatan	Nilai Kuat Tekan Berdasarkan Persamaan $y = 0,1846x + 9,9167$ (MPa)
1	Beton Normal	10,1946
2	Tipe 4-25%	10,379
3	Tipe 3-50%	10,5638
4	Tipe 2-75%	10,7484
5	Tipe 1-100%	10,933

Hal tersebut terlihat dari data pada tabel diatas bahwa perkuatan beton menggunakan CFRP memberikan peningkatan kekuatan. Nilai kuat tekan beton normal yaitu 10,1946 MPa dan setelah diberikan perkuatan menggunakan CFRP 25%, 50%, 75% dan 100% nilai kuat tekan beton meningkat, yaitu pada perkuatan beton menggunakan CFRP 25% kekuatan beton meningkat 2% atau sebesar 10,379 MPa, pada perkuatan beton menggunakan CFRP 50% kekuatan beton meningkat 4% dengan nilai kuat tekan 10,5638 MPa, sedangkan pada perkuatan beton tipe 2 dan 1 kuat tekan beton meningkat 5% dan 7% dengan nilai kuat tekan pada masing-masing perkuatan tersebut sebesar 10,7484 MPa dan 10,933 MPa. Hal ini menunjukkan penggunaan CFRP dapat berpengaruh dan berperan dalam meningkatkan kekuatan yang besar sebagai perkuatan pada beton silinder. Setelah beton mencapai batas kekuatan tekan maksimumnya, CFRP dapat memberikan ikatan pada beton tersebut untuk meminimalisir terjadinya kerusakan.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Pengaruh Perkuatan Beton Menggunakan CFRP Terhadap Kuat Tekan” didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Data-data pengujian bahan yang dipakai ini sesuai dengan SNI dan ASTM C.33;
- 2) Hasil pengujian berat isi beton segar menunjukkan nilai rata-rata 2250,22 kg/m³ , relatif sama dengan perencanaan yaitu 2362 kg/m³;
- 3) Nilai slump untuk campuran pertama 80 mm, campuran kedua 80 mm, dan campuran terakhir sebesar 75 mm yang memenuhi slump rencana 75-100 mm;
- 4) Hasil pengujian tekan beton normal yang dicapai pada usia 14 hari adalah 10,6775 MPa yang mengindikasikan target kekuatan di laboratorium 22,62 MPa pada umur 28 hari tidak tercapai yang disebabkan oleh factor kesalahan dalam pembuatan sampel-sampel uji silinder beton;
- 5) Bahan CFRP dapat digunakan untuk meningkatkan kuat tekan silinder beton dengan cara melapiskannya pada permukaan silinder beton;
- 6) Hasil analisis *trendline* berdasarkan data nilai kuat tekan menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton yang diberi perkuatan dengan CFRP terhadap kuat tekan beton normal yang tanpa perkuatan.
 - a. Peningkatan 2% untuk perkuatan 25%;
 - b. Peningkatan 4% untuk perkuatan 50%;
 - c. Peningkatan 5% untuk perkuatan 75%;
 - d. Peningkatan 7% untuk perkuatan 100%;

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Dalam hal penelitian campuran beton data hasil uji bahan yang diperlukan sebaiknya berupa data primer hasil pengujian sendiri, bukan data sekunder dari sumber tertentu.
2. Dalam hal penelitian campuran beton yang data kuat tekannya harus diperoleh dari pengujian sampel uji, pembuatan sampel-sampel uji harus dilakukan setelah mungkin sesuai dengan tata cara yang benar agar tidak terjadi hasil uji yang meragukan atau salah.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian mengenai pengaruh perkuatan dengan CFRP terhadap kuat lentur beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Pangestuti, “Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Tulangan Eksternal Pada Struktur Balok Beton,” *Din. Tek. MesinTeknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 180–188, 2009.
- [2] R. R. Kati, “Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Geser Menggunakan Lembaran FRP,” Universitas Hasanudin, 2016.

- [3] S. W. Respati and K. Achmad, “Pengaruh Arah Serat Carbon Fiber Reinforced Polymer Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Material Lokal Pasir Samboja di Wilayah Kalimantan Timur,” *JIT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 5, no. 1, p. 19, 2017, doi: 10.32487/jtt.v5i1.206.
- [4] B. A. Louk Fanggi, A. H. Muda, A. E. Mata, A. A. Umbu Nday, M. Bria, and A. R. L. Wayan, “Kuat Tekan Kolom Beton Ringan Yang Diperkuat Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer Tube,” *JUTEKS - J. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, p. 259, 2018, doi: 10.32511/juteks.v3i1.201.
- [5] ACI Committee 440, *ACI PRC-440.2-17: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. USA: American Concrete Institute, 2017.
- [6] American Concrete Institute, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures Reported*. USA: American Concrete Institute, 2008.
- [7] Y. Vemmy, “Perkuatan Gedung Dengan Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Studi Kasus Menggunakan Layout Gedung Laboratorium C-Dast Dan Ruang Kuliah Bersama Universitas Jember,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.
- [8] Dinas PUPR Kabupaten Garut, “Pengujian Agregat Halus da Kasar,” Garut, 2019.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 7656: 2012 Tentang Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa dengan Standar.” Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2012.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1972-2008 Tentang Cara Uji Slump Beton.” Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2008.
- [11] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 1973:2008 Tentang Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar.” Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2002.
- [12] Badan Standarisasi Nasional, “SNI1974-2011 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.” Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2011.