

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Umum

Data yang diterima selama pengujian di Laboratorium, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, berupa uji bahan agregat yaitu uji kandungan lumpur, uji berat jenis dan besar penyerapan air, uji berat isi, uji analisa saringan, dan uji kuat tekan beton silinder. Sedangkan hasil yang diperoleh dari Laboratorium Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, yaitu berupa uji kuat lentur beton. Hasil pengujian material berfungsi untuk mengetahui spesifikasi dari bahan yang akan dipakai untuk adukan beton. Sementara itu, hasil pengujian mekanik beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton yang telah dibuat terhadap pembebanan dan menahan tegangan lentur. Hasil dari seluruh pengujian material maupun mekanik beton tersebut digunakan untuk dasar menganalisis pengaruh variasi yang ditetapkan terhadap performa beton.

4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Karakteristik agregat halus ditentukan melalui serangkaian pengujian yang dilakukan sebelum tahap pembuatan beton. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data sifat agregat untuk acuan perhitungan *mix design*. Material ini memerlukan pengujian kadar lumpur, berat jenis dan besar penyerapan air, serta analisis saringan. Adapun parameter dari seluruh pengujian agregat halus disajikan secara rinci pada subbab berikut

4.2.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan harus melalui ayakan nomor 4 dengan ukuran bukaan 4,75 mm. Persentase kadar lumpur diperoleh berdasarkan hasil pengujian menggunakan perhitungan berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dimana:

W_1 = jumlah agregat awal (gram)

W_2 = jumlah agregat kering setelah dicuci (gram)

Hasil pengujian:

1. Benda Uji 1

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 452,5 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 1)} &= \frac{500 - 452,5}{500} \times 100 \\ &= 9,5\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 447,2 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 2)} &= \frac{500 - 447,2}{500} \times 100 \\ &= 10,56\% \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

Bobot awal = 500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 453,8 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lumpur (benda uji 3)} &= \frac{500 - 453,8}{500} \times 100 \\
 &= 9,24\% \\
 \text{Sehingga rata-rata kadar lumpur} &= \frac{9,5 + 10,56 + 9,24}{3} \\
 &= 9,77\%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, akan diringkas dan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengukuran	Benda Uji 1 (gram)	Benda Uji 2 (gram)	Benda Uji 3 (gram)
Bobot sebelum dicuci (kering)	500	500	500
Bobot setelah dicuci (kering)	452,5	447,2	453,8
Kadar lumpur (%)	9,5	10,56	9,24
Rata-rata kandungan lumpur (%)	9,77		

Hasil persentase dari pengujian kadar lumpur yang telah diperoleh dari sampel 1 hingga sampel 3 berturut-turut yaitu 9,5%; 10,56%; dan 9,24%. Maka rata-rata kadar lumpur yang didapat yaitu 9,77% yang berarti mengacu pada SNI S-04-1989-F, agregat ini tidak lolos syarat kadar lumpur karena melebihi 5%. Jadi, diperlukan pencucian terlebih dahulu pada agregat sebelum digunakan.

4.2.2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Tujuan pemeriksaan ini untuk memperoleh data berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, serta besar penyerapan air agregat halus. Seluruh parameter tersebut digunakan pada metode volume absolut untuk perancangan campuran beton. Berikut merupakan data yang dihasilkan dari pengujian ini, disertai cara pengolahannya sebagai berikut:

1. Benda Uji 1

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 489,9 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 698,8 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1002,8 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\ &= \frac{489,9}{(698,8 + 500 - 1002,8)} \\ &= 2,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\ &= \frac{500}{(698,8 + 500 - 1002,8)} \\ &= 2,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\ &= \frac{489,9}{(698,8 + 489,9 - 1002,8)} \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{500 - 489,9}{489,9} \right] \times 100\% \\ &= 2,06\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 485 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 699,4 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1005,6 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{485}{(699,4 + 500 - 1005,6)} \\
 &= 2,50
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(699,4 + 500 - 1005,6)} \\
 &= 2,58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\
 &= \frac{485}{(699,4 + 485 - 1005,6)} \\
 &= 2,71
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{500 - 499,4}{499,4} \right] \times 100\% \\
 &= 3,09\%
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Bobot agregat SSD (S)} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot kering oven (A)} = 492,5 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot air + piknometer (B)} = 697,2 \text{ gram}$$

$$\text{Bobot benda uji + air + piknometer (C)} = 1010,6 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{492,5}{(697,2 + 500 - 1010,6)} \\
 &= 2,64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{S}{(B+S-C)} \\
 &= \frac{500}{(697,2 + 500 - 1010,6)} \\
 &= 2,68 \\
 \text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(B + A - C)} \\
 &= \frac{492,5}{(697,2 + 492,5 - 1010,6)} \\
 &= 2,75 \\
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{500 - 492,5}{492,5} \right] \times 100\% \\
 &= 1,52\%
 \end{aligned}$$

Dari ketiga sampel di atas, dicari nilai rerata berat jenis agregat halus menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{Rerata berat jenis curah} &= \frac{2,50 + 2,50 + 2,64}{3} \\
 &= 2,55 \\
 \text{Rerata berat jenis SSD} &= \frac{2,55 + 2,58 + 2,68}{3} \\
 &= 2,60 \\
 \text{Rerata berat jenis semu} &= \frac{2,64 + 2,71 + 2,75}{3} \\
 &= 2,70 \\
 \text{Rerata penyerapan air} &= \frac{2,06 + 3,09 + 1,52}{3} \\
 &= 2,23
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan, akan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian	Notasi	I	II	III	Satuan
Bobot agregat SSD	S	500	500	500	Gram
Bobot kering oven	A	489,9	485,0	492,5	Gram
Bobot air + piknometer	B	698,8	699,4	697,2	Gram
Bobot benda uji + air + piknometer	C	1002,8	1005,6	1010,6	Gram
Perhitungan	Notasi	I	II	III	Rata-rata
Berat jenis (curah)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,50	2,50	2,64	2,55
Berat jenis (SSD)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,55	2,58	2,68	2,60
Berat jenis (semu)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,64	2,71	2,75	2,70
Penyerapan air	$[\frac{S-A}{A}] \times 100\%$	2,06	3,09	1,52	2,23

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh rata-rata parameter agregat halus, meliputi berat jenis curah sebesar 2,55, berat jenis SSD sebesar 2,60, dan berat jenis semu sebesar 2,70. Selain itu, persentase penyerapan air pada material tersebut tercatat sebesar 2,23%. Dari ketiga macam berat jenis, yang digunakan dalam perhitungan mix desain yaitu pada kondisi SSD, karena mewakili dari kondisi agregat asli yang akan dibuat benda uji. Jadi, berat jenis agregat halus yaitu 2,60.

4.2.3. Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pada uji analisis saringan ini digunakan agregat yang telah dikeringkan dan diayak menggunakan susunan saringan standar sesuai ketentuan pengujian agregat halus. Dari pengujian ini, didapatkan distribusi ukuran butir, gradasi agregat, serta modulus kehalusan (FM) yang dipakai untuk adukan beton. Hasil atau data yang dihasilkan,

beserta perhitungan dan pengolahan datanya disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Uji Analisis Saringan Agregat Halus

Ayakan		Berat Tertahan Gram (gram) (a)	Persentase Berat Tertahan (%) (b) = (a) / W	Persentase Tertahan Kumulatif (%) (c)	Persentase Lolos (%) (d) = 100 - c
mm	Inci				
9,25	3/8	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	No. 4	1,40	0,28	0,28	99,72
2,36	No. 8	87,10	17,49	17,77	82,23
1,18	No. 16	132,10	26,52	44,29	55,71
0,60	No. 30	66,50	13,35	57,64	42,36
0,30	No. 50	91,00	18,27	75,91	24,09
0,15	No.100	68,80	13,81	89,72	10,28
0,075	No. 200	31,20	6,26	95,98	4,02
	Pan	20,00	4,02	100	0,00
Total (W)		498,10	100		
Modulus Kehalusan (FM)			2,86		

Berdasarkan tabel di atas, dari berat awal benda uji sebesar 500 gram diperoleh berat akhir sebesar 498,10 gram dan hasil persenan berat tertahan pada setiap nomor saringan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tertahan di saringan 4,75 mm} &= \frac{1,40}{498,10} \times 100 \\
 &= 0,28\% \\
 \text{Tertahan di saringan 2,36 mm} &= \frac{87,10}{498,10} \times 100 \\
 &= 17,49\%
 \end{aligned}$$

$$\text{Tertahan di saringan 1,18 mm} = \frac{132,10}{498,10} \times 100$$

$$= 26,52\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,60 mm} = \frac{66,50}{498,10} \times 100$$

$$= 13,35\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,30 mm} = \frac{91,00}{498,10} \times 100$$

$$= 18,27\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,15 mm} = \frac{68,80}{498,10} \times 100$$

$$= 13,81\%$$

$$\text{Tertahan di saringan 0,075 mm} = \frac{31,20}{498,10} \times 100$$

$$= 6,26\%$$

$$\text{Tertahan di pan} = \frac{20,00}{498,10} \times 100$$

$$= 4,02\%$$

$$\text{Kehilangan agregat halus} = \frac{W - W_1}{W} \times 100\%$$

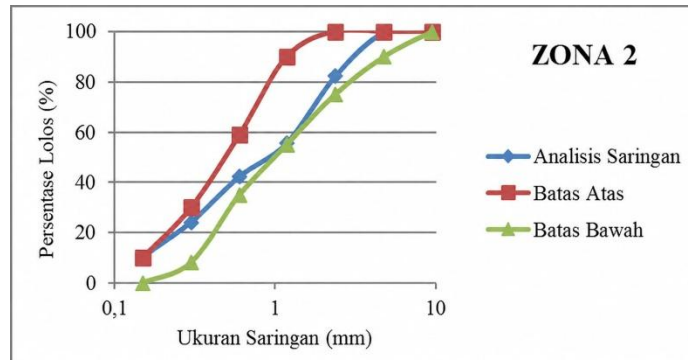
$$= \frac{500 - 498,10}{500} \times 100\%$$

$$= 0,38\%$$

$$\text{FM} = \frac{\text{Jumlah persentase kumulatif tertahan di atas saringan no 200}}{100}$$

$$= \frac{0,28 + 17,77 + 44,29 + 57,64 + 75,91 + 89,72}{100}$$

$$= 2,86$$



Gambar 4.1. Grafik Zona Agregat Halus

Melihat Gambar 4.1, terbukti bahwa distribusi ukuran butir agregat halus berada pada zona 2, ditandai dengan posisi garis berada di antara kurva batas atas serta batas bawah. Zona 2 menandakan ukuran butiran agregat halus termasuk butiran sedang, sehingga agregat memiliki *workability* yang baik dan cocok digunakan untuk beton struktural.

4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh data berupa karakteristik material sebelum digunakan untuk adukan beton. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk acuan dalam penyusunan perencanaan *mix design*. Adapun hasil pengujian agregat kasar disajikan pada subbab berikut.

4.3.1. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan untuk pengujian kadar lumpur ini yang tertinggal di ayakan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan melalui saringan nomor 3/4" (19 mm). Informasi yang didapatkan dari hasil pengujian, dapat dihitung:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Dimana:

W_1 = Bobot agregat awal (gram)

W_2 = Bobot agregat kering setelah dicuci (gram)

Hasil pengujian:

1. Benda Uji 1

Bobot kering setelah dicuci = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2480 gram

$$\begin{aligned} \text{jumlah lumpur (benda uji 1)} &= \frac{2500 - 2480}{2500} \times 100 \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 1

Bobot awal = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2485 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 2)} &= \frac{2500 - 2485}{2500} \times 100 \\ &= 0,6\% \end{aligned}$$

3. Benda Uji 1

Bobot awal = 2500 gram

Bobot agregat setelah dicuci = 2472 gram

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumpur (benda uji 3)} &= \frac{2500 - 2472}{2500} \times 100 \\ &= 1,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga rerata kandungan lumpur} &= \frac{0,8 + 0,6 + 1,1}{3} \\ &= 0,84\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, rekapitulasi akan disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengukuran	Notasi	Sampel 1 (gram)	Sampel 2 (gram)	Sampel 3 (gram)
Bobot awal (kering)	W1	2500	2500	2500
Bobot agregat setelah dicuci (kering)	W2	2485	2470	2472,7
Persentase kadar lumpur $\frac{W_1 - W_2}{W_1}$	W	0,60	1,20	1,09
Rerata kandungan lumpur (%)			0,96	

Hasil persentase dari pengujian kandungan lumpur yang telah didapatkan pada sampel 1 hingga sampel 3 berturut-turut yaitu 0,8%; 0,6%; dan 1,1%. Maka rata-rata kadar lumpur yang didapat yaitu 0,84% yang berarti agregat lolos spesifikasi mengacu pada SNI S-04-1989-F, kandungan lumpur tidak lebih dari 1%.

4.3.2. Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pada pengujian ini memakai agregat kasar yang tertinggal ayakan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan lolos saringan nomor 3/4" dengan kondisi kering oven. Setelah dilakukan pengujian, hasil diperoleh nilai dan diolah dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat bejana (T)} = 5,89 \text{ kg}$$

$$\text{Berat agregat kasar + bejana besi (G)} = 21,635 \text{ kg}$$

$$\text{Tinggi bejana (h)} = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Diameter bejana (d)} = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Volume bejana (V)} = (\pi \cdot r^2 \cdot h)$$

$$= 3,14 \times 0,12^2 \times 0,24$$

$$= 0,0108 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat isi (M)} = \frac{(G-T)}{V}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(21,635 - 5,89)}{0,0108} \\
 &= 1450,9 \text{ Kg/m}^3 \\
 \text{Berat jenis curah (S)} &= 2,63 \\
 \text{Rongga udara} &= \frac{[(S \times 998) - M]}{(S \times 998)} \\
 &= \frac{[(2,63 \times 998) - 1450,9]}{(2,63 \times 998)} \\
 &= 44,9\%
 \end{aligned}$$

Dari uraian data di atas, untuk mempermudah pembacaan, maka akan disimpulkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data dan Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar

Uraian	Notasi	Satuan	Metode Ditusuk
Berat bejana besi (B1)	T	Kg	5,89
Berat agregat kasar + bejana besi (B2)	G	Kg	21,635
Tinggi bejana	H	M	0,24
Diameter bejana	D	M	0,24
Volume bejana	V	M ³	0,0108
Berat isi agregat kasar	$M = \frac{(G-T)}{V}$	Kg/m ³	1450,9
Berat jenis curah	S	Kg/m ³	2,63
Rongga udara	$\frac{[(S \times 998) - M]}{(S \times 998)}$	%	44,9

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh hasil berat isi agregat kasar dengan prosedur dipadatkan atau ditusuk sebesar 1450,9 Kg/m³ dan rongga udara sebesar 44,9 %. Hasil ini, masih masuk ke dalam standar yang berkisaran 1.400 – 1.800 Kg/m³ dengan rongga udara 30 – 45 %.

4.3.3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini menggunakan agregat yang tertinggal saringan nomor 4 dengan bukaan 4,75 mm dan melalui ayakan nomor 3/4" (19 mm) dalam kondisi SSD. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui nilai berat jenis curah, SSD, semu, serta penyerapan air agregat halus, yang digunakan sebagai parameter dalam metode volume absolut pada perhitungan mix desain beton. Berikut merupakan hasil yang didapat dari pengujian ini, disertai cara pengolahannya sebagai berikut:

Bobot kering oven (A) = 3000 gram

Bobot agregat SSD (B) = 3010 gram

Bobot di dalam air (C) = 1870 gram

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (curah)} &= \frac{A}{(B - C)} \\ &= \frac{3000}{(3010 - 1870)} \\ &= 2,63\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B}{(B - C)} \\ &= \frac{3010}{(3010 - 1870)} \\ &= 2,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (semu)} &= \frac{A}{(A - C)} \\ &= \frac{3000}{(3000 - 1870)} \\ &= 2,65\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{3010 - 3000}{3000} \right] \times 100\% \\ &= 0,33\%\end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Nilai
Bobot kering oven (Gram)	A	3000
Bobot SSD (Gram)	B	3010
Bobot di dalam air (Gram)	C	1870
Perhitungan	Notasi	Nilai
Berat jenis (curah)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,63
Berat jenis (SSD)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,64
Berat jenis (semu)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,65
Penyerapan air	$\left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\%$	0,33

Berdasarkan tabel di atas, rerata berat jenis curah sebesar 2,63, berat jenis SSD sebesar 2,64, berat jenis semu sebesar 2,65, serta besar nilai penyerapan air pada agregat halus yaitu 0,33%. Dari ketiga macam berat jenis, yang digunakan dalam perhitungan mix desain yaitu pada kondisi SSD, karena mewakili dari kondisi agregat yang akan diperlukan untuk adukan beton pada benda uji. Jadi, berat jenis agregat kasar yaitu 2,64.

4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Benang Nilon

Pada pemeriksaan ini digunakan dalam kondisi kering oven dan jenuh air. Pengujian dilakukan menggunakan metode piknometer untuk mencari nilai berat jenis serta

kemampuan penyerapan air benang nilon. Nilai tersebut digunakan sebagai parameter dalam perhitungan campuran beton serat, khususnya pada metode volume absolut dalam mix *design* beton.

Berikut merupakan hasil atau data yang didapat dari pengujian, disertai cara pengolahan datanya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot kering oven (A)} &= 5 \text{ gram} \\
 \text{Bobot air + piknometer} &= 699,40 \text{ gram} \\
 \text{Bobot piknometer + air + benda uji (C)} &= 699,90 \text{ gram} \\
 \text{Berat jenis} &= \frac{A}{(B+A-C)} \\
 &= \frac{5}{(699,4 + 5 - 699,9)} \\
 &= 1,11 \\
 \text{Penyerapan air} &= \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \\
 &= \left[\frac{5,4 - 5}{5} \right] \times 100\% \\
 &= 8\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari perhitungan di atas untuk mempermudah pembacaan disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Uji Berat Jenis Benang Nilon

Pengujian	Notasi	Nilai
Bobot kering oven (Gram)	A	5
Bobot air + piknometer (Gram)	B	699,4
Bobot benda uji + air + piknometer (Gram)	C	699,9
Bobot benda uji basah	S	5,4
Perhitungan	Notasi	Nilai
Berat jenis	$\frac{A}{(B+A-C)}$	1,11
Penyerapan air	$\left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\%$	8,0

Berdasarkan Tabel 4.7, didapat hasil berat jenis sebesar 1,11 dan nilai penyerapan air yaitu 8,0%. Kondisi benang nilon yang digunakan untuk pembuatan campuran beton yaitu kondisi kering.

4.5. Perencanaan Mix Desain

Penentuan komposisi penyusun beton didasarkan pada SNI 7656:2012 serta parameter hasil dari pengujian agregat yang telah dilaksanakan sebelumnya. Maka dari itu, perhitungann mix desainnya sebagai berikut:

1. Kuat Tekan Rencana

Mengacu pada ACI 318-19, kuat tekan rencana memiliki rumus seperti berikut:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64S$$

Nilai deviasi yang digunakan, mengacu pada tabel 4.9. ACI 214R-11, yang akan didetailkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Standar Pengendalian Mutu Beton untuk $f'_c \leq 35$ MPa

Variasi Keseluruhan					
Kelas	Standar Deviasi (MPa)				
	Sangat baik	Baik sekali	Baik	Cukup	Kurang
Konstruksi umum	Dibawah 400	400 – 500	500 – 600	600 – 700	Di atas 700
	(< 2.8)	(2.8 – 3.4)	(3.4 – 4.1)	(4.1 – 4.8)	(> 4.8)
Percobaan laboratorium	Di bawah 200	200 – 250	250 – 300	300 – 350	Di atas 350
	(< 1.4)	(1.4 – 1.7)	(1.7 – 2.1)	(2.1 – 2.4)	(> 2.4)
Koefisien variasi untuk berbagai standar kontrol (%)					
Kelas	Sangat baik	Baik sekali	Baik	Cukup	Kurang
Pengendalian lapangan	< 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 5.0	5.0 – 6.0	> 6.0
Percobaan laboratorium	< 2.0	2.0 – 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 5.0	> 5.0

Sumber: ACI 214R-11

Pada penelitian ini diasumsikan standar deviasi yang mengacu pada kategori *poor* sebagai dasar perencanaan campuran beton. Pemilihan kategori tersebut dikarenakan dengan pertimbangan bahwa penelitian belum memiliki data histori hasil pengujian beton secara akurat. Nilai deviasi digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan kesalahan yang timbul selama proses penimbangan material, pencampuran beton, pemadatan campuran, perawatan benda uji, serta pelaksanaan pengujian di laboratorium.

Sehingga nilai standar deviasi yang digunakan pada mix desain penelitian ini yaitu 2.4. Sehingga kuat tekan rencana menjadi::

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + 1,64S \\ f'_{cr} &= 25 + 1.64 (2.4) \\ &= 25 + 3,94 \\ &= 28,94 \\ &= 29 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Semen menggunakan jenis semen gresik PCC. Berdasarkan hasil dari pengujian laboratorium yang dites oleh PT Semen Gresik (Persero) Tbk, berat jenis semen gresik PCC bernilai 2,96.
3. Dikarenakan penelitian ini menggunakan penambahan serat nilon, maka nilai *slump* tidak boleh terlalu rendah karena nilon akan membuat beton menjadi lebih kaku daripada beton normal. Jadi digunakan nilai *slump* dengan batas 75 – 100 mm .
4. Berhubung tujuan penelitian beton ini digunakan untuk beton struktur, dimana beton tersebut membutuhkan baja tulangan yang lumayan rapat. Maka agar agregat kasar dapat masuk di antara tulangan, digunakan dimensi agregat kasar paling besar 19 mm.
5. Sesuai dengan *slump* awal sebesar 75 mm hingga 100 mm dan maksimal besar agregat kasar 19 mm, maka kebutuhan air yang digunakan yaitu 205 kg/m³ dan banyak udara yang ada dalam beton yaitu 2%.

6. Menentukan rasio air semen.

Jika target f'_{cr} adalah 29 MPa, maka untuk nilai rasio air-semen yang akan digunakan dicari menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Rasio Air-Semen (29 MPa)} &= 0,61 - \left(\frac{29-25}{30-25} \right) (0,61 - 0,54) \\ &= 0,61 - \frac{4}{5} (0,07) \\ &= 0,61 - 0,056 \\ &= 0,554\end{aligned}$$

7. Menghitung kadar semen gresik PCC yang diperlukan.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Semen} &= \frac{\text{Kebutuhan Air}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,554} \\ &= 370,036 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi kebutuhan semen untuk per m^3 yaitu 370,036 kg.

8. Berdasarkan ukuran maksimum agregat kasar yaitu 20 mm, dengan nilai FM agregat halus 2,86, maka diketahui volume agregat kasar per m^3 sebesar $0,62 \text{ m}^3$.

Kadar agregat kasar dihitung dari berat isi dikalikan volume, maka:

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{berat isi agregat kasar} \times \text{volume} \\ &= 1450,9 \times 0,62 \\ &= 899,562 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

9. Jika menggunakan acuan dimensi agregat paling besar 19 mm, maka berat beton segar diperkirakan sebesar $2345 \text{ (kg/ m}^3\text{)}$. Akan tetapi tabel 3.12 dapat langsung digunakan apabila kadar semen 330 kg/m^3 , nilai *slump* sedang (75 – 100 mm), dan berat jenis sebesar 2,7. Jika tidak sesuai, maka berat perkiraan beton normal dapat dihitung menggunakan volume absolut sebagai berikut:

$$\text{Volume absolut} = \frac{\text{kadar material}}{\text{berat jenis}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= \frac{205}{1000} \\
 &= 0,205 \text{ m}^3 \\
 \text{Semen} &= \frac{370,036}{2960} \\
 &= 0,125 \text{ m}^3 \\
 \text{Agregat kasar} &= \frac{899,562}{2640} \\
 &= 0,340 \text{ m}^3 \\
 \text{Udara} &= \frac{2}{100} \\
 &= 0,020 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk volume agregat halus dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat halus} &= 1 - (\text{volume air} + \text{volume semen} + \text{volume agregat kasar} + \text{volume udara}) \\
 &= 1 - (0,205 + 0,125 + 0,340 + 0,020) \\
 &= 0,310
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui berat kebutuhan agregat halus yang digunakan, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{kadar agregat halus} &= \text{volume agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus} \\
 &= 0,310 \times 2600 \\
 &= 806,417 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga dari perhitungan di atas, dapat ditentukan berat beton segar 1 m³ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Bobot beton segar} &= \text{kadar air} + \text{kadar semen} + \text{kadar agregat kasar} \\
 &\quad + \text{kadar agregat halus} \\
 &= 205 + 370,036 + 899,562 + 806,417 \\
 &= 2281,014 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

10. Menghitung kebutuhan nilon yang didapat dari 1% dari berat semen. Sehingga kadar nilon yang dibutuhkan untuk 1 m³, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar nilon per } 1 \text{ m}^3 &= \frac{1}{100} \times \text{kadar semen} \\
 &= \frac{1}{100} \times 370,036 \text{ kg} \\
 &= 3,70036 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Volume nilon} &= \frac{\text{kadar nilon}}{\text{berat jenis nilon}} \\
 &= \frac{3,70036}{1110} \\
 &= 0,00333 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Penelitian ini menggunakan serat nilon sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus untuk mempertahankan volume total campuran agar tetap konstan sesuai dengan volume absolut. Selain itu, agregat halus dipilih karena ukuran dan distribusinya lebih dekat dengan serat dibandingkan agregat kasar. Sehingga kadar agregat halus yang dikurangi dan digantikan dengan kadar nilon sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar pasir yang dikurang} &= \text{volume nilon} \times \text{bj agregat halus} \\
 &= 0,00333 \times 2600 \\
 &= 8,658 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan campuran beton yang telah dilakukan sesuai metode yang digunakan, diperoleh kebutuhan masing-masing material penyusun beton untuk setiap 1 m^3 campuran. Rekapitulasi perhitungan *mix design* akan disajikan pada Tabael 4.9.

Tabel 4.9. Rekapitulasi Ketentuan Mix Desain

Uraian	Nilai	Satuan
Kuat tekan target (f'_c)	25	MPa
Standar deviasi	2,4	MPa
Nilai kuat tekan rencana (f'_{cr})	29	MPa
Rasio air-semen	0,544	-
Nilai <i>slump</i>	75 – 100	mm
Dimensi agregat kasar maksimum	20	mm

Uraian	Nilai	Satuan
Ukuran agregat halus maksimum	4,75	mm
Berat jenis SSD agregat kasar	2,64	-
Berat jenis SSD agregat halus	2,6	-
Berat jenis benang nilon	1,11	-
Modulus Kehalusan (FM)	2,86	-
Berat beton segar	2281,014	kg/ m ³

Berdasarkan rekapitulasi parameter perencanaan campuran pada tabel 4.10, selanjutnya dilakukan rekapitulasi perhitungan kebutuhan pada setiap material untuk campuran beton segar per meter kubuk. Perhitungan berdasarkan *mix design* yang telah dilakukan, sehingga diperoleh kebutuhan air, semen, agregat kasar maupun halus, dan serat nilon. Hasil perhitungan kebutuhan material beton segar disajikan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Kebutuhan Material Beton Segar per m³

Kebutuhan Variasi Beton Normal per 1 m ³	
Material	Kebutuhan per 1 m ³ (kg)
Air	205,000
Semen	370,036
Agregat kasar	899,562
Agregat halus	806,417
Kebutuhan Variasi Beton Serat per 1 m ³	
Material	Kebutuhan per 1 m ³ (kg)
Air	205,000
Semen	370,036
Agregat kasar	899,562
Agregat halus	797,759
Nilon	3,700

Setelah mengetahui kebutuhan material untuk beton segar per 1 m³, dilanjutkan mencari kebutuhan bahan untuk seluruh benda uji yang dibuat berdasarkan jumlah dan ukuran benda uji. Berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan 1 silinder} &= \pi \times r^2 \times h \\ &= 3,14 \times 0,075^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume cetakan 1 balok} &= p \times l \times h \\ &= 0,1 \times 0,4 \times 0,1 \\ &= 0,004 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan kebutuhan material per meter kubik terhadap volume cetakan silinder maupun balok, kemudian dihitung berdasarkan jumlah benda uji. Di samping itu, diperlukan menambahkan 15% untuk mencegah kekurangan material karena tercecer maupun tertinggal dalam *mixer*. Hasil perhitungan kebutuhan material untuk variasi beton normal disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Kebutuhan Material Variasi Beton Normal

Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Silinder (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,0053	6	6,517	7,495
Semen	370,036	0,0053	6	11,764	13,529
Agregat kasar	899,562	0,0053	6	28,599	32,889
Agregat halus	806,417	0,0053	6	25,638	29,484
Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Balok (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,004	3	2,460	2,829
Semen	370,036	0,004	3	4,440	5,106
Agregat kasar	899,562	0,004	3	10,795	12,414
Agregat halus	806,417	0,004	3	9,677	11,129

Berdasarkan kebutuhan material pada beton normal, selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan material untuk variasi beton serat dengan mempertimbangkan penambahan serat nilon sesuai variasi yang ditentukan. Perhitungan dilakukan menggunakan metode yang sama dan akan disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Kebutuhan Material Variasi Beton Serat

Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Silinder (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,0053	18	19,552	22,485
Semen	370,036	0,0053	18	35,293	40,587
Agregat kasar	899,562	0,0053	18	85,798	98,668
Agregat halus	797,759	0,0053	18	76,088	87,501
Nilon	3,700	0,0053	18	0,353	0,406
Material	Kebutuhan per 1 m ³	Volume Cetakan Balok (m ³)	Jumlah Benda Uji	Total	Total Kebutuhan Material + 15% (kg)
Air	205,000	0,004	9	7,380	8,487
Semen	370,036	0,004	9	13,321	15,319
Agregat kasar	899,562	0,004	9	32,384	37,242
Agregat halus	797,759	0,004	9	28,719	33,027
Nilon	3,700	0,004	9	0,133	0,153

Dari tabel di atas, didapatkan kebutuhan beton normal dan beton serat dengan benda uji berbentuk silinder maupun balok. oleh karena itu, untuk mengetahui kebutuhan setiap material untuk keseluruhan benda uji, dengan menambahkan antara kebutuhan material beton silinder maupun balok. Rekapitulasi hasil total keseluruhan kebutuhan material benda uji disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Kebutuhan Material Keseluruhan Benda Uji

Material	Beton Normal (kg)	Beton Serat (kg)	Total Kebutuhan (kg)
Air	10.324	30.972	41,296
Semen	18,635	55,906	74,541

Material	Beton Normal (kg)	Beton Serat (kg)	Total Kebutuhan (kg)
Agregat kasar	45,303	135,910	181,213
Agregat halus	40.613	120,528	161,141
Nilon	-	0,559	0,559

4.6. Hasil Pengujian Beton

Pengujian beton untuk mengetahui pengaruh penambahan serat nilon terhadap karakteristik maupun sifat beton segar dan beton keras. Tahapan pengujian meliputi pengujian *slump*, pengujian kuat tekan, dan pengujian kuat lentur. Hasil dari masing-masing pengujian dilakukan sebagai dasar analisis dalam mengevaluasi pengaruh variasi yang diterapkan terhadap kinerja beton. Adapun hasil pengujian beton yang diperoleh pada penelitian ini disajikan di bawah.

4.6.1. Hasil Uji *Slump*

Hasil dari *slump test* menginterpretasikan tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton segar. Sehingga proses pengadukan, penuangan, serta pemadatan menjadi lebih mudah tanpa mengalami segregasi maupun bleeding. Untuk menilai tingkat kekentalan beton, pengujian dijalankan dengan bantuan kerucut abrams sesuai standar pengujian beton segar. Dimana selisih tinggi antara cetakan dan penurunan permukaan beton setelah cetakan diangkat dinyatakan sebagai nilai *slump*. Berdasarkan mix desain yang sudah direncanakan, hasil uji *slump* menghasilkan disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil *Slump Test*

Variasi Beton	Nilai <i>Slump</i>
BN	90
V1	80

Variasi Beton	Nilai <i>Slump</i>
V2	85
V3	83

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil pada beton normal diperoleh nilai *slump* sebesar 90 mm, sedangkan untuk campuran beton serat nilai *slump* sebesar 80 mm, 85 mm, dan 83 mm. Nilai tersebut sudah sesuai dengan rencana, yang berarti adukan beton memiliki konsistensi yang baik dan cukup praktis untuk dikerjakan. Hal ini dipengaruhi oleh rasio antara air dan semen, gradasi agregat, bentuk dan tekstur agregat, serta penggunaan bahan tambah maupun serat pada campuran beton. Penambahan serat umumnya dapat menurunkan nilai *slump* akibat meningkatnya gesekan antar material di dalam campuran. Nilai *slump* yang terlalu rendah menunjukkan beton bersifat kaku sehingga sulit dipadatkan, sedangkan *slump* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya segregasi dan penurunan mutu beton. Berikut merupakan dokumentasi nilai slump yang dihasilkan.



Gambar 4.2. Hasil Uji *Slump* Beton Normal



Gambar 4.3. Hasil Uji *Slump* Beton Serat

Pengujian *slump* menjadi salah satu parameter penting untuk memastikan apakah campuran beton telah sesuai syarat *workability* sesuai mutu rencana dan kebutuhan pelaksanaan di lapangan. Dengan demikian, campuran beton yang dibuat memiliki tingkat kelecakan yang masih memenuhi ketentuan dan layak digunakan untuk proses pembuatan benda uji maupun pekerjaan konstruksi.

4.6.2. Uji Kuat Tekan

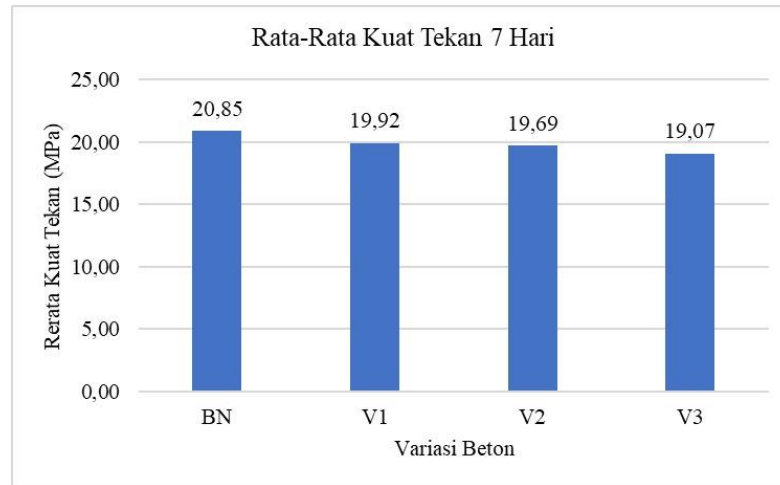
Rangkaian pengujian mekanis yang telah dilaksanakan di laboratorium, diperoleh data kuat tekan beton yang merepresentasikan kapasitas struktural dari sampel uji. Pengujian dilakukan pada dua tahap umur beton yang krusial pada setiap variasinya, yaitu umur 7 hari agar memantau perkembangan pada kekuatan awal, serta umur 28 hari untuk kekuatan tekan karakteristik final yang direncanakan. Benda uji yang kami buat sebanyak 44 buah dan terdapat 4 variasi, yaitu beton normal (BN), beton dengan penambahan serat 1% panjang 10 mm (V1), beton dengan penambahan serat 1% panjang 20 mm (V2), dan beton dengan penambahan serat 1% panjang 30 mm (V3). Penambahan serat dengan volume yang sama pada ketiga variasi tersebut. Data hasil

pengujian kuat tekan di umur 7 hari dan uji kuat tekan di umur 28 hari, akan disajikan secara rinci pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Hasil Uji Kuat Tekan 7 Hari

Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
BN	1	30	15	12,710	176,625	0,0024	362	20,50	20,85
	2	30,5	15	12,730	176,625	0,0024	363	20,55	
	3	30	15	12,695	176,625	0,0024	380	21,51	
V1	1	30,8	15	12,705	176,625	0,0023	362	20,50	19,84
	2	30	14,8	12,680	171,946	0,0025	345	20,06	
	3	30	15	12,665	176,625	0,0024	335	18,97	
V2	1	30,5	15,1	12,650	178,988	0,0023	347	19,39	19,65
	2	30,1	14,9	12,605	174,278	0,0024	356	20,43	
	3	30	15	12,620	176,625	0,0024	338	19,14	
V3	1	30,4	15	12,640	176,625	0,0024	322	18,23	19,07
	2	30	14,9	12,610	174,278	0,0024	346	19,85	
	3	30	15	12,550	176,625	0,0024	338	19,14	

Berdasarkan tabel 4.15, pengujian pada hari ketujuh menunjukkan bahwa beton normal (BN) memiliki kekuatan tekan rerata tertinggi, yaitu 20,85 MPa. Pada variasi beton dengan penambahan serat nilon 10 mm (V1), diperoleh kuat tekan rerata sebesar 19,92 MPa. Sedangkan untuk variasi beton serat 20 mm (V2) dan serat 30 mm (V3), secara urut kuat tekannya sebesar 19,69 MPa dan 19,07 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat nilon cenderung menyebabkan penurunan kekuatan tekan di umur 7 hari dibandingkan dengan beton tanpa serat.



Gambar 4.4. Gambar Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari

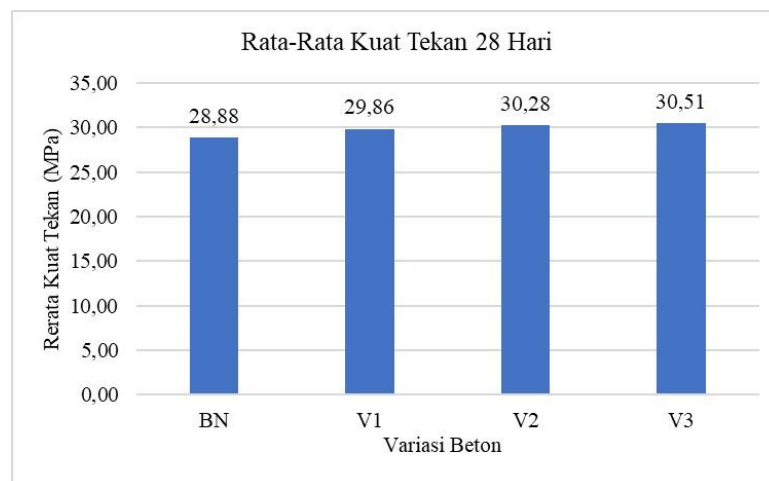
Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.4, terlihat adanya penurunan kuat tekan beton pada umur 7 hari seiring dengan bertambahnya panjang serat nilon yang digunakan. Untuk melihat perkembangan kekuatan beton yang lebih optimal kuat tekannya, dilakukan pengujian lanjutan pada saat beton menyentuh usia 28 hari. Hasil pengujian laboratorium yang lebih mendalam pada beton pada usia 28 hari akan disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari

Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
BN	1	30,1	15,0	12,380	176,625	0,0023	512	28,99	28,88
	2	30,0	15,1	12,440	178,988	0,0023	498	27,82	
	3	30,2	15,0	12,205	176,625	0,0023	527	29,84	
V1	1	30,0	15,0	12,405	176,625	0,0023	518	29,33	29,86
	2	30,0	15,0	12,520	176,625	0,0024	519	29,38	
	3	30,0	15,0	12,460	176,625	0,0023	545	30,86	

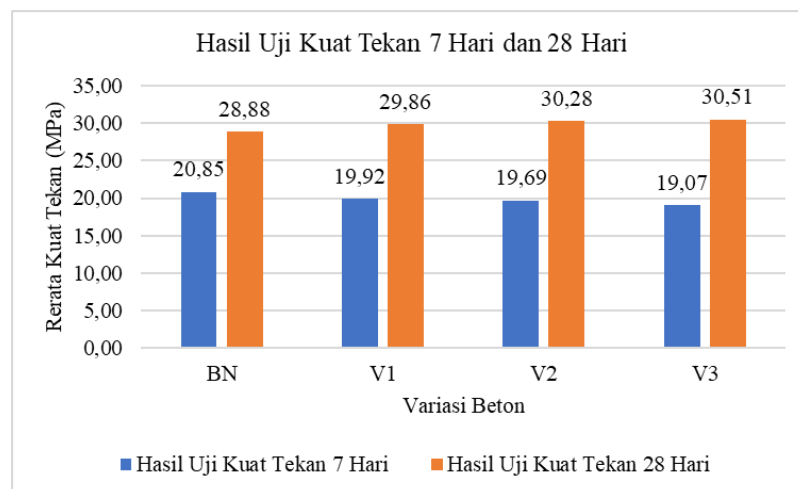
Variasi	Kode	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Berat (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Berat Isi (kg/cm ³)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata (MPa)
							KN	MPa	
V2	1	30,0	15,0	12,285	176,625	0,0023	527	29,84	30,28
	2	30,0	14,9	12,420	174,278	0,0023	536	30,76	
	3	29,9	15,0	12,690	176,625	0,0024	534	30,23	
V3	1	30,0	15,1	12,645	178,988	0,0024	538	30,06	30,51
	2	30,0	15,0	12,535	176,625	0,0024	541	30,63	
	3	30,0	15,0	12,500	176,625	0,0024	545	30,86	

Berdasarkan Tabel 4.16, Kuat tekan rerata yang diperoleh beton Normal (BN) sebesar 28,88 MPa. Setelah dilakukan penambahan serat nilon, menghasilkan adanya tren kenaikan nilai kuat tekan rerata secara konsisten seiring dengan bertambahnya panjang dimensi serat yang digunakan. Pada variasi campuran dengan serat nilon 10 mm (V1), nilai kekuatan tekan rerata naik jadi 29,86 MPa. Kenaikkan kekuatan ini terus berlanjut pada variasi serat nilon 20 mm (V2) dengan nilai kuat tekan rerata mencapai 30,28 MPa, dan mencapai titik tertingginya pada variasi serat nilon 30 mm (V3) dengan capaian kekuatan tekan rerata sebesar 30,51 MPa.



Gambar 4.5. Grafik Uji Kuat Tekan 28 Hari

Dilihat dari Gambar 4.5, terlihat jelas adanya kenaikan yang dihasilkan oleh nilai kuat tekan beton, sejalan dengan bertambahnya dimensi panjang serat nilon yang digunakan pada umur 28 hari. Peningkatan ini membuktikan bahwa pada umur matang, serat nilon dapat berikatan secara optimal dengan matriks pasta semen. Serat yang lebih panjang pada variasi V3 memberikan kontribusi terbaik sebagai tulangan mikro (*micro reinforcement*) yang mengikat retakan internal saat beton menerima beban maksimum, sehingga menghasilkan kuat tekan tertinggi mencapai 30,51 MPa.



Gambar 4.6. Grafik Uji Kuat Tekan 7 Hari dan 28 Hari

Melalui grafik kombinasi pada Gambar 4.6, dapat dianalisis perbandingan pertumbuhan kekuatan beton antara umur awal (7 hari) dan umur matang (28 hari). Terjadi penurunan kuat tekan pada variasi beton serat. Akan tetapi, saat umur beton 28 hari, mengalami kenaikan signifikan pada variasi beton serat.

4.6.3. Uji Kuat Lentur

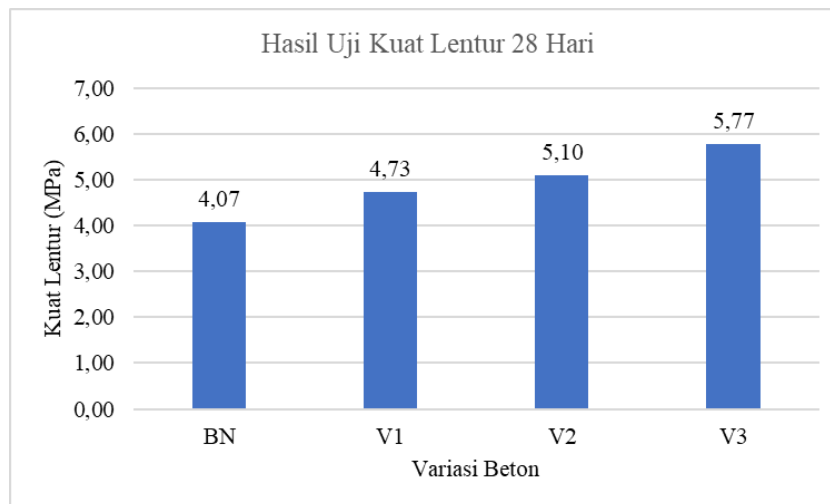
Setelah melakukan pengujian kuat tekan, evaluasi selanjutnya dilakukan terhadap kemampuan material dalam menahan beban tarik akibat lenturan melalui uji kuat lentur (*flexural strength test*). Pengujian ini sangat penting untuk mengetahui daktilitas dan kapasitas lentur beton, terutama untuk diaplikasikan pada struktur perkerasan jalan (*rigid pavement*). Detail data pengujian yang meliputi dimensi, beban maksimum, dan nilai kekuatan lentur disajikan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12. Hasil Uji Kuat Lentur 28 Hari

Variasi	Kode	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/cm ³)	Beban Maksimum (Ton)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)
BN	1	100	100	399	9,29	2328,3	1,30	3.83	4.07
	2	100	98	398	9,58	2456,2	1,40	4.29	
	3	101	100	398	9,48	2358,3	1,40	4.08	
V1	1	100	100	400	9,34	2335,0	1,65	4.86	4.73
	2	100	101	400	9,52	2356,4	1,60	4.62	
	3	100	100	399	9,34	2340,9	1,60	4.71	
V2	1	100	100	401	9,34	2329,2	1,80	5.30	5.10
	2	100	100	398	9,38	2356,8	1,80	5.30	
	3	100	100	399	9,75	2443,6	1,60	4.71	
V3	1	100	100	398	9,42	2366,8	1,90	5.59	5.77
	2	100	98	399	9,36	2393,7	2,10	6.44	
	3	100	100	400	9,65	2412,5	1,80	5,30	

Berdasarkan Tabel 3.12, diperoleh hasil kuat lentur beton pada umur matang 28 hari pada setiap variasi campuran. Beton Normal atau Kontrol (BN) menghasilkan

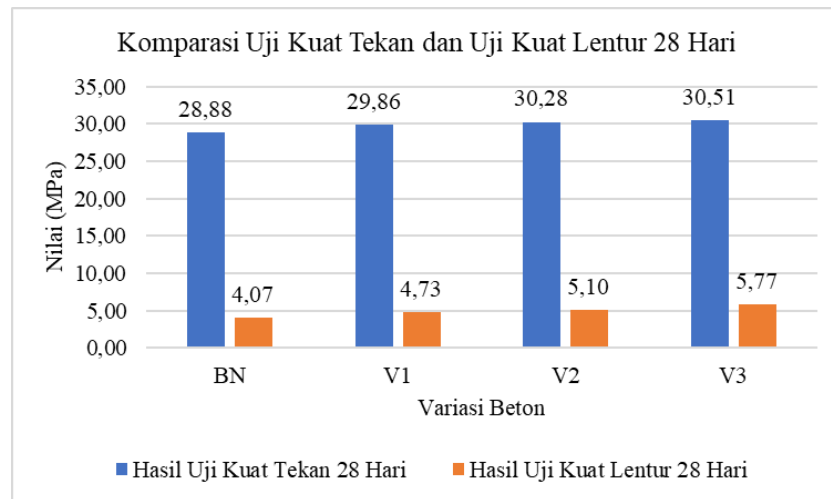
nilai kuat lentur rerata sebesar 4,07 MPa. Setelah dilakukan penambahan serat nilon, hasil pengujian menunjukkan adanya tren peningkatan kuat lentur yang konsisten seiring dengan bertambahnya panjang serat nilon yang digunakan. Pada variasi campuran dengan serat nilon panjang 10 mm (V1), nilai kuat lentur rerata meningkat menjadi 4,73 MPa. Peningkatan kekuatan ini terus berlanjut pada variasi serat nilon panjang 20 mm (V2) dengan nilai rerata mencapai 5,10 MPa, dan mencapai titik optimumnya pada variasi serat nilon panjang 30 mm (V3) dengan nilai kuat lentur rerata tertinggi sebesar 5,77 MPa.



Gambar 4.7. Grafik Uji Kuat Lentur 28 Hari

Berdasarkan kurva linear pada Gambar 4.7, terlihat dengan jelas adanya tren kenaikan nilai kuat lentur beton secara konstan yang sejalan dengan bertambahnya panjang serat nilon pada umur 28 hari. Kenaikan elevasi grafik yang dimulai dari Beton Kontrol (BN) sebesar 4,07 MPa hingga mencapai puncaknya pada variasi V3 sebesar 5,77 MPa membuktikan efektivitas serat dalam menahan gaya tarik akibat beban lentur. Secara teknis, visualisasi ini menegaskan bahwa penggunaan dimensi serat nilon yang lebih panjang mampu memberikan kontribusi mekanis yang lebih

optimal melalui mekanisme *bridging effect* (jembatan mikro) yang menunda proses runtuhnya balok beton saat mengalami pembebanan maksimum.



Gambar 4.8. Grafik Komparasi Uji Kuat Tekan dan Uji Kuat Lentur 28 Hari

Dilihat dari Gambar 4.8, terlihat bahwa adanya serat nilon memberikan kenaikan terhadap kuat lentur maupun kuat tekan pada umur 28 hari. Serat nilon mampu memperbaiki kinerja mekanik beton setelah mencapai umur rencana, di mana serat berperan membantu menahan penyebaran retak serta meningkatkan ikatan di dalam beton, sehingga menjadi lebih kuat terhadap beban tekan maupun lentur.

4.7. Analisa Biaya

Analisa biaya penelitian dibuat untuk mengetahui besarnya kebutuhan dana yang diperlukan pada saat pelaksanaan penelitian. Pada penelitian ini, analisa biaya dibuat sebagai pembandingan antara dana yang dikeluarkan untuk membuat benda uji beton normal maupun beton serat nilon. Pembuatan benda uji variasi beton serat nilon dilakukan dengan pemotongan serat terlebih dahulu sesuai dengan panjang yang ditentukan. Kegiatan tersebut tentu membutuhkan tenaga kerja untuk memotongnya,

sehingga diperlukan adanya biaya tenaga kerja. Selain itu perhitungan biaya material juga harus dilakukan karena adanya penambahan serat nilon pada beton variasi. Perhitungan disusun berdasarkan hasil perencanaan campuran per 1 m³ beton, yang meliputi kebutuhan semen, agegat halus, agregat kasar, dan air. Rekapitulasi ada pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Job Mix *Design* Beton per m³

Kode	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Nilon (kg)
BN	370,036	205,000	806,417	899,562	-
V1	370,036	205,000	797,759	899,562	3,7000
V2	370,036	205,000	797,759	899,562	3,700
V3	370,036	205,000	797,759	899,562	3,700

Keterangan:

BN : Beton Normal Kontrol

V1 : Beton – Serat panjang 10 mm

V2 : Beton – Serat panjang 20 mm

V3 : Beton – Serat panjang 30 mm

Pemotongan serat untuk setiap 1 kilogram benang nilon dengan panjang serat 10 mm membutuhkan waktu 10 jam, panjang serat 20 mm selama 7 jam, dan panjang serat 30 mm selama 4 jam. Maka, untuk biaya upah maupun material, dapat dihitung seperti di bawah ini:

Benang yang harus dipotong = 3700 gram atau 3,7 kilogram

Koefisien tenaga kerja memotong benang nilon:

$$\text{Variasi 10 mm} = \frac{(10 \times 3,7)}{8}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,625 \text{ OH} \\
 \text{Variasi 20 mm} &= \frac{(7 \times 3,7)}{8} \\
 &= 3,238 \text{ OH} \\
 \text{Variasi 30 mm} &= \frac{(4 \times 3,7)}{8} \\
 &= 1,850 \text{ OH}
 \end{aligned}$$

Pada penelitian ini, komponen upah yang dihitung berdasarkan kebutuhan waktu kerja hanya berupa perlakuan terhadap persiapan serat nilon, karena hal itu sebagai pembanding biaya antara beton normal dan beton serat. Maka, hasil perhitungan analisa upah tenaga kerja pada tiap variasi direkapitulasi pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18. Analisa Upah Tenaga Kerja untuk Beton Serat

Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
V1	OH	4,625	129.750,00	600.093,75
V2	OH	3,238	129.750,00	420.130,50
V3	OH	1,850	129.750,00	240.037,50

Setelah mengetahui analisa upah untuk tenaga kerja, selanjutnya dibuat analisa biaya material beton normal untuk mengetahui biaya bahan yang dibutuhkan sebagai penyusun campuran beton tanpa penambahan serat. Rincian perhitungan biaya material beton normal disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Analisa Biaya Material untuk Beton Normal

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen	Kg	370,036	1.437,50	531.926,75
Pasir Muntalan	Kg	806,417	190,00	153.219,23

Batu Pecah	Kg	899,562	306,67	275.868,68
Air	Liter	205,000	20,00	4.100,00
			Total	965.114,66

Selain beton normal, analisa beton serat juga harus dibuat untuk mengetahui perubahan kebutuhan biaya akibat penambahan serat nilon ke dalam campuran beton. Perbedaan kebutuhan material ini untuk mencari pengaruh penambahan serat terhadap total biaya campuran beton. Hasil perhitungan Analisa biaya beton serat disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Analisa Biaya Material untuk Beton Serat

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga
Semen	Kg	370,036	1.437,50	531.926,75
Pasir Muntlan	Kg	797,759	190,00	151.574,21
Batu Pecah	Kg	899,562	306,67	275.865,68
Air	Liter	205,000	20,00	4.100,00
Benang Nilon	Kg	3,700	55.000,00	165.000,00
			Total	1.128.466,64

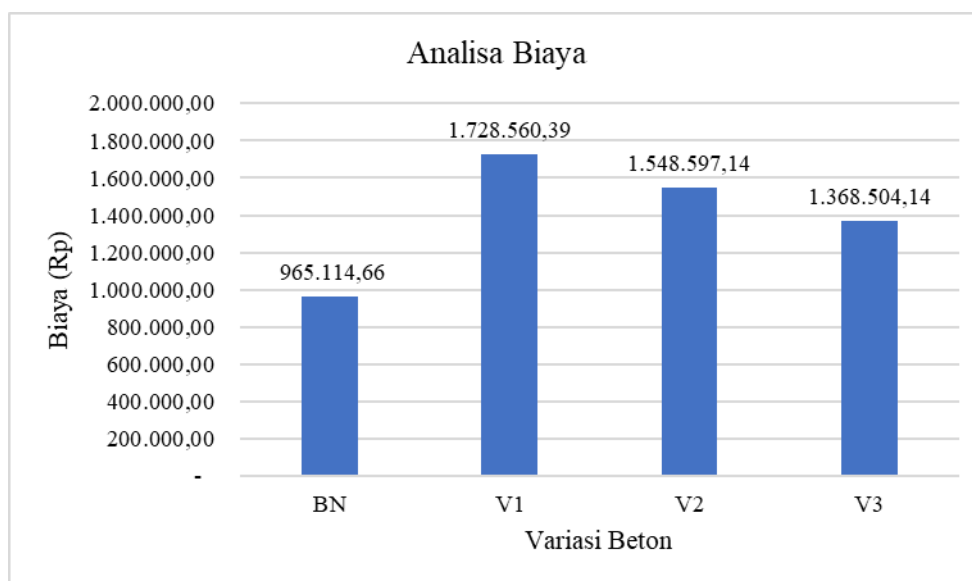
Setelah dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja dan material pada setiap campuran, selanjutnya dilakukan rekapitulasi total biaya untuk setiap variasi benda uji untuk membandingkan besarnya biaya yang diperlukan antara beton normal dan beton serat nilon. Hasil rekapitulasi jumlah biaya setiap variasi disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Jumlah Biaya setiap Variasi

Kode	Upah (Rp)	Material (Rp)	Total (Rp)
------	-----------	---------------	------------

Kode	Upah (Rp)	Material (Rp)	Total (Rp)
BN	-	965.114,66	965.114,66
V1	600.093,75	1.128.466,64	1.728.560,39
V2	420.130,50	1.128.466,64	1.548.597,14
V3	240.037,50	1.128.466,64	1.368.504,14

Hasil rekapitulasi biaya pada masing-masing variasi campuran beton, akan diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik untuk mempermudah pembacaan. Grafik ini bertujuan untuk memperlihatkan perbedaan biaya pada masing-masing variasi. Berikut merupakan grafik analisa biaya:



Gambar 4.9. Grafik Analisa Biaya

Berdasarkan grafik analisa biaya, dapat dilihat bahwa biaya beton normal (BN) mengeluarkan biaya paling rendah, yaitu sebesar Rp 965.114,66. Sementara itu, untuk variasi V1 menunjukkan total biaya tertinggi dengan nilai Rp 1.728.560,39, diikuti oleh beton variasi V2 sebesar Rp 1.548.597,14, dan V3 sebesar Rp

1.368.504,14. Peningkatan biaya pada beton serat dipengaruhi oleh adanya tambahan material serat nilon dan kebutuhan upah tenaga kerja pada masing-masing variasi yang memberikan kontribusi terhadap perbedaan biaya. Dengan demikian, analisa biaya ini dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan serat nilon dari sisi ekonomi dengan peningkatan kinerja beton yang dihasilkan.

4.8. Pembahasan

Pembuatan beton dengan menggunakan serat benang nilon ke dalam campuran, untuk mencari efek dari serat tersebut terhadap kekuatan lentur beton. Rekapitulasi hasil pengujian dan juga biaya ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton

Variasi	Kuat Tekan Rerata 7 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rerata 28 Hari (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)	Analisa Biaya (Rp)
BN	20,85	28,88	4,07	965.114,66
V1	19,84	29,86	4,73	1.728.560,39
V2	19,65	30,28	5,10	1.548.597,14
V3	19,07	30,51	5,77	1.368.504,14

Dari keseluruhan data Tabel. 4.23, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kuat tekan yang didapatkan pada seluruh variasi menunjukkan perkembangan dari umur 7 hari hingga umur 28 hari. Terlihat perbedaan nilai kuat tekan antar variasi relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencampuran, pengecoran, hingga perawatan benda uji telah dilakukan sesuai acuan sehingga menghasilkan data yang konsisten. Meskipun keberadaan serat nilon menurunkan kekuatan tekan pada umur awal (7 hari), seiring dengan bertambahnya umur beton terbukti memberikan dampak positif jangka panjang terhadap peningkatan kekuatan tekan dan lenturnya.

Peningkatan ini selaras dengan temuan Sumardi dkk. (2023), serat nilon memberikan dampak terhadap peningkatan performa beton lebih optimal terjadi pada umur 28 hari dibandingkan umur awal. Distribusi serat yang belum terikat sempurna dengan pasta semen dan agregat, dapat menghambat perkembangan kuat tekan pada umur awal. Sedangkan dari segi biaya, peningkatan biaya pada beton serat dipengaruhi oleh adanya tambahan material serat nilon dan kebutuhan upah tenaga kerja pada masing-masing variasi yang memberikan kontribusi terhadap perbedaan biaya.

Dari penelitian ini, diketahui fakta bahwa serat nilon kadar 1% dari berat semen dengan perbedaan panjang, mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban tekan maupun kuat lentur beton. Sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Manurung dkk. (2023) kuat tekan paling optimum terjadi pada variasi 1% penambahan serat dan penelitian oleh Bheel dkk. (2021), serat sebanyak 1% menghasilkan kuat lentur beton yang paling optimum. Selain itu, pada penelitian ini juga menunjukkan semakin panjang serat, maka semakin optimal hasil kuat tekan maupun lenturnya.