

Analisis Pengaruh Pencampuran Serat Karbon Terhadap Kekuatan Beton dalam Menahan Beban Desak, Beban Tarik dan Beban Lentur

Suharyatma^{1*}, Yesa Kristiandono²

^{1,2} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding: suharyatma@uui.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kelemahan beton yaitu sifat beton yang tergolong getas sehingga berdampak negatif terhadap beton dalam menahan lentur dan pecah, selain itu juga mempunyai berat jenis yang tinggi (2,3-2,4 T/m³). Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penambahan serat pada beton berupa serat karbon, serat karbon yang sangat kuat dan dikenal sangat ringan diharapkan dapat meningkatkan kuat tarik dan lentur beton secara signifikan dan tanpa menambah beban pada beton itu sendiri. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan perhitungan campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat tekan rencana 20 MPa, campuran serat karbon berbentuk potongan serat dengan variasi panjang serat yaitu 5mm, 10mm dan 15mm dengan komposisi 0,4% dari berat beton normal. Pengujian dilakukan pada saat contoh beton berumur 28 hari. Sambil menunggu umur beton mencapai 28 hari, beton diberi perlakuan berupa perendaman dalam air. Dan hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton yang signifikan yaitu sebesar 45,32%; kuat tarik beton sebesar 73,24%; dan kuat lentur beton sebesar 78,83% namun juga berhasil mempertahankan berat jenis beton sebesar 2,3 T/m³. Untuk pembahasan lebih lanjut dan lebih detail akan disajikan pada laporan penelitian berikut ini.

Kata Kunci: Beton, Serat Karbon, Kuat Dorong, Kuat tarik belah, Kuat lentur, Modulus elastisitas

ABSTRACT

This study aims to overcome the weaknesses of concrete, namely the nature of concrete which is classified as brittle so that it has a negative impact on the concrete in resisting bending and splitting, while it also has a high density (2.3-2.4 T/m³). So that this research will add fiber to concrete in the form of carbon fiber, carbon fiber that is very strong and is known to be very light is expected to increase the tensile strength and flexural concrete significantly and without adding weight to itself. Calculation of concrete mix planning using normal concrete mixture calculations (SNI 03-2834-2000) with a planned compressive strength is 20 MPa, carbon fiber mixed in the form of fiber pieces with variations in fiber length, namely 5mm, 10mm and 15mm with a composition of 0.4% of normal concrete weight. Tests are carried out when the concrete sample is 28 days old. While waiting for the concrete age to reach 28 days, the concrete is treated in the form of soaking in water. And the results of this study indicate a significant increase in concrete compressive strength of 45.32%; concrete tensile strength of 73.24%; and the flexural strength of the concrete was 78.83% but it also managed to maintain the density of concrete at 2.3 T/m³. For further discussion and more detail will be presented in the following research report.

Keywords: Concrete, Carbon Fiber, Push strength, Split tensile strength, Flexural strength, Modulus of elasticity

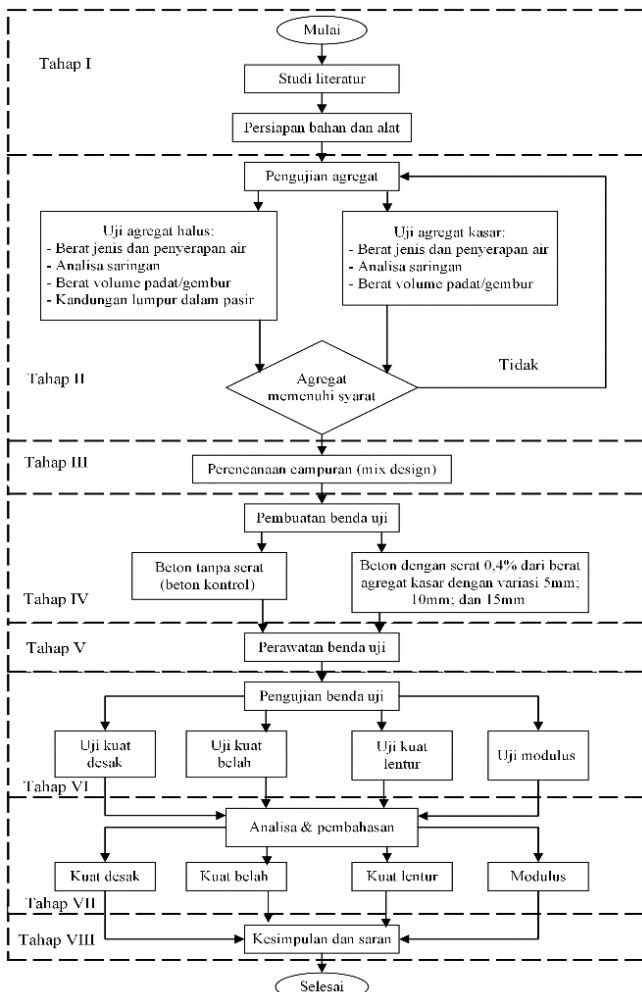
I. PENDAHULUAN

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik seperti abu pozzolan sebagai pembentuknya telah dimulai sejak zaman Yunani dan Romawi bahkan mungkin sebelumnya. Dengan campuran kapur, pozzolan, dan batu apung, bangsa Romawi banyak membangun infrastruktur seperti akuaduk, bangunan, drainase dan lain-lain[1]. Di Indonesia penggunaan yang serupa bisa dilihat pada beberapa bangunan kuno yang tersisa. Benteng Indrapatna di Aceh yang dibangun pada abad ke-7 oleh kerajaan Lamuri, bahan bangunannya berupa kapur, tanah liat, dan

batu gunung. Penggunaan beton itu pun terus berlanjut hingga masa kini. Bangunan - bangunan pada masa kini umumnya sudah didominasi oleh bangunan yang strukturnya terbuat dari beton yang terkenal dengan kekuatannya yang tinggi dalam menahan gaya tekan, mudah dibentuk, mudah diaplikasikan dan memiliki berat jenis yang cukup tinggi, yaitu berkisar di 2,4 Ton/m³. Namun beton sendiri memiliki kelemahan dalam menahan lentur dan tarik, karena sifat beton sendiri itu tergolong getas[2]. Oleh sebab itu dalam penelitian ini juga akan berusaha mewujudkan beton serat yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton khususnya kuat tarik beton

dengan menambahkan potongan atau cacahan serat karbon, pada campuran beton sebanyak 0% dari berat beton normal dalam campuran beton sebagai beton uji pengontrol dan penambahan potongan atau cacahan serat karbon dengan variasi panjang serat 5mm,10mm dan 15mm pada campuran beton sebanyak 0,4% dari berat beton normal dalam campuran beton sebagai benda uji yang diharapkan dapat meningkat kuat tekan, kuat tarik dan kuat lenturnya. Dengan sifat serat karbon yang kuat (hingga 3800Mpa) dan ringan (hingga 1,8 Ton/m3) diharapkan dengan penambahan serat karbon pada beton ini dapat meningkatkan kekuatan beton namun tidak meningkatkan berat beton itu sendiri [3]. Serat karbon yang ditambahkan akan bekerja mengurangi bleeding saat proses pengecoran, dengan berkurangnya *bleeding* maka akan berkurang juga lubang-lubang porositas akibat dari bleeding yang dapat melemahkan beton dalam menahan beban selain itu serat karbon dengan kekuatan yang terbilang tinggi diharapkan juga akan menambah kekuatan ikatan antara komponen beton itu sendiri dan berat jenis serat karbon yang ringan diharapkan tidak meningkatkan berat beton itu sendiri secara signifikan[4].

II. METODE PENELITIAN



III. ANALISI DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pengahasan hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Hasil Perencanaan Campuran Beton

Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI-03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Mix-Design

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Karbon Fiber (kg)	Kadar serat	Viscocrete 3115N (Kg)	Kadar Viscocrete
BTS	16,95	9,32	33,7	55,25	0,00	0,00%	0,05084	0,30%
S5	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,05084	0,30%
S10	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,05084	0,30%
S15	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,05084	0,30%
BTS"	16,95	9,32	33,7	55,25	0,00	0,00%	0,00000	0,00%
S5"	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,00000	0,00%
S10"	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,00000	0,00%
S15"	16,95	9,32	33,7	55,25	0,46	0,40%	0,00000	0,00%
Jumlah	135,57	74,56	269,78	442,04	2,77	-	0,203	-

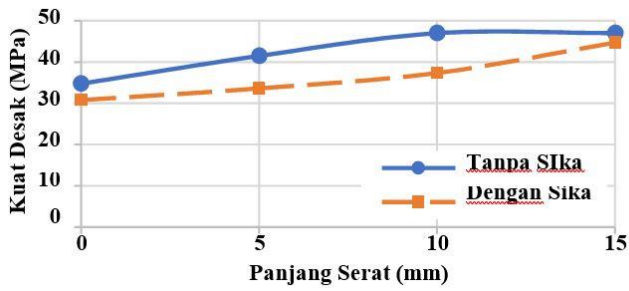
2. Pengujian Kuat Desak Beton

Berikut adalah hasil pengujian kuat desak beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

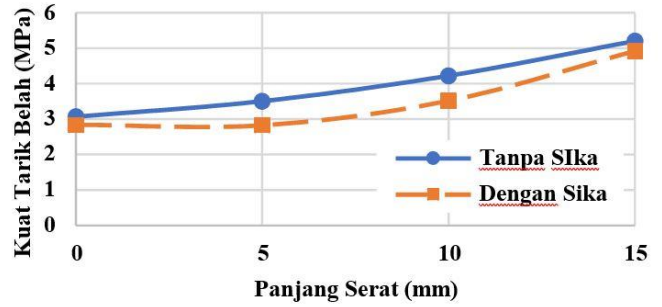
Tabel 5.2 Kuat Desak

Jenis Benda Uji	Kuat Desak (MPa)				Besar Kenaikan (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	33,86	31,29	27,14	30,76	0	0
BTS"	33,13	35,50	35,62	34,75	0	0
S5	32,83	37,19	30,81	33,61	2,85	9,26
S"5	42,41	40,63	41,40	41,48	6,73	19,37
S10	34,67	38,17	39,20	37,35	6,59	21,40
S"10	44,97	47,86	48,12	46,98	12,23	35,20
S15	40,76	43,57	49,78	44,70	13,94	45,32
S"15	46,88	44,63	49,53	47,01	12,26	35,29

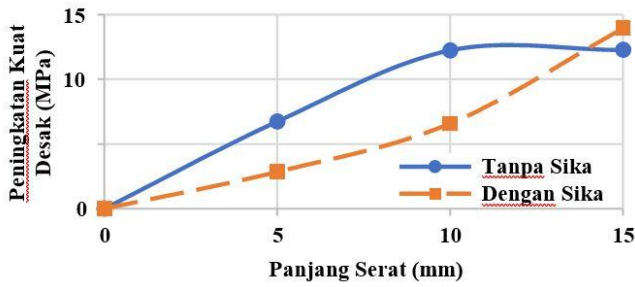
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat desak beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.1 rata-rata kuat desak, Gambar 5.2 peningkatan kuat desak dalam MPa dan Gambar 5.3 peningkatan kuat desak dalam persen.



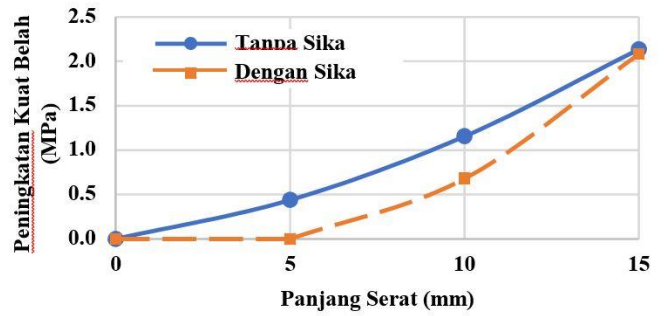
Gambar 5.1 Rata-rata Kuat Desak



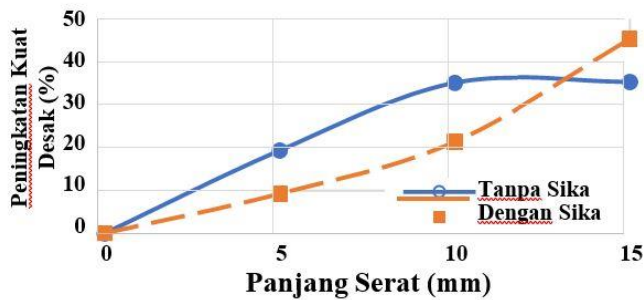
Gambar 5.4 Rata-rata Kuat Belah



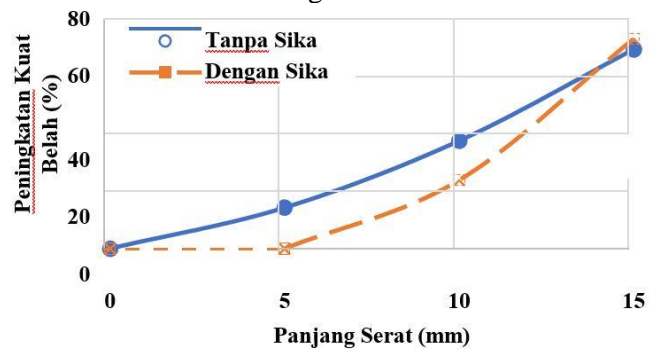
Gambar 5.2 Peningkatan Kuat Desak MPa



Gambar 5.5 Peningkatan Kuat Belah MPa



Gambar 5.3 Peningkatan Kuat Desak (%)



Gambar 5.6 Peningkatan Kuat Belah (%)

3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini

Tabel 5.3 Kuat Belah

Jenis Benda Uji	Kuat Belah (Mpa)				Besaran Kenaikan (Mpa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	2,82	2,68	3,02	2,84	0	0
BTS"	2,97	3,41	2,83	3,07	0	0
S5	3,07	2,79	2,62	2,83	0	0
S5"	3,07	3,97	3,49	3,51	0,439	14,298
S10	3,61	3,09	3,85	3,52	0,679	23,894
S10"	4,32	4,31	4,04	4,22	1,155	37,638
S15	4,70	4,99	5,06	4,92	2,082	73,294
S15"	5,36	5,06	5,19	5,20	2,135	69,569

Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat belah beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.4 rata-rata kuat belah, Gambar 5.5 peningkatan kuat belah dalam MPa dan Gambar 5.6 peningkatan kuat belah dalam persen.

4. Pengujian Kuat Lentur Beton

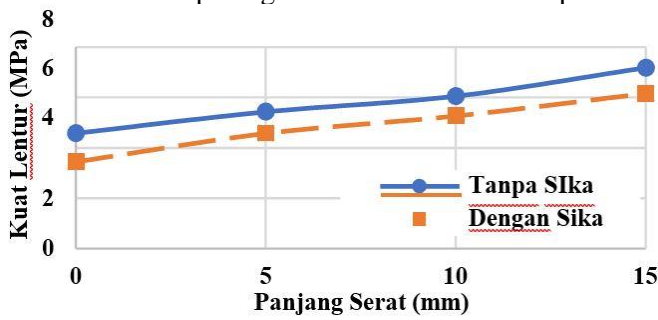
Tabel 5.4 berikut ini adalah hasil pengujian kuat lentur beton.

Tabel 5.4 Kuat Lentur

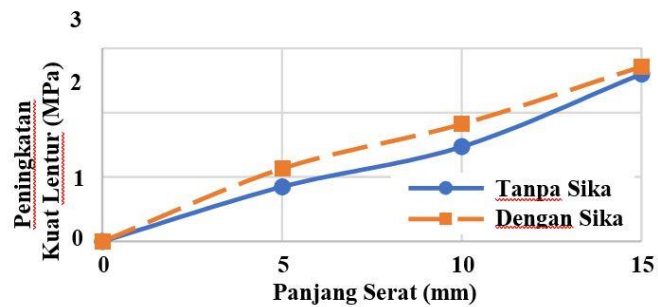
Jenis Benda Uji	Kuat Lentur						Besaran Kenaikan (Mpa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	X1	X2	Rata-rata		
BTS	3,25	3,28	3,80			3,44	0	0
BTS"	4,17	4,72	4,86			4,59	0	0
S5	4,79	4,06	5,27	3,66	5,09	4,57	1,13	32,79
S5"	6,22	5,11	5,53	5,34	4,95	5,43	0,85	18,51
S10	5,58	5,86	5,42	4,77	4,69	5,27	1,82	52,92
S10"	6,23	6,91	6,31	5,35	5,47	6,06	1,47	32,11
S15	5,18	7,09	5,91	6,46		6,16	2,71	78,83
S15"	7,54	7,16	7,47	6,55		7,18	2,61	56,75

Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat lentur beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.7 rata-rata kuat

lentur, Gambar 5.8 peningkatan kuat lentur dalam MPa dan Gambar 5.9 peningkatan kuat lentur dalam persen.



Gambar 5.7 Rata-rata Kuat Lentur



Gambar 5.8 Peningkatan Kuat Lentur MPa



Gambar 5.9 peningkatan kuat lentur (%)

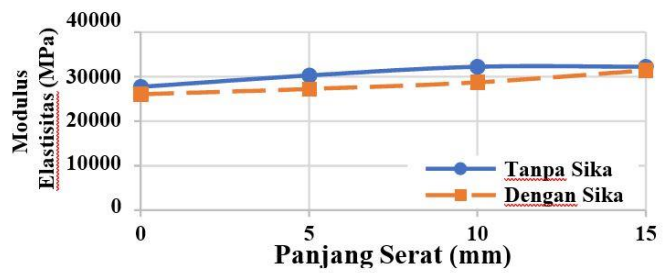
5. Pengujian Modulus Elastisitas

pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

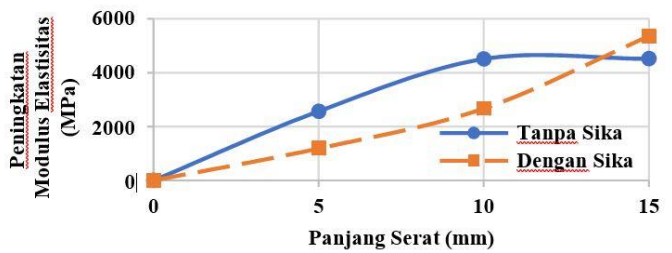
Tabel 5.5 Modulus Elastisitas

Jenis Benda Uji	Modulus Elastisitas (MPa)				Besarnya Kenaikan (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	27349.45	26290.73	24483.87	26041.35	0.00	0
BTS"	27053.66	28002.19	28050.95	27702.27	0.00	0
S5	26929.84	28661.15	26090.17	27227.06	1185.70	4.5531607
S"5	30608.89	29958.42	30242.90	30270.07	2567.81	9.2692985
S10	27674.53	29036.82	29425.97	28712.44	2671.09	10.25712
S"10	31518.20	32515.22	32601.94	32211.79	4509.52	16.278538
S15	30008.02	31021.82	33161.23	31397.02	5355.67	20.566036
S"15	32178.71	31398.83	33079.01	32218.85	4516.58	16.304027

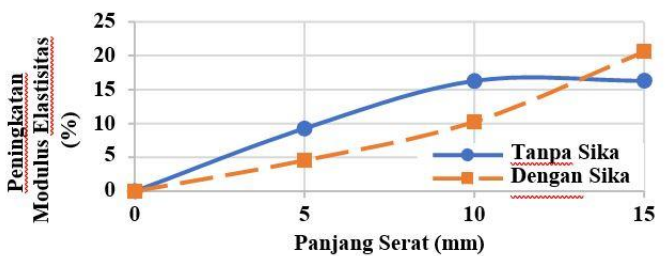
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian modulus elastisitas beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.10 rata-rata modulus elastisitas, Gambar 5.11 peningkatan modulus elastisitas dalam MPa dan Gambar 5.12 peningkatan modulus elastisitas dalam persen.



Gambar 5.10 Rata-rata Modulus Elastisitas



Gambar 5.11 Peningkatan Modulus MPa



Gambar 5.12 Peningkatan Modulus (%)

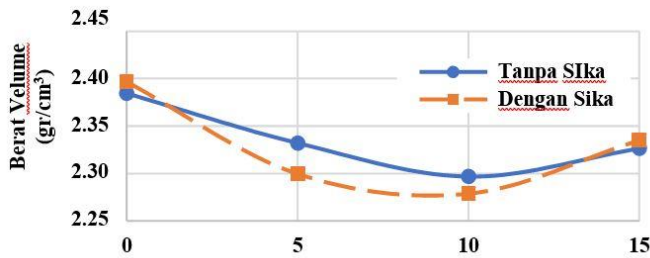
6. Pengujian Berat Volume Beton

Tabel 5.6 berikut ini adalah hasil pengujian berat volume beton

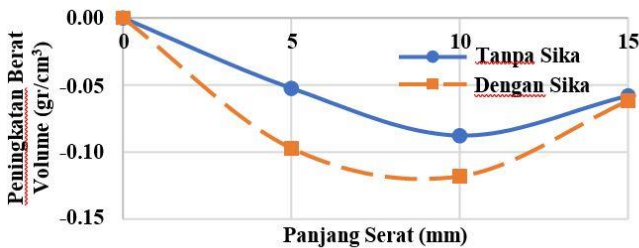
Tabel 4.6 Berat Volume

Jenis Benda Uji	Berat Volume Rata-rata (gr/cm ³)	Slump (cm)	Besar Penurunan (gr/cm ³)	Persentase Penurunan (%)
BTS	2,4	28	0	0
BTS"	2,38	16	0	0
S5	2,3	15	-0,097	-4,054
S5"	2,33	12	-0,052	-2,196
S10	2,28	12,5	-0,118	-4,927
S10"	2,3	10	-0,088	-3,679
S15	2,33	9	-0,062	-2,581
S15"	2,33	6	-0,058	-2,438

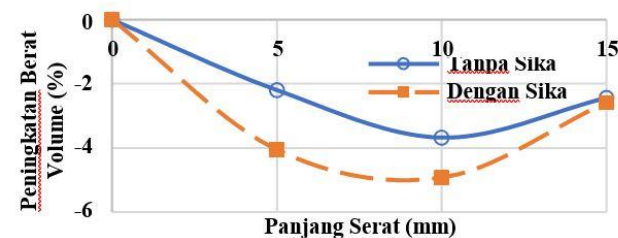
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian berat volume beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.13 rata-rata berat volume beton, Gambar 5.14 peningkatan berat volume dalam MPa dan Gambar 5.15 peningkatan berat volume persen.



Gambar 5.13 Rata-rata Berat Volume Beton



Gambar 5.14 Berat Vol. gr/cm³



Gambar 5.15 Peningkatan Berat Vol. (%)

Hasil pengujian kuat desak beton, kuat tarik belah beton, dan kuat lentur beton menunjukkan adanya peningkatan, peningkatan ini dikarenakan penambahan serat karbon sebesar 0,4% terhadap berat beton normal[5].

Kandungan serat pada beton menambah kekuatan interlocking antar material penyusun beton, membantu penyaluran dan perambatan beban-beban/gaya-gaya yang bekerja pada beton serta mencegah terjadinya keretakan pada beton, bahkan setelah terjadi keretakan, kandungan serat dapat menjadi jembatan yang menjebatani beban-beban/gaya-gaya yang bekerja pada beton [6].

Penggunaan serat dapat meningkatkan kinerja beton, seperti peningkatan penyerapan energi, pengurangan retak plastis pada umur awal, mengontrol retak dan juga mengurangi spalling ketika beton sudah retak. Penggunaan fiber dalam beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil[7]. Keuntungan yang lain adalah dapat meningkatkan kekuatan lentur balok beton (Antoni, dkk 2007).

Selain itu peningkatan kekuatan beton setelah penambahan serat karbon juga dikarenakan serat karbon sendiri memiliki tegangan tarik/kemampuan menahan beban tarik yang cukup besar, yaitu 3800 MPa atau ±5 kali lebih besar bila dibandingkan dengan besi baja (±500 MPa) dan modulus elastisitas 240 GPa (240.000 MPa) hampir sama dengan modulus elastisitas baja tulangan (200.000 MPa). Peningkatan kuat desak beton

juga terus meningkat seiring bertambahnya panjang serat yang dicampurkan, dan hingga panjang 15mm belum mencapai nilai optimum.

Serat karbon ini sendiri bisa sangat kuat dan ringan karena terbuat dari 92-99% karbon. Karbon yang melalui berbagai proses mekanis dan perlakuan pemanasan mulai dari 200 C hingga 3000 C saat produksi hingga proses pemintalan, menjadikan molekul-molekul karbon mengkristal dan mengeras. Proses pemanasan ini menjadikan serat karbon mengandung kristal-kristal mikro yang tersebar sedemikian rupa dan memperkuat serat karbon itu sendiri. Kekuatan dan karakteristik serat karbon sangat ditentukan oleh proses perlakuan pemanasan yang nantinya akan berdaMPak pada proses pengkristalan dan sebaran kristal karbon tersebut (Xiaosong Huang,2009).

Bahkan dari pengamatan visual didapati serat karbon tidak mengalami kegagalan dalam proses penyaluran beban-beban/gaya- gaya yang bekerja pada beton. Hal itu terlihat dari serat-serat yang masih mampu menahan keruntuhan beton yang sudah hancur. Sehingga beton yang sudah gagal melalui pengujian, secara dominan masih menggumpal menjadi satu kesatuan dan hanya sebagian kecil yang terlepas. Berbeda dengan beton yang tidak menggunakan serat, keruntuhan beton terjadi dengan tiba-tiba dan runtuhnya semua terlepas.

Modulus elastisitas beton berhubungan erat dengan kekakuan dari suatu bahan. Semakin kecil modulus elastisitas, maka kekakuan bahan tersebut akan menurun yang mengakibatkan deformasi besar saat menerima gaya maksimum. Kekakuan yang kecil berakibat pada peningkatan daktilitas beton itu sendiri. Sehingga saat menerima gaya maksimum beton tidak akan hancur seketika, melainkan akan mengalami deformasi beberapa saat hingga mengalami kehancuran total.

Hasil pengujian modulus elastisitas beton, menunjukkan adanya peningkatan nilai modulus elastisitas beton, peningkatan modulus elastisitas beton ini dikarenakan penambahan serat karbon sebesar 0,4% terhadap berat beton normal. Peningkatan modulus elastisitas beton setelah penambahan serat karbon dikarenakan serat karbon sendiri memiliki modulus elastisitas 240 GPa (240.000 MPa) hampir sama dengan modulus elastisitas baja tulangan (200.000 MPa). Serat karbon ini sendiri bisa sangat kuat dan ringan karena terbuat dari

92-99% karbon. Karbon yang melalui berbagai proses mekanis dan perlakuan pemanasan mulai dari 200 C hingga 3000C saat produksi hingga proses pemintalan,menjadikan molekul-molekul karbon mengkristal dan mengeras. Proses pemanasan ini menjadikan serat karbon mengandung kristal-kristal mikro yang tersebar sedemikian rupa dan memperkuat serat karbon itu sendiri. Kekuatan dan karakteristik serat karbon sangat ditentukan oleh proses perlakuan pemanasan yang nantinya akan berda pada proses pengkristalan dan sebaran kristal karbon tersebut (Xiaosong Huang, 2009).

Hasil pengujian berat volume beton, menunjukkan adanya penurunan nilai berat volume beton, penurunan berat volume beton ini dikarenakan penambahan serat karbon sebesar 0,4% terhadap berat beton normal. Penurunan berat volume beton setelah penambahan serat karbon dikarenakan serat karbon sendiri memiliki massa jenis yang cukup rendah, yaitu 1,75 Ton/m³ atau $\pm 75\%$ lebih ringan bila dibandingkan dengan massa jenis besi baja (7,85 Ton/m³) (Sutrisno, 2015).

Nilai slump yang juga semakin menurun seiring penambahan panjang serat karbon juga menunjukkan bahwa semakin panjang serat karbon yang ditambahkan maka akan semakin menghambat pergerakan beton sehingga menurunkan workability beton tersebut yang dapat dilihat melalui nilai slump yang semakin mengecil seiring bertambahnya panjang serat karbon.

Selain itu hasil dari penambahan Sika Viscocrete 3115N juga menunjukkan hasil yang positif, dapat dilihat pada tabel di atas. Hasil Pengujian Berat Volume Beton di atas menunjukkan bahwa disetiap beton dengan penambahan panjang serat yang sama jika dibandingkan dengan sampel yang menggunakan bahan tambah Sika Viscocrete 3115N dengan yang tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N menunjukkan nilai slump yang lebih tinggi pada sampel dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N. Dan penambahan serat karbon juga dapat menurunkan berat volume beton itu sendiri, hal ini dikarenakan volume keseluruhan adukan beton segar bertambah karena penambahan serat karbon itu sendiri dan serat karbon itu sendiri memiliki massa jenis yang sangat ringan seperti yang telah disebutkan di atas. Jadi volume sampel beton tetap sama namun terisi oleh serat karbon yang ringan namun tetap kuat.

IV. KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil pengujian yang telah dilaksanakan dan pembahasan yang telah dilakukan di atas tersebut, maka dapat diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Hasil pengujian pengaruh penambahan serat karbon kedalam beton dalam upaya meningkatkan kuat desak beton, kuat tarik belah beton dan kuat lentur beton terhadap beton normal adalah sebagai berikut.
 - a) Penambahan serat karbon sebesar 0,4% dari berat beton normal mampu meningkatkan kuat desak beton, yaitu pada panjang serat 15mm dengan Viscocrete-3115 N sebesar 45,32%.
 - b) Penambahan serat karbon sebesar 0,4% dari berat beton normal mampu meningkatkan kuat tarik belah beton, yaitu pada Panjang serat 15mm dengan Viscocrete-3115 N sebesar 73,294%.

- c) Penambahan serat karbon sebesar 0,4% dari berat beton normal mampu meningkatkan kuat lentur beton, yaitu pada panjang serat 15mm dengan Viscocrete-3115 N sebesar 78,83%.

- 2) Hasil pengujian pengaruh penambahan serat karbon kedalam beton terhadap modulus elastisitas beton terhadap modulus elastisitas beton normal, yaitu penambahan serat karbon sebesar 0,4% dari berat beton normal meningkatkan modulus elastisitas beton, peningkatan terbesar ada pada penambahan panjang serat 15mm dengan Viscocrete-3115 N sebesar 20,566%.
- 3) Hasil pengujian penambahan serat karbon kedalam beton mampu menjaga berat sendiri beton, yaitu berat jenis beton serat di antara 2,3-2,4 T/m³. Meski secara keseluruhan, berat jenis beton seratnya berada di 2,3 T/m³.

2. Saran

Penelitian yang sudah terlaksana ini tentunya masih sangat jauh dari kata sempurna, dan dalam usaha dan upaya untuk memperbaiki dan menyempurnakan hasil-hasil penelitian dan untuk mengembangkan dan melanjutkan penelitian ini lebih lanjut, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- 1) Pada penelitian berikutnya sangat disarankan untuk melanjutkan variasi panjang serat karbon mulai dari 15mm dan seterusnya hingga menemukan nilai optimum panjang seratnya.
- 2) Menjadikan penambahan Sika Viscocrete-3115N sebagai variasi, sehingga didapatkan nilai optimumnya.
- 3) Menyiapkan alat pemotong serat yang lebih presisi dan dengan produktifitas yang lebih tinggi.
- 4) Mencari tahu metode dan cara-cara perlakuan/pengkondisian terhadap serat karbon yang lebih baik dan benar sebelum dilakukannya pencampuran dengan beton.
- 5) Pada saat proses penyiapanan agregat hingga pengujian sampel, pastikan setiap kegiatan terdokumentasi dengan baik, bisa dengan memberikan tugas khusus kepada seseorang untuk melakukan dokumentasi sejak awal hingga akhir proses.

REFERENSI

- [1] S. Melinda, S. O. Dapas, and M. D. . Sumajouw, "Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur Dan Batu Apung Sebagai

- Bahan Pengganti Sebagian Semen,” *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 5, pp. 671–678, 2020.
- [2] D. H. Setiaji, S. Riyanto, and D. Novianto, “Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton,” *J. JOS-MRK*, vol. 2, no. 2, pp. 175–181, 2021, doi: 10.55404/jos-mrk.2021.02.02.175-181.
- [3] F. Aulia, R. Roestaman, and E. Walujodjati, “Pengaruh Perkuatan Beton Menggunakan CFRP Terhadap Kuat Tekan,” *J. Konstr.*, vol. 19, no. 1, pp. 128–136, 2021, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.899.
- [4] D. Maryani and A. Lisantono, “Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanik Beton Expanded Polystyrene,” *J. Tek. Sipil*, vol. 17, no. 3, pp. 208–214, 2023, doi: 10.24002/jts.v17i3.7887.
- [5] A. Siswanto, “Pengaruh Fiber Baja pada Kapasitas Tarik dan Lentur Beton,” *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 193–199, 2011.
- [6] H. Nakagawa, S. Akihama, and F. T. Mahi, *Fiber Reinforced Cement Composites* ☆. McGraw- Hill, Inc, United States, 2017. doi: 10.1016/b978-0-12-803581-8.03969-2.
- [7] W. Perceka, H. S. Djayaprabha, and S. N. Rizkiani, “Aplikasi High Performance Fiber Reinforced Concrete sebagai Material Berkelanjutan: Ikhtisar,” *J. Sustain. Constr.*, vol. 1, no. 2, pp. 33–42, 2022, doi: 10.26593/josc.v2i1.5275.