

Efek Kekangan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Andi Nur Israfiah*¹, Nasruddin Junus¹, Pratiwi Mushar¹

¹Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

Email: aisrafiah@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052024.01

Abstrak

Beton mengambil peran besar dalam perencanaan konstruksi bangunan di Indonesia, dalam hal ini diperlukan perkuatan struktur pada konstruksi beton mengingat daerah kita yang rawan bencana dan tidak menutup kemungkinan bangunan yang dapat berubah fungsi. Material yang digunakan untuk perkuatan eksternal yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang merupakan bahan tambah perkuatan struktur komposit non logam yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Tujuan penelitian adalah 1) Mengetahui pengaruh perletakan variasi *wrap* CFRP terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari, 2) mengamati pola keruntuhan yang terjadi dengan dan tanpa benda uji yang dipasang CFRP. Jenis penelitian eksperimental, variabel penelitian adalah CFRP dengan 6 variasi model tipe *wrap* secara horizontal pada beton, metode perawatan *dry curing* selama 28 hari. Benda uji berbentuk silinder ukuran Ø10 cm x 20 cm sebanyak 42 sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CFRP dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton. Peningkatan nilai kuat tekan beton *wrap* CFRP terhadap beton normal (tanpa *wrap* CFRP) mencapai lebih dari 70% dimana perletakan *wrap* tengah (T-TK) merupakan variasi *wrap* yang memiliki kenaikan nilai kuat tekan tertinggi yakni 72,13% dari beton normal. Beda halnya pada nilai kuat tarik belah beton, variasi *wrap* tengah (T-TR) mencapai kenaikan kekuatan hingga 103,99% dari beton normal. Beton dengan variasi model *wrap* tengah (T) memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang paling tinggi dibandingkan variasi model *wrap* lainnya. Nilai kuat tekan variasi model *wrap* tengah (T) mencapai 17,38 MPa dan nilai kuat tariknya mencapai 2,45 MPa.

Abstract

The Confinement Effect of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) on the Compressive Strength and Split Tensile Strength of Concrete. Concrete plays a big role in planning building construction in Indonesia, in this case structural reinforcement is needed in concrete construction considering that our area is prone to disasters and doesn't rule out the possibility of buildings that can change function. The material used for external reinforcement is Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) which is an added reinforcement for non-metallic composite structures containing at least 90% carbon by weight. Research objectives are 1) Determine the effect of placing variations of CFRP wrap on the compressive strength and split tensile strength of concrete at the age of 28 days, 2) Observe the pattern of failure that occurs with and without the CFRP mounted test object. Type of experimental research, the research variable is CFRP with 6 variations of horizontal wrap type model on concrete, dry curing method for 28 days. Cylindrical specimens measuring Ø10 cm x 20 cm as many as 42 samples. The results showed that use of CFRP can increase the value of compressive strength and split tensile strength in concrete. The increase in value of the compressive strength of CFRP wrapped concrete against normal concrete (without CFRP wrap) reached more than 70% where the middle wrap placement (T-TK) was a variation of the wrap that had the highest increase in the compressive strength value of 72.13% of normal concrete. Difference in the value of the split tensile strength of concrete, the variation of middle wrap (T-TR) reaches an increase in the strength up to 103.99% of normal concrete. Concrete with a variation of the middle wrap model (T) has the highest compressive strength and split tensile strength compared to other variations of the wrap mode. The compressive strength value of the middle wrap model variation (T) reached 17.38 MPa and the tensile strength value reached 2.45 MPa.

Kata Kunci: Beton, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), Benda Uji Silinder, Kuat Tekan Beton, Kuat Tarik Belah Beton, Pola Retak Beton

1. Pendahuluan

Perkuatan struktur adalah metode memberikan kekuatan tambahan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur bangunan agar mampu menahan beban sesuai rencana [1]. Salah satu material perkuatan struktur adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) tipe *wrap* yang dapat memperkuat struktur bangunan secara eksternal.

CFRP *wrap* selain berfungsi sebagai pengekan inti beton dan menunda keretakan, perkuatan eksternal CFRP *wrap* juga mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton [2].

Penelitian mengenai penggunaan CFRP pada beton ini telah banyak dilakukan, ada yang menggunakannya pada balok, kolom, dan beton silinder. Penelitian yang telah dilakukan diantaranya pengujian dengan variasi arah serat

yaitu vertikal dan horizontal serta variasi lebar dan *space wrap*, pengujian dengan variasi mutu beton dan variasi luasan kekangan (%). Pada variabel pengujian arah serat, arah horizontal lah yang lebih kuat dibandingkan dengan vertikal, dan semakin lebar *wrap* atau semakin luas beton yang dikekang CFRP maka semakin meningkat pula nilai kuat tekan dan kuat tariknya. Akan tetapi yang kita ketahui kekurangan CFRP tersebut ialah harganya yang lumayan mahal, sehingga penulis memutuskan untuk mengekonomiskan penggunaan dengan mengekang beton 50% dari luas permukaan beton. Tidak hanya itu, kita dapat mengetahui perletakan atau posisi dimana saja yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tariknya jika dipasang CFRP *wrap* hanya setengah (50%) dari luas betonnya.

Dari permasalahan latar belakang tersebut, maka penulis membuat penelitian untuk mengetahui pengaruh perletakan variasi *wrap Carbon Fiber Reinforced Polymer* terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari serta menganalisis pola keruntuhan yang terjadi antara beton normal dan beton *Carbon Fiber Reinforced Polymer*.

2. Landasan Teori

2.1. Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan dan lainnya. Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat [3].

2.1. *Fiber Reinforced Polymer*

Fiber Reinforced Polymer (FRP) terbuat dari bahan yang ringan, tidak korosif, dan mampu menahan kuat tarik tinggi. Pada fiber komposit, dua material itu adalah fiber mutu tinggi dan resin, tergantung dari arah dan jumlah serat. Sedangkan fungsi resin adalah untuk mentransfer tegangan dari dan ke arah serat fiber.

Serat spesifik, fiber sebagai material yang diaplikasikan sebagai perkuatan dapat berupa serat kaca, karbon dan kevlar.

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) yang merupakan aplikasi lanjutan dari FRP itu sendiri merupakan plastik yang diperkuat serat yang sangat kuat dan ringan yang mengandung serat karbon. CFRP mahal untuk dihasilkan tetapi umum digunakan dimana pun pada rasio kekuatan tinggi-berat dan kekuatan yang diperlukan, seperti *aerospace*, teknik otomotif dan teknik sipil, barang olahraga dan peningkatan jumlah aplikasi konsumen dan teknik lainnya.

Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan sistem CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial, dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan meilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur dengan menggunakan perekat epoxy resin [4].

2.2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton sering disebut juga sebagai kuat desak beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton [5].

Cara pengujian kuat tekan beton adalah dengan memberi gaya tekan aksial secara bertahap terhadap benda uji silinder, sampai benda uji mengalami keruntuhan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Kuat tekan beton dapat dicari dengan menggunakan rumus [6]:

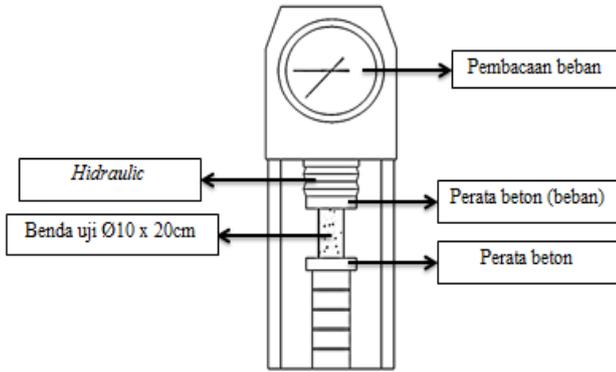
$$F'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana,

$F'c$ = kuat tekan masing-masing silinder beton (kg/cm^2)

P = beban tekan maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)



Gambar 1. Settingan pengujian kuat tekan beton

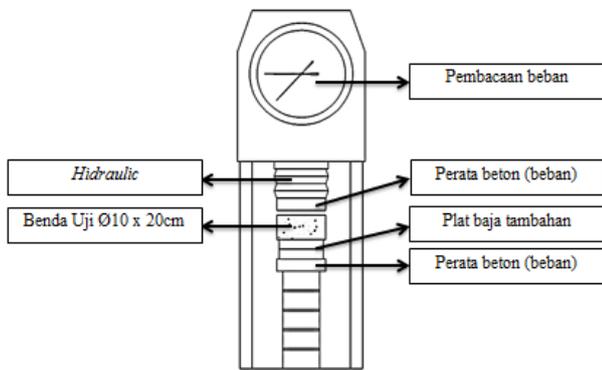
2.3. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata diseluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Kuat tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan persamaan [7]:

$$F'_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot L} \quad (2)$$

dimana,

- f'_{ct} = Kuat Tarik Belah (MPa)
- P = Beban pada waktu belah (N)
- d = diameter benda uji silinder (mm)
- L = Panjang benda uji silinder (mm)



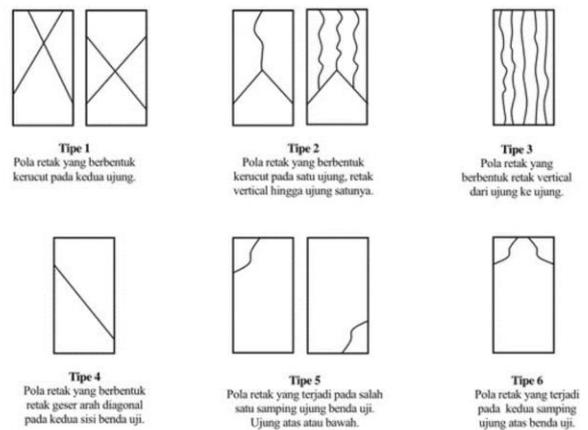
Gambar 2. Settingan pengujian kuat tarik belah beton

2.4. Pola Retak Beton

Jenis pola retak dalam ASTM C39.C39M-14 *Compressive Strength of Cylindrical Specimens* tahun 2014 terbagi atas beberapa tipe seperti yang ditampilkan pada Gambar 3, yaitu [8]:

- 1) Pola retak kerucut (*Cone*)
- 2) Pola retak kerucut dan belah (*Cone and Split*)
- 3) Pola retak memanjang (*Columnar*)
- 4) Pola retak geser (*Diagonal*)
- 5) Pola retak sisi atas dan bawah (*Side fractures at top and bottom*)
- 6) Pola retak sama dengan tipe 5 dengan retak

sisi atas pada titik tengah (*Similar to type 5 but end of cylinder is pointed*).



Gambar 1. Pola retak beton

3. Metode Penelitian

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental yakni uji Laboratorium dan analisis data metode komperatif.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material, Struktur, dan Konstruksi Bangunan, Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3.3. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 (tiga) variabel data menganalisis yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis variabel data

Variabel Terikat	<ul style="list-style-type: none"> • Kuat tekan, kuat tarik belah dan slump • Usia pengujian benda uji pada 28 hari • Metode perawatan <i>dry curing</i> • 50% terlapis <i>wrap</i> • Arah <i>wrap</i> Horizontal • Pemasangan CFRP pada umur beton ke 21 hari • Overlap <i>wrap</i> 5 cm
Variabel Bebas	Perletakan CFRP
Variabel Kontrol	Campuran material beton (air, semen, batu pecah dan pasir)

Dari variabel tersebut maka akan dibuat 42 benda uji (Tabel 2). Benda uji silinder sebanyak 3 buah sebagai pembandingan (tidak dilakukan pemasangan CFRP) dan masing-masing 3 buah

benda uji lainnya untuk 6 jenis variasi benda uji yang menggunakan CFRP sebagai pengekang. Sampel silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Rencana campuran beton menggunakan cara DOE (*Development of Environment*). Standar pengujian karakteristik material pada penelitian mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tabel 2. Variabel penelitian

Jenis Variasi	Kode Penamaan		Pola Wrap
	Sampel Kuat Tekan	Sampel Kuat Tarik Belah	
Beton Normal	BN-TK-01	BN-TR-01	
	BN-TK-02	BN-TR-02	
	BN-TK-03	BN-TR-03	
Lebar wrap : 10 cm Space : 10 cm bawah Overlap : 5 cm	A-TK-01	A-TR-01	
	A-TK-02	A-TR-02	
	A-TK-03	A-TR-03	
Lebar wrap : 10 cm Space : 5 cm (atas) dan 5 cm (bawah) Overlap : 5 cm	T-TK-01	T-TR-01	
	T-TK-02	T-TR-02	
	T-TK-03	T-TR-03	
Lebar wrap : 10 cm Space : 10 cm atas Overlap : 5 cm	B-TK-01	B-TR-01	
	B-TK-02	B-TR-02	
	B-TK-03	B-TR-03	
Lebar wrap : 5 cm (atas dan bawah) Space : 10 cm (tengah) Overlap : 5 cm	AB1-TK-01	AB1-TR-01	
	AB1-TK-02	AB1-TR-02	
	AB1-TK-03	AB1-TR-03	
Lebar wrap : 5 cm Space : 3 cm (atas), 4 cm (tengah), 3 cm (bawah) Overlap : 5 cm	AB2-TK-01	AB2-TR-01	
	AB2-TK-02	AB2-TR-02	
	AB2-TK-03	AB2-TR-03	
Lebar wrap : 2,5 cm (spiral)	SP-TK-01	SP-TR-01	
	SP-TK-02	SP-TR-02	
	SP-TK-03	SP-TR-03	

4. Hasil dan Pembahasan

Pada beton yang telah mengeras (*hardness*) dan telah melalui proses perawatan (*curing*) selama 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

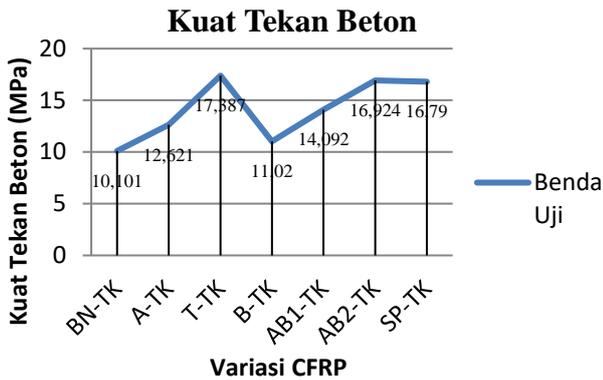
4.1. Uji Kuat Tekan

Tabel 3. Hasil nilai uji kuat tekan beton

No	Type Wrap	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata – Rata (MPa)	%Kenaikan Kuat Tekan
1	BN-TK-01	12,698		
2	BN-TK-02	7,121	10,101	-
3	BN-TK-03	10,484		
4	A-TK-01	11,151		
5	A-TK-02	18,550	12,621	19,96%
6	A-TK-03	8,163		
7	T-TK-01	18,785		
8	T-TK-02	14,153	17,387	72,13%
9	T-TK-03	19,222		
10	B-TK-01	11,580		
11	B-TK-02	11,467	11,020	9,09%
12	B-TK-03	10,014		
13	AB1-TK-01	14,634		
14	AB1-TK-02	13,324	14,092	39,51%
15	AB1-TK-03	14,318		
16	AB2-TK-01	15,440		
17	AB2-TK-02	18,951	16,924	67,54%
18	AB2-TK-03	16,382		
19	SP-TK-01	16,108		
20	SP-TK-02	16,802	16,790	66,22%
21	SP-TK-03	17,460		

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa benda uji yang tidak dikekang atau beton normal menghasilkan kuat tekan rata-rata 10,101 MPa. Benda uji yang dikekang Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dengan tipe wrap A-TK memiliki kuat tekan beton 12,621 MPa, lebih tinggi dari kuat tekan beton normal dengan perbedaan 19,96%. Benda uji dengan tipe wrap T-TK memiliki nilai kuat tekan beton yang lebih tinggi yaitu 17,387 MPa lebih besar 72,13% dari beton normal, dan meningkat 52,17% dari beton tipe wrap A-TK. Pada benda uji dengan tipe wrap B-TK memiliki kuat tekan 11,020 MPa dengan persen kenaikan dari beton normal yaitu 9,09%, dan, untuk benda uji tipe wrap AB1-TK mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 39,51% dari beton normal dengan nilai kuat tekan 11.020 MPa. Sedangkan benda uji tipe wrap AB2-TK mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 67,54% dari beton normal dengan nilai kuat tekan 16,924 MPa, dan untuk benda uji tipe wrap SP-TK mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 66,22% dari beton normal dengan nilai kuat tekan 16,790 MPa.

Gambar 4 adalah presentase kuat tekan beton normal dan beton normal yang dikekang oleh CFRP umur 28 hari pada gambar diagram di bawah ini:



Gambar 4. Nilai rata-rata uji kuat tekan beton

Berdasarkan data dari hasil uji kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton normal tanpa CFRP pada umur 28 hari menunjukkan rata-rata nilai kuat tekan lebih kecil daripada beton dengan CFRP. Pada variasi kekang CFRP, nilai kuat tekan tertinggi berada pada tipe kekang bagian tengah (T-TK), sedangkan nilai kuat tekan terendah berada pada tipe kekang bagian bawah (B-TK).

4.2. Uji Kuat Tarik Belah Beton

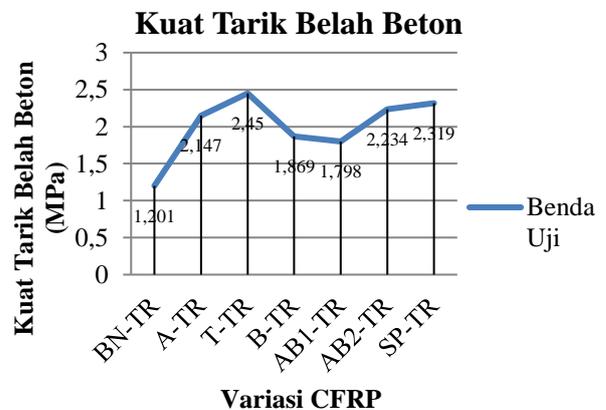
Tabel 4. Hasil nilai uji kuat tarik belah beton

No	Tipe Wrap	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata – Rata (MPa)	% Kenaikan Kuat Tarik Belah
1	BN-TR-01	1,230		
2	BN-TR-02	1,040	1,201	-
3	BN-TR-03	1,333		
4	A-TR-01	2,049		
5	A-TR-02	2,091	2,147	78,76%
6	A-TR-03	2,301		
7	T-TR-01	1,801		
8	T-TR-02	2,764	2,450	103,99%
9	T-TR-03	2,785		
10	B-TR-01	1,758		
11	B-TR-02	1,943	1,869	55,62%
12	B-TR-03	1,906		
13	AB1-TR-01	1,622		
14	AB1-TR-02	2,212	1,798	49,70%
15	AB1-TR-03	1,560		
16	AB2-TR-01	2,061		
17	AB2-TR-02	2,764	2,234	86,01%
18	AB2-TR-03	1,879		
19	SP-TR-01	2,000		
20	SP-TR-02	2,387	2,319	93,08%
21	SP-TR-03	2,571		

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa benda uji yang tidak dikekang Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) atau beton normal (BN-TR)

memiliki kuat tarik belah rata-rata 1,201 MPa. Benda uji yang dikekang CFRP dengan tipe wrap A-TR memiliki kuat tarik belah 2,147 MPa, lebih tinggi dari kuat tarik belah beton normal dengan perbedaan 78,76%. Benda uji dengan tipe wrap T-TR memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi yaitu 2,450 MPa lebih besar 103,99% dari beton normal, dan meningkat 25,23% dari beton tipe wrap A-TR. Pada benda uji dengan tipe wrap B-TR memiliki kuat tarik belah 1,869 MPa dengan persen kenaikan dari beton normal yaitu 55,62% dan untuk benda uji tipe wrap AB1-TR mengalami peningkatan kuat tarik belah sebesar 49,70% dari beton normal dengan nilai kuat tarik belah 1,798 MPa tetapi menurun 5,92% dari beton tipe wrap B-TR. Sedangkan benda uji tipe wrap AB2-TR mengalami peningkatan kuat tarik belah sebesar 86,01% dari beton normal dengan nilai kuat tarik belah 2,234 MPa, dan untuk benda uji tipe wrap SP-TR mengalami peningkatan kuat tarik belah sebesar 93,08% dari beton normal dengan nilai kuat tarik belah 2,319 MPa.

Gambar 5 adalah presentase kuat tarik belah beton normal dan beton normal yang dikekang oleh CFRP umur 28 hari pada gambar diagram batang di bawah ini:



Gambar 5. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton

Berdasarkan data dari hasil uji kuat tarik belah beton, maka dapat disimpulkan bahwa benda uji yang tidak dikekang Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) atau beton normal (BN-TR) memiliki kuat tarik belah lebih rendah dari beton dengan kekangan CFRP. Pada variasi kekang CFRP, nilai kuat tarik belah tertinggi berada pada tipe kekang bagian tengah (T-TR) sedangkan nilai kuat tarik belah terendah berada pada tipe kekang bagian atas-bawah (AB1-TR).

4.3. Pola Retak Beton

Model keruntuhan benda uji tidak terkekang atau beton normal (BN) dari sampel benda uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton menunjukkan bentuk keruntuhan sejajar sumbu tegak/kolumnar (tipe 3) dan biasanya didefinisikan lebih baik (Gambar 6).



Gambar 6. Pola retak benda uji BN

Model keruntuhan benda yang terkekang dengan CFRP variasi model tipe *wrap* bagian atas (A) menunjukkan model keruntuhan kerucut dan belah (tipe 2), kolumnar (tipe 3) dan kehancuran geser (tipe 4) seperti yang di tampilkan pada Gambar 7. Benda uji mengalami kerusakan cukup parah pada bagian bawah beton yang tidak terkekang CFRP, pada salah satu benda uji overlap hampir terlepas.



Gambar 7. Pola retak benda uji A



Gambar 8. Pola retak benda uji T

Pada benda uji yang dikekang pada bagian tengah (T) menunjukkan model keruntuhan retak kerucut (tipe 1) yang terlihat besar membagi silinder, namun benda uji masih bertahan karena ada CFRP yang mengekangnya seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Tidak hanya itu, variasi tipe T ini juga menunjukkan model

keruntuhan kolumnar (tipe 3) dan retak sisi bagian atas saja dan bagian bawah saja (tipe 5).

Kerusakan benda uji dengan variasi tipe bagian bawah (B) terjadi kerusakan pada cover di bagian yang tidak dikekang CFRP (tipe 1 dan tipe 3) seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pola retak benda Uji B

Pola keruntuhan pada benda uji variasi AB1 menunjukkan pola retak kerucut dan belah (tipe 2), kolumnar (tipe 3) dan kerusakan geser (tipe 4). Kerusakan dapat dilihat pada cover beton yang tidak terkekang CFRP seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pola retak benda uji AB1

Kerusakan pada sampel AB2 menunjukkan bahwa Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dirusak oleh tekanan dari dalam yang mengakibatkan CFRP hampir putus pada sampel dan overlap yang terlepas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pola retak pada benda uji dikekang CFRP atas-bawah bagian tengah (AB2) ini berupa retak kerucut (tipe 1) hal ini menunjukkan kepadatan benda uji silinder merata dan permukaannya benar-benar datar, sehingga penyebaran tekanan pada saat pengujian kuat tekan terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan yang kemudian disalurkan merata pula pada seluruh bagian silinder. Pada benda uji (AB2) ini juga terjadi pola retak kolumnar (tipe 3).

Benda uji variasi dikekang CFRP spiral (SP) mengalami kerusakan terlepasnya CFRP bersamaan dengan retaknya beton atau dapat dikatakan pola retaknya mengikuti bentuk

kekangan CFRP (Gambar 12), hal ini terjadi karena ujung CFRP tidak saling mengikat atau tidak adanya overlap.



Gambar 11. Pola retak benda uji AB2



Gambar 12. Pola retak benda uji SP

Mengacu pada hasil pola retak beton, rata-rata menunjukkan pola retak tipe 3 setelah menerima pembebanan (kuat tekan dan kuat tarik belah). Berdasarkan jenis pola retak dalam ASTM C39/C39M-14 *Compressive Strength of Cylindrical Specimens* tahun 2014, pola retak 3 bisa terjadi akibat pembebanan yang tidak terdistribusi dengan baik, misalnya karena ada kotoran pada mesin uji tekan atau permukaan benda uji yang tidak rata.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

- 1) Pengaruh perletakan variasi *wrap Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari adalah :
 - a. Pengaruh perletakan *wrap* CFRP pada beton dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Peningkatan nilai kuat tekan beton *wrap* CFRP terhadap beton normal (tanpa *wrap* CFRP) mencapai lebih dari 70%, dimana perletakan *wrap* tengah (T-TK) merupakan variasi *wrap* yang memiliki kenaikan nilai kuat tekan tertinggi yakni 72,13% dari beton normal. Beda halnya pada nilai kuat tarik belah beton, variasi *wrap* tengah (T-TR) mencapai kenaikan

kekuatan hingga 103,99% dari beton normal.

- b. Nilai kuat tekan beton dengan kekangan CFRP pada masing-masing variasi model *wrap* adalah 10,101 MPa (); 12,621 MPa (T1-A); 17,387 MPa (T2-A); 11,020 MPa (T3-A); 14,092 MPa (T4-A); 16,924 MPa (T5-A); 16,790 MPa (T6-A). Nilai kuat tarik belah beton dengan kekangan CFRP pada masing-masing variasi model *wrap* adalah 1,201 MPa (T0-B); 2,147 MPa (T1-B); 2,450 MPa (T2-B); 1,869 MPa (T3-B); 1,798 MPa (T4-B); 2,234 MPa (T5-B); 2,319 MPa (T6-B)
 - c. Pada variasi kekangan CFRP, nilai kuat tekan dan kuat tarik belah tertinggi berada pada tipe kekangan bagian tengah T2-A dan T2-B. Sedangkan nilai kuat tekan terendah ada pada tipe *wrap* T3-A dan kuat tarik belah terendah T4-B.
- 2) Perbandingan pola keruntuhan yang terjadi antara beton normal dan beton *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebagai berikut:
 - a. Pada pengujian kuat tekan beton normal terjadi satu pola retak yakni pola retak tipe 3 (kolumnar) namun pada benda uji beton dengan perlakuan kekangan CFRP dengan variasi tipe *wrap* terjadi pola retak yang beragam antara lain tipe 1 (tipe pola kerucut), tipe 2 (tipe pola retak kerucut dan belah) dan tipe 3 (tipe pola retak kolumnar atau memanjang).
 - b. Pada pengujian kuat tarik belah beton normal terjadi satu pola retak yakni pola retak tipe 3 (Kolumnar) namun pada benda uji beton dengan perlakuan kekangan CFRP dengan variasi tipe *wrap* terjadi 3 pola retak yakni tipe 3 (kolumnar), tipe 4 (pola retak geser/diagonal) dan tipe 5 (pola retak sisi atas dan bawah).

5.2.Saran

Sehubungan dengan penelitian yang telah dilakukan adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

- 1) Pada saat pengujian kuat tarik belah beton, tentukan posisi overlapnya.
- 2) Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variabel benda uji dengan *full*

jacketing CFRP agar dapat jadi pembanding dengan variabel lainnya.

- 3) Dalam pemotongan CFRP harus dibuat pola pemotongan seoptimal mungkin untuk menghindari pembengkakan biaya yang dibutuhkan.
- 4) Untuk penggunaan epoxy CFRP, sebaiknya dipesan terlebih dahulu untuk menghindari penguluran waktu.
- 5) Perlu penelitian lanjutan terkait alternatif letak/posisi CFRP *wrap* pada benda uji untuk menemukan peningkatan yang lebih baik.
- 6) Perlu penelitian lanjutan terkait alternatif serat buatan lainnya untuk meningkatkan kuat tekan beton.

Referensi

- [1] M. P. Sapeai and J. A. Tjondro, "Pengaruh Kekangan Carbon Fiber Reinforced Polymer pada Beton Self Compacting Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang terhadap Perilaku Beton," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 26, no. 2, pp. 194–203, 2020, doi: 10.14710/mkts.v26i2.29213.
- [2] 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," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 5, no. 1, pp. 19–25, 2017, doi: 10.32487/jtt.v5i1.206.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional, 2013. doi: <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/9759-sni28472013>.
- [4] I. P. Wiriyawan, "Analisa Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Kolom yang Diperkuat Dengan Lapis Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)," Universitas Udayana, 2016.
- [5] M. I. Saifuddin, B. Edison, and K. Fahmi, "Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Mhs. Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2013.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional, 1990.
- [7] Kusnadi and D. Sulistyorini, "Pengaruh Penambahan Superplastisizer Terhadap Campuran Beton Ringan Yang Menggunakan Styrofoam," *INERSIA Inf. dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 7, no. 2, pp. 124–140, 2011.
- [8] ASTM International, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International, 2014. doi: 10.1520/C0039_C0039M-14.