

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

Yesa Kristiandono¹, Suharyatma²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: yesakristian@gmail.com

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: suharyatma@uii.ac.id

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

1. 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. Di Indonesia penggunaan yang serupa bisa dilihat pada beberapa bangunan kuno yang tersisa. Benteng Indrapatra 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. 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 meningkatkan kuat tekan, kuat tarik dan kuat lenturnya. Dengan sifat serat karbon yang kuat (hingga 3800 Mpa) 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. 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.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian ini dicantumkan beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya yang dianggap memiliki keterkaitan sehingga dapat dijadikan sebagai studi pustaka, yaitu adalah sebagai berikut ini :

1. Pu-Woei Chen dan D.D.L Chung (1992) telah melakukan penelitian mengenai “*Concrete Reinforced with Up to 2,0 vol% of Short Carbon Fibres*” Dalam percobaan ini menggunakan campuran 0,5% serat karbon, 0,5% tersebut dari berat semen atau 0,189% dari berat beton sampelnya. Bila dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran mengalami peningkatan kekuatan lentur (*Flexural Strength*) sebesar 85%, ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*) sebesar 205% dan peningkatan kuat tekannya (*Compressive strength*) sebesar 22% dalam usia beton 28 hari dengan peningkatan biaya sebesar 39%.

Selain itu, mereka juga melakukan percobaan dengan teknik *air entrainer*, yaitu suatu teknik agar terdapat banyak gelembung dalam beton tersebut. Teknik tersebut diaplikasikan kepada campuran

beton karbon dengan campuran yang sama dan kepada beton tanpa campuran serat karbon dan dihasilkan peningkatan kekuatan lentur (*Flexural Strength*) sebesar 79%, ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*) sebesar 53% dan peningkatan kuat tekannya (*Compressive strength*) sebesar 95% dalam usia beton 28 hari terhadap beton tanpa campuran serat karbon dengan teknik *air entrainer*.

Karena perlakuan-perlakuan tersebut, maka campuran tersebut sangat efektif untuk meningkatkan kekuatan lentur (*Flexural Strength*) dalam menggunakan atau tidak menggunakan teknik *air entrainer*, tapi sangat efektif dalam meningkatkan ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*) selama tidak menggunakan teknik *air entrainer*. Peningkatan ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*) sekaligus juga akan meningkatkan kekuatan lentur (*Flexural Strength*) dan juga daktilitas.

Selain itu campuran serat karbon yang efektif untuk meningkatkan kekuatan lentur (*Flexural Strength*) sebesar 0,1% dari berat semen dan dibawah 0,1% dari berat semen masih efektif untuk meningkatkan ketangguhan lentur (*Flexural Toughness*). Memakai panjang serat optimum antara 7mm hingga 12mm dengan faktor air semen (FAS) sebesar 0,5 dengan slump 102mm tanpa teknik *air entrainer*, sedangkan dengan teknik *air entrainer* nilai slumpnya sebesar 50,8mm dan faktor air semen (FAS) 0,45. Dan untuk beton normalnya tanpa campuran serat karbon dengan faktor air semen (FAS) yang sama, slumpnya adalah 152mm.

2. Norazman Mohamad Nor, Mohd Hanif Ahmad Boestamam dan Mohammed Alias Yusof (2013) telah melakukan penelitian mengenai “*Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP) as Reinforcement for Concrete Beam*” Dalam penelitian ini mereka membuat 3 kelompok balok yang akan diuji, yaitu Tipe1 (balok/benda uji kontrol) : Balok dengan panjang 600mm, lebar 150mm dan tebal 150mm dengan 2 baja tulangan berdiameter 12mm dengan kuat tariknya sebesar 371 MPa dan modulus elastisitas sebesar 204 kN/mm² diletakkan di bagian bawah balok dengan tebal kulit beton

setebal 25mm; Tipe2 : Balok dengan dimensi yang sama namun baja tulangan digantikan dengan serat karbon dengan dimensi panjang 450mm, lebar 60mm dan tebal 4,5mm diletakkan dibagian bawah balok dengan tebal lapisan kulit beton sebesar 25mm; dan Tipe3 : Dimensi balok sama tanpa baja tulangan dan digantikan dengan serat karbon dengan dimensi yang sama dengan yang ada pada Tipe2, serat karbon diletakkan dibagian bawah balok tanpa ada lapisan kulit beton sama sekali.

Sehingga dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan CRFP dapat digunakan sebagai penguat untuk balok beton pada bagian tarik. Balok yang diperkuat dengan CRFP dapat menahan dengan baik beban lentur. Ikatan antara CRFP dengan beton memiliki peranan yang sangat penting, oleh karena itu lapisan beton yang melapisi CRFP sangat diperlukan untuk struktur yang baik. Kemampuan dan perilaku balok yang diperkuat dengan CRFP sebanding dengan balok yang diperkuat dengan baja tulangan.

3. Dr. Abdulkader Ismail A, Dr. Ibrahim Ahmed S dan Eng. Noor Salah Najim (2013) Dari penelitian yang mereka lakukan dengan judul "*Mechanical Properties of Carbon Fiber Lightweight Aggregate Concrete Containing Acrylic Polymer*" dapat diketahui bahwa kuat tekan beton normal dengan campuran berdasarkan volume (1:1,5:2) didapatkan kuat tekan sebesar 19,31 MPa pada 28 hari dan 22,54 MPa pada 56 hari. Dengan penambahan cacahan serat karbon dengan panjang 5mm dapat meningkatkan kuat tekan hingga 30 MPa pada usia 56 hari.

Kekuatan lentur pada beton normal adalah 3,5 MPa pada usia 28 hari dan 3,6 MPa pada usia 56 hari. Dengan menambahkan cacahan serat karbon dengan panjang 5mm meningkatkan kuat lenturnya hingga 4,88 pada usia 56 hari. Kuat belahnya pada beton normal adalah 1,7 MPa pada usia 28 hari dan 1,98 MPa pada usia 56 hari. Dengan menambahkan cacahan serat karbon dengan panjang 5mm meningkatkan kuat belahnya hingga 3,14 pada usia 56 hari.

Dari hasil di atas terlihat jelas bahwa penambahan serat karbon yang cukup dapat digunakan sebagai material untuk beton ringan, karena berat jenis serat karbon yang rendah dan kuat tarik yang tinggi dari serat karbon itu sendiri. Hal tersebutlah yang berdampak pada meningkatnya kuat desak beton, kuat lentur beton dan kuat belah beton.

4. E. Mello, C. Ribellato dan E. Mohamedelhassan (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "*Improving Concrete Properties with Fibers Addition*" yang hasilnya dapat didapati nilai optimum penambahan serat karbon sebesar 0,4% dari berat beton normal dan mampu meningkatkan kuat lentur sebesar 45,5%, kuat belah sebesar 11,3% namun kuat desak turun sebesar 2,1%. Nilai optimum penambahan serat karbon inilah yg menjadi dasar penambahan serat karbon dalam penelitian ini.

3. LANDASAN TEORI

Beton adalah campuran semen portland (Portland Cemen/PC) atau dapat berupa semen hidraulis lainnya, agregat kasar dan halus, air, dan dengan atau tanpa bahan tambah. Bahan-bahan yang ditambahkan dapat berupa bahan kimia, serat, atau bahan buangan (limbah) non-kimia, menurut SNI-2847-2013.

Semen adalah suatu bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Dalam pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeringkan dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Mulyono, 2004).

Nawy (1985) menyatakan agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada komposisi beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat.

Tjokrodimuljo (1992) menyatakan bahwa air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Serat karbon adalah bahan yang terdiri dari serat yang sangat kecil dengan diameter serat $\pm 7 \mu\text{m}$ dan sebagian besar terdiri dari atom karbon. Karakteristik dari serat karbon antarlain: tegangan tarik $360 \pm 50 \text{ kg/mm}^2$, modulus elastisitas $23.500 \pm 1.000 \text{ kg/mm}^2$, massa jenis $1,75 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ (Sutrisno, 2015).

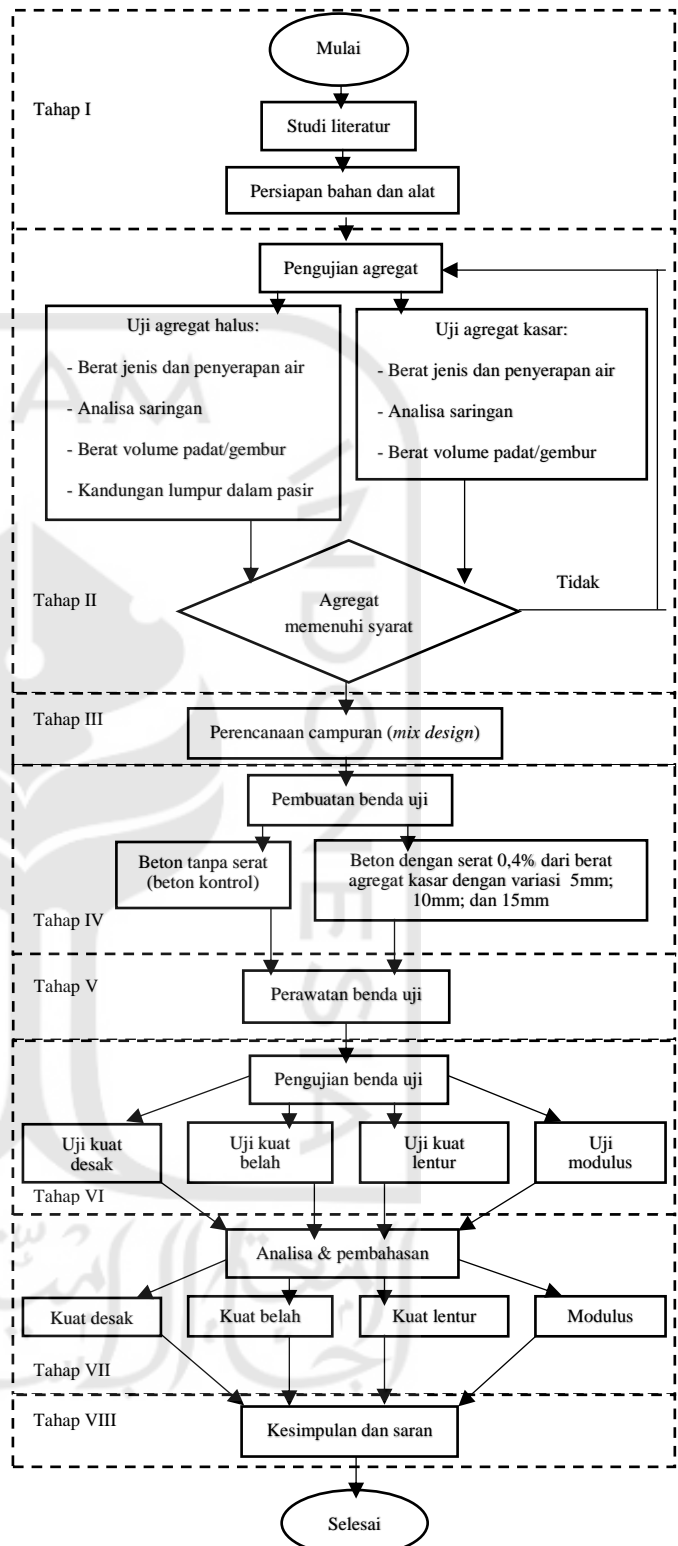
Agus Edy Pramono (2012), komposit yang dibuat dari serat karbon lima kali lebih kuat daripada baja untuk komponen struktur, juga masih lima kali lebih ringan.

Product Data Sheet Sika Viscocrete-3115 N (2016), Sika Viscocrete-3115 N adalah *super-plasticizer* generasi ke-3 untuk mortar dan beton. Dikembangkan untuk produksi beton yang mudah mengalir dengan mengurangi retensi kemampuan mengalirnya (*High flow concrete / Self-Compacting concrete (SCC)*) dan secara signifikan mengurangi *bleeding* dan segregasi.

Kuat tekan beton merupakan perbandingan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kekuatan beton di dalam tarik adalah juga suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Dan kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya yang arahnya tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda itu patah. Menurut (Wang, Chu Kia. dkk (1990).

Modulus elastisitas adalah kemiringan dari diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier (Smith, 1980).

4. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 4.1 Metode Penelitian

5. ANALISIS 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.

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%
SS''	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	-

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan *Mix-Design*

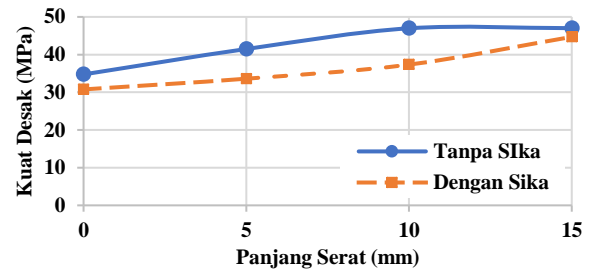
2. Pengujian Kuat Desak Beton

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

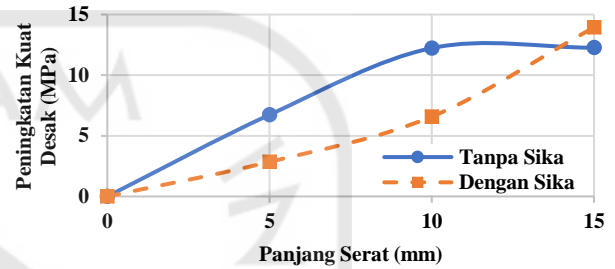
Jenis Benda Uji	Kuat Desak (MPa)				Besarnya Kenaikan (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	33,86	31,29	27,14	30,76	0	0
BTS''	33,13	35,50	35,62	34,75	0	0
S5	32,83	37,19	30,81	33,61	2,85	9,26
S''5	42,41	40,63	41,40	41,48	6,73	19,37
S10	34,67	38,17	39,20	37,35	6,59	21,40
S''10	44,97	47,86	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

Tabel 5.2 Kuat Desak

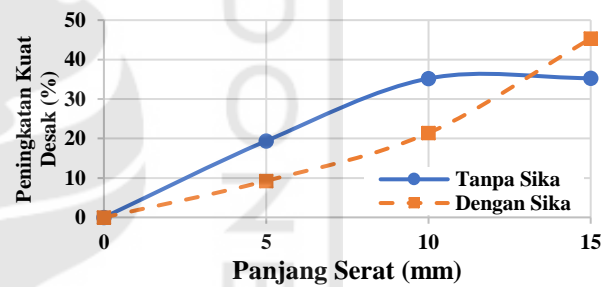
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat desak beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.1 rata-rata kuat desak, Gambar 5.2 peningkatan kuat desak dalam MPa dan Gambar 5.3 peningkatan kuat desak dalam persen.



Gambar 5.1 Rata-rata Kuat Desak



Gambar 5.2 Peningkatan Kuat Desak MPa



Gambar 5.3 Peningkatan Kuat Desak (%)

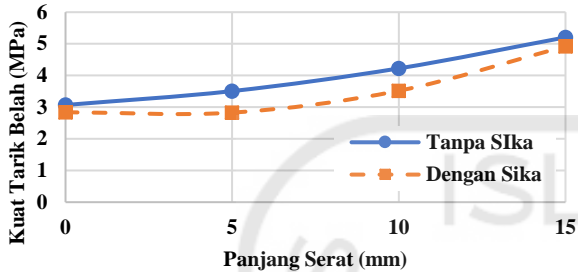
3. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

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

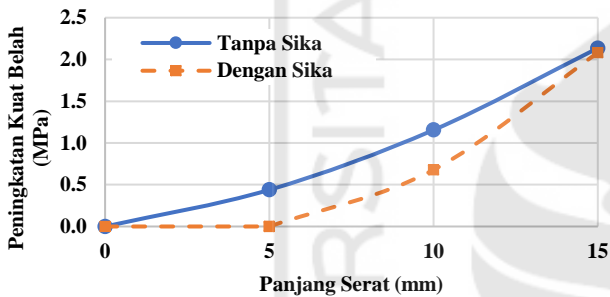
Jenis Benda Uji	Kuat Belah (Mpa)				Besarnya Kenaikan (Mpa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	2,82	2,68	3,02	2,84	0	0
BTS''	2,97	3,41	2,83	3,07	0	0
S5	3,07	2,79	2,62	2,83	0	0
S''5	3,07	3,97	3,49	3,51	0,439	14,298
S10	3,61	3,09	3,85	3,52	0,679	23,894
S10''	4,32	4,31	4,04	4,22	1,155	37,638
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

Tabel 5.3 Kuat Belah

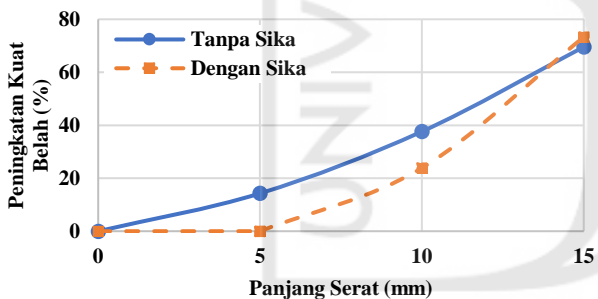
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat belah beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.4 rata-rata kuat belah, Gambar 5.5 peningkatan kuat belah dalam MPa dan Gambar 5.6 peningkatan kuat belah dalam persen.



Gambar 5.4 Rata-rata Kuat Belah



Gambar 5.5 Peningkatan Kuat Belah MPa



Gambar 5.6 Peningkatan Kuat Belah (%)

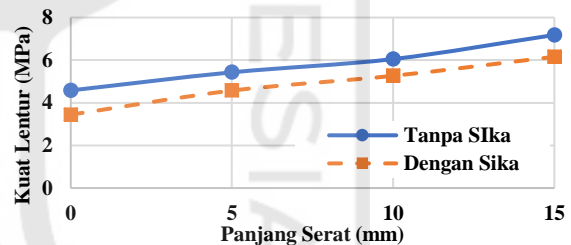
4. Pengujian Kuat Lentur Beton

Tabel 5.4 berikut ini adalah hasil pengujian kuat lentur beton.

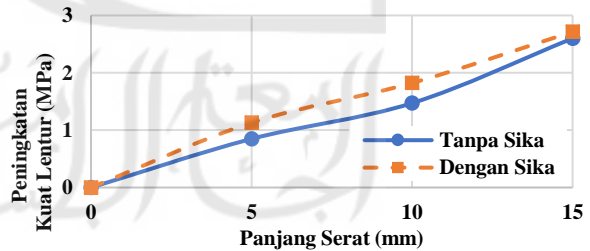
Jenis Benda Uji	Kuat Lentur						Besarnya Kenaikan (Mpa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	X1	X2	Rata-rata		
BTS	3,25	3,28	3,80			3,44	0	0
BTS''	4,17	4,72	4,86			4,59	0	0
S5	4,79	4,06	5,27	3,66	5,09	4,57	1,13	32,79
S5''	6,22	5,11	5,53	5,34	4,95	5,43	0,85	18,51
S10	5,58	5,86	5,42	4,77	4,69	5,27	1,82	52,92
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

Tabel 5.4 Kuat Lentur

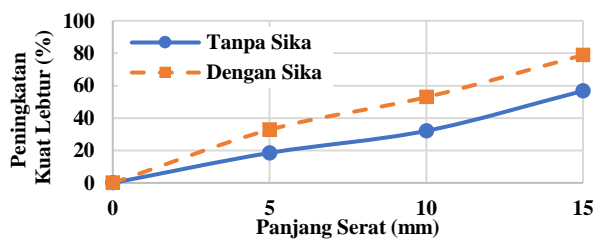
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian kuat lentur beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.7 rata-rata kuat lentur, Gambar 5.8 peningkatan kuat lentur dalam MPa dan Gambar 5.9 peningkatan kuat lentur dalam persen.



Gambar 5.7 Rata-rata Kuat Lentur



Gambar 5.8 Peningkatan Kuat Lentur MPa



Gambar 5.9 peningkatan kuat lentur (%)

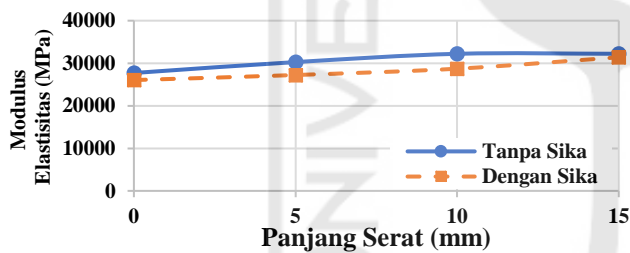
5. Pengujian Modulus Elastisitas

Hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

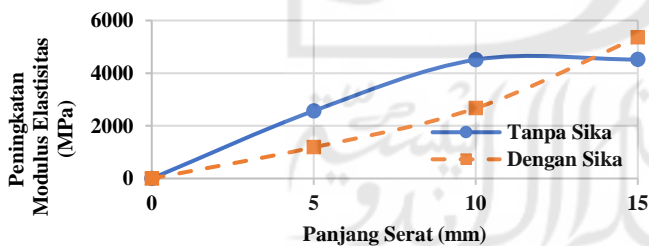
Jenis Benda Uji	Modulus Elastisitas (MPa)				Besarnya Kenaikan (MPa)	Persentase Kenaikan (%)
	1	2	3	Rata-rata		
BTS	27349.45	26290.73	24483.87	26041.35	0.00	0
BTS"	27053.66	28002.19	28050.95	27702.27	0.00	0
S5	26929.84	28661.15	26090.17	27227.06	1185.70	4.5531607
S"5	30608.89	29958.42	30242.90	30270.07	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

Tabel 5.5 Modulus Elastisitas

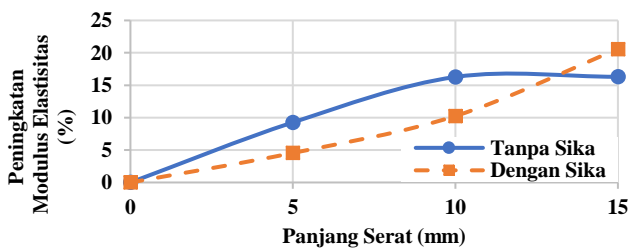
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian modulus elastisitas beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.10 rata-rata modulus elastisitas, Gambar 5.11 peningkatan modulus elastisitas dalam MPa dan Gambar 5.12 peningkatan modulus elastisitas dalam persen.



Gambar 5.10 Rata-rata Modulus Elastisitas



Gambar 5.11 Peningkatan Modulus MPa



Gambar 5.12 Peningkatan Modulus (%)

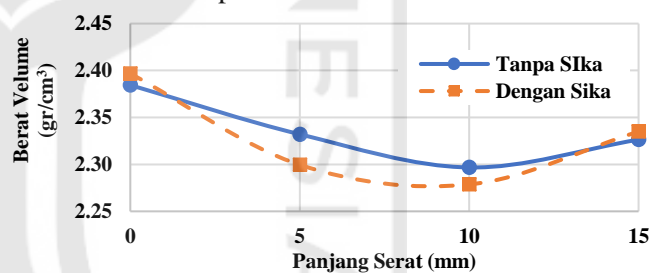
6. Pengujian Berat Volume Beton

Tabel 5.6 berikut ini adalah hasil pengujian berat volume beton.

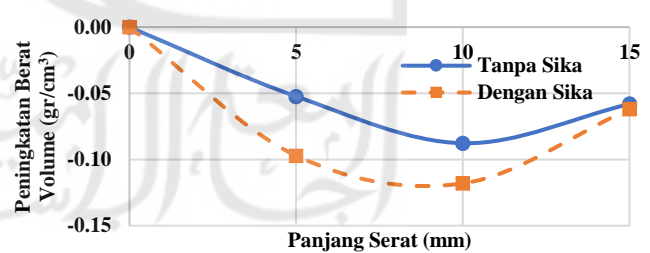
Jenis Benda Uji	Berat Volume Rata-rata (gr/cm ³)	Slump (cm)	Besar Penurunan (gr/cm ³)	Persentase Penurunan (%)
BTS	2,4	28	0	0
BTS"	2,38	16	0	0
S5	2,3	15	-0,097	-4,054
S"5	2,33	12	-0,052	-2,196
S10	2,28	12,5	-0,118	-4,927
S10"	2,3	10	-0,088	-3,679
S15	2,33	9	-0,062	-2,581
S15"	2,33	6	-0,058	-2,438

Tabel 4.6 Berat Volume

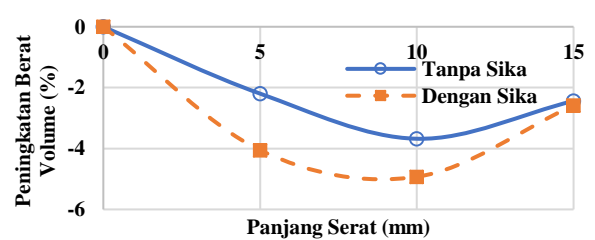
Berikut ini adalah grafik hasil pengujian berat volume beton berturut-turut, yaitu Gambar 5.13 rata-rata berat volume beton, Gambar 5.14 peningkatan berat volume dalam MPa dan Gambar 5.15 peningkatan berat volume persen.



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.

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 (Balaguru dan Shah, 1992).

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. 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 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 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 ±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.

6. SIMPULAN DAN SARAN

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.

7. DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, 2000, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000), Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2004, Semen Portland (SNI 15-2049-2004), Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013), Jakarta.

Balaguru, Perumalsamy N dan Shah, Surendra P, 1992, Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill, Inc, United States.

Mulyono, T., 2004, Teknologi Beton, Andi, Yogyakarta.

Nawy, Edward G., 1985, Beton Bertulang. Suatu Pendekatan Dasar, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, 1990, PT ERESKO, Bandung.

Nugrah, Paul, dan Antoni, 2007, Teknologi Beton. Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi, Andi. Yogyakarta.

Smith. M. J., 1980, Bahan Konstruksi Dan Struktur Teknik, Terjemahan oleh Ismoyo, 1985, Erlangga, Jakarta.

Tjokrodinuljo, K., 1992, Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Wang, Chu-Kia dan Salmon, Charles G., 1990, Desain Beton Bertulang. Terjemahan oleh Hariandja, Binsar, Erlangga, Jakarta.

Chen, Pu-Woei and Chung, 1992, Concrete Reinforced with 0,2 vol% of Short Carbon Fiber, State University of New York at Buffalo, USA.

Smith. M. J., 1980, "Bahan Konstruksi Dan Struktur Teknik, Terjemahan oleh Ismoyo", 1985, Erlangga, Jakarta.

Mohamad Nor, Norazman., Ahmad Boestamam, Mohd Hanif., dan Alias Yusof, Mohammed., 2013, Carbon Fiber

Reinforced Polymer (CRFP) as Reinforced for Concrete Beam, Universiti Pertahanan Nasional Malaysia, 57000 Kuala Lumpur, Malaysia 2Malaysian Army, 50634 Kuala Lumpur, Malaysia

Ismail A, Abdulkader., Ahmed S, Ibrahim., dan Najim, Salah Noor, 2013, Mechanical Properties of Carbon Fiber Lightweight Aggregate Concrete Containing Acrylic Polymer, Dams and water Resources Department and Civil Engineering Department College of Engineering- University of Anbar

Mello, E., Ribellato, C., dan Mohamedlhassan, E., 2014, Improving Concrete Properties with Fiber Addition, World Academy of Science, Engineering and Technology

Galao, Oscar., Banon, Luis., Baeza, Francisco Javier., Carmona, Jesus., dan Garces, Pedro., 2016, Highly Conductive Fiber Reinforced Concrete for Icing Prevention and Curing, Civil Engineering Department, University of Alicante, Ctra. San Vicente s/n, San Vicente del Raspeig 03690, Spain

Pramono, Agus Edy, 2012, Karakteristik Komposit Karbon-Karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas, Fakultas Teknik, Program Doktor Universitas Indonesia, Depok.

Sutrisno, 2015, Analisa Sifat dan Ketahanan Bakar Nano Komposit Geomaterial- Serat Karbon-Phenolyc, Program Pasca Sarjana Univeritas Brawijaya, Malang.

Huang, Xiaosong, 2009, Fabrication and Properties of Carbon Fibers, Chemical Sciences & Materials Systems Laboratory, General Motors Research & Development Center, 30500 Mound Road, Warren, MI 48090-9055, USA.

Maliq Carbon Indonesia Composite Material, 2017, Technical Data Sheet for 3K Carbon Fiber Fabric 240gsm, Sleman

Sika, 2016, Product Data Sheet Sika Viscocrete-3115 N, Jakarta