

BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 HASIL PENGUJIAN AGREGAT

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan penyusun beton yang dalam hal ini disebut agregat. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk mencari tahu apakah agregat tersebut memenuhi syarat-syarat yang ada apabila akan digunakan untuk campuran beton (*mix design*) yang akan dijadikan sebagai sampel benda uji.

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Uji-uji yang akan dilakukan terhadap agregat halus yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, pengujian analisa saringan/Modulus Halus Butir (MHB), pengujian berat volume padat/gembur agregat halus, serta pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir).

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	483,6	460,1	471,85
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1056	1043,3	1049,65
Berat piknometer berisi air, gram (B)	733	733,4	733,2
Berat jenis curah, gram/cm ³ (1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,732	2,42	2,58
Berat jenuh kering muka, gram/cm ³ (2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,825	2,64	2,73
Berat jenis semu (3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	3,011	3,07	3,04
Penyerapan air, % (4) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	3,391	8,77	6,04

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \\
 &= \frac{483,6}{(733 + 500 - 1056)} \\
 &= 2,732 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Berat jenis kering muka(SSD)} &= \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \\
 &= \frac{500}{(733 + 500 - 1056)} \\
 &= 2,825 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \\
 &= \frac{474,5}{(733 + 483,6 - 1056)} \\
 &= 3,011 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 483,6)}{483,6} \times 100\% \\
 &= 3,391\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel ke-2 juga dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{Berat jenis sampel 1} + \text{Berat jenis sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(2,825 + 2,630)}{2} \\
 &= 2,728 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6) \text{ Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{Penyerapan sampel 1} + \text{Penyerapan sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(3,391 + 8,672)}{2} \\
 &= 6,032\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil bahwa berat jenis kering muka (*SSD*) agregat halus adalah sebesar 2,728 gram/cm³ dimana data berat jenis kering muka (*SSD*) ini akan dipergunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) nantinya. Selain itu juga diketahui rasio rata-rata penyerapan air agregat halusnya adalah sebesar 6,032%.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Hasil pengujian analisa saringan/modulus halus butir (MHB) agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,000	0,000	100,000
4,8	145,9	7,31	7,31	92,69
2,4	117,6	5,89	13,19	86,81
1,2	271	13,57	26,77	73,24
0,6	594,4	29,77	56,53	43,47
0,3	519,2	25,99	82,52	17,48
0,15	279,8	14,01	96,53	3,47
Sisa	69,30	3,47	100	0
Jumlah	1997,2	100	382,84	-

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,000	0,000	100,000
4,8	144,5	7,23	7,23	92,77
2,4	118,7	5,94	13,17	86,84
1,2	270	13,50	26,67	73,34
0,6	595,4	29,78	56,43	43,57
0,3	520,2	26,01	82,45	17,56
0,15	280,8	14,05	96,49	3,52
Sisa	70,3	3,52	100	0
Jumlah	2000	100	382,41	-

a. Analisis Perhitungan

1) Berat tertinggal dalam gram (diperoleh dari pengujian)

$$2) \text{ Berat tertinggal (\%)} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a) Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{145,9}{2000} \times 100\% \\ &= 7,4052\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{117,6}{2000} \times 100\% \\ &= 5,8882\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{271}{2000} \times 100\% \\ &= 13,5690\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{594,4}{2000} \times 100\% \\ &= 29,7617\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{519,2}{2000} \times 100\% \\ &= 25,9964\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{279,8}{2000} \times 100\% \\ &= 14,0096\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Sisa} &= \frac{69,3}{2000} \times 100\% \\ &= 3,4699\% \end{aligned}$$

3) Berat tertinggal kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 10 mm} = 0\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 4,80 mm} = 0 + 7,4052 = 7,4052\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 2,40 mm} = 7,4052 + 5,8882 = 13,1935\%$$

$$\text{d) Lubang ayakan 1,20 mm} = 13,1935 + 13,5690 = 26,7625\%$$

$$\text{e) Lubang ayakan 0,60 mm} = 26,7625 + 29,7617 = 56,5241\%$$

$$\text{f) Lubang ayakan 0,30 mm} = 56,5241 + 25,9964 = 82,5205\%$$

$$\text{g) Lubang ayakan 0,15 mm} = 82,5205 + 14,0096 = 96,5301\%$$

4) Persen lolos kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 10 mm} = 100 - 0 = 100\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 4,80 mm} = 100 - 7,3052 = 92,6948\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 2,40 mm} = 100 - 13,1935 = 86,8065\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) Lubang ayakan 1,20 mm} &= 100 - 26,7625 = 73,2375\% \\
 \text{e) Lubang ayakan 0,60 mm} &= 100 - 56,5241 = 43,4759\% \\
 \text{f) Lubang ayakan 0,30 mm} &= 100 - 82,5205 = 17,4795\% \\
 \text{g) Lubang ayakan 0,15 mm} &= 100 - 96,5301 = 3,4699\% \\
 \text{5) Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{382,8360}{100} \\
 &= 3,828360
 \end{aligned}$$

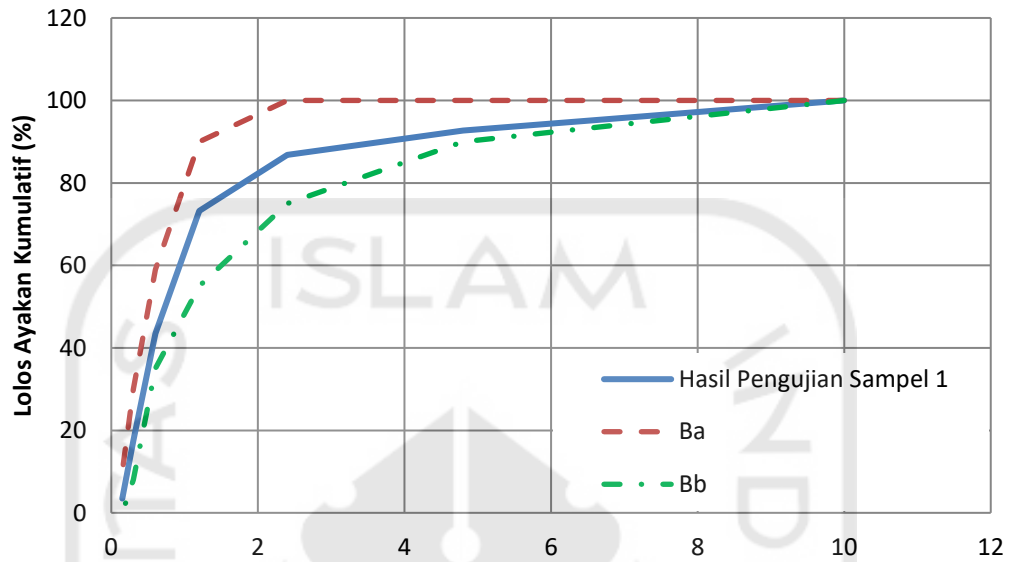
Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{6) Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{382,4091205}{100} \\
 &= 3,824091205
 \end{aligned}$$

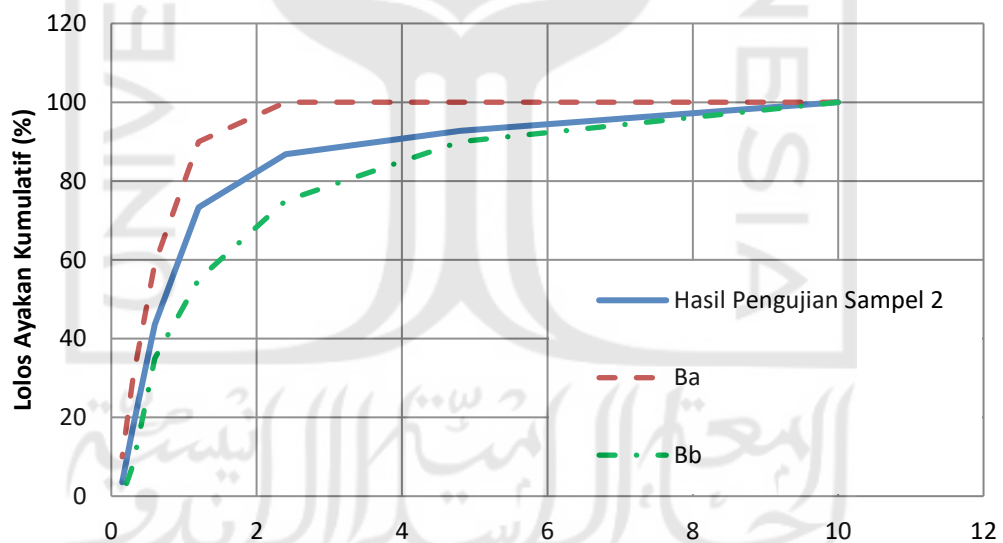
Maka nilai rata-rata Modulus Halus Butir (MHB) yaitu.

$$\begin{aligned}
 \text{7) MHB rata-rata} &= \frac{(\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(3,828360 + 3,824091205)}{2} \\
 &= 3,82622545
 \end{aligned}$$

Dari hasil yang diperoleh di atas, Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut adalah kurva gradasi agregat halus.



Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 1



Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 2

b. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilaksanakan, dapat diketahui bahwa modulus halus butir (MHB) adalah sebesar 3,82622545 dan agregat halus tersebut masuk ke daerah II yang merupakan pasir agak kasar.

3. Hasil Pengujian Berat Isi Gembur dan Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil pengujian berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	10601	10589	10595
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	17540	17689	17695
Berat Agregat, gram (w3)	6939	7100	7019,5
Volume tabung, cm ³ (V)	5143,81	5143,81	5143,81
Berat volume gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,35	1,38	1,37

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	10865	10905	10885
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	18840	18500	18670
Berat Agregat, gram (w3)	7975	7595	7785
Volume tabung, cm ³ (V)	5143,81	5143,81	5143,81
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,55	1,477	1,52

a. Analisis Perhitungan

1) Berat isi gembur agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat,} \quad w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 17540 - 10601 \\
 &= 6939 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung,} \quad V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,8^2 \times 29,9 \\
 &= 5143,805 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi gembur,} \quad W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{6939}{5143,805} \\
 &= 1,3491 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi gembur rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,3491 + 1,381)}{2} \\
 &= 1,3467 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat isi padat agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat,} \quad w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 18840 - 10865 \\
 &= 7975 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung,} \quad V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,8^2 \times 29,9 \\
 &= 5143,805 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi padat,} \quad W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{7975}{5143,805} \\
 &= 1,551 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\ &= \frac{(1,551 + 1,4766)}{2} \\ &= 1,51377 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b) Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat isi gembur agregat halus adalah sebesar 1,3491 gram/cm³ dan berat isi padat agregat halus adalah sebesar 1,51377 gram/cm³. Nilai berat isi gembur agregat halus lebih rendah dibandingkan dengan nilai berat isi padat agregat halus, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang tidak dipadatkan agregat memiliki ruang yang lebih lebar antar agregatnya dan tidak saling mengisi rongga-rongga yang kosong, hal ini dapat menyebabkan beton tidak kokoh dan menyebabkan kekeroposan pada beton. Sebaliknya, nilai berat isi padat agregat halus lebih tinggi dibandingkan nilai berat isi gembur agregat halus, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang dipadatkan agregat dapat saling mengisi rongga-rongga yang kosong sehingga dapat dihasilkan beton yang lebih kokoh dan terhindar dari kekeroposan.

4. Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)

Hasil pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	482,5	480,5	484,5
Berat yang lolos ayakan no. 200, % [(w1 - w2) / w1] x 100%	3,5	3,9	3,7

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 sampel 1} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 482,5}{500} \times 100\% \\
 &= 3,5\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 sampel 2} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 480,5}{500} \times 100\% \\
 &= 3,9\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 rata-rata} &= \frac{(\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(3,5 + 3,9)}{2} \\
 &= 3,7\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan di atas, diperoleh hasil bahwa kandungan lumpur rata-rata dalam pasir adalah sebesar 3,7%. Jadi, agregat halus tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan PBI 1971 yaitu batas maksimal kadar lumpur yang terkandung didalam agregat halus nya adalah sebesar 5%. Semakin tinggi kadar lumpurnya, maka semakin menurunkan kualitas beton yang duhasilkan, dikarena agregat yang dapat lolos pada ukuran saringan no. 200 tersebut cenderung berbentuk bulat (lumpur), sehingga daya kunci (*interlocking*) antar agregat kurang maksimal yang dapat berpengaruh pada kualitas beton.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Uji-uji yang akan dilakukan terhadap agregat kasar yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, pengujian analisa saringan/Modulus Halus Butir (MHB), pengujian berat volume padat/gembur agregat kasar.

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4918	4773,5	4845,750
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD) , gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3126	2998	3062
Berat jenis curah, gram/cm ³ Bk / (Bj - Ba) (1)	2,62	2,38	2,50
Berat jenuh kering muka, gram/cm ³ Bj / (Bj - Ba) (2)	2,67	2,5	2,58
Berat jenis semu Bk / (Bk - Ba) (3)	2,74	2,69	2,72
Penyerapan air, % (Bj - Bk) / Bk x 100% (4)	1,67	4,75	3,21

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{4918}{(5000 - 3126)} \\
 &= 2,624 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Berat jenis kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{5000}{(5000 - 3126)} \\
 &= 2,668 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \\
 &= \frac{4918}{(4918 - 3126)} \\
 &= 2,744 \text{ gram/cm}^3 \\
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(5000 - 4918)}{4918} \times 100\% \\
 &= 1,667\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{Berat jenis sampel 1} + \text{Berat jenis sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(2,668 + 2,498)}{2} \\
 &= 2,583 \text{ gram/cm}^3 \\
 6) \text{ Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{Penyerapan sampel 1} + \text{Penyerapan sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,667 + 4,745)}{2} \\
 &= 3,206\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil bahwa berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar adalah sebesar 2,583 gram/cm³ dimana data berat jenis kering muka (SSD) ini akan dipergunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) nantinya. Selain itu juga diketahui rasio rata-rata penyerapan air agregat halus adalah sebesar 3,206%.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Hasil pengujian analisa saringan/modulus halus butir (MHB) agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	3178	63,57	63,58	36,43
10	1520	30,41	93,98	6,03
4,8	279	5,58	99,56	0,4401
2,4	2	0,04	99,59	0,4001
1,2			99,59	0,4001
0,6			99,59	0,4001
0,3			99,59	0,4001
0,15			99,59	0,4001
Sisa	20	0,4001	100	0
Jumlah	4999	100	257,11	

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	3170	63,42	63,41	36,69
10	1519	30,39	93,8	6,2012
4,8	269	5,38	99,18	0,8202
2,4	21	0,42	99,59	0,4001
1,2			99,59	0,4001
0,6			99,59	0,4001
0,3			99,59	0,4001
0,15			99,59	0,4001
Sisa	20	0,41	100	0
Jumlah	4999	100	256,39	

a. Analisis Perhitungan

1) Berat tertinggal dalam gram (diperoleh dari pengujian)

$$2) \text{ Berat tertinggal (\%)} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$$

$$\text{a) Lubang ayakan 20 mm} = \frac{3178}{5000} \times 100\%$$

$$= 63,5727\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 10 mm} = \frac{1520}{5000} \times 100\%$$

$$= 30,4061\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 4,80 mm} = \frac{279}{5000} \times 100\%$$

$$= 5,5811\%$$

$$\text{d) Sisa} = \frac{20}{5000} \times 100\%$$

$$= 0,4001\%$$

3) Berat tertinggal kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 20 mm} = 0 + 63,5727 = 63,5727\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 10 mm} = 63,5727 + 30,4061 = 93,9788\%$$

$$\text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} = 93,9788 + 5,5811 = 99,5599\%$$

4) Persen lolos kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 40 mm} = 100 - 0 = 100\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 20 mm} = 100 - 63,5727 = 36,4273\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 10 mm} = 100 - 93,9788 = 6,0212\%$$

$$\text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} = 100 - 99,5599 = 0,4401\%$$

$$\text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} = 100 - 99,5999 = 0,4001\%$$

5) Modulus Halus Butir (MHB) = $\frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$$= \frac{257,1114}{100}$$

$$= 2,571114$$

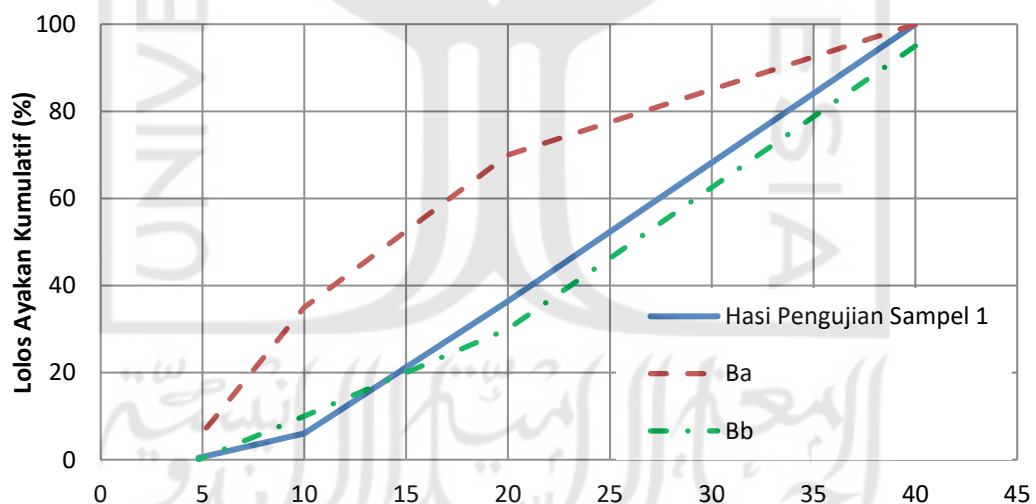
Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 6) \text{ Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{256,3913}{100} \\
 &= 2,563913
 \end{aligned}$$

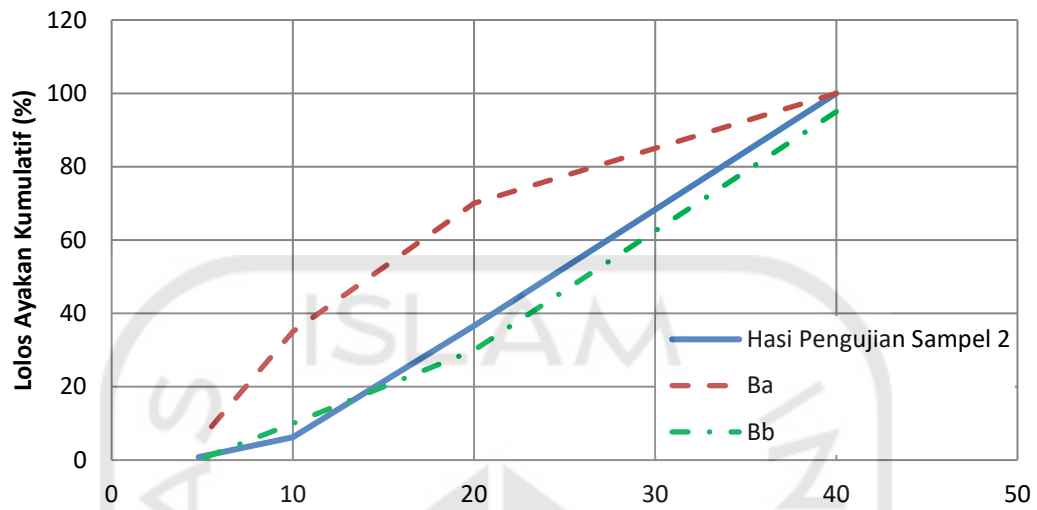
Maka nilai rata-rata Modulus Halus Butir (MHB) yaitu.

$$\begin{aligned}
 7) \text{ MHB rata-rata} &= \frac{(\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{2,571114 + 2,563913}{2} \\
 &= 2,5675135
 \end{aligned}$$

Dari hasil yang diperoleh di atas, Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut adalah kurva gradasi agregat kasar.



Gambar 5.3 Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 40 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 40 mm Sampel 2

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan dan analisis di atas, diketahui bahwa modulus halus butir (MHB) adalah sebesar 2,5675135 dan agregat kasar tersebut memiliki ukuran agregat maksimum 40 mm.

3. Hasil Pengujian Berat Isi Gembur dan Berat Isi Padat Agregat Kasar

Berikut ini adalah hasil dari pengujian berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut ini

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	10801	10845	10823
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	17850	17645	17612,5
Berat Agregat, gram (w3)	6779	6800	6789,5
Volume tabung, cm ³ (V)	5327,59	5327,59	5327,59
Berat volume gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,27	1,28	1,275

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	10850	10860	10855
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	18429	18560	18494,5
Berat Agregat, gram (w3)	7579	7700	7639,5
Volume tabung, cm ³ (V)	5327,59	5327,59	5327,59
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,42	1,45	1,435

a. Analisis Perhitungan

1) Berat isi gembur agregat kasar

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat,} \quad w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 17850 - 10801 \\
 &= 6779 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung,} \quad V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,35 \\
 &= 5327,59 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi gembur,} \quad W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{6779}{5327,592} \\
 &= 1,2724 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,2724 + 1,27637)}{2} \\
 &= 1,27439 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat isi padat agregat kasar

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat,} \quad w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 18429 - 10850 \\
 &= 7579 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung,} \quad V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,35 \\
 &= 5327,592 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

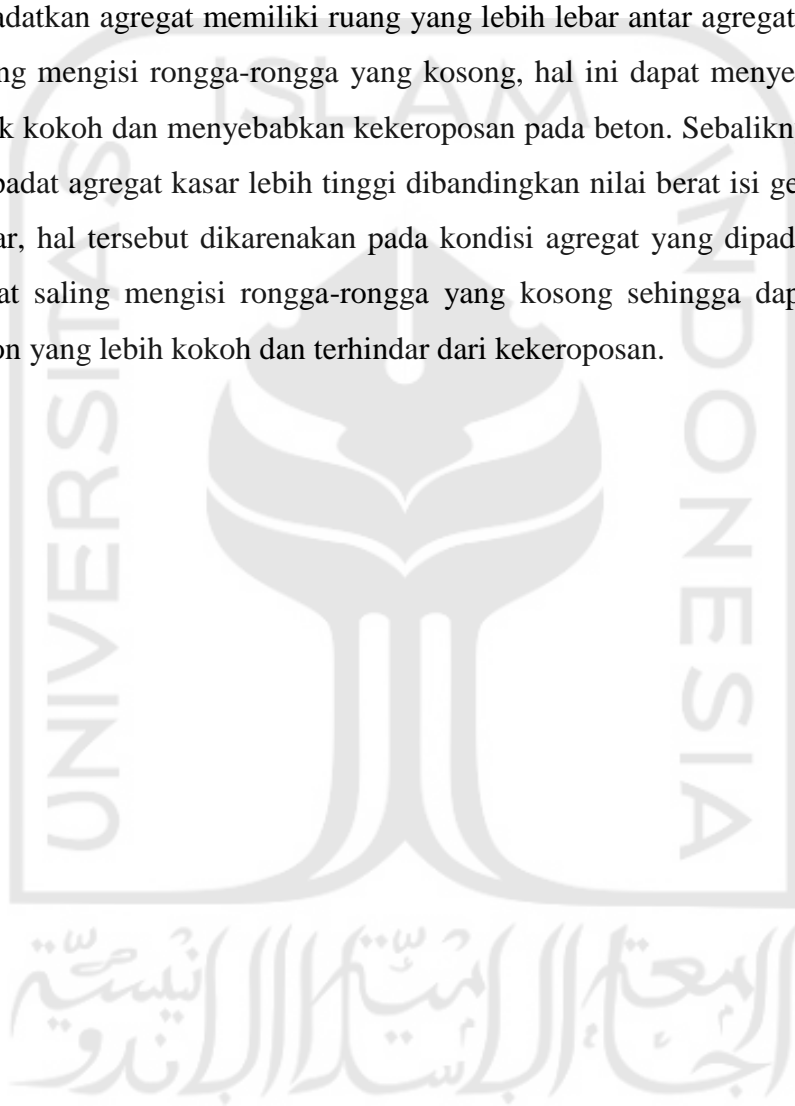
$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi padat,} \quad W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{7579}{5327,592} \\
 &= 1,42259 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,42259 + 1,44531)}{2} \\
 &= 1,43396 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

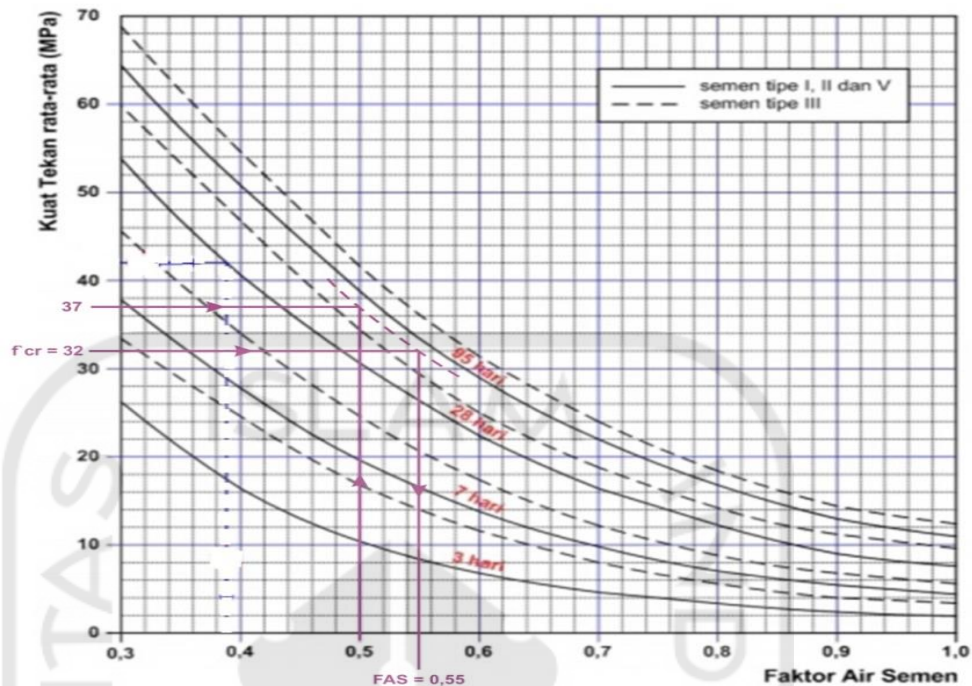
Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat isi gembur agregat kasar adalah sebesar $1,27439 \text{ gram/cm}^3$ dan berat isi padat agregat kasar adalah sebesar $1,43396 \text{ gram/cm}^3$. Nilai berat isi gembur agregat kasar lebih rendah dibandingkan dengan nilai berat isi padat agregat kasar, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang tidak dipadatkan agregat memiliki ruang yang lebih lebar antar agregatnya dan tidak saling mengisi rongga-rongga yang kosong, hal ini dapat menyebabkan beton tidak kokoh dan menyebabkan kekeroposan pada beton. Sebaliknya, nilai berat isi padat agregat kasar lebih tinggi dibandingkan nilai berat isi gembur agregat kasar, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang dipadatkan agregat dapat saling mengisi rongga-rongga yang kosong sehingga dapat dihasilkan beton yang lebih kokoh dan terhindar dari kekeroposan.



5.2 PERHITUNGAN RENCANA CAMPURAN BETON

Perencanaan campuran beton ini menggunakan atau berdasarkan metode SNI-03-2834-2000. Langkah-langkah dan cara-cara perhitungan rencana campuran beton (*mix design*) lihat subbab 3.7 untuk mendapatkan keterangan lebih lengkapnya. Berikut merupakan hasil dari perhitungan rencana campuran beton (*mix design*).

1. Kuat tekan/desak beton direncanakan yaitu, sebesar (f'_c) = 20 MPa, dengan benda uji berbentuk silinder.
2. Bahan pengikat berupa semen dan menggunakan semen portland Tipe I dengan merk Holcim.
3. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimal sebesar 40 mm (hasil pengujian analisa saringan)
4. Agregat halus yang digunakan memiliki susunan butiran yang masuk dalam gradasi no. 2 (hasil pengujian analisa saringan)
5. Pada penelitian beton serat ini sampelnya berjumlah 8, yang berarti sampelnya kurang dari 15, maka dari Tabel 3.7 dapat diambil nilai tambah kuat tekan/desak (M) sebesar 12 MPa.
6. Kuat tekan/desak beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.9. Sehingga didapatkan nilai f_{cr} yang digunakan adalah sebesar 32 MPa.
7. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Berdasarkan pada Tabel 3.8 dapat diperoleh nilai kekuatan tekan/desak benda uji berupa silinder beton saat berusia 28 hari yang berdasarkan pada jenis semen yang digunakan, yaitu portland tipe I dan jenis agregat kasar berupa batu pecah. Sehingga didapatkan nilai kekuatan tekan/desak (f'_c) silinder beton saat berusia 28 hari yang dipakai adalah 37 MPa.
 - b. Berdasarkan pada grafik (lihat Gambar 3.7) akan mendapatkan nilai Faktor Air Semen (FAS) pada saat beton silinder berusia 28 hari dan dengan dasar nilai f_{cr} (32 MPa) dan f_c dengan nilai FAS 0,5 pada Tabel 3.4 yang telah diketahui sebelumnya. Untuk hasil besaran nilai FAS saat f_{cr} (32 MPa) dapat diamati menggunakan Gambar 5.5 berikut:



Gambar 5.5 Nilai FAS saat f_{cr} (32 MPa)

Berdasarkan faktor air semen (FAS) yang didapatkan dari Gambar 5.5 di atas adalah sebesar 0,55. Nilai FAS ini harus memenuhi syarat jumlah kadar semen minimum dan faktor air semen maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 3.9. Pada penelitian ini lokasi penerapan beton yang direncanakan adalah beton akan digunakan untuk struktur di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari secara langsung, maka akan menggunakan nilai FAS maksimum yaitu 0,60. Dan nilai FAS yang dipergunakan adalah yang terkecil yaitu sebesar 0,55.

8. Menggunakan Slump rencana sebesar 60 – 180 mm.
9. Mengetahui kadar air bebas dengan menggunakan persamaan 3.10. Melalui Tabel 3.10 maka akan mendapatkan nilai W_h dan W_k yang berdasarkan pada ukuran agregat kasar maksimum yaitu 40 mm dan besar nilai slumpnya adalah 60 – 180 mm. Sehingga mendapatkan nilai untuk W_h adalah sebesar 175 dan W_k adalah sebesar 205.

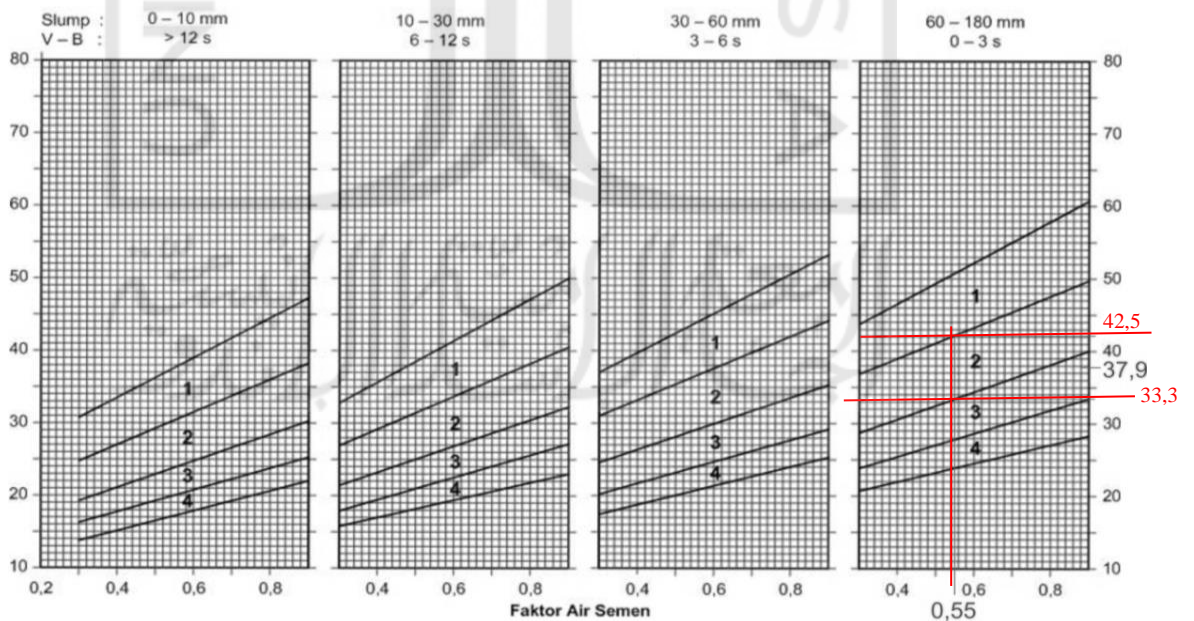
$$\begin{aligned}
 \text{Maka, nilai kadar air bebasnya adalah} &= \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\
 &= 185
 \end{aligned}$$

10. Jumlah semen yang akan dipakai per m³ beton
- Berdasarkan pada Tabel 3.9 dan berdasarkan perencanaan lokasinya yaitu beton akan dipergunkan di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari secara langsung, maka jumlah kadar semen minimum per m³ beton adalah 325 kg.
 - Dan menggunakan Persamaan 3.11 di atas, dan berdasarkan nilai kadar air bebas sebesar 185 dan dengan nilai FAS sebesar 0,55. Maka dapat dihitung,

$$\begin{aligned} \text{jumlah semen minimum per m}^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{185}{0,55} \\ &= 336,364 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan kedua langkah-langkah tersebut dipakai yang terbesar yaitu jumlah semen minimumnya per m³ beton adalah sebesar 336,364 kg/m³.

11. Menghitung jumlah persentase agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton, diketahui bahwa ukuran agregat kasar maksimumnya adalah 40 mm. Maka grafik yang akan digunakan adalah Gambar 3.9. Dengan dasar nilai slump rencana yaitu 60 – 180 mm dan susunan butiran agregat halus masuk pada gradasi no. 2 maka akan diperoleh nilai persentase agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Nilai Persentase Agregat Halus Untuk Ukuran Maksimum 40mm

Berdasarkan pada Gambar 5.6 di atas diperoleh persentase agregat halusnya adalah sebesar 42,5%. Untuk mendapatkan persentase nilai agregat kasarnya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.12.

$$\begin{aligned} \text{Maka, nilai prosentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 37,9\% \\ &= 62,1\% \end{aligned}$$

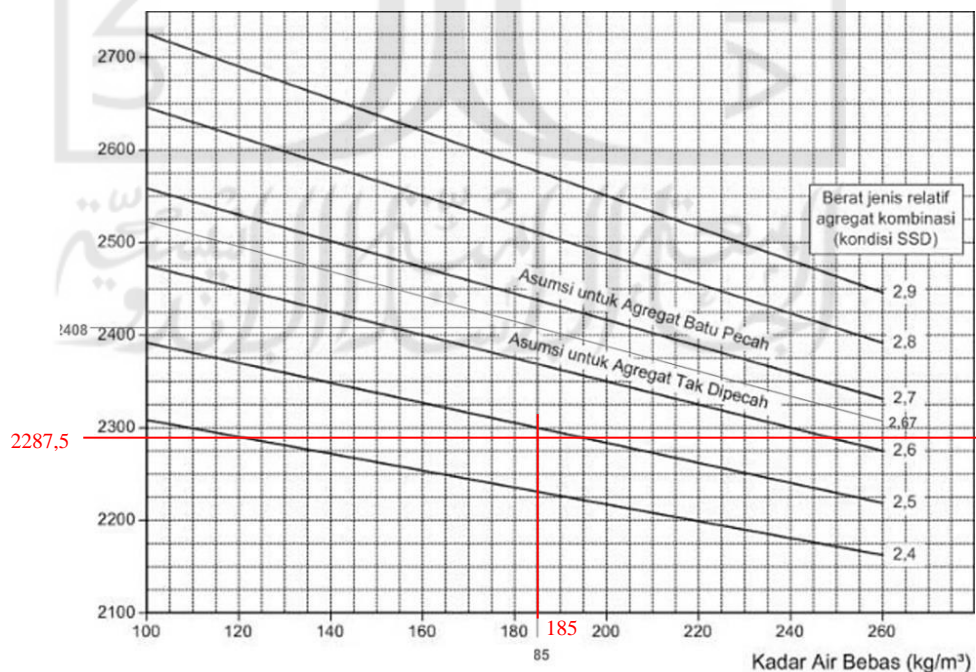
12. Untuk menghitung berat jenis gabungan dapat menggunakan Persamaan 3.13. Melalui pengujian yang telah dilakukan maka diketahui berat jenis masing-masing agregat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. Berat jenis agregat halus} &= 2,728 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{b. Berat jenis agregat kasar} &= 2,583 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung nilai berat jenis agregat gabungannya adalah:

$$\begin{aligned} \text{BJ}_{\text{ag.gab}} &= \left(\frac{\% \text{ ag.halus}}{100} \times \text{BJ}_{\text{ag.halus}} \right) + \left(\frac{\% \text{ ag.kasar}}{100} \times \text{BJ}_{\text{ag.kasar}} \right) \\ &= \left(\frac{37,9}{100} \times 2,728 \right) + \left(\frac{62,1}{100} \times 2,583 \right) \\ &= 2,63765 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

13. Berat isi beton dapat diketahui dengan menggunakan Gambar 3.10. Berdasarkan nilai kadar air bebas (185) dan berat jenis agregat gabungan (2,63765 gram/cm³) akan diperoleh nilai perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan, dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Nilai Berat Isi Beton

Berdasarkan Gambar 5.7 di atas maka berat isi betonnya adalah sebesar 2287,5 kg/m³.

14. Menghitung kadar agregat gabungannya dengan Persamaan 3.14.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2287,5 - 336,364 - 185 \\ &= 1766,136 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Menghitung kadar agregat halusnya dengan Persamaan 3.15.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{37,9}{100} \times 1766,136 \\ &= 669,366 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Menghitung kadar agregat kasarnya dengan Persamaan 3.16.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{62,1}{100} \times 1766,136 \\ &= 1096,771 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Proporsi campuran agregat kasar dan halus dalam kondisi *SSD*.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan di atas, didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut:

- a. Semen = 336,364 kg
- b. Air = 185 kg
- c. Agregat halus = 669,366 kg
- d. Agregat kasar = 1096,771 kg

18. Proporsi campuran pada setiap variasi

$$\text{Jumlah benda uji pada setiap variasi} = 6 \text{ silinder} + 3 \text{ balok}$$

$$\text{Terdiri dari 8 variasi, maka jumlah sampelnya} = 48 \text{ silinder} + 24 \text{ balok}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 6 silinder (D = 0,15 m ; t = 0,30 m)} &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,032 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 3 balok (B = 0,1m; H = 0,1m; L = 0,4m)} &= 3 \times B \times H \times L \\ &= 3 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,4 \\ &= 0,012 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Nilai penyusutan ditentukan sebesar 15%

$$\begin{aligned} \text{Maka, volume + penyusutan silinder} &= \text{Volume 6 silinder} \times 115\% \\ &= 0,032 \times 115\% \\ &= 0,0366 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, volume + penyusutan balok} &= \text{Volume 3 balok} \times 115\% \\ &= 0,012 \times 115\% \\ &= 0,0138 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi volume total setiap variasi (6 silinder + 3 balok)} &= 0,0366 \text{ m}^3 + 0,0138 \text{ m}^3 \\ &= 0,0504 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat masing-masing bahan penyusun beton dalam setiap variasi, yaitu

- a. Semen = Volume setiap 1 m³ beton × volume total setiap variasi
= 336,364 × 0,0504
= 16,946 kg
- b. Air = Volume setiap 1 m³ beton × volume total setiap variasi
= 185 × 0,0504
= 9,320 kg
- c. Agregat halus = Volume setiap 1 m³ beton × volume total setiap variasi
= 669,366 × 0,0504
= 33,723 kg
- d. Agregat kasar = Volume setiap 1 m³ beton × volume total setiap variasi
= 1096,771 × 0,0504
= 55,255 kg
- e. Total berat keseluruhan = Berat semen + Berat air + Berat agregat halus + Berat agregat kasar
= 16,946 + 9,320 + 33,723 + 55,255
= 115,244 kg
- f. Berat serat karbon variasi 0,4% = % serat karbon × total berat
= 0,4% × 115,244
= 0,461 kg
- g. Berat Sica 3115N variasi 0,3% = % Sica 3115N × berat semen
= 0,3% × 16,946
= 0,05084 kg

19. Rekapitulasi hasil perhitungan rencana campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Rencana Campuran Beton

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Karbon Fiber (kg)	Kadar serat	Viscocrete 3115N (Kg)	Kadar Viscocrete
BTS	16,946	9,320	33,723	55,255	0,000	0,00%	0,05084	0,30%
S5	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,05084	0,30%
S10	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,05084	0,30%
S15	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,05084	0,30%
BTS''	16,946	9,320	33,723	55,255	0,000	0,00%	0,00000	0,00%
S5''	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,00000	0,00%
S10''	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,00000	0,00%
S15''	16,946	9,320	33,723	55,255	0,461	0,40%	0,00000	0,00%
Jumlah	135,568	74,562	269,781	442,042	2,766	-	0,203	-



5.3 PENGUJIAN KUAT DESAK BETON

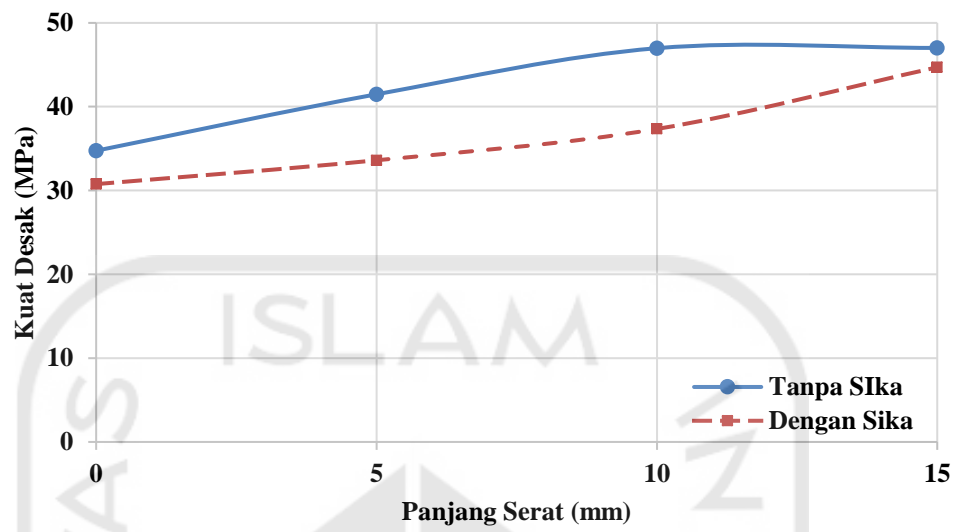
Proses pengujian kuat desak beton dapat dilakukan setelah benda uji beton berusia 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan dikeringkan 1 hari sebelum pengujian. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat atau mesin bernama *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{maks}).

Hasil pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

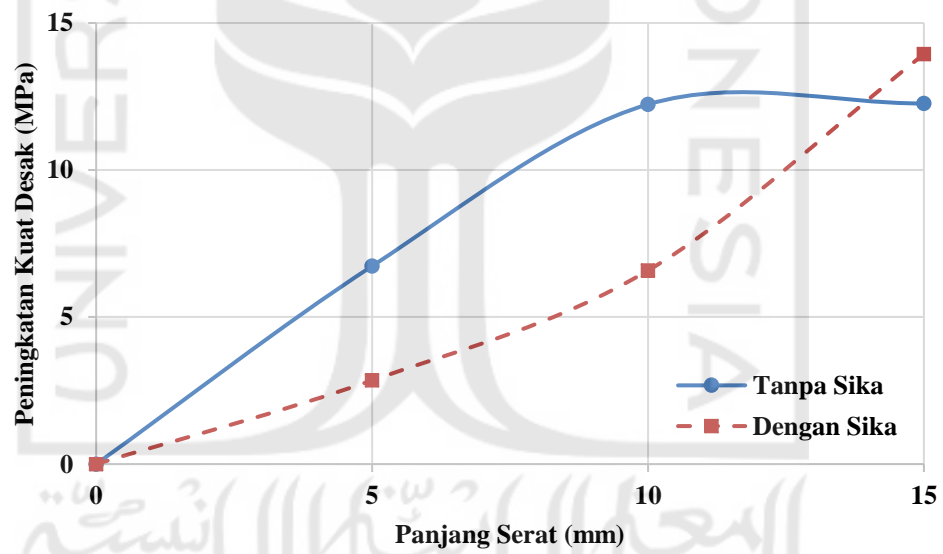
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

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

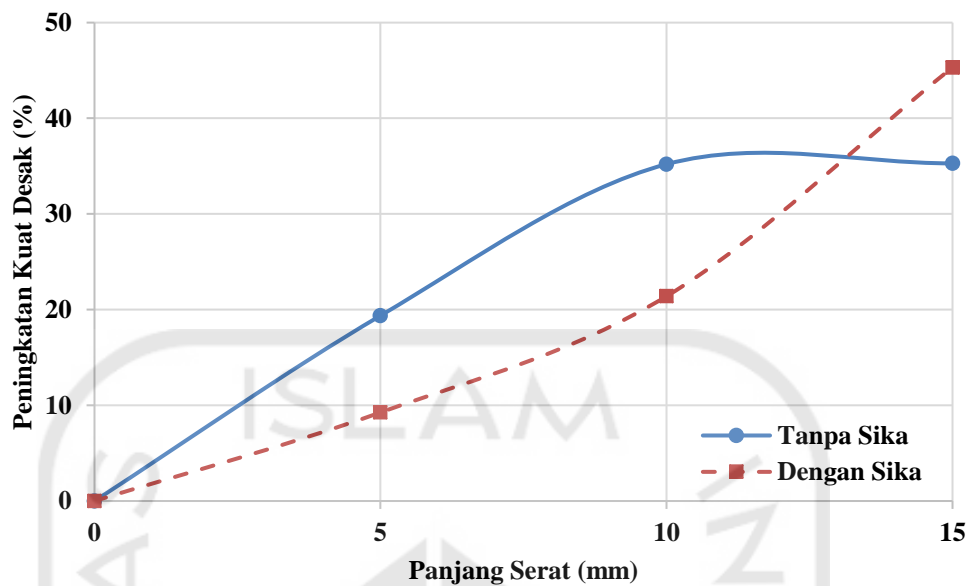
Dari Tabel 5.13 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh penambahan serat karbon pada beton terhadap kinerja kuat desak yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berdasarkan rata-rata, Gambar 5.9 berdasarkan besarnya kenaikan dan Gambar 5.10 berdasarkan besarkenaikan dalam persen adalah sebagai berikut.



Gambar 5.8 Hasil Rata-rata Kuat Desak Beton



Gambar 5.9 Hasil Kenaikan Kuat Desak Beton



Gambar 5.10 Hasil Kenaikan Kuat Desak Beton

Dari Gambar 5.8, Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya kuat desak beton cenderung mengalami kenaikan seiring bertambahnya panjang serat karbon dengan komposisi yang sama, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung naik. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat desak beton dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S5) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 15 cm (S5). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 2,85 MPa atau sebesar 9,26% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- b. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 12,5 cm (S10). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 6,59 MPa atau sebesar 21,399% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- c. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 9 cm (S15). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 13,95 MPa atau sebesar 45,32% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- d. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS") jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S"5) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS") dan 12 cm (S"5). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 6,73 MPa atau sebesar 19,38% dari beton (BTS"). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- e. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS") jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S"10) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS") dan 10 cm (S"10). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 12,23 MPa atau sebesar 35,21% dari beton (BTS"). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- f. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS") jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S"15) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS") dan 6 cm (S"15). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 12,26 MPa atau sebesar 35,29% dari beton (BTS"). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- g. Persentase kenaikan terbesar adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15), yaitu dengan kenaikan 45,32% namun kuat desak tertinggi adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S"15), yaitu sebesar 47,01 MPa.

Hasil pengujian kuat desak beton, menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat desak beton, peningkatan kuat desak beton 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 kuat desak 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 uji desak, 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 runtuhannya semua terlepas .

Selain itu hasil dari penambahan Sika Viscocrete 3115N juga menunjukkan hasil yang positif, dapat dilihat pada tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Beton 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.

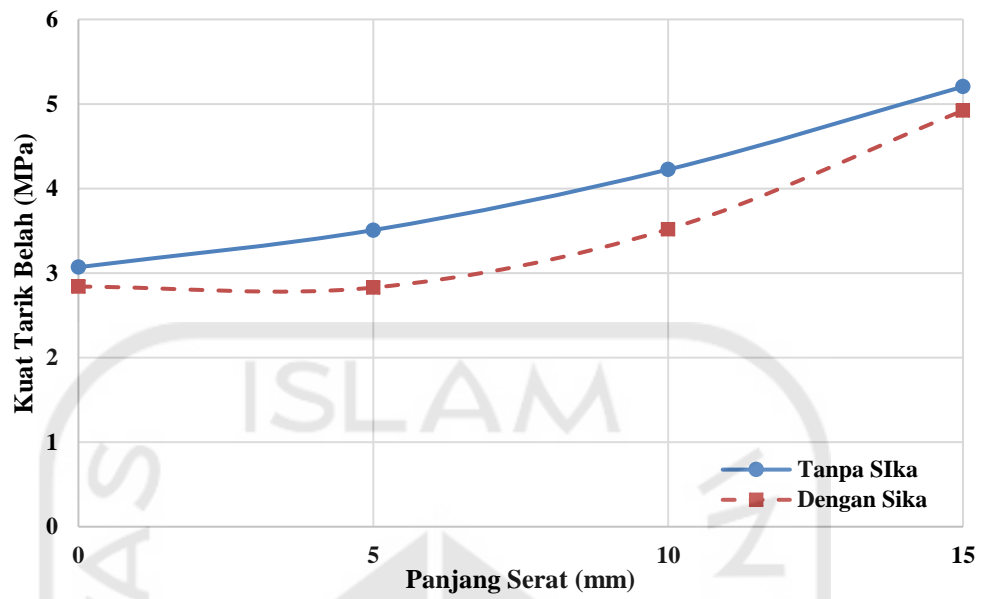
5.4 PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 1 hari sebelum pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur dan terbelah ketika menerima beban tersebut (P_{maks}). Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

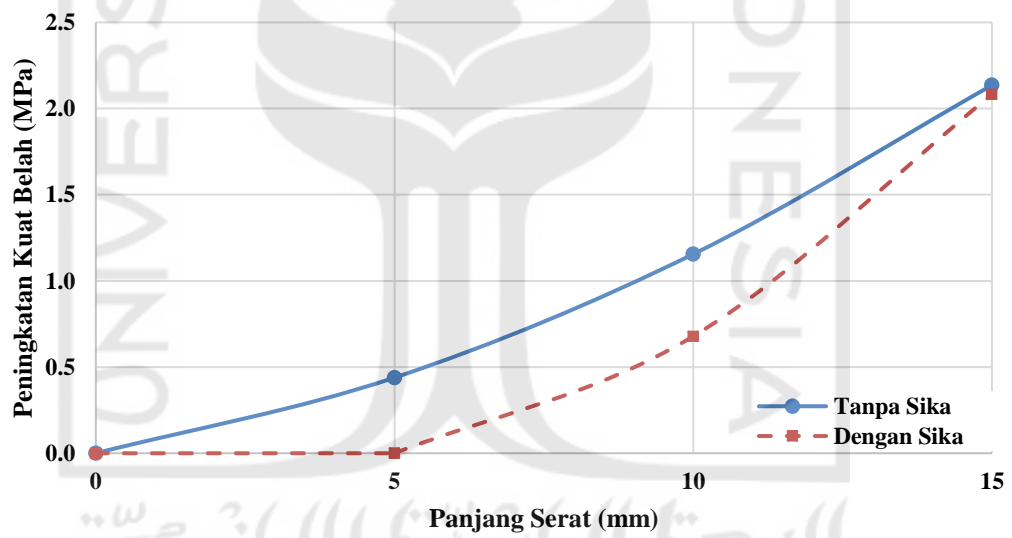
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

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
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

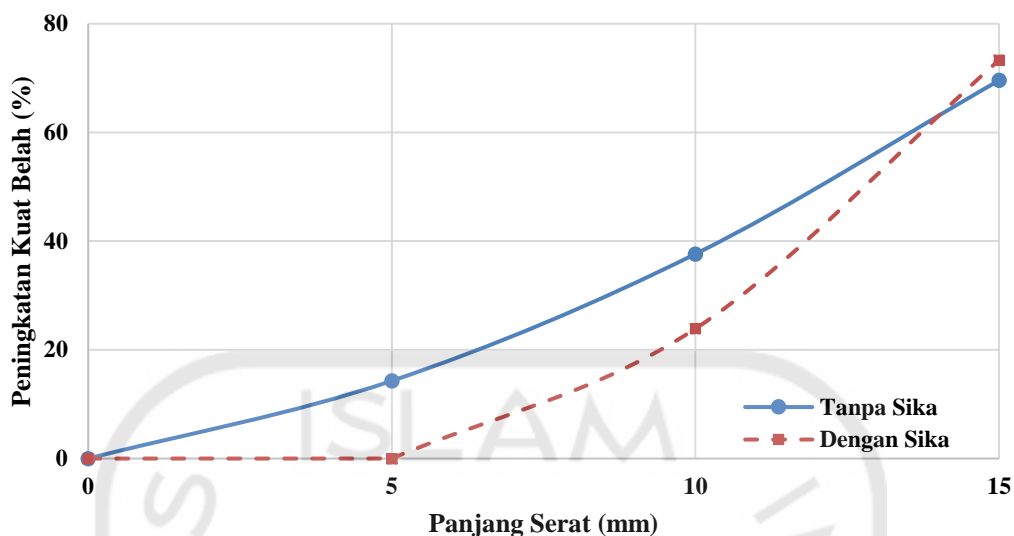
Dari Tabel 5.14 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh penambahan serat Karbon terhadap kinerja kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berdasarkan rata-rata, Gambar 5.12 berdasarkan besarnya kenaikan dan Gambar 5.13 berdasarkan kenaikan dalam persen adalah sebagai berikut.



Gambar 5.11 Hasil Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 5.12 Hasil Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 5.13 Hasil Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan Gambar 5.11, Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 di atas dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwasannya kuat tarik belah beton dengan seiring bertambahnya panjang serat Karbon cenderung mengalami kenaikan, hasil tersebut dapat dilihat dan diamati dari garis regresi liniernya yang cenderung naik. Penjelasan detail mengenai hasil nilai kuat tarik belah tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S5) tidak mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 15 cm (S5). Penambahan Sika Viscocrete 3115N dan Serat Karbon sepanjang 5 mm tidak berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton.
- b. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 12,5 cm (S10). Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,6786 MPa atau sebesar 23,894% dari beton

(BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- c. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 9 cm (S15). Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,082 MPa atau sebesar 73,294% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- d. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''5) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 12 cm (S''5). Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,4388 MPa atau sebesar 14,298 % dari beton (BTS''). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- e. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''10) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 10 cm (S''10). Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 1,1553 MPa atau sebesar 37,64% dari beton (BTS''). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- f. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''15) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 6 cm (S''15). Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,135 MPa atau sebesar 69,57% dari beton

(BTS”). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- g. Persentase kenaikan terbesar adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15), yaitu dengan kenaikan 73,294% namun kuat tarik belah tertinggi adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S”15), yaitu sebesar 2,135 MPa.

Hasil pengujian kuat belah beton, menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat belah beton, peningkatan kuat lentur beton 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 kuat belah 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 dominan mengalami *pull-off* atau tertarik keluar dari beton. Jadi kegagalan bukan karena serat karbon yang putus namun karena ikatan antara beton dan serat karbonlah yang mengalami kegagalan terlebih dahulu. Dan keruntuhan yang terjadi juga terjadi secara berlahan dan sampel yang gagal tidak terbelah sempurna karena masih terikat oleh serat karbon yang ada, tidak seperti sampel tanpa serat di mana keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba dan langsung terbelah menjadi dua bagian besar.

Selain itu hasil dari penambahan Sika Viscocrete 3115N juga menunjukkan hasil yang positif, dapat dilihat pada tabel 5.13 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.

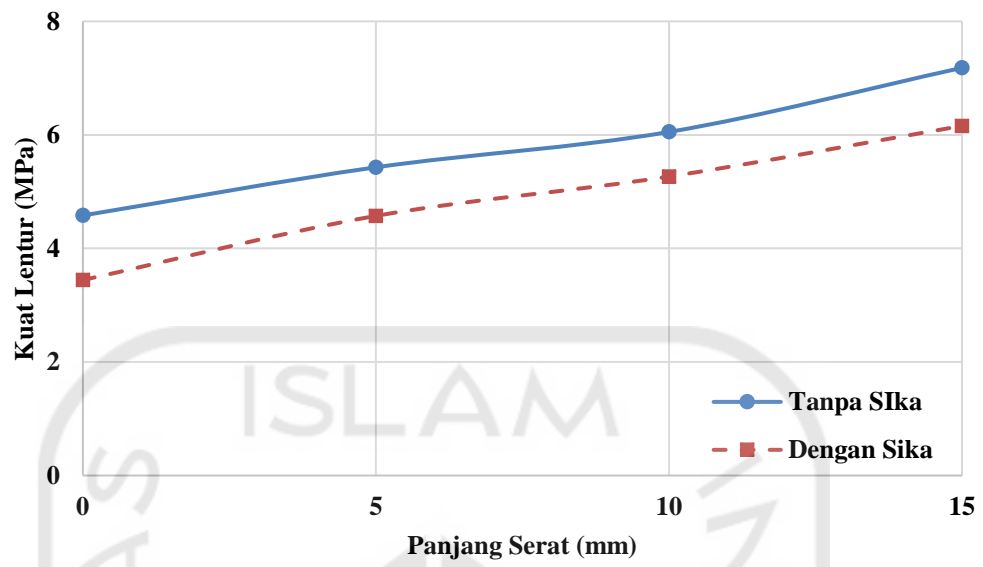
5.5 PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON

Pengujian kuat lentur beton dilakukan setelah benda uji balok beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 1 hari sebelum pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* dengan sistem pembebanan satu titik untuk mendapatkan beban maksimum, yaitu pada saat balok beton hancur dan terbelah ketika menerima beban tersebut (P_{maks}). Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

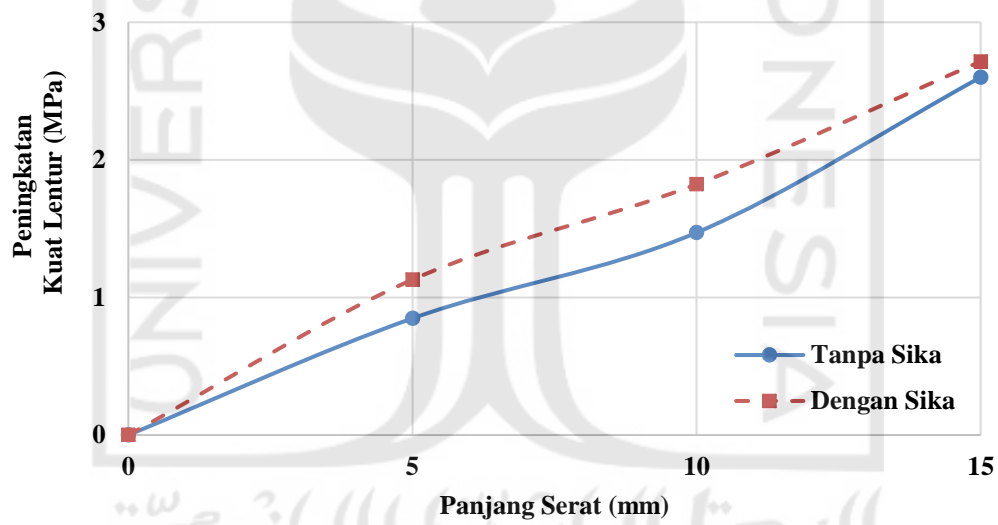
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

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

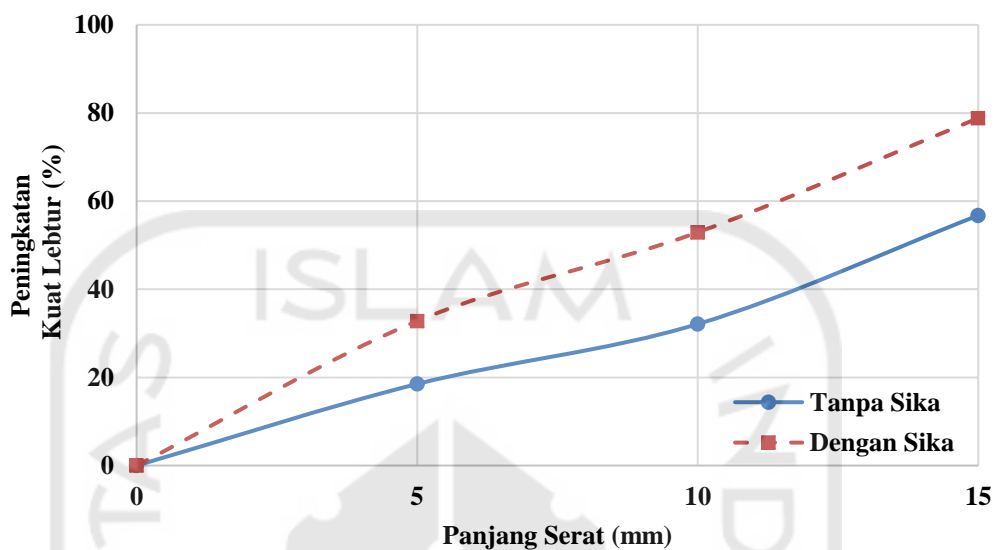
Dari Tabel 5.15 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh penambahan serat Karbon terhadap kinerja kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 berdasarkan rata-rata, Gambar 5.15 berdasarkan besarnya kenaikan dan Gambar 5.16 berdasarkan kenaikan dalam persen adalah sebagai berikut.



Gambar 5.14 Hasil Rata-rata Kuat Lentur Beton



Gambar 5.15 Hasil Peningkatan Kuat Lentur Beton



Gambar 5.16 Hasil Peningkatan Kuat Lentur Beton

Berdasarkan Gambar 5.14, Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasannya kuat lentur beton dengan seiring bertambahnya panjang serat Karbon cenderung mengalami sebuah kenaikan kuat lentur betonnya, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi liniernya yang cenderung terus naik. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat tarik belah tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S5) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 15 cm (S5). Dengan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 1,129 MPa atau sebesar 32,792% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- b. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 12,5 cm (S10). Dengan kenaikan kuat lentur rata-

rata sebesar 1,822 MPa atau sebesar 52,92% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- c. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 9 cm (S15). Dengan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 2,72 MPa atau sebesar 78,84% dari beton (BTS). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- d. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''5) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 12 cm (S''5). Dengan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 0,85 MPa atau sebesar 18,52% dari beton (BTS''). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- e. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''10) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 10 cm (S''10). Dengan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 1,48 MPa atau sebesar 32,11% dari beton (BTS''). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- f. Kuat lentur rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''15) mengalami kenaikan kuat lentur beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 6 cm (S''15). Dengan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 2,6 MPa atau sebesar 56,76% dari beton (BTS'').

Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- g. Persentase kenaikan terbesar adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15), yaitu dengan kenaikan 78,84% dan kuat lentur tertinggi juga pada beton dengan penambahan serat 15 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15), yaitu sebesar 2,72 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur beton, menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat lentur beton, peningkatan kuat lentur beton 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 kuat lentur 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 dominan mengalami *pull-off* atau tertarik keluar dari beton. Jadi kegagalan bukan karena serat karbon yang putus namun karena ikatan antara beton dan serat karbonlah yang mengalami kegagalan terlebih dahulu. Keruntuhan pada titik pembebanan pun terjadi perlahan pada sampel dengan penambahan serat dan sampel yang sudah gagal mengalami patah tidak terbelah begitu saja melainkan masih ada sedikit ikatan dari serat yang menghubungkan, berbeda halnya dengan sampel tanpa penambahan serat dimana keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba dan sampel juga terbelah begitu saja.

Selain itu hasil dari penambahan Sika Viscocrete 3115N juga menunjukkan hasil yang positif, dapat dilihat pada tabel 5.13 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.

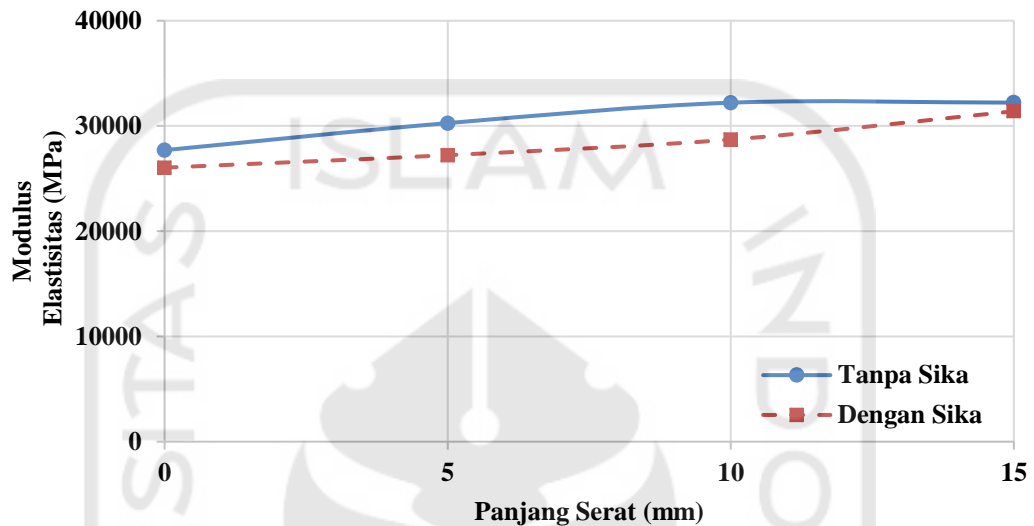
5.6 PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON

Pengujian kuat modulus elastisitas beton dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 7 hari. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* dengan memasang alat extensometer pada benda uji. Pembebanan dilakukan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima sampai dengan beban maksimum (saat beton mulai hancur) dan alat extensometer digunakan untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi sehingga dapat diketahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan. Hasil pengujian modulus elastisitas beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

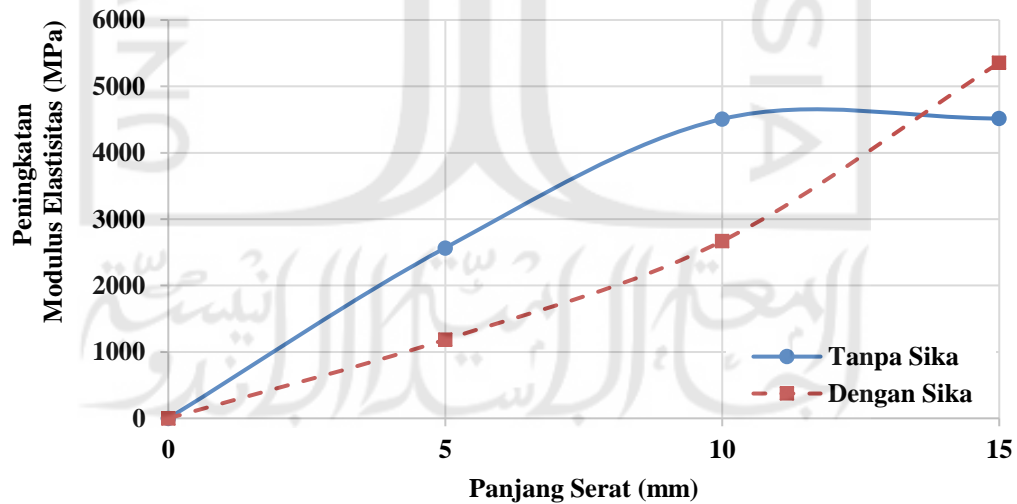
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton

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

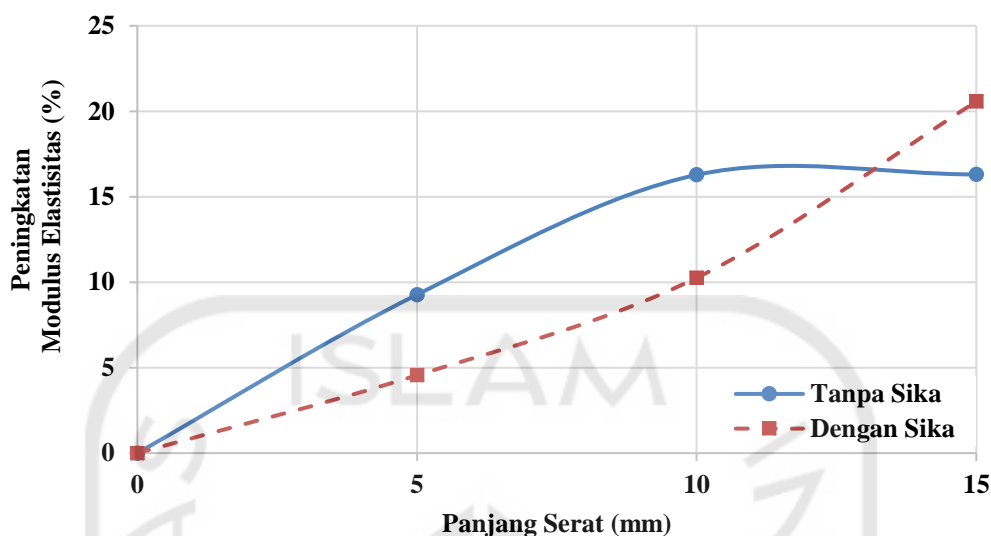
Dari Tabel 5.16 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh serat Karbon terhadap kinerja modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 berdasarkan rata-rata, Gambar 5.18 berdasarkan besar kenaikan dan Gambar 5.19 berdasarkan kenaikan dalam persen adalah sebagai berikut.



Gambar 5.17 Hasil Rata-rata Modulus Elastisitas Beton



Gambar 5.18 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



Gambar 5.19 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Dari Gambar 5.17, Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasannya kuat modulus elastisitas beton seiring bertambahnya panjang serat Karbon cenderung mengalami penurunan, namun penurunan ini semakin mengecil seiring bertambahnya panjang serat Karbon, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai modulus elastisitas beton tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- a. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S5) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 15 cm (S5). Dengan peningkatan modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 27.227,06 MPa atau meningkat sebesar 1185,70 MPa (4,553%) dari beton (BTS). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- b. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 12,5 cm (S10). Dengan peningkatan

modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 28.712,44 MPa atau meningkat sebesar 2671,09 MPa (10,257%) dari beton (BTS). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- c. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 9 cm (S15). Dengan peningkatan modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 31.397,02 MPa atau meningkat sebesar 5.355,67 MPa (20,31%) dari beton (BTS). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- d. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''5) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 12 cm (S''5). Dengan peningkatan modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 30.270,07 MPa atau meningkat sebesar 2.567,81 MPa (9,27%) dari beton (BTS''). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- e. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''10) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 10 cm (S''10). Dengan peningkatan modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 32.211,79 MPa atau meningkat sebesar 4.509,52 MPa (16,28%) dari beton (BTS''). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- f. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''15) mengalami peningkatan modulus elastisitas beton dengan nilai

slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 6 cm (S''15). Dengan peningkatan modulus elastisitas rata-rata hingga sebesar 32.218,85 MPa atau meningkat sebesar 4.516.58 MPa (16,31%) dari beton (BTS''). Peningkatan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- g. Persentase peningkatan terbesar adalah beton dengan penambahan serat 15 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15), yaitu dengan peningkatan sebesar 5.355,67 MPa (20,31%) dan pencapaian modulus elastisitas tertinggi pada beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''15), yaitu sebesar 32.218,85 MPa.

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).

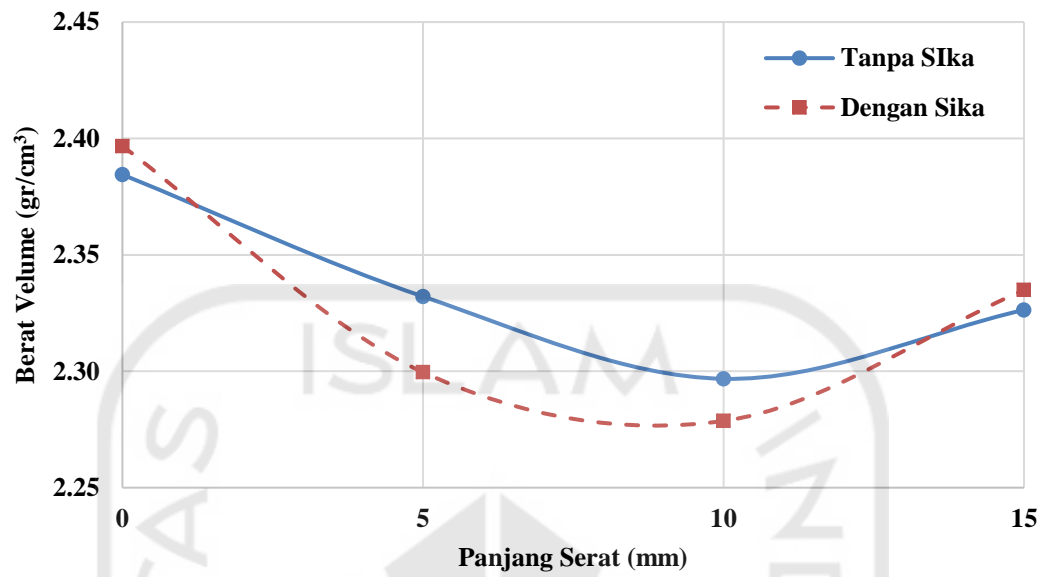
5.7 PENGUJIAN BERAT VOLUME BETON

Pengujian berat volume beton dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 1 hari sebelum penimbangan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton. Semakin tinggi nilai berat volume beton, maka semakin tinggi juga tingkat kepadatan beton tersebut. Hasil pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

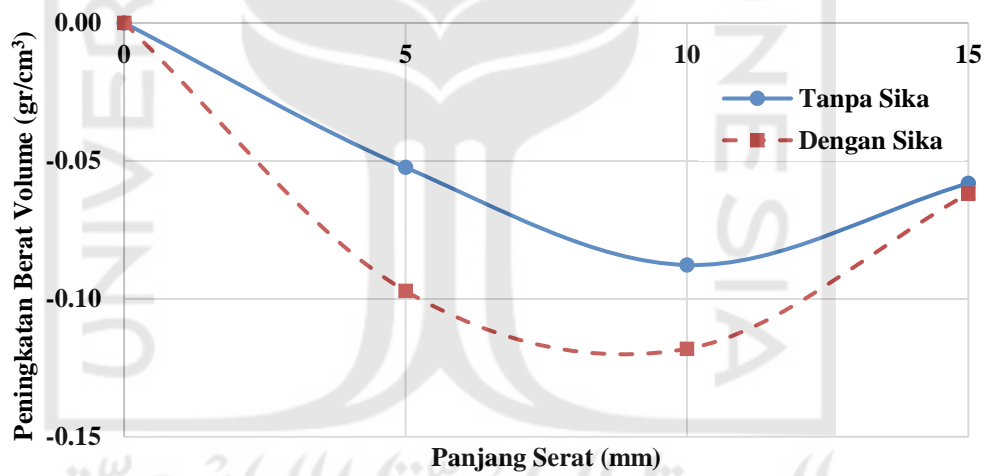
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton

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
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

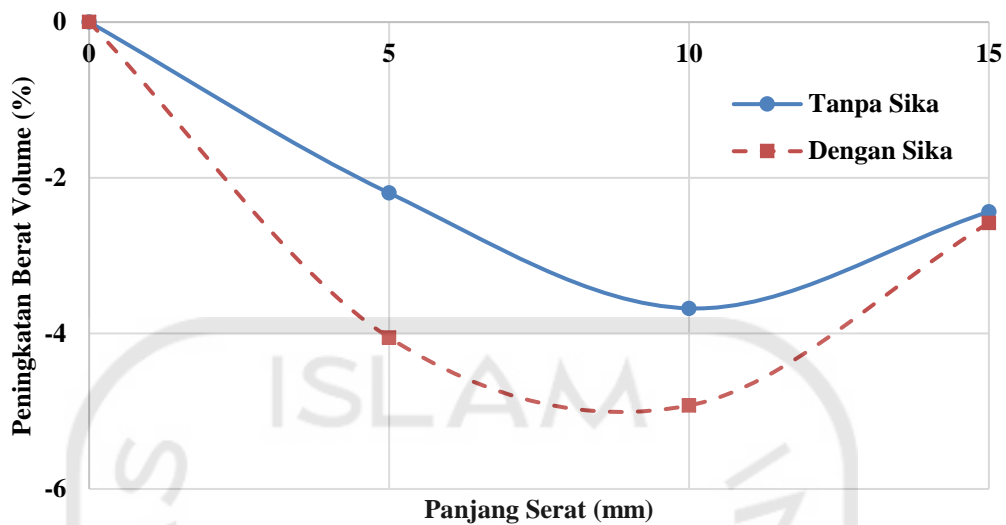
Berdasarkan Tabel 5.17 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh serat Karbon pada beton terhadap berat volume yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 berdasarkan rata-rata, Gambar 5.21 berdasarkan besar kenaikan dan Gambar 5.22 berdasarkan kenaikan dalam persen adalah sebagai berikut.



Gambar 5.20 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton



Gambar 5.21 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton



Gambar 5.22 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton

Berdasarkan Gambar 5.20, Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya berat volume beton seiring dengan bertambahnya panjang serat Karbon cenderung mengalami penurunan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung terus menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai berat volume rata-rata beton dapat dilihat di bawah ini.

- a. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S5) mengalami penurunan berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 15 cm (S5). Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar $0,0972 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 4,1% dari beton (BTS). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- b. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10) mengalami penurunan Uji berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 12,5 cm (S10). Dengan penurunan Uji berat volume rata-rata sebesar $0,118 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 4,93% dari beton

(BTS). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- c. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS) jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S15) mengalami penurunan berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 28 cm (BTS) dan 9 cm (S15). Dengan penurunan Uji berat volume rata-rata sebesar $0,0619 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 2,58% dari beton (BTS). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- d. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 5 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''5) mengalami penurunan berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 12 cm (S''5). Dengan penurunan Uji berat volume rata-rata sebesar $0,053 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 2,19% dari beton (BTS''). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- e. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 10 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''10) mengalami penurunan berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 10 cm (S''10). Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar $0,0878 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 3,68% dari beton (BTS''). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.
- f. Uji berat volume rata-rata beton tanpa serat dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (BTS'') jika dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat 15 mm dan tanpa penambahan Sika Viscocrete 3115N (S''15) mengalami penurunan berat volume beton dengan nilai slump yang berbeda yaitu 16 cm (BTS'') dan 6 cm (S''15). Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar $0,059 \text{ gr/cm}^3$ atau sebesar 2,44% dari beton

(BTS”). Penurunan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh penambahan serat Karbon.

- g. Persentase penurunan terbesar adalah beton dengan penambahan serat 10 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10), yaitu dengan kenaikan 4,93% dan penurunan berat volume tertinggi adalah beton dengan penambahan serat 10 mm dan dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N (S10), yaitu sebesar $0,119 \text{ gr/cm}^3$.

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 $1,75 \text{ Ton/m}^3$ atau $\pm 75\%$ lebih ringan bila dibandingkan dengan massa jenis besi baja ($7,85 \text{ Ton/m}^3$) (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 5.13 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.

5.8 HUBUNGAN KUAT DESAK DENGAN KUAT BELAH DAN KUAT LENTUR

Meskipun kekuatan tarik beton tidak memainkan peran utama dalam analisis dan desain struktur beton, namun pengetahuan mengenai perilaku beton di bawah tekanan sangatlah berharga guna memperkirakan lendutan di mana retakan akan terjadi. Hubungan antara kuat tekan dan tarik dikembangkan berdasarkan hasil eksperimen dan diwakili dengan rumus yang sangat tergantung pada metode pengujian tarik di laboratorium, dimana kuat tarik beton bervariasi antara 9% sampai 15% dari kuat tekannya (Ronny dan Reky, 2017).

Hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah beton berkisar $0,52-0,55\sqrt{f'_c}$ dan nilai perbandingan kuat tarik belah berkisar 8,78-11,59% dari kuat tekan beton (Kumaat dan Windah, 2015).

Menurut Daniel Mandala dan Darma Widjaja pada penelitiannya tahun 2015 mendapati korelasi kuat tekan dengan kuat tarik beton adalah $0,445\sqrt{f'_c}$.

Menurut Lerry dan Sumajouw pada penelitiannya tahun 2012 mendapati korelasi kuat tekan dengan kuat tarik beton yang juga berkesesuaian menurut ACI adalah $0,62\sqrt{f'_c}$ dan dalam perbandingan persentase mereka mendapati hubungan kuat desak dengan kuat tarik adalah sebesar 8%.

Sedangkan menurut SNI 2847:2013 telah ditetapkan bahwa hubungan kuat lentur beton terhadap kuat desak beton adalah $0,62\lambda\sqrt{f'_c}$ dengan λ = Faktor pengali jenis beton (beton normal = 1).

Dalam tabel 5.18 dan tabel 5.19 di bawah ini dapat dilihat korelasi hubungan kuat desak beton dengan kuat tarik belah dan dengan kuat lentur adalah sebagai berikut :

Tabel 5.18 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Belah

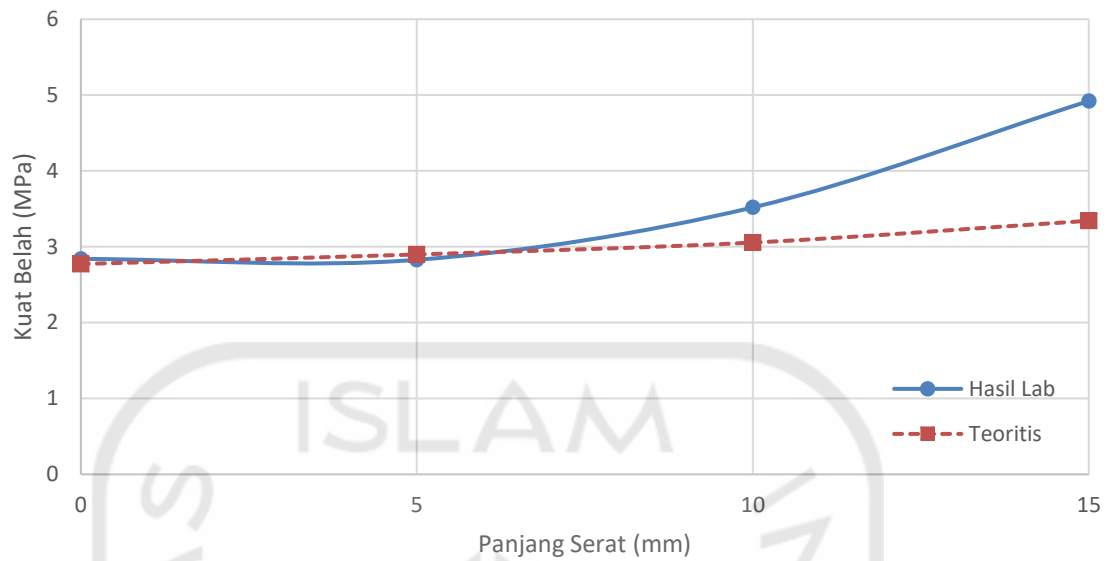
Hub. Kuat Desak dengan Belah							
Kode Variasi	Kuat Desak [f' _c] (Mpa)	Kuat Belah [f _t] (Mpa)	$\sqrt{F'_c}$ (Mpa)	Rasio	Perbandingan kuat belah (%)	Rasio Teoritis	Kuat Belah Teoritis (MPa)
BTS	30.76	2.84	5.55	0.51	9.23	0.50	2.77
BTS''	34.75	3.07	5.89	0.52	8.83	0.50	2.95
S5	33.61	2.83	5.80	0.49	8.41	0.50	2.90
S''5	41.48	3.51	6.44	0.54	8.46	0.50	3.22
S10	37.35	3.52	6.11	0.58	9.42	0.50	3.06
S''10	46.98	4.22	6.85	0.62	8.99	0.50	3.43
S15	44.70	4.92	6.69	0.74	11.01	0.50	3.34
S''15	47.01	5.20	6.86	0.76	11.07	0.50	3.43

Tabel 5.18 di atas menggunakan rasio teoritis dalam penelitian Kumaat dan Windah pada tahun 2015.

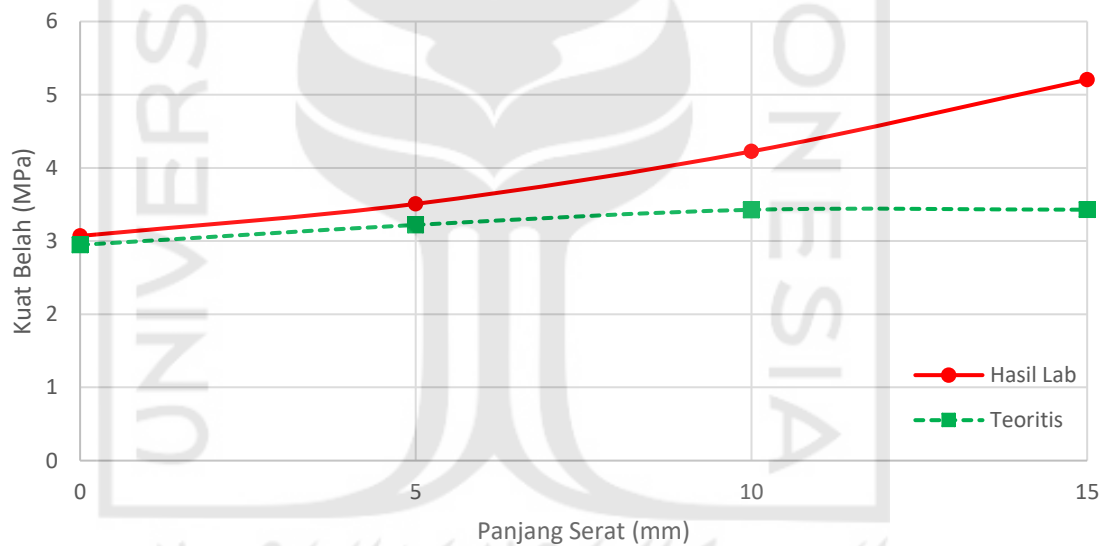
Tabel 5.19 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Lentur

Hub. Kuat Desak dengan Lentur						
Kode Variasi	Kuat Desak [f' _c] (Mpa)	Kuat Lentur [f _{lt}] (Mpa)	$\sqrt{F'_c}$ (Mpa)	Rasio	Rasio Teoritis	Kuat Lentur Teoritis (MPa)
BTS	30.76	3.44	5.55	0.62	0.62	3.44
BTS''	34.75	4.58	5.89	0.78	0.62	3.65
S5	33.61	4.57	5.80	0.79	0.62	3.59
S''5	41.48	5.43	6.44	0.84	0.62	3.99
S10	37.35	5.27	6.11	0.86	0.62	3.79
S''10	46.98	6.05	6.85	0.88	0.62	4.25
S15	44.70	6.16	6.69	0.92	0.62	4.15
S''15	47.01	7.18	6.86	1.05	0.62	4.25

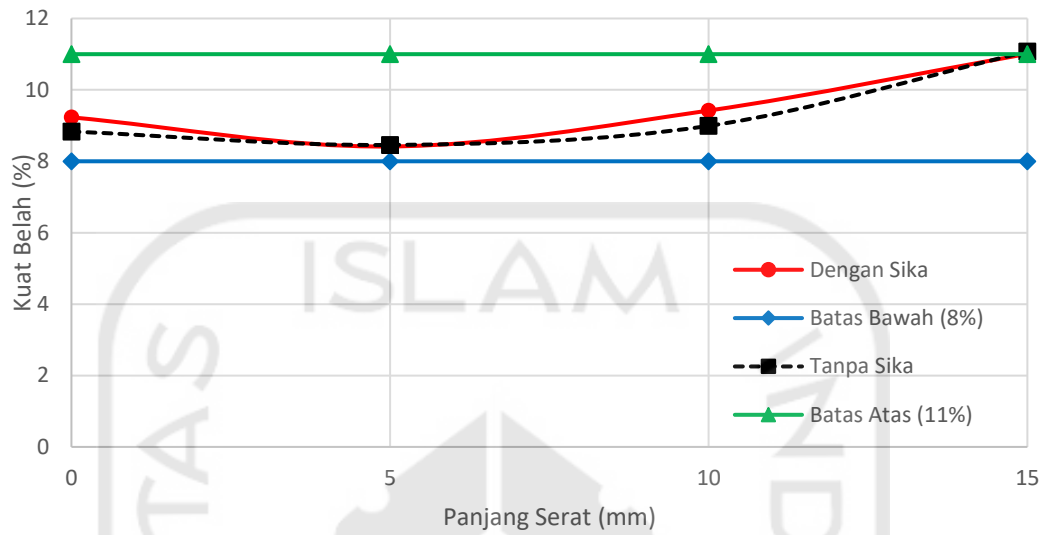
Tabel 5.19 di atas menggunakan rasio teoritis dari SNI 2847:2013. Berdasarkan kedua tabel di atas tersebut dapat diperoleh gambar grafik hubungan kuat desak dengan kuat belah dan kuat lentur yang dapat dilihat pada Gambar 5.23 hingga Gambar 5.27 sebagai berikut ini.



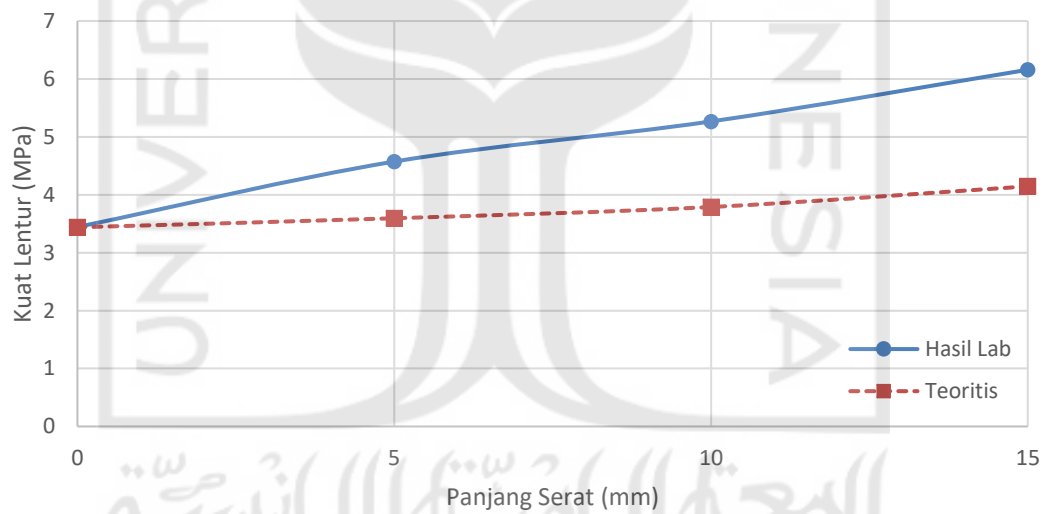
Gambar 5.23 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Belah dengan Tambahan Viscocrete-1005N



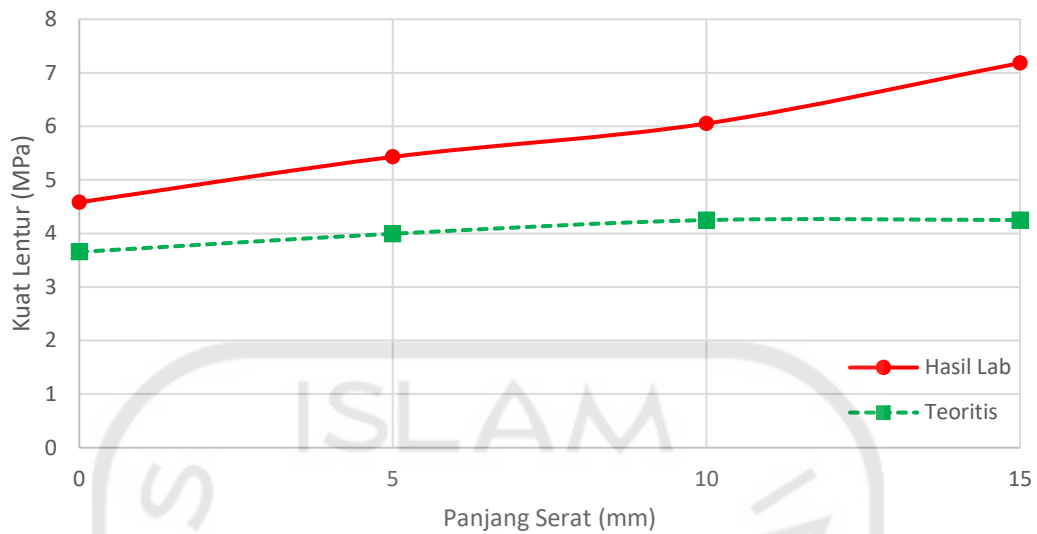
Gambar 5.24 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Belah tanpa Tambahan Viscocrete-1005N



Gambar 5.25 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Belah dalam Persen



Gambar 5.26 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Lentur dengan Tambahan Viscocrete-1005N



Gambar 5.27 Hubungan Kuat Desak dengan Kuat Lentur tanpa Tambahan Viscocrete-1005N

Berdasarkan hasil pengolahan data di atas melalui tabel dan grafik dapat diketahui bahwa setiap hasil pengujian lab pada beton dengan penambahan serat karbon didalamnya menghasilkan nilai kuat belah dan kuat lentur berdasarkan kuat desak dari hasil uji lab yang cenderung lebih besar atau lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai besaran teoritis. Sedangkan pada beton tanpa penambahan serat dapat mendekati atau hampir sama dengan teori yang ada. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.23 hingga Gambar 5.27 di atas.

Hal ini terjadi karena beton sampel yang mengandung serat mampu menahan dan menyalurkan beban serta gaya-gaya yang bekerja pada beton dengan lebih baik, karena serat yang terkandung dalam beton membantu menyalurkan gaya dan beban yang bekerja pada beton. Berbeda halnya dengan beton yang tanpa serat, penyaluran gaya dan bebannya tidak dapat sebaik beton dengan serat. Selain itu serat yang terkandung berupa serat karbon yang memiliki kuat tarik yang sangat tinggi, yaitu mencapai 3800 MPa.

Tentu hal tersebutlah yang menjadi penyebab lebih tingginya kuat belah dan kuat lentur berdasarkan teori atau rasio yang ada pada umumnya. Namun jika ditinjau dengan teori berdasarkan pesentase kuat desak hasil uji lab, hubungan kuat

belahnya masih sesuai dengan teori yang ada, yaitu diantara 8-11% dari kuat desaknya yang dapat dilihat pada Gambar 5.25 di atas.

Namun jika dikaitkan kembali dengan persyaratan SK SNI 03-2847- 2002, beton normal adalah beton yang mempunyai berat volume $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ ($2,2 - 2,5 \text{ gr/cm}^3$) menggunakan agegat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang menggunakan dan yang tidak menggunakan bahan tambahan. Kuat tekan beton normal berkisar antara 20-60 MPa pada umur beton 28 hari. Maka beton serat yang di amati pada penelitian ini masih termasuk dalam kategori beton normal meski kekuatannya meningkat akibat penambahan berupa serat karbon, sehingga menggunakan metode pembahasan dan analisis beton normal masih diperbolehkan.

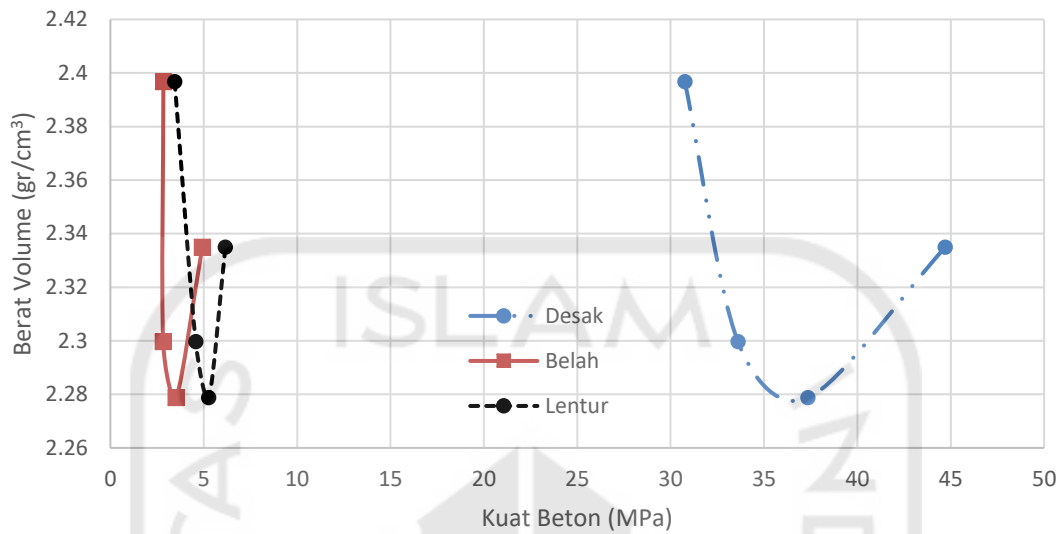
5.9 HUBUNGAN KEPADATAN BETON DENGAN KEKUATAN BETON

Secara umum dapat diketahui apabila kepadatan berbanding lurus dengan kekuatan dan berat volume sebuah benda. Begitu juga halnya dengan beton, semakin tinggi kepadatan beton semakin tinggi juga berat volumenya yang akan berdampak pada meningkatnya kekuatan beton tersebut. Pengamatan mengenai hubungan kepadatan beton dengan kekuatan beton dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

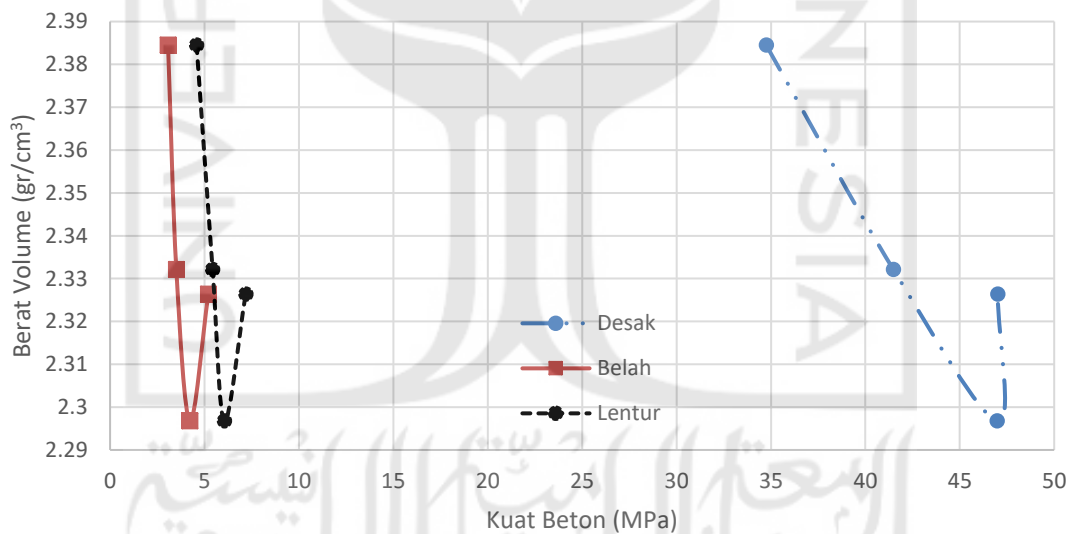
Tabel 5.20 Hubungan Kepadatan Beton dengan Kekuatan Beton

Kode Variasi	Kuat Desak [f _c] (Mpa)	Kuat Belah [f _t] (Mpa)	Kuat Lentur [f _{lt}] (Mpa)	Berat Vol (gr/cm ³)	Slump (cm)
BTS	30.76	2.84	3.44	2.40	28
BTS"	34.75	3.07	4.58	2.38	16
S5	33.61	2.83	4.57	2.30	15
S"5	41.48	3.51	5.43	2.33	12
S10	37.35	3.52	5.27	2.28	12.5
S"10	46.98	4.22	6.05	2.30	10
S15	44.70	4.92	6.16	2.33	9
S"15	47.01	5.20	7.18	2.33	6

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh gambar grafik 5.28 dan 5.29 sebagai berikut ini.



Gambar 5.28 Hubungan Kepadatan Beton dengan Kekuatan Beton dengan Penambahan Viscocrete-3115N



Gambar 5.29 Hubungan Kepadatan Beton dengan Kekuatan Beton tanpa Penambahan Viscocrete-3115N

Berdasarkan tabel dan gambar grafik di atas, dapat terlihat dengan jelas bahwa terjadi penurunan berat volume yang seharusnya berarti menurunnya kepadatan beton yang akan berakibat kepada menurunnya kekuatan beton. Namun hasil pengujian menunjukkan meski terjadi penurunan berat volume yang juga

berarti menurunnya kepadatan beton namun kekuatan beton justru tetap mengalami kenaikan kekuatan, baik kuat desak, kuat belah dan kuat lentur.

Fenomena seperti ini tentunya tidak sejalan dengan teori yang pada umumnya digunakan. Hal ini terjadi karena beton diberikan penambahan berupa serat karbon yang sangat ringan ($1,75 \text{ Ton/m}^3$) dengan berat 0,4% dari berat beton normal. Sehingga yang terjadi adalah volume beton meningkat cukup tinggi namun hampir tidak dibarengi dengan peningkatan berat sendirinya, karena penambahan serat karbon sebanyak 0,4% dari berat beton normal yang dimana berat jenis serat karbon sangat rendah ($1,75 \text{ Ton/m}^3$) menghasilkan penambahan berupa serat karbon secara volumetrik yang cukup tinggi namun secara berat tidak tidaklah begitu berarti. Hal ini juga dapat terlihat dengan jumlah benda uji yang lebih banyak dihasilkan pada sampel beton dengan penambahan serat karbon, yaitu dapat bertambah 1 hingga 2,5 sampel benda uji berbentuk balok berukuran $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ dengan jumlah komposisi material penyusun beton normal yang sama. Jadi, meskipun material serat yang ditambahkan mengakibatkan turunnya berat volume beton, hal tersebut tidak menurunkan kekuatan beton tetapi justru meningkatkan kekuatan beton, karena serat karbon sendiri memiliki kuat tarik yang sangat tinggi yaitu hingga 3800 MPa. Seperti yang sudah dijelaskan di atas bahwa penambahan serat pada beton mampu menjadi jembatan yang meneruskan gaya-gaya yang terjadi pada beton dan mampu mengurangi keretakan serta mengurangi tingkat keruntuhan pada beton (*spalling*).

Dan jika dikaitkan kembali dengan persyaratan SK SNI 03-2847- 2002, beton normal adalah beton yang mempunyai berat volume $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ ($2,2 - 2,5 \text{ gr/cm}^3$) menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang menggunakan dan yang tidak menggunakan bahan tambahan. Kuat tekan beton normal berkisar antara 20-60 MPa pada umur beton 28 hari. Maka beton serat yang di amati pada penelitian ini masih termasuk dalam kategori beton normal meski kekuatannya meningkat dan mengalami penurunan berat volume akibat penambahan berupa serat karbon, sehingga menggunakan metode pembahasan dan analisis beton normal masih diperbolehkan.