

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum

Pada bab ini akan dijabarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia. Hasil penelitian yang diperoleh berupa data material yang meliputi berat jenis dan penyerapan air agregat, berat isi gembur dan padat agregat, modulus halus butir agregat, serta kandungan lumpur serta hasil akhir pengujian yang berupa pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Pengujian semen tidak dilakukan, karena semen yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis semen tipe PCC yang dianggap sudah melalui *quality control* yang ketat dari pihak pabrik dan dapat dilihat secara visual yaitu semen tidak menggumpal, sedangkan abu arang yang digunakan untuk substitusi sebagian semen adalah abu arang yang lolos saringan no.200 (0,075 mm).

Selain itu, pada bab ini juga akan diuraikan pembahasan mengenai hasil yang diperoleh. Pengujian kuat tekan beton dan pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan (*Compressive Testing Machine*) tipe ADR dengan kapasitas 3000 KN. Hasil penelitian yang berupa data-data kasar, selanjutnya dianalisis untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas pada beton dengan abu arang sebagai substitusi sebagian semen dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003.

5.2 Hasil Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material untuk campuran beton meliputi pengujian agregat halus dan pengujian agregat kasar. Pengujian agregat halus dan pengujian agregat kasar secara detail disajikan pada poin-poin berikut.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan analisa saringan/kekasaran (gradasi), pemeriksaan berat volume gembur dan padat, pemeriksaan kandungan lumpur dan pemeriksaan kadar air. Hasil dari pemeriksaan agregat halus dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Pemeriksaan berat jenis pada agregat halus bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat halus. Berat jenis dari agregat halus akan menentukan berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton. Berat jenis pasir juga sangat mempengaruhi kekuatan beton itu sendiri. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Pemeriksaan	Agregat Halus		Rata-rata
	I	II	
Berat Pasir Kering Mutlak (gram)	486,15	484,55	
Berat Pasir SSD (gram)	500	500	
Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air (gram)	1016,5	1017,1	
Berat Piknometer Berisi Air (gram)	706,4	706,4	
Berat Jenis Curah	2,56	2,56	2,56
Berat Jenis SSD	2,63	2,64	2,64
Berat Jenis Semu	2,76	2,79	2,77
Penyerapan Air (%)	2,85	3,19	3,02

Pengujian pemeriksaan berat jenis pada agregat halus didapatkan hasil berat jenis SSD agregat halus adalah 2,637 dan hasil penyerapan air didapatkan 3,019%. Pada Peraturan Umum Untuk Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI) tahun 1982, syarat untuk berat jenis SSD agregat halus yang baik adalah 2,4 – 2,9, sedangkan untuk nilai yang disarankan untuk penyerapan air kurang dari 3%. Hasil berat jenis SSD agregat halus sudah memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton, sedangkan hasil penyerapan air agregat halus tersebut dapat dikatakan memenuhi syarat untuk bahan campuran beton.

2. Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Pemeriksaan gradasi pada agregat halus bertujuan untuk mengetahui nilai kehalusan dan kekasaran suatu agregat halus. Kehalusan dan kekasaran suatu agregat dapat mempengaruhi kelecakan suatu campuran beton. Hasil Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	18,7	0,9365	0,9365	99,0635
2,4	122,3	6,1251	7,0617	92,9383
1,2	240,7	12,0549	19,1165	80,8835
0,6	508,9	25,4871	44,6036	55,3964
0,3	498,8	24,9812	69,5848	30,4152
0,15	291,8	14,6141	84,1989	15,8011
Sisa	315,5	15,8011	100	0
Jumlah	1996,7	100	225,502	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertinggal}}{100} \\
 &= \frac{225,502}{100} \\
 &= 2,255
 \end{aligned}$$

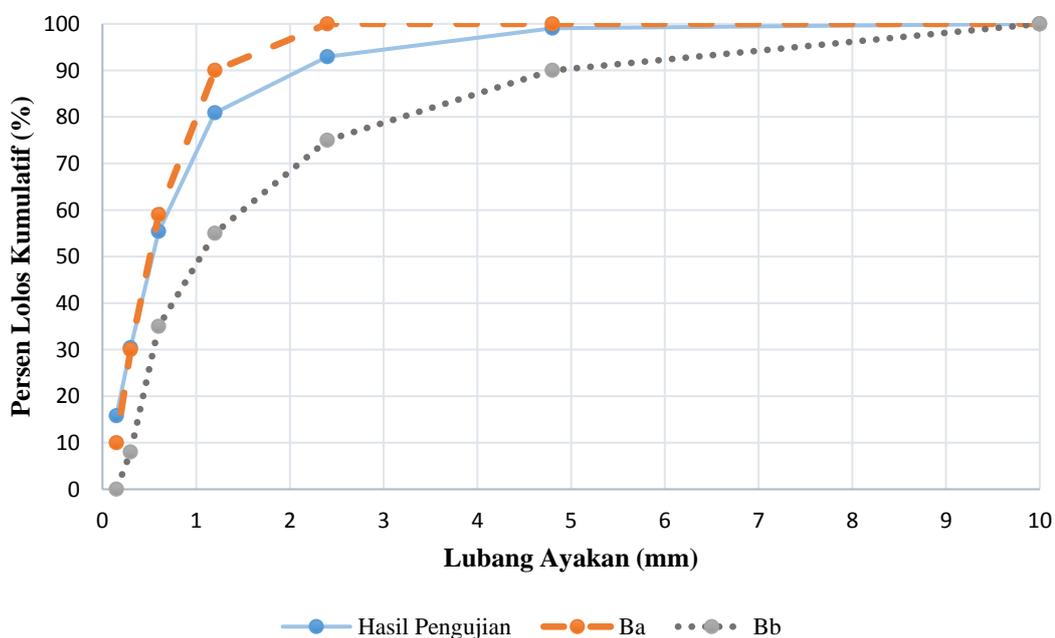
Modulus halus butir digunakan sebagai ukuran kehalusan atau kekasaran butir agregat. Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat halus didapatkan nilai modulus halus butir sebesar 2,255. Hasil tersebut sesuai dengan syarat pada SK SNI S-04-1989-F yaitu antara 1,5 - 3,8, maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan sudah memenuhi syarat yang sudah ditentukan dan dapat

digunakan sebagai bahan bangunan. Spesifikasi dan grafik gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.3 Gradasi Kekasaran Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Pasir Kasar	Pasir Agak Kasar	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
9,5	100 – 100	100 – 100	100 – 100	100 – 100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 - 10	0 – 10	0 – 15

Sumber: SNI 03-2834-2002



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah 2 (Pasir Agak Kasar)

Berdasarkan hasil pemeriksaan gradasi kekasaran agregat halus pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.1 diketahui bahwa agregat halus yang digunakan termasuk daerah 2 (pasir agak kasar).

3. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume agregat halus bertujuan untuk menentukan berat volume agregat. Berat volume adalah perbandingan antara berat agregat dengan volumenya. Pemeriksaan berat volume agregat halus dibedakan menjadi 2, yaitu pemeriksaan berat volume gembur dan berat volume padat. Hasil pemeriksaan berat volume agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Diameter (cm)	15	15
Tinggi (cm)	30	30
Berat Tabung (gram)	12500	10500
Berat Tabung dan Cetakan Silinder (gram)	20200	18200
Berat Agregat (gram)	7700	7700
Volume Tabung (cm ³)	5301,44	5301,44
Berat Volume (gram/cm ³)	1,452	1,452
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,452	

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Diameter (cm)	15	15
Tinggi (cm)	30	30
Berat Tabung (gram)	12500	10500
Berat Tabung dan Cetakan Silinder (gram)	21250	19500
Berat Agregat (gram)	8750	9000
Volume Tabung (cm ³)	5301,44	5301,44
Berat Volume (gram/cm ³)	1,65	1,698
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,674	

Dari hasil pemeriksaan berat volume didapatkan nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus sebesar 1,452 gram/cm³ dan nilai rata-rata berat volume padat agregat halus sebesar 1,674 gram/cm³. Hasil volume padat rata-rata lebih besar daripada volume gembur rata-rata dikarenakan adanya proses pemadatan pada pemeriksaan berat volume padat sehingga agregat halus yang masuk dalam cetakan lebih banyak daripada volume gembur yang dimana tanpa proses pemadatan.

4. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada permukaan agregat halus dan lolos ayakan No. 200. Kandungan lumpur pada permukaan butiran agregat mempengaruhi kekuatan ikatan semen dan agregat sehingga dapat mengurangi kekuatan beton. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Berat Pasir (gram)	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci (gram)	477,8	476,2
Berat Lolos Ayakan No. 200 (%)	4,44	4,76
Rata-rata Berat Lolos Ayakan No. 200 (%)	4,6	

Dari pemeriksaan kadar lumpur agregat halus didapatkan hasil sebesar 4,6 %. Menurut PBI 1971, syarat untuk kadar lumpur pada agregat halus harus kurang dari 5%. Hasil dari pemeriksaan kadar lumpur tersebut telah memenuhi syarat untuk campuran beton sehingga agregat halus dapat digunakan tanpa dicuci terlebih dahulu.

5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan kadar air pada agregat halus bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang dikandung oleh pasir. Kadar air yang dikandung pada suatu agregat sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Dalam rancangan campuran

beton kondisi agregat dianggap dalam keadaan kering permukaan (SSD) oleh karena itu kadar air agregat harus diperiksa sebelum dipergunakan. Dengan mengetahui kadar air dari agregat dapat diperhitungkan untuk penambahan maupun pengurangan air dalam suatu campuran beton. Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Berat Pasir Sebelum Dioven (gram)	500	500
Berat Pasir Kering Oven (gram)	481	479,6
Berat Kadar Air (%)	3,95	4,25
Berat Rata-rata Kadar Air (%)	4,1	

Berdasarkan Tabel 5.7 di atas menunjukkan bahwa hasil rata-rata kadar air pada agregat halus adalah 4,1 %.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan analisa saringan/kekasaran (gradasi), pemeriksaan berat volume gembur dan padat, pemeriksaan kandungan lumpur dan pemeriksaan kadar air. Hasil dari pemeriksaan agregat kasar disajikan dalam poin-poin berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis agregat bertujuan untuk mengetahui berat jenis pada agregat kasar. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Pemeriksaan	Agregat Halus		Rata-rata
	I	II	
Berat Kerikil Kering Mutlak (gram)	4942,5	4947,5	
Berat Kerikil SSD (gram)	5000	5000	

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Pemeriksaan	Agregat Halus		Rata-rata
	I	II	
Berat Kerikil Dalam Air (gram)	3006	2996,5	
Berat Jenis Curah	2,48	2,47	2,47
Berat Jenis SSD	2,51	2,50	2,50
Berat Jenis Semu	2,55	2,54	2,54
Penyerapan Air (%)	1,16	1,06	1,11

Berdasarkan hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar, berat jenis SSD agregat kasar didapatkan sebesar 2,502 dan penyerapan air sebesar 1,266. Menurut SNI 03-2461-2002, syarat untuk berat jenis SSD pada agregat kasar adalah antara 2,5 – 3,2 dan penyerapan air kurang dari 3%. Hasil dari pemeriksaan tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar tersebut memenuhi syarat untuk menjadi bahan bangunan.

2. Pemeriksaan Gradasi atau Analisis Saringan Agregat Kasar

Pemeriksaan gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui pembagian butir agregat kasar dan menentukan modulus halus dalam butiran kerikil atau agregat kasar. Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar disajikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	231,2	4,6240	4,6240	95,3760
20	1663,1	33,2623	37,8863	62,1137
10	2356,5	47,1304	85,0167	14,9833
4,8	340,2	6,8041	91,8207	8,1793
2,4	352	7,0401	98,8608	1,1392
1,2	52,23	1,0446	99,9054	0,0946
0,6	0	0,0000	99,9054	0,0946

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,3	0	0,0000	99,9054	0,0946
0,15	0	0,0000	99,9054	0,0946
Sisa	4,73	0,0946	100,0000	0,0000
Jumlah	4999,96	100,0000	717,8301	

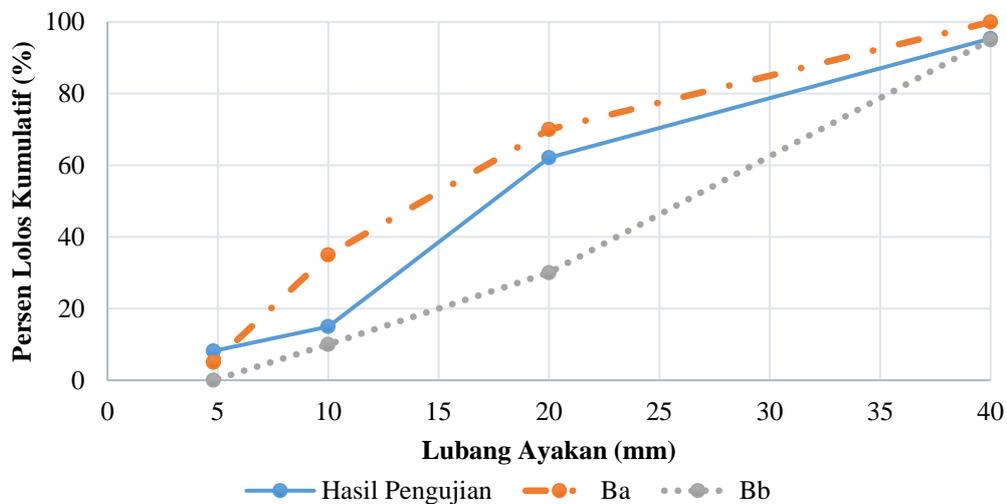
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertinggal}}{100} \\
 &= \frac{717,8301}{100} \\
 &= 7,178301
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar didapatkan nilai modulus halus butir sebesar 7,178. Hasil tersebut sesuai dengan syarat pada SK SNI S-04-1989-F yaitu antara 5,0 – 8,0, maka hasil modulus halus butir agregat kasar sudah memenuhi syarat yang ditentukan. Hasil gradasi per ukuran ayakan menunjukkan bahwa ukuran maksimum agregat kasar adalah sebesar 40 mm. Spesifikasi dan grafik gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.10 Spesifikasi Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Ukuran Maksimum 10 mm	Ukuran Maksimum 20 mm	Ukuran Maksimum 40 mm
76	-	-	100 – 100
38	100 – 100	100 – 100	95 – 100
19	100 – 100	95 – 100	35 – 70
9,6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
4,8	0 – 10	0 – 10	0 – 5

Sumber: SNI 03-2834-2002



Gambar 5.2 Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar atau Kerikil Ukuran Maksimum 40 mm

3. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar

Pemeriksaan berat volume agregat kasar bertujuan untuk menentukan berat volume agregat kasar dalam kondisi padat ataupun gembur. Berat volume adalah perbandingan antara berat agregat dengan volumenya. Pemeriksaan berat volume agregat kasar sama halnya dengan berat volume agregat halus, yaitu pemeriksaan berat volume gembur dan berat volume padat. Hasil pemeriksaan berat volume agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

Tabel 5.11 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	Hasil	
		I	II
Diameter (cm)	15	15	15
Tinggi (cm)	30	30	30
Berat Tabung (gram)	12500	10500	
Berat Tabung dan Cetakan Silinder (gram)	18800	16800	
Berat Agregat (gram)	6300	6300	
Volume Tabung (cm ³)	5301,44	5301,44	
Berat Volume (gram/cm ³)	1,188	1,188	
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,188		

Tabel 5.12 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Diameter (cm)	15	15
Tinggi (cm)	30	30
Berat Tabung (gram)	12500	10500
Berat Tabung dan Cetakan Silinder (gram)	19400	17550
Berat Agregat (gram)	6900	7050
Volume Tabung (cm ³)	5301,44	5301,44
Berat Volume (gram/cm ³)	1,302	1,329
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,316	

Dari hasil pemeriksaan berat volume didapatkan nilai rata-rata berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,188 gram/cm³ dan nilai rata-rata berat volume padat agregat kasar sebesar 1,316 gram/cm³. Berat volume padat rata-rata lebih besar daripada berat volume gembur rata-rata dikarenakan pada pemeriksaan berat volume padat melewati proses pemadatan yang menyebabkan ruang baru dalam cetakan agregat kasar, sehingga terdapat ruang yang cukup banyak untuk menampung lebih banyak kerikil dan mempengaruhi dari volume agregat kasar tersebut.

4. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada permukaan agregat kasar dan tertahan saringan No. 200. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Berat Pasir (gram)	2500	2500

Lanjutan Tabel 5.13 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci (gram)	2467,7	2478,8
Berat Lolos Ayakan No. 200 (%)	1,292	0,848
Rata-rata Berat Lolos Ayakan No. 200 (%)	1,07	

Dari pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar didapatkan hasil sebesar 1,07 %. Menurut PBI 1971, syarat untuk kadar lumpur pada agregat kasar harus lebih dari 1%. Hasil dari pemeriksaan kadar lumpur tersebut tidak memenuhi syarat sehingga agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan campuran beton.

5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar air pada agregat kasar bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang dikandung oleh kerikil. Pada dasarnya pemeriksaan kadar air sama halnya dengan pemeriksaan kadar air pada agregat halus. Hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	
	I	II
Berat Kerikil Sebelum Dioven (gram)	500	500
Berat Kerikil Kering Oven (gram)	490,2	490,8
Berat Kadar Air (%)	2,0	1,87
Berat Rata-rata Kadar Air (%)	1,94	

Berdasarkan Tabel 5.14 dapat diketahui hasil rata-rata kadar air pada agregat kasar adalah 1,94 %.

5.3 Perencanaan Campuran Beton atau *Mix Design*

Dalam penelitian ini, rencana campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2002 dengan judul “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”.

1. Langkah-langkah Perencanaan *Mix Design*

Langkah-langkah perencanaan *mix design* untuk campuran adukan beton beserta penjelasannya dapat diuraikan sebagai berikut.

- a. Kuat tekan yang direncanakan adalah 25 MPa.
- b. Karena jumlah pengujian kurang dari 15 sampel benda uji, maka untuk menghitung deviasi standar belum tersedia sehingga kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ($f'_c + 12$ MPa) dimana dihitung sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + 12 \text{ MPa} = 25 + 12 = 37 \text{ MPa}$$

- c. Jenis semen yang digunakan adalah Semen Portland merek Holcim tipe PCC.
- d. Jenis agregat yang digunakan adalah sebagai berikut.

- 1) Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami atau pasir kali yang berasal dari Merapi.

- 2) Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (kerikil) yang berasal dari Merapi.

- e. Penetapan faktor air semen diambil garis tegak lurus dengan menghubungkan kuat tekan rata-rata dan faktor air semen yang tertera pada Gambar 5.3. Penetapan faktor air semen dengan cara sebagai berikut.

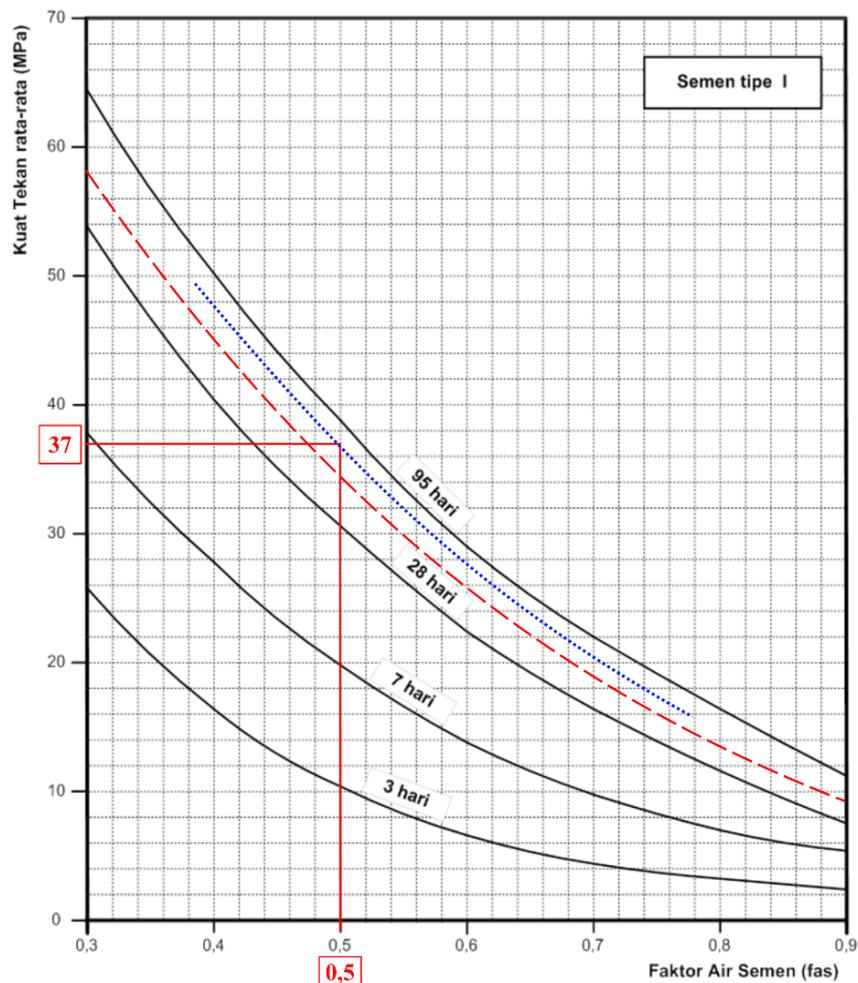
- 1) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 5.15, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.

Tabel 5.15 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Faktor Air Semen Dan Agregat Kasar Yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2002

- 2) Lihat Gambar 5.3 untuk benda uji berbentuk silinder.
- 3) Tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada (sub butir 1).
- 4) Tarik garis lengkung melalui titik pada (sub butir 2) secara proporsional.
- 5) Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan sampai memotong kurva baru.
- 6) Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air semen yang diperlukan.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Aie Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5.3 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2002)

Maka faktor air semen yang didapat dari grafik tersebut adalah 0,5.

- f. Nilai slump yang direncanakan adalah 100 mm.
- g. Besar butir agregat maksimum didapatkan berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan atau gradasi agregat kasar. Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar menunjukkan besar butir agregat maksimum adalah 40 mm.
- h. Penentuan nilai kadar air bebas agregat campuran. Ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm dan nilai slump yang ditentukan adalah 60-180 mm sehingga diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 175 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 225. Kemudian nilai kadar air bebas agregat campuran adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k \\ &= \frac{2}{3} \times 175 + \frac{1}{3} \times 205 \\ &= 185 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

dengan:

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

- i. Penentuan kadar semen:

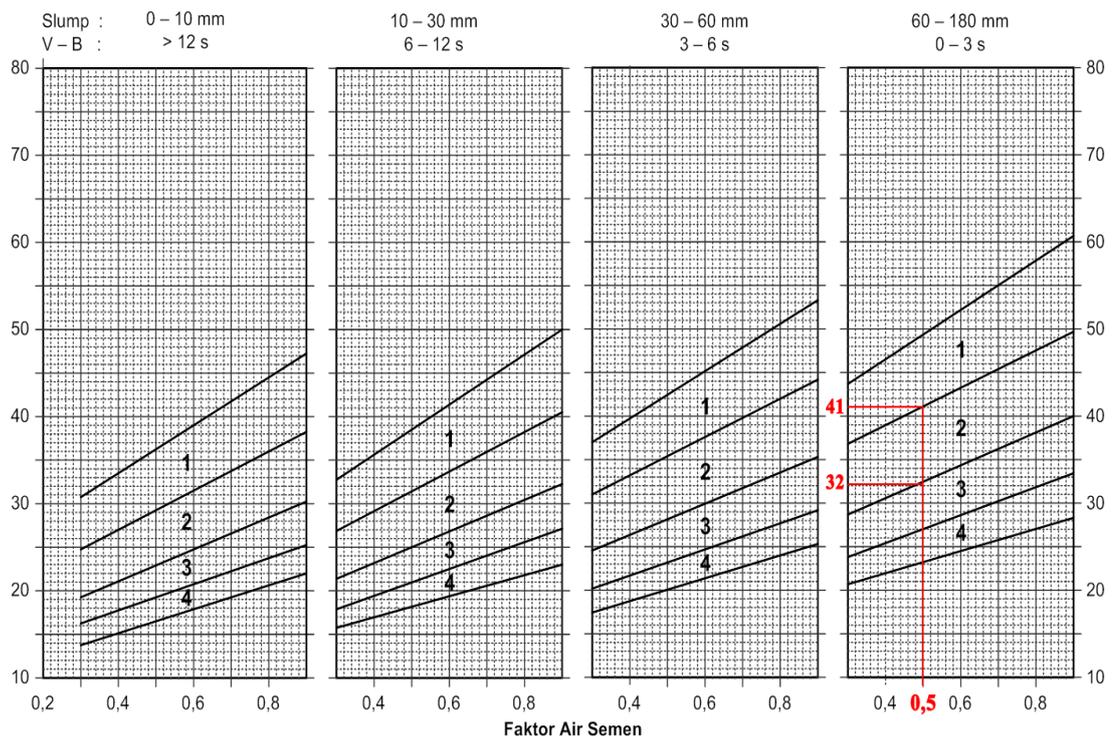
$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{\text{jumlah kadar air bebas}}{\text{faktor air semen}} \\ &= \frac{185}{0,5} \\ &= 370 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Pada penentuan kadar semen jika hasil perhitungan sudah memenuhi persyaratan (syarat minimum 275 kg/m^3) maka kadar semen yang digunakan adalah hasil perhitungan. Menurut Agus Sholehudin Anzie (2006), jika semen yang digunakan dalam campuran beton adalah semen jenis PCC maka hasil perhitungan harus ditambah $20\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ karena untuk mengejar kuat tekan beton umur 28 hari. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari kandungan SiO_2 pada semen PCC yang mempengaruhi kuat tekan akhir beton diatas umur 28 hari. Sehingga, perlunya penambahan kadar semen dengan nilai minimum yang disebutkan yaitu 20 kg/m^3 . Jadi, $370 \text{ kg/m}^3 + 20 \text{ kg/m}^3 = 390 \text{ kg/m}^3$.

- j. Faktor air semen disesuaikan. Karena kadar semen menjadi 390 kg/m^3 maka faktor air semen harus dikontrol agar tetap sesuai rencana. Maka agar fas tetap, kadar air bebas juga harus berubah.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air bebas} &= \text{faktor air semen} \times \text{kadar semen} \\ &= 0,5 \times 390 \\ &= 195 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- k. Nilai persen susunan butir agregat halus didapatkan dengan dicari dalam grafik yang tertera pada Gambar 5.4 untuk kelompok ukuran butir agregat maksimum 40 mm pada nilai slump 60 - 180 mm dan nilai faktor air semen 0,5. Bagi agregat halus (pasir) yang termasuk daerah agregat halus (pasir) II maka diperoleh harga dengan batas atas 42 dan batas bawah 32. Jadi, untuk mengetahui persen agregat halus dicari dengan cara:



Grafik 5 : Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 5.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

% agregat halus = nilai tengah antara batas atas dan batas bawah

$$\begin{aligned} &= \frac{41+32}{2} \\ &= \frac{73}{2} \\ &= 36,5 \% \end{aligned}$$

- l. Sedangkan jika persen agregat halus diketahui maka persen agregat kasar dapat dicari dengan:

$$\begin{aligned} \% \text{ agregat kasar} &= 100\% - \% \text{ Agregat halus} \\ &= 100\% - 36,5\% \\ &= 63,5\% \end{aligned}$$

- m. Berat jenis relatif agregat ini artinya gabungan agregat halus dan agregat kasar. Maka nilai berat jenis agregat gabungan sebagai berikut.

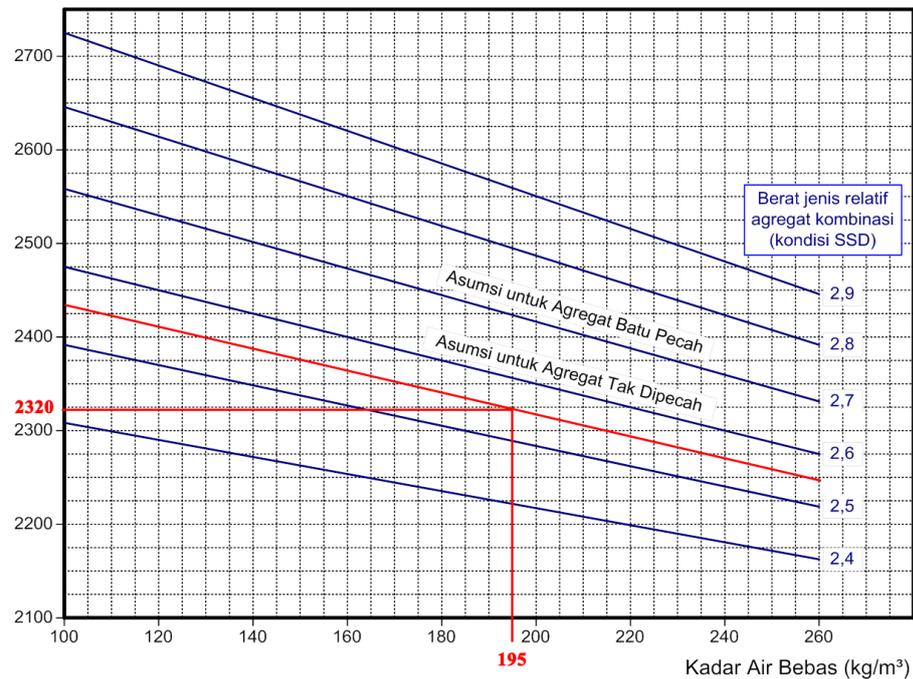
Diketahui:

$$\text{Berat jenis agregat halus} = 2,637$$

$$\text{Berat jenis agregat kasar} = 2,502$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, berat jenis agregat gabungan} &= (36,5\% \times 2,637) + (63,5\% \times 2,502) \\ &= 0,96 + 1,59 \\ &= 2,55 \end{aligned}$$

- n. Berat isi beton diperoleh dari grafik pada Gambar 5.5. Berat isi beton diperoleh dengan cara membuat grafik baru yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2,55. Kemudian buat titik potong grafik baru dengan tegak lurus yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini nilai kadar air bebas adalah 195 kg/m^3), maka menunjukkan nilai berat isi beton direncanakan. Dalam hal ini diperoleh angka 2320 kg/m^3 .



Grafik 6 : Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 5.5 Grafik Berat Isi Beton

- o. Kadar agregat gabungan didapatkan dengan cara berat isi beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{kadar air} - \text{kadar semen} \\ &= 2320 - 195 - 390 \\ &= 1735 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- p. Kadar agregat halus didapatkan dengan cara persen agregat halus dikali dengan nilai kadar agregat gabungan.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \% \text{ Agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= 36,5\% \times 1735 \\ &= 633,28 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- q. Kadar agregat kasar didapatkan dengan cara persen agregat kasar dikali dengan nilai kadar agregat gabungan.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \% \text{ Agregat kasar} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= 63,5\% \times 1735 \\ &= 1101,73 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

r. Penentuan proporsi campuran beton untuk tiap m^3 . Penentuan proporsi campuran beton tersebut sebagai berikut.

- 1) Semen portland = 390 kg
- 2) Agregat halus = 633,28 kg
- 3) Agregat kasar = 1101,73 kg
- 4) Air = 195 kg

s. Hasil perhitungan kebutuhan beton dirangkum dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Kebutuhan Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (f'_c)	25	Mpa
2.	Nilai Tambah/Margin (M)	12	Mpa
3.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})	37	Mpa
4.	Jenis semen	Semen Portland Tipe PCC	
5.	Jenis agregat kasar	Batu Pecah (Kerikil Merapi)	
6.	Jenis agregat halus	Alami (Pasir Merapi)	
7.	Faktor air semen bebas	0,5	
8.	Faktor air semen yang digunakan	0,5	
9.	Slump	100	mm
10.	Ukuran agregat maksimum	40	mm
11.	Kadar air bebas	195	kg/m^3
12.	Kadar semen	390	kg/m^3
13.	Kadar semen minimum	275	kg/m^3
14.	Kadar semen yang digunakan	390	kg/m^3
15.	Susunan besar butir agregat halus	Daerah II (Berat Agak Kasar)	

Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Kebutuhan Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
16.	Berat jenis agregat kasar	2,502	
17.	Berat jenis agregat halus	2,637	
17.	Persen agregat halus	36,5	%
18.	Persen agregat kasar	63,5	%
19.	Berat jenis relatif agregat	2,55	
20.	Berat isi beton	2320	kg/m ³
21.	Kadar agregat gabungan	1735	kg/m ³
22.	Kadar agregat halus	633,28	kg/m ³
23.	Kadar agregat kasar	1101,73	kg/m ³

- t. Menentukan koreksi proporsi campuran. Mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang akan kita pakai sebagai campuran uji, angka-angka teoritis tersebut perlu dibetulkan dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam atau yang masih dibutuhkan oleh masing-masing agregat yang akan dipakai. Koreksi proporsi campuran sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat halus} &= A_{\text{agregat halus}} + (A_K - A_A) \times \frac{A_{\text{agregat halus}}}{100} \\
 &= 633,28 + ((4,1 - 3,02) \times \frac{642,4}{100}) \\
 &= 626,34 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat kasar} &= B_{\text{agregat kasar}} + (B_K - B_A) \times \frac{B_{\text{agregat kasar}}}{100} \\
 &= 1101,73 + ((1,94 - 1,11) \times \frac{1117,6}{100}) \\
 &= 1092,45 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= C_{\text{air}} - ((A_K - A_A) \times \frac{A_{\text{agregat halus}}}{100}) - ((B_K - B_A) \times \frac{B_{\text{agregat kasar}}}{100}) \\
 &= 195 - 6,94 - 9,28 \\
 &= 178,78 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

dengan:

$$A_{\text{agregat halus}} = \text{Jumlah berat agregat halus}$$

$$B_{\text{agregat kasar}} = \text{Jumlah berat agregat kasar}$$

- C_{air} = Jumlah berat air
 A_K = Nilai kandungan air pada agregat halus (%)
 A_A = Nilai penyerapan air pada agregat halus (%)
 B_K = Nilai kandungan air pada agregat kasar (%)
 B_A = Nilai penyerapan air dalam agregat kasar (%)

- u. Penentuan proporsi campuran dalam satu *mix* molen. Tiap satu *mix* molen untuk satu variasi atau 5 buah benda uji silinder. Maka penentuan proporsi campuran beton dalam tiap satu *mix* molen sebagai berikut.

Diketahui:

- Diameter silinder = 15 cm
 Tinggi silinder = 30 cm
 Volume 5 silinder = $5 \times \pi \times r^2 \times t$
 = $5 \times \pi \times 0,075^2 \times 0,3$
 = $0,0265 \text{ m}^3$

Proporsi campuran:

- 1) Semen portland = $0,0265 \times 390 = 10,34 \text{ kg}$
 2) Agregat halus = $0,0265 \times 626,34 = 16,59 \text{ kg}$
 3) Agregat kasar = $0,0265 \times 1092,45 = 28,95 \text{ kg}$
 4) Air = $0,0265 \times 178,78 = 4,74 \text{ kg}$

Hasil detail proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton

Volume	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)
1 m ³	390	168,78	648,31	1126,43
1 <i>mix</i> (5 benda uji)	10,34	4,74	16,59	28,95
50 benda uji	103,4	47,4	165,9	289,5

- v. Penentuan kebutuhan abu arang dan Sika Viscocrete 1003 dihitung berdasarkan berat semen yang digunakan dalam campuran. Kebutuhan abu arang dan Sika Viscocrete 1003 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Kebutuhan Bahan Abu Arang dan Sika Viscocrete 1003 Dalam 1 Mix Molen (5 Sampel)

Bahan	Persentase Kebutuhan Abu Arang				
	Normal	0%	6%	8%	10%
Semen (kg)	10,34	10,34	9,72	9,51	9,31
Agregat Kasar (kg)	28,95	28,95	28,95	28,95	28,95
Agregat Halus (kg)	16,59	16,59	16,59	16,59	16,59
Air (kg)	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74
Abu Arang (kg)	-	-	0,62	0,83	1,03
Sika Viscocrete-1003 (kg)	-	0,062	0,062	0,062	0,062

w. Penentuan dengan faktor penyusutan sebesar 20%. Kebutuhan proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Kebutuhan Campuran Beton Dalam 1 Mix Molen (5 Sampel)

Bahan	Persentase Kebutuhan Abu Arang				
	Normal	0%	6%	8%	10%
Semen (kg)	12,41	12,41	11,67	11,42	11,17
Agregat Kasar (kg)	34,74	34,74	34,74	34,74	34,74
Agregat Halus (kg)	19,91	19,91	19,91	19,91	19,91
Air (kg)	5,68	5,68	5,68	5,68	5,68
Abu Arang (kg)	-	-	0,74	0,99	1,24
Sika Viscocrete-1003 (kg)	-	0,0074	0,0074	0,0074	0,0074

5.4 Hasil Pengujian Beton

Pengujian beton yang dilakukan antara lain, yaitu nilai uji *slump*, berat isi beton, kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian beton tersebut dapat dilihat pada poin-poin sebagai berikut.

5.4.1 Hasil Pengujian *Slump*

Hasil pengujian *slump* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Hasil Pengujian *Slump* Pada Adukan Beton

Kode Sampel Beton	Air Sesuai Perhitungan (liter)	Air yang Digunakan (liter)	Pengurangan Air (liter)	Persentase Pengurangan Air (%)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Faktor Air Semen
BN 0%	11,36	11,36	-	0	11	0,5
BVA 0%	11,36	11,09	0,27	2,38	17	0,446
BVA 6%	11,36	10,91	0,45	3,96	16,5	0,439
BVA 8%	11,36	10,78	0,58	5,11	16	0,434
BVA 10%	11,36	10,86	0,5	4,4	17,5	0,437

Keterangan:

BN = Beton Normal

BVA = Beton Normal + Sika Viscocrete-1003 + Abu Arang

Berdasarkan Tabel 5.20 menunjukkan bahwa benda uji dengan bahan tambah Sika Viscocrete ataupun dengan bahan substitusi abu arang menyebabkan nilai *slump* beton meningkat. Pada beton dengan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 dan bahan substitusi abu arang, nilai *slump* dibatasi maksimal 18 cm sesuai dengan SNI 03-2834-2002 sehingga untuk *slump* yang berlebih dilakukan pengurangan air. Pada penelitian ini, persentase pengurangan air dilakukan pada *range* nilai 2% - 6% dan sesuai acuan pengurangan air maksimal pada Sika Viscocrete 1003. Pengurangan air pada uji *slump* sudah sesuai dengan kelebihan pada Sika Viscocrete 1003 dimana Sika Viscocrete 1003 dapat mengurangi penggunaan air hingga 30% dan meningkatkan *workability* pada campuran beton. Akibat pengurangan penggunaan air dalam campuran beton tersebut, maka mengubah nilai faktor air semen (FAS) dalam setiap variasi benda uji beton.

5.4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Beton

Hasil pemeriksaan berat isi beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Beton

Kode Benda Uji	Berat Isi Rencana (kg/m³)	Berat Isi Rata-rata (kg/m³)
BN 0%	2320	2357,776
BAV 0%	2320	2352,421
BAV 6%	2320	2348,345
BAV 8%	2320	2332,140
BAV 10%	2320	2323,056

Berdasarkan data pemeriksaan berat isi beton segar untuk berbagai variasi benda uji disimpulkan bahwa beton normal mempunyai berat isi 2358,244 kg/m³ dan lebih berat daripada berat isi beton rencana yaitu 2320 kg/m³. Perbedaan pada nilai berat isi beton terhadap berat isi beton rencana dikarenakan pemadatan campuran beton dalam silinder yang terlalu berlebihan. Sedangkan beton dengan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 ataupun beton dengan abu arang sebagai bahan substitusi sebagian semen dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003, juga mengalami penurunan berat isi beton terhadap berat isi beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis semen lebih besar daripada dengan berat jenis abu arang sehingga beton dengan abu arang dan Sika Viscocrete 1003 lebih ringan dari beton normal dengan semen.

5.4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji beton dengan kuat tekan rencana ($f'c$) adalah 25 MPa. Benda uji normal dan benda uji dengan variasi abu arang sebagai pengganti semen dengan ditambah Sika Viscocrete 1003 diuji pada umur 14 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Luas (mm²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1.	BN 0%-1	151	17915,07	405	22,61	25,801
2.	BN 0%-2	150,4	17772,98	345	19,41	

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
3.	BN 0% _{.3}	151,2	17962,56	610	33,96	25,801
4.	BN 0% _{.4}	149,4	17537,43	400	22,81	
5.	BN 0% _{.5}	151,5	18033,91	545	30,22	
6.	BVA 0% _{.1}	150,13	17710,01	615	34,73	32,876
7.	BVA 0% _{.2}	150,60	17820,28	565	31,71	
8.	BVA 0% _{.3}	151,23	17970,48	545	30,33	
9.	BVA 0% _{.4}	151,87	18121,31	695	38,35	
10.	BVA 0% _{.5}	151,10	17938,81	525	29,27	
11.	BVA 6% _{.1}	150,9	17891,35	470	26,27	25,929
12.	BVA 6% _{.2}	150,17	17717,88	480	27,09	
13.	BVA 6% _{.3}	150,37	17765,11	390	21,95	
14.	BVA 6% _{.4}	150,77	17859,75	460	25,76	
15.	BVA 6% _{.5}	149,23	17498,32	500	28,57	
16.	BVA 8% _{.1}	150,53	17804,51	650	36,51	33,103
17.	BVA 8% _{.2}	151,6	18057,73	540	29,90	
18.	BVA 8% _{.3}	150,4	17772,98	580	32,63	
19.	BVA 8% _{.4}	151,2	17962,56	630	35,07	
20.	BVA 8% _{.5}	151,33	17994,25	565	31,40	
21.	BVA 10% _{.1}	149,3	17513,96	595	33,97	30,385
22.	BVA 10% _{.2}	152,47	18264,78	650	35,59	
23.	BVA 10% _{.3}	150,13	17710,01	610	34,44	
24.	BVA 10% _{.4}	151,63	18065,67	520	28,78	
25.	BVA 10% _{.5}	150,37	17765,11	340	19,14	

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan abu arang sebagai pengganti sebagian semen dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1.	BN 0% ₋₁	150,73	17851,85	450	25,21	30,953
2.	BN 0% ₋₂	150,43	17780,86	515	28,96	
3.	BN 0% ₋₃	150,9	17891,35	595	33,26	
4.	BN 0% ₋₄	150,43	17780,86	600	33,74	
5.	BN 0% ₋₅	150,77	17859,75	600	33,60	
6.	BVA 0% ₋₁	150,83	17875,55	890	49,79	41,613
7.	BVA 0% ₋₂	150,67	17836,06	760	42,61	
8.	BVA 0% ₋₃	150,20	17725,75	600	33,85	
9.	BVA 0% ₋₄	149,57	17576,58	615	34,99	
10.	BVA 0% ₋₅	151,10	17938,81	840	46,83	
11.	BVA 6% ₋₁	150,8	17867,65	600	33,58	34,493
12.	BVA 6% ₋₂	150,4	17772,98	570	32,07	
13.	BVA 6% ₋₃	150,43	17780,86	710	39,93	
14.	BVA 6% ₋₄	150	17678,57	650	36,77	
15.	BVA 6% ₋₅	150,37	17765,11	535	30,12	
16.	BVA 8% ₋₁	148,43	17311,21	685	39,57	36,954
17.	BVA 8% ₋₂	150,53	17804,51	570	32,01	
18.	BVA 8% ₋₃	151,23	17970,48	710	39,51	
19.	BVA 8% ₋₄	150,23	17733,61	600	33,83	
20.	BVA 8% ₋₅	150,07	17694,29	705	39,84	
21.	BVA 10% ₋₁	151,1	17938,81	615	34,28	34,871
22.	BVA 10% ₋₂	150,2	17725,75	705	39,77	
23.	BVA 10% ₋₃	151,17	17954,64	560	31,19	
24.	BVA 10% ₋₄	151,5	18033,91	640	35,49	
25.	BVA 10% ₋₅	151,33	17994,25	605	33,62	

5.4.4 Pembahasan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Tabel 5.22 dan 5.23, beton normal (BN 0%) digunakan sebagai benda uji kontrol untuk benda uji yang menggunakan variasi abu arang dan Sika Viscocrete-1003. Benda uji kontrol (BN 0%) pada umur 14 hari mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 25,801 MPa dan pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 30,953 MPa. Beton normal pada umur 14 dan 28 hari dapat mencapai nilai kuat tekan yang melebihi nilai kuat tekan rencana disebabkan karena

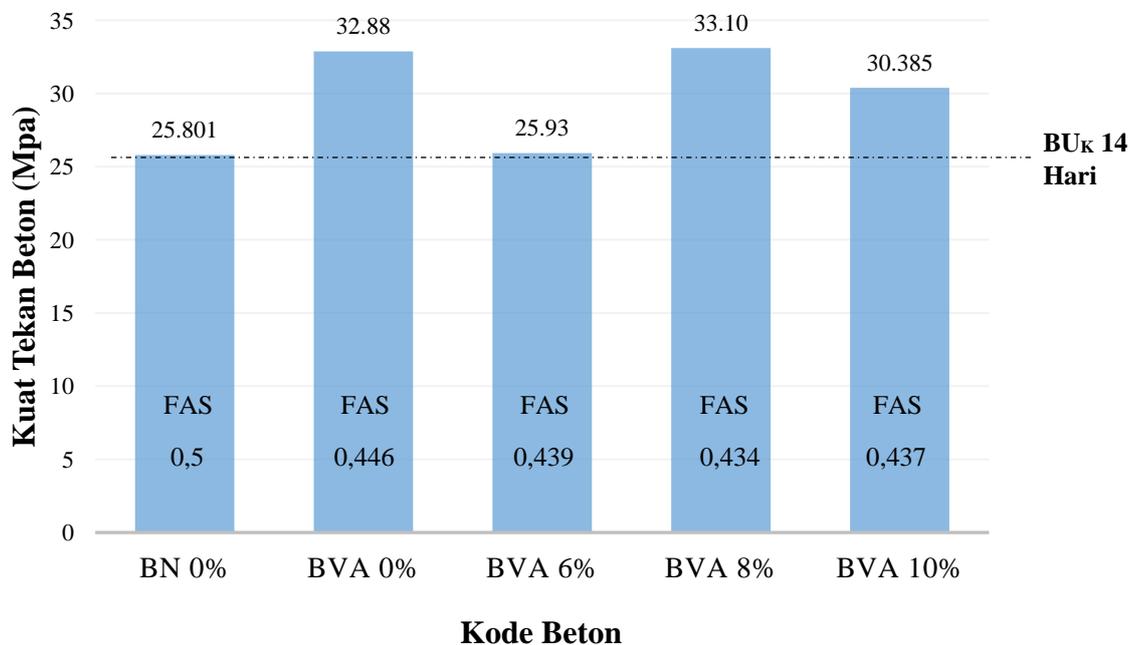
campuran beton yang dihasilkan tidak homogen sehingga menyebabkan nilai kuat tekan yang dihasilkan sangat variatif.

Pada benda uji BVA 0% dengan tanpa penambahan abu arang dan hanya penambahan Sika Viscocrete-1003 0,6% dari berat semen pada umur 14 hari memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 32,876 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 27,421% dari benda uji kontrol umur 14 hari, sedangkan pada benda uji umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 41,613 MPa atau meningkat sebesar 34,439% dari benda uji kontrol umur 28 hari. Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari, beton BVA 0% memiliki nilai kuat tekan tertinggi. Hal tersebut dikarenakan pada beton BVA 0% hanya menggunakan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 yang dimana dapat menaikkan kuat tekan beton. Selain itu, kenaikan kuat tekan pada variasi ini disebabkan juga oleh adanya pengurangan air sebesar 0,27 liter sehingga adanya perubahan nilai faktor air semen (FAS) menjadi 0,446 dari FAS 0,5 pada beton normal.

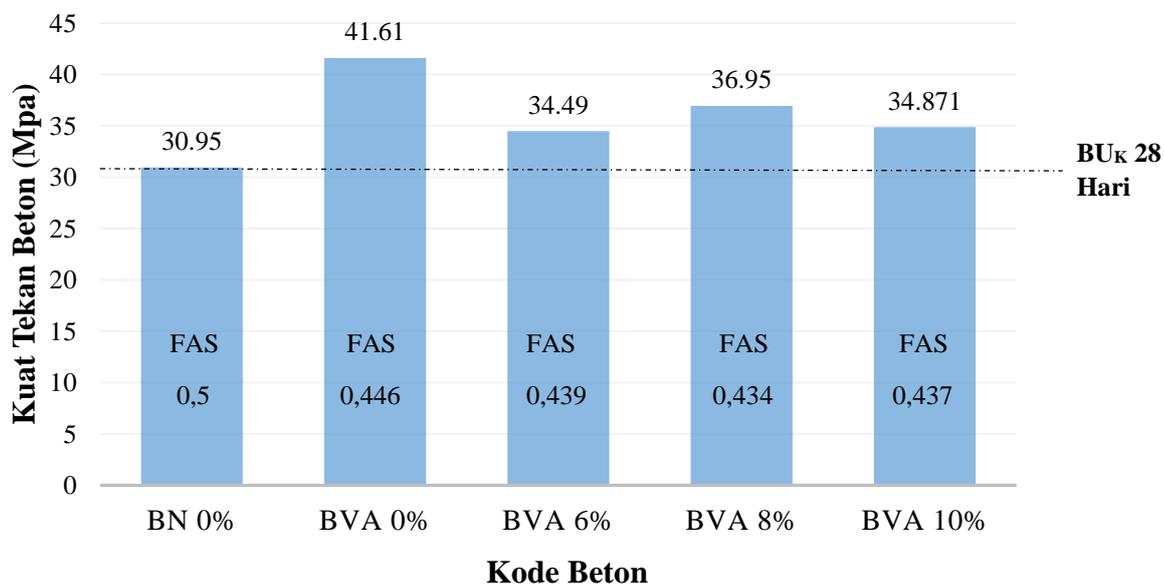
Pada benda uji BVA 6% dengan penambahan abu arang 6% sebagai pengganti sebagian semen dengan penambahan Sika Viscocrete-1003 0,6% dari berat semen pada umur 14 hari mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 25,929 MPa atau mengalami kenaikan 0,496% dari benda uji kontrol umur 14 hari dan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 34,493 MPa atau mengalami kenaikan 11,437% dari benda uji kontrol umur 28 hari. Selain itu, pada variasi ini juga terdapat pengurangan air sebesar 0,45 liter sehingga adanya perubahan nilai faktor air semen (FAS) menjadi 0,439 dari FAS 0,5 pada beton normal.

Benda uji BVA 8% dengan penambahan abu arang 8% sebagai pengganti sebagian semen dengan penambahan Sika Viscocrete-1003 0,6% dari berat semen pada umur 14 hari memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 33,103 MPa atau mengalami kenaikan 28,301% dari benda uji kontrol umur 14 hari sedangkan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari memiliki nilai sebesar 36,954 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 19,387% dari benda uji kontrol umur 28 hari. Kuat tekan BVA 8% lebih tinggi daripada BVA 6% dan BVA 10% karena terdapat pengurangan air sebesar 0,58 liter sehingga adanya perubahan nilai faktor air semen (FAS) menjadi 0,434 dari FAS 0,5 pada beton normal.

Kuat tekan pada benda uji BVA 10% dengan penambahan abu arang 10% sebagai pengganti sebagian semen dengan penambahan Sika Viscocrete-1003 0,6% dari berat semen pada umur 14 hari memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 30,385 MPa atau kenaikan sebesar 17,767% dari benda uji kontrol umur 14 hari sedangkan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari memiliki nilai sebesar 34,871 MPa atau kenaikan sebesar 12,658% dari benda uji kontrol umur 28 hari. Pada variasi ini juga terdapat pengurangan air sebesar 0,5 liter sehingga adanya perubahan nilai faktor air semen (FAS) menjadi 0,437 dari FAS 0,5 pada beton normal yang menjadi salah satu penyebab nilai kuat tekan beton meningkat dari kuat tekan beton normal. Akan tetapi, nilai kuat tekan rata-rata pada beton BVA 6%, BVA 8% dan BVA 10% pada umur 14 dan 28 hari menurun dari beton BVA 0%. Hal tersebut dikarenakan sebagian semen sudah digantikan dengan serbuk abu arang sebagai bahan pengikat campuran beton. Nilai kuat tekan rata-rata dalam setiap variasi abu arang dan Sika Viscocrete 1003 pada umur 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7.



Gambar 5.6 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari



Gambar 5.7 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Berdasarkan pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 tersebut menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambah hanya Sika Viscocrete 1003 dapat menaikkan nilai kuat tekan secara signifikan sedangkan beton dengan abu arang sebagai bahan pengganti sebagian semen dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 juga dapat menaikkan nilai kuat tekan walaupun peningkatan tersebut tidak begitu signifikan terhadap kuat tekan beton normal. Nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada beton dengan penambahan abu arang dan Sika Viscocrete 1003 terjadi pada beton BVA 8% dimana 8% abu arang dari berat semen digunakan sebagai pengganti sebagian semen terutama pada umur 14 hari karena pada umur 14 hari, nilai kuat tekan rata-rata merupakan yang tertinggi. Jika dibandingkan BVA 0%, kelebihan dari beton dengan penambahan abu arang dan Sika Viscocrete 1003 adalah sebagian semen digantikan oleh serbuk abu arang sehingga dapat meminimalisir penggunaan semen dalam campuran beton. Dengan meminimalisir penggunaan semen, abu arang dapat dijadikan bahan alternatif dalam mengganti sebagian semen untuk mengurangi limbah abu arang yang terjadi karena pembakaran arang kayu dan juga dapat mengurangi biaya dalam memproduksi beton sehingga dapat digunakan pada masyarakat yang ingin berhemat dalam membangun sebuah rumah ataupun bagi masyarakat yang terdapat di daerah pelosok yang dimana ketersediaan semen yang

mahal dan terbatas. Maka dari itu, dilihat dari hasil pengujian kuat tekan beton sudah sesuai dengan kelebihan yang dimiliki abu arang ataupun bahan tambah Sika Viscocrete 1003.

Setelah didapatkan nilai kuat tekan beton maka perlunya evaluasi terhadap mutu kuat tekan beton tersebut. Menurut SNI 03-2847-2002 pada pasal 7.6 bahwa nilai kuat tekan beton perlunya evaluasi dan kriteria penerimaan beton dimana bahwa beton harus diuji dengan ketentuan sebagai berikut.

1. Frekuensi pengujian

Dalam kriteria ini menjelaskan bahwa jumlah benda uji yang digunakan atau diuji kuat tekan beton harus diambil dari paling sedikit 5 benda uji dan suatu uji kuat tekan harus merupakan nilai dari 2 contoh uji silinder dari adukan beton yang sama dan diuji pada umur beton 28 hari atau pada umur uji yang ditetapkan untuk penentuan f'_c .

2. Benda uji yang dirawat di laboratorium

Dalam kriteria ini menjelaskan bahwa kuat tekan suatu mutu beton dapat dikatakan memenuhi syarat jika:

- a. setiap nilai rata-rata dari 3 uji kuat tekan yang berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar dari f'_c .
- b. tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari 2 hasil uji contoh silinder mempunyai nilai di bawah f'_c melebihi dari 3,5 MPa ($f'_c - 3,5$ MPa).

Dari kriteria penerimaan beton menurut SNI 03-2847-2002 pasal 7.6 di atas maka nilai kuat tekan rata-rata pada setiap variasi abu arang dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 pada umur 28 hari sudah memenuhi syarat SNI 03-2847-2002 sehingga tidak diperlukan tindakan yang lebih lanjut.

Sedangkan untuk mengetahui keterpenuhan persyaratan nilai kuat tekan pada umur 14 hari dilakukan evaluasi dengan acuan PBI 1971 tentang konversi kuat tekan beton terhadap umur beton. Angka rasio nilai kuat tekan beton umur 14 hari adalah 0,88 dari kuat tekan beton 28 hari sehingga nilai kuat tekan beton umur 14 hari dibandingkan terhadap nilai kuat tekan beton umur 28 hari.

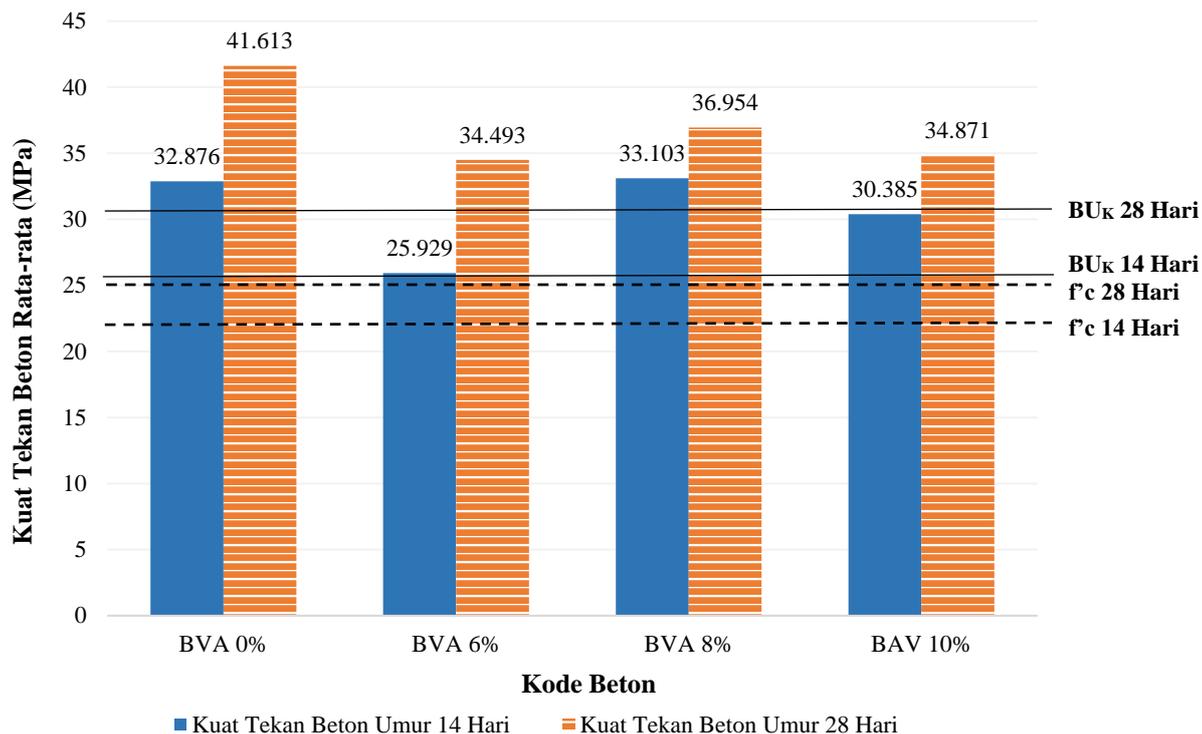
$$\text{Beton rencana } (f'_c \text{ rencana}) \text{ 28 hari} = 25 \text{ MPa}$$

Konversi beton umur 14 hari = $0,88 \times 25 = 22 \text{ MPa}$.

Beton kontrol 28 hari = 30,953 MPa

Beton kontrol 14 hari = 25,801 MPa

Perbandingan nilai kuat tekan beton umur 14 hari terhadap kuat tekan beton umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.8.

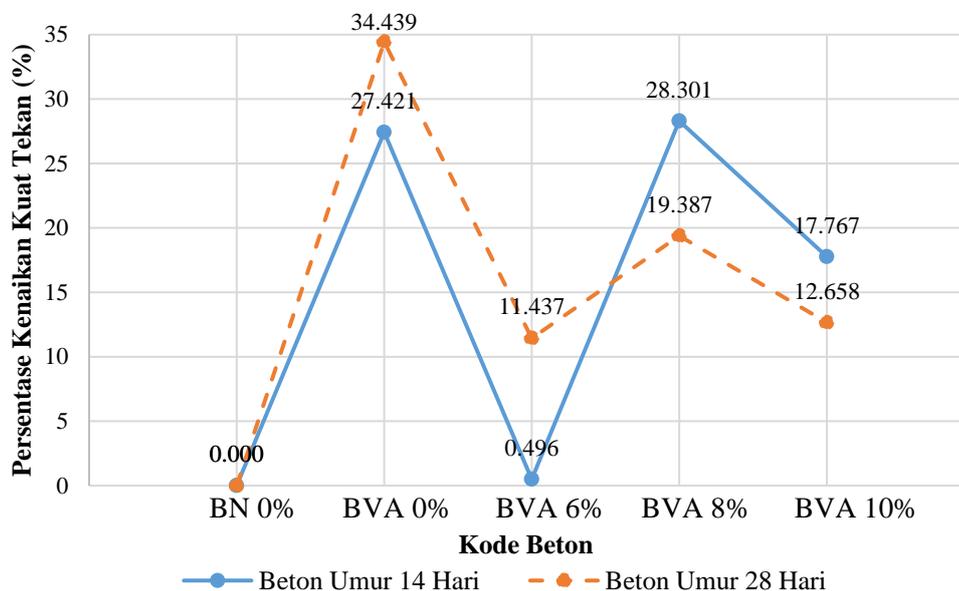


Gambar 5.8 Perbandingan Kuat Tekan Beton Umur 14 dan 28 Hari

Gambar 5.8 menunjukkan bahwa pada umur 14 hari, beton berbahan tambah Sika Viscocrete 1003 dan variasi abu arang telah mencapai f'_c rencana ($> 25 \text{ MPa}$), sedangkan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari mengalami peningkatan dari nilai kuat tekan beton umur 14 hari sehingga hal ini sangat menguntungkan bagi proyek konstruksi yang menggunakan material beton dari segi waktu. Persentase kenaikan pada nilai kuat tekan beton umur 14 dan 28 hari terhadap kuat tekan beton normal disajikan pada Tabel 5.24 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.24 Persentase Peningkatan Mutu Beton Umur 14 Hari dan 28 Hari

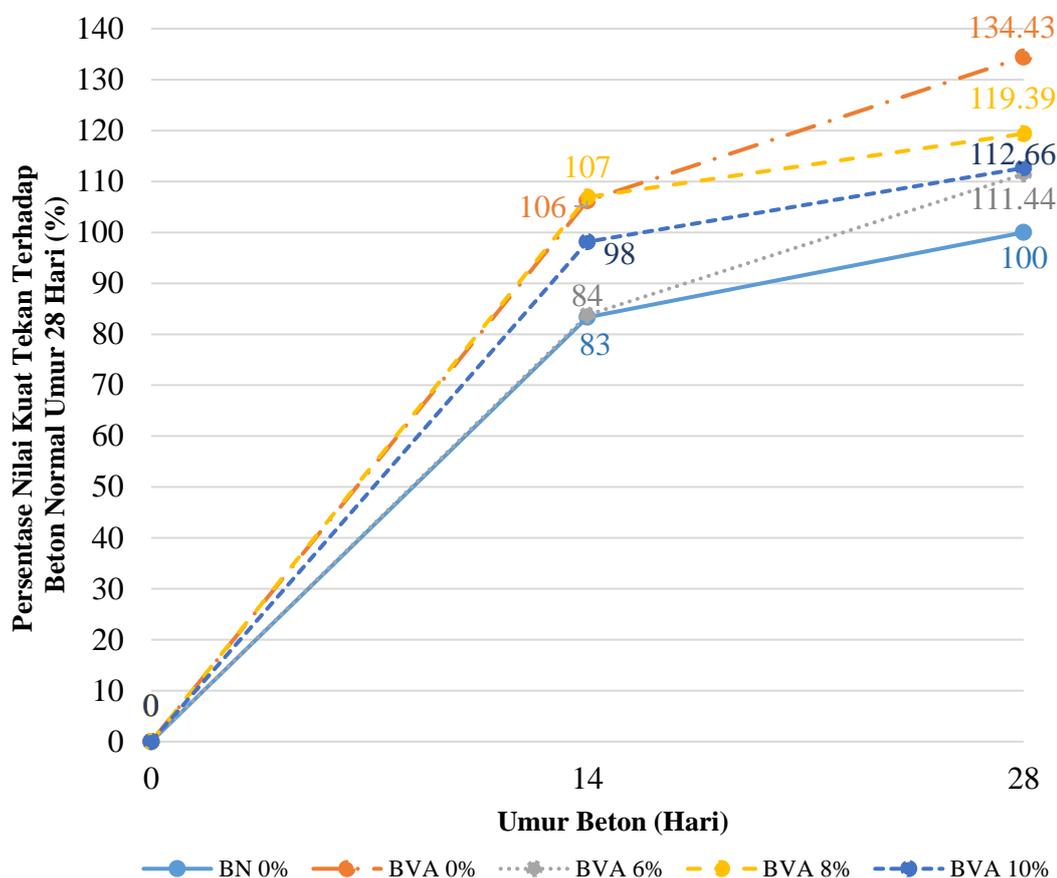
No.	Kode Beton Umur 14 Hari	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Peningkatan (%)	Kode Beton Umur 28 Hari	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Peningkatan (%)
1.	BN 0% ₋₁₄	25,801	0	BN 0% ₋₂₈	30,953	0
2.	BVA 0% ₋₁₄	32,876	27,421	BVA 0% ₋₂₈	41,613	34,439
3.	BVA 6% ₋₁₄	25,929	0,496	BVA 6% ₋₂₈	34,493	11,437
4.	BVA 8% ₋₁₄	33,103	28,301	BVA 8% ₋₂₈	36,954	19,387
5.	BVA 10% ₋₁₄	30,385	17,767	BVA 10% ₋₂₈	34,871	12,658

**Gambar 5.9 Persentase Peningkatan Mutu Beton Umur 14 dan 28 Hari**

Ditinjau dari Tabel 5.24 dan Gambar 5.9 menjelaskan bahwa peningkatan mutu tertinggi pada beton umur 14 hari ada pada BVA 8% sedangkan pada beton umur 28 hari ada pada BVA 0%. Hal tersebut menunjukkan bahwa beton dengan Sika Viscocrete 1003 umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan yang maksimal sedangkan beton dengan Sika Viscocrete 1003 dan abu arang sebagai substitusi sebagian semen menghasilkan peningkatan signifikan pada umur 14 hari.

Selain ditinjau dari nilai kuat tekannya, hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat membandingkan laju kenaikan antara kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari. Hasil perbandingan laju kenaikan antara kuat tekan beton dengan bahan

tambah abu arang dan Sika Viscocrete 1003 pada umur 14 dan 28 hari terhadap kuat tekan beton normal umur 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Perbandingan Laju Kenaikan Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari dan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 5.10 menunjukkan bahwa laju kenaikan tertinggi pada beton umur 14 hari terdapat pada BVA 8% (107%) melebihi laju kenaikan beton normal (83%), sedangkan laju kenaikan tertinggi pada beton umur 28 hari terdapat pada BVA 0% (134,43%) melebihi laju kenaikan beton normal (100%). Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa laju kenaikan pada beton berbahan tambah Sika Viscocrete 1003 0,6% lebih tinggi atau cepat dengan laju kenaikan pada beton normal. Gambar 5.10 juga menunjukkan bahwa laju kenaikan kuat tekan beton ke umur 14 hari bermula-mula cepat, kemudian laju kenaikan tersebut akan semakin lambat ke umur 28 hari dimana hal ini sesuai pada teori yang dikemukakan Tjokrodinuljo (1994).

5.4.5 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Hasil pengujian modulus elastisitas pada salah satu benda uji BVA 8% umur 14 hari dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan Gambar 5.11.

Tabel 5.25 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji BVA 8% Umur 14 Hari

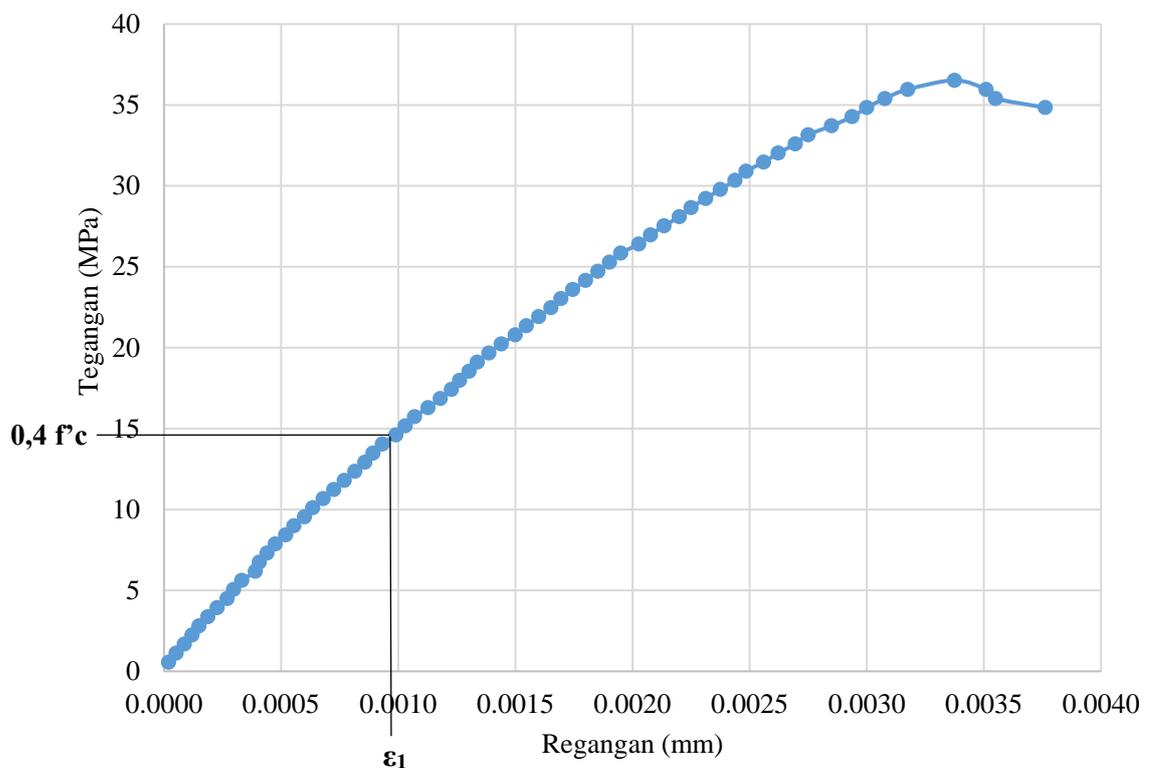
Beban		Ekstensiometer	ΔL Sebenarnya	Tegangan	Regangan
KN	Nx 10 ⁻³	(1/2 x ΔL) mm	(P/A) MPa	($\Delta L/L_0$) mm
10	10000	8	0,0040	0,5619	0,0000200
20	20000	21	0,0105	1,1238	0,0000525
30	30000	35	0,0175	1,6857	0,0000875
40	40000	48	0,0240	2,2476	0,0001200
50	50000	60	0,0300	2,8095	0,0001500
60	60000	75	0,0375	3,3714	0,0001875
70	70000	91	0,0455	3,9333	0,0002275
80	80000	108	0,0540	4,4953	0,0002700
90	90000	119	0,0595	5,0572	0,0002975
100	100000	133	0,0665	5,6191	0,0003325
110	110000	156	0,0780	6,1810	0,0003900
120	120000	163	0,0815	6,7429	0,0004075
130	130000	176	0,0880	7,3048	0,0004400
140	140000	190	0,0950	7,8667	0,0004750
150	150000	208	0,1040	8,4286	0,0005200
160	160000	222	0,1110	8,9905	0,0005550
170	170000	240	0,1200	9,5524	0,0006000
180	180000	254	0,1270	10,1143	0,0006350
190	190000	272	0,1360	10,6762	0,0006800
200	200000	290	0,1450	11,2381	0,0007250
210	210000	308	0,1540	11,8000	0,0007700
220	220000	326	0,1630	12,3619	0,0008150
230	230000	343	0,1715	12,9238	0,0008575
240	240000	357	0,1785	13,4858	0,0008925
250	250000	373	0,1865	14,0477	0,0009325
260	260000	396	0,1980	14,6096	0,0009900
270	270000	412	0,2060	15,1715	0,0010300
280	280000	428	0,2140	15,7334	0,0010700
290	290000	451	0,2255	16,2953	0,0011275
300	300000	472	0,2360	16,8572	0,0011800

**Lanjutan Tabel 5.25 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji BVA 8%
Umur 14 Hari**

Beban		Ekstensiometer	ΔL Sebenarnya	Tegangan	Regangan
KN	N	...x 10 ⁻³	(1/2 x ΔL) mm	(P/A) MPa	($\Delta L/L_0$) mm
310	310000	491	0,2455	17,4191	0,0012275
320	320000	505	0,2525	17,9810	0,0012625
330	330000	521	0,2605	18,5429	0,0013025
340	340000	535	0,2675	19,1048	0,0013375
350	350000	555	0,2775	19,6667	0,0013875
360	360000	576	0,2880	20,2286	0,0014400
370	370000	600	0,3000	20,7905	0,0015000
380	380000	619	0,3095	21,3524	0,0015475
390	390000	640	0,3200	21,9144	0,0016000
400	400000	661	0,3305	22,4763	0,0016525
410	410000	678	0,3390	23,0382	0,0016950
420	420000	698	0,3490	23,6001	0,0017450
430	430000	720	0,3600	24,1620	0,0018000
440	440000	741	0,3705	24,7239	0,0018525
450	450000	761	0,3805	25,2858	0,0019025
460	460000	780	0,3900	25,8477	0,0019500
470	470000	811	0,4055	26,4096	0,0020275
480	480000	831	0,4155	26,9715	0,0020775
490	490000	854	0,4270	27,5334	0,0021350
500	500000	880	0,4400	28,0953	0,0022000
510	510000	900	0,4500	28,6572	0,0022500
520	520000	925	0,4625	29,2191	0,0023125
530	530000	950	0,4750	29,7810	0,0023750
540	540000	975	0,4875	30,3429	0,0024375
550	550000	994	0,4970	30,9049	0,0024850
560	560000	1024	0,5120	31,4668	0,0025600
570	570000	1049	0,5245	32,0287	0,0026225
580	580000	1078	0,5390	32,5906	0,0026950
590	590000	1100	0,5500	33,1525	0,0027500
600	600000	1140	0,5700	33,7144	0,0028500
610	610000	1175	0,5875	34,2763	0,0029375
620	620000	1200	0,6000	34,8382	0,0030000
630	630000	1231	0,6155	35,4001	0,0030775

**Lanjutan Tabel 5.25 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji BVA 8%
Umur 14 Hari**

Beban		Ekstensiometer	ΔL Sebenarnya	Tegangan	Regangan
KN	Nx 10 ⁻³	(1/2 x ΔL) mm	(P/A) MPa	($\Delta L/L_0$) mm
640	640000	1270	0,6350	35,9620	0,0031750
650	650000	1350	0,6750	36,5239	0,0033750
640	640000	1404	0,7020	35,9620	0,0035100
630	630000	1420	0,7100	35,4001	0,0035500
620	620000	1505	0,7525	34,8382	0,0037625



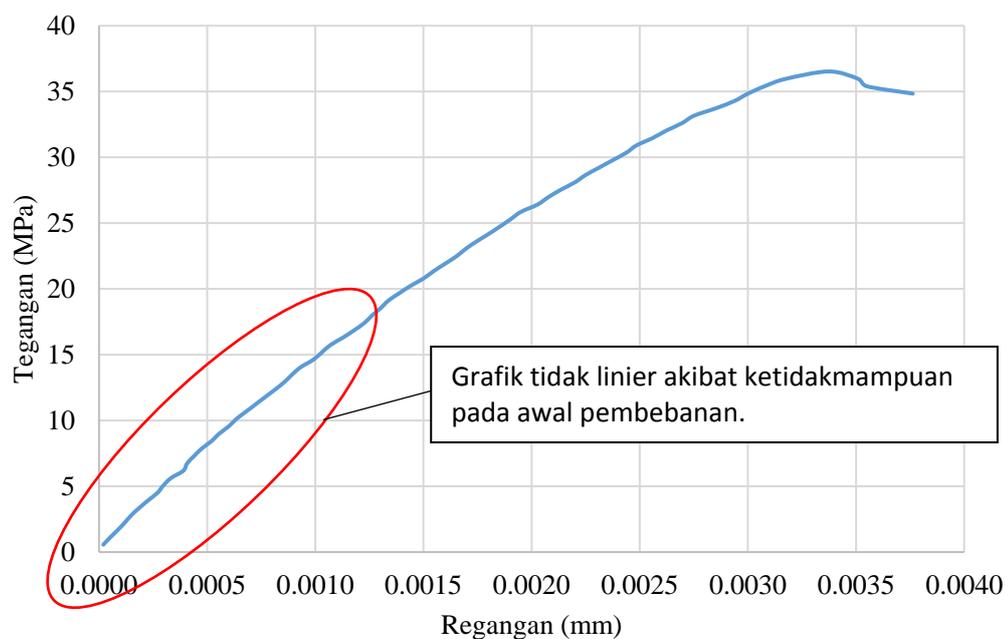
Gambar 5.11 Grafik Modulus Elastisitas Beton BVA 8% Umur 14 Hari

Berdasarkan Gambar 5.11 diatas dapat dilihat bahwa grafik hasil modulus elastisitas tidak menunjukkan garis yang linieritas pada 40% tegangan maksimal atau awal pembebanan. Hal tersebut tidak sesuai dengan yang dikemukakan Nawy yang dimana pada awal deformasi regangan dengan tegangan (sampai sekitar 40% tegangan maksimal) menunjukkan grafik yang linier. Grafik hasil pengujian

menjadi tidak *linier* pada awal pembebanan disebabkan beberapa kemungkinan berikut.

1. Pembebanan yang dilakukan pada benda uji tidak berada di posisi *central* atau tengah pada permukaan atas benda uji beton silinder.
2. Alat penekan benda uji yang belum benar-benar menekan seluruh permukaan benda uji.
3. Faktor agregat dan bahan tambah yang ada di dalam benda uji.

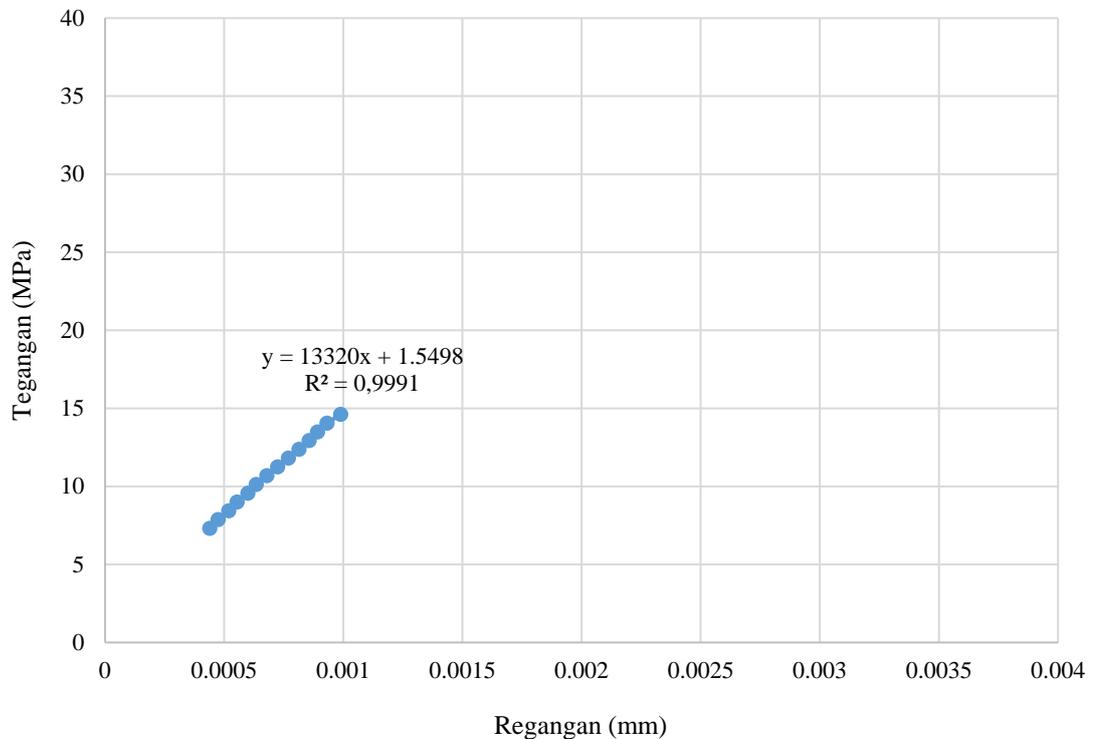
Beberapa faktor diatas mengakibatkan sulitnya dalam membuat garis *offset* dan besar regangannya menjadi kurang valid maka perlu dilakukannya koreksi linieritas menggunakan pendekatan regresi linier. Berikut Gambar 5.12 adalah grafik hasil pengujian modulus elastisitas pada benda uji BNV 8% umur 14 hari.



Gambar 5.12 Grafik Modulus Elastisitas Beton BVA 8% Umur 14 Hari Sebelum Terkoreksi

Proses perhitungan diawali dengan membuat garis pada grafik pengujian melalui coba salah secara observasi visual, kemudian dilanjutkan secara numeris dengan mencari nilai korelasi R^2 antara Regangan (x) dan Gaya Desak atau Tegangan (y). Proses pencarian garis dihentikan ketika didapat garis pendekatan mempunyai nilai R^2 paling tinggi. Berikut Gambar 5.13 adalah contoh garis

pendekatan mempunyai grafik hasil uji modulus elastisitas pada benda uji BNV 8% pada umur 14 hari.



Gambar 5.13 Garis Bantu dan R^2 dari Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BVA 8%

Dari Gambar 5.13 didapat nilai-nilai yang dibutuhkan untuk menghitung besar nilai koreksi pergeseran (d). Berikut ini adalah perhitungan nilai d pada benda uji BVA 8% umur 14 hari.

$$y = 13320x + 1,5498$$

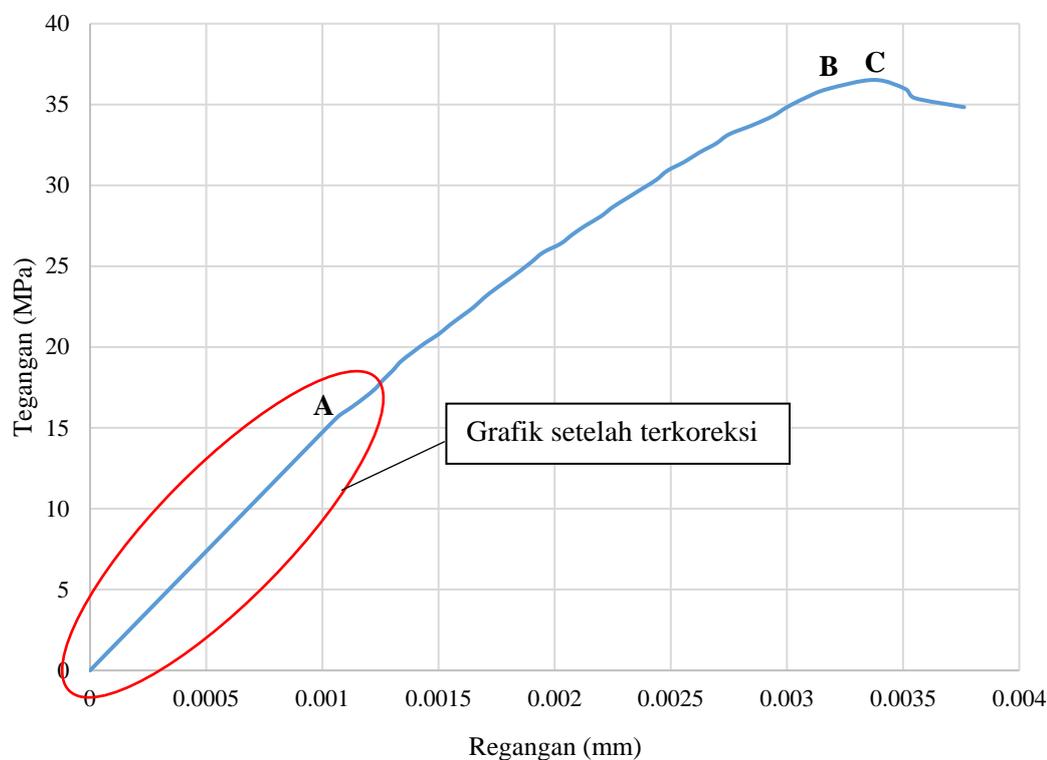
$$R^2 = 0,9991$$

$$d = \frac{-b}{a}$$

$$= \frac{-1,5498}{13320}$$

$$= -0,000116351$$

Setelah didapatkan nilai d , kemudian nilai pencarian hasil pengujian dikurangi nilai d dan dimasukkan ke dalam grafik sehingga didapat grafik seperti Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Grafik Modulus Elastisitas Beton BVA 8% Umur 14 Hari Setelah Terkoreksi

Dari Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa grafik pada pembebanan awal atau daerah 40% dari tegangan maksimal sudah menunjukkan garis yang linier lurus, sehingga grafik linier pada pengujian modulus elastisitas sudah sesuai dengan teori hukum Hooke yang menjelaskan bahwa disaat deformasi awal atau 40% dari tegangan yang diberi menunjukkan bahwa regangan berubah secara linier dengan tegangan. Garis linier tersebut ditunjukkan dari awal sampai titik A. Titik B adalah batas elastis dimana beton tidak akan kembali ke panjangnya semula, tetapi berubah bentuk secara tetap. Jika tegangan yang diberikan semakin lebih besar, beton akhirnya hancur yang ditunjukkan oleh titik C. Akan tetapi, pada titik C seharusnya grafik menunjukkan garis putus tetapi pada Gambar 5.14 menunjukkan garis yang menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa mesin kuat tekan belum maksimal dalam menekan benda uji atau karena sifat bahan tambah yang terdapat pada campuran benda uji tersebut. Untuk mengetahui hasil rekap pengujian modulus

elastisitas, berikut adalah hasil rekap dari salah satu hasil pengujian modulus elastisitas pada setiap variasi benda uji umur 14 hari ditampilkan pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5.26 Hasil Rekap Pengujian Modulus Elastisitas Pada Setiap Variasi Benda Uji Beton Umur 14 Hari

Kode Beton	Regangan Maksimal ($\times 10^{-4}$ mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	0,4 Tegangan Maksimal (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
BN 0%	0,002250	25,801	10,320	11978,229
BVA 0%	0,002550	32,876	13,150	12718,140
BVA 6%	0,002370	25,929	10,372	12014,341
BVA 8%	0,002784	33,103	13,241	13709,862
BVA 10%	0,002421	30,385	12,154	12585,734

Berikut hasil rekap dari salah satu hasil pengujian modulus pada setiap variasi benda uji umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5.27 Hasil Rekap Pengujian Modulus Elastisitas Pada Setiap Variasi Benda Uji Beton Umur 28 Hari

Kode Beton	Regangan Maksimal ($\times 10^{-4}$ mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	0,4 Tegangan Maksimal (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
BN 0%	0,002075	30,953	12,381	12516,945
BVA 0%	0,004043	41,613	16,645	16708,069
BVA 6%	0,003368	34,493	13,797	14273,359
BVA 8%	0,003801	36,954	14,782	14859,141
BVA 10%	0,003510	34,871	13,948	14323,203

Hasil grafik salah satu pengujian modulus elastisitas di setiap variasi beton dapat dilihat pada Lampiran 19. Pada Lampiran 19 ditampilkan grafik hasil modulus elastisitas sebelum terkoreksi atau pendekatan, grafik garis bantu serta R^2 dan grafik hasil modulus elastisitas setelah terkoreksi atau pendekatan dari setiap variasi salah satu benda uji umur 14 hari dan 28 hari.

5.4.6 Pembahasan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

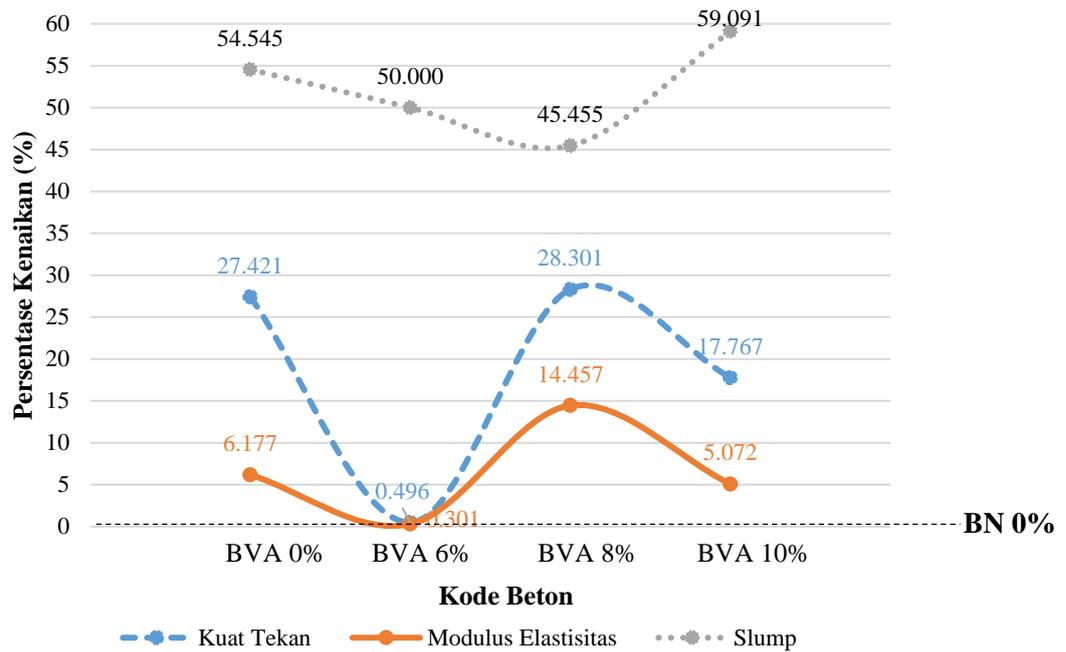
Berdasarkan dari Gambar 5.10, Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 dapat diketahui bahwa grafik pada kuat tekan seharusnya menunjukkan garis yang linier dari awal

pembebanan sampai akhir pembebanan. Akan tetapi, berdasarkan Gambar 5.11 bahwa grafik belum sepenuhnya menunjukkan garis yang linier dan grafik tersebut berbentuk parabola yang dimana di akhir pembebanan menunjukkan penurunan. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa hal yaitu faktor pembebanan yang belum maksimal dalam menekan benda uji dan faktor agregat dan bahan tambah yang terdapat di dalam benda uji beton tersebut. Dilihat pada Gambar 5.11 pada beton BVA 8% menunjukkan bahwa grafik atau kurva tegangan-regangan pada pengujian modulus elastisitas beton ini berbentuk lengkung atau parabola yang berarti bahwa nilai regangannya tidak berbanding lurus dengan nilai tegangannya yang berarti beton tidak mengalami sifat elastis sepenuhnya.

Selain itu, hasil nilai modulus elastisitas pada setiap benda uji menunjukkan hasil yang berbeda-beda terutama pada beton normal yang tidak sesuai dengan nilai modulus elastisitas beton normal pada umumnya sedangkan pada beton dengan variasi abu arang dan bahan tambah Sika Viscocrete 1003 yang konstan tidak bisa dibandingkan karena adanya bahan tambah dalam campuran beton tersebut yang menyebabkan hasil modulus elastisitas berbeda-beda. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas dapat berubah-ubah dikarenakan beberapa faktor, antara lain adalah kekuatan beton, umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji.

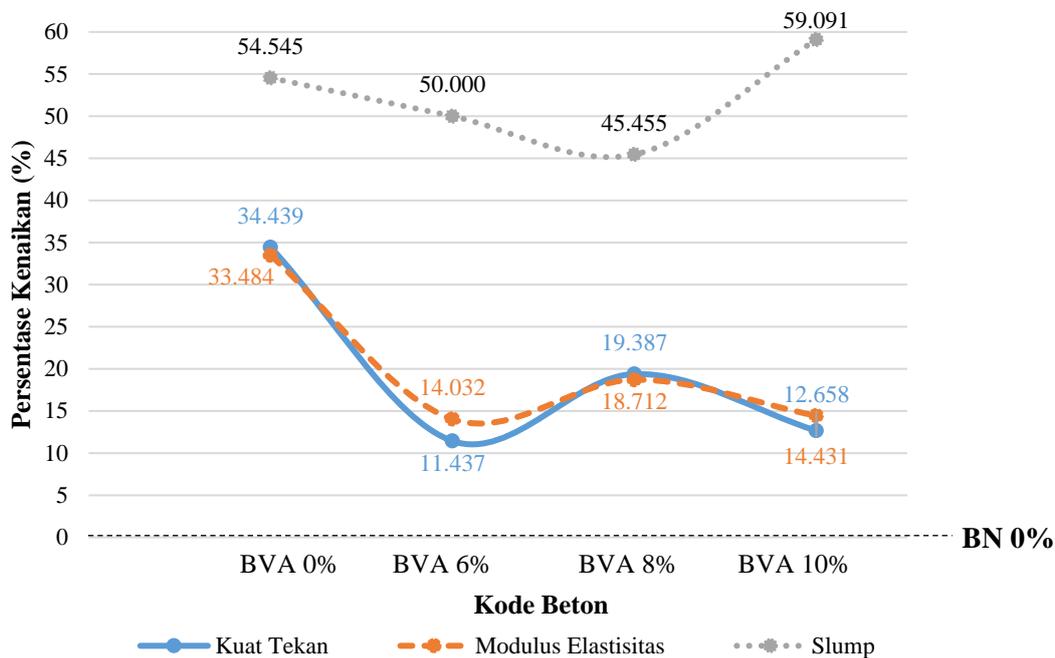
5.4.7 Korelasi Seluruh Hasil Pengujian Pada Beton

Mengkorelasi seluruh hasil pengujian dimaksudkan untuk mengetahui seluruh hasil pengujian pada suatu grafik agar dapat ditarik kesimpulan atau benang merah dari seluruh hasil pengujian pada setiap variasi beton. Korelasi seluruh hasil pengujian pada beton umur 14 hari dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Korelasi Seluruh Hasil Pengujian Pada Beton Umur 14 Hari

Pada Gambar 5.15 menunjukkan bahwa pada beton umur 14 hari, semakin besar persentase abu arang dan penambahan Sika Viscocrete 1003 0,6% cenderung menurun terhadap beton BVA 0% tetapi jika dibandingkan pada beton normal umur 14 hari maka cenderung meningkat sedangkan pada hasil modulus elastisitas beton pada umur 14 hari berbanding lurus dengan hasil kuat tekan beton umur 14 hari. Jika pada uji *slump*, dengan penambahan Sika Viscocrete 1003 dan abu arang dapat membantu meningkatkan *workability* beton antara 45-60% dari slump beton normal sehingga nilai *slump* pada beton dengan bahan tambah tidak dapat dibandingkan dengan hasil kuat tekan beton dan nilai modulus elastisitas. Korelasi seluruh hasil pengujian pada beton umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Korelasi Seluruh Hasil Pengujian Pada Beton Umur 28 Hari

Gambar 5.16 menunjukkan bahwa pada beton umur 28 hari, semakin besar persentase abu arang pada beton berbahan tambah Sika Viscocrete 0,6% cenderung menurun terhadap nilai kuat tekan BVA 0% tetapi jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton normal umur 28 hari menunjukkan peningkatan sedangkan pada hasil modulus elastisitas beton pada umur 28 hari juga sama dengan beton umur 14 hari dimana hasilnya berbanding lurus dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Jika pada uji *slump*, sama halnya dengan beton umur 14 hari bahwa dengan penambahan Sika Viscocrete 1003 dan abu arang dapat membantu meningkatkan *workability* beton antara 45-60% dari slump beton normal dan tidak dapat untuk dibandingkan pada nilai *slump* pada beton dengan bahan tambah.

5.5 Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Beton

Rencana anggaran biaya dihitung berdasarkan harga tiap-tiap jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan 1 m³ beton dan 1 benda uji beton. Rekapitulasi perhitungan biaya untuk beton normal dan beton berbahan tambah Sika Viscocrete 1003 0,6% dengan abu arang 8% sebagai pengganti sebagian semen per 1 m³ dapat dilihat pada Tabel 5.27, Tabel 5.28, Tabel 5.29 dan Tabel 5.30.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Normal per 1 m³

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	390	40	36.500	912.5	355.875
2.	Agregat Kasar (Merapi)	1126,43	1.000	300.000	300	337.929
3.	Agregat Halus (Merapi)	648,31	1.000	250.000	250	162.078
4.	Air	168,78	0	0	0	0
Jumlah						855.882

Tabel 5.28 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Tanpa Abu Arang per 1 m³

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	390	40	36.500	912.5	355.875
2.	Agregat Kasar (Merapi)	1126,43	1.000	300.000	300	337.929
3.	Agregat Halus (Merapi)	648,31	1.000	250.000	250	162.078
4.	Air	168,78	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	2,34	1	75.000	75.000	175.500
Jumlah						1.031.382

Tabel 5.29 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Dengan Menggunakan Limbah Abu Arang (8%) per 1 m³

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	358,68	40	36.500	912.5	327.296
2.	Agregat Kasar (Merapi)	1126,43	1.000	300.000	300	337.929
3.	Agregat Halus (Merapi)	648,31	1.000	250.000	250	162.078
4.	Air	168,78	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	2,34	1	75.000	75.000	175.500
6.	Abu Arang (8%)	31,32	0	0	0	0
Jumlah						1.002.803

Tabel 5.30 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Dengan Membeli Abu Arang (8%) per 1 m³

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	358,68	40	36.500	912.5	327.296
2.	Agregat Kasar (Merapi)	1126,43	1.000	300.000	300	337.929
3.	Agregat Halus (Merapi)	648,31	1.000	250.000	250	162.078
4.	Air	168,78	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	2,34	1	75.000	75.000	175.500
6.	Abu Arang (8%)	31,32	10	25.000	2.500	78.300
Jumlah						1.081.103

Rekapitulasi perhitungan biaya untuk beton normal dan beton berbahan tambah Sika Viscocrete 1003 0,6% dengan abu arang 8% sebagai pengganti sebagian semen per 1 benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.31, Tabel 5.32, Tabel 5.33 dan Tabel 5.34.

Tabel 5.31 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Normal per 1 Benda Uji

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	2,067	40	36.500	912.5	1.887
2.	Agregat Kasar (Merapi)	5,971	1.000	300.000	300	1.792
3.	Agregat Halus (Merapi)	3,437	1.000	250.000	250	860
4.	Air	0,895	0	0	0	0
Jumlah						4.539

Tabel 5.32 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Tanpa Abu Arang per 1 Benda Uji

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	2,067	40	36.500	912.5	1.887
2.	Agregat Kasar (Merapi)	5,971	1.000	300.000	300	1.792

**Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan
Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Tanpa Abu Arang per 1 Benda Uji**

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
3.	Agregat Halus (Merapi)	3,437	1.000	250.000	250	860
4.	Air	0,895	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	0,012	1	75.000	75.000	900
Jumlah						5.439

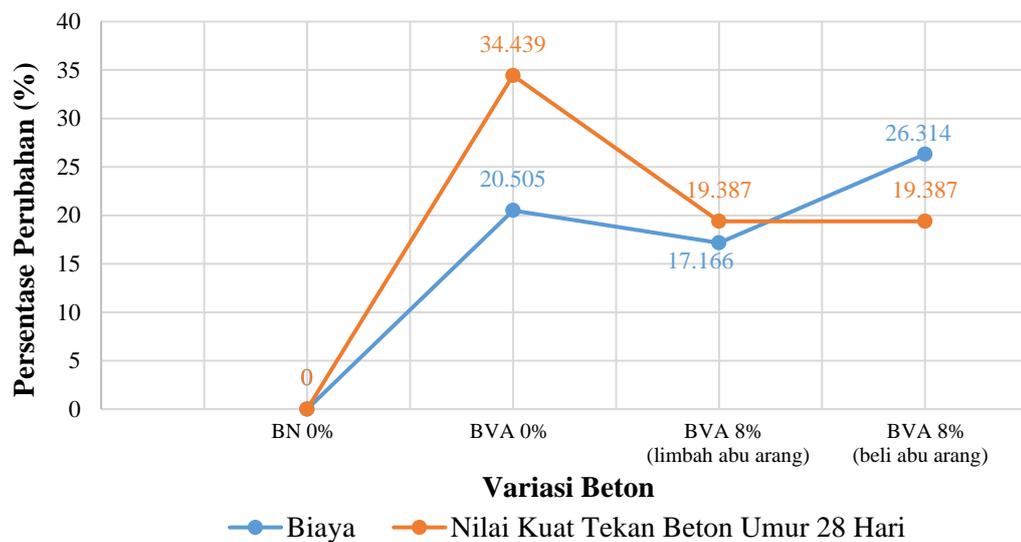
Tabel 5.33 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Dengan Menggunakan Limbah Abu Arang (8%) per 1 Benda Uji

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	1,901	40	36.500	912.5	1.735
2.	Agregat Kasar (Merapi)	5,971	1000	300.000	300	1.792
3.	Agregat Halus (Merapi)	3,437	1000	250.000	250	860
4.	Air	0,895	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	0,012	1	75.000	75.000	900
6.	Abu Arang (8%)	0,166	0	0	0	0
Jumlah						5.287

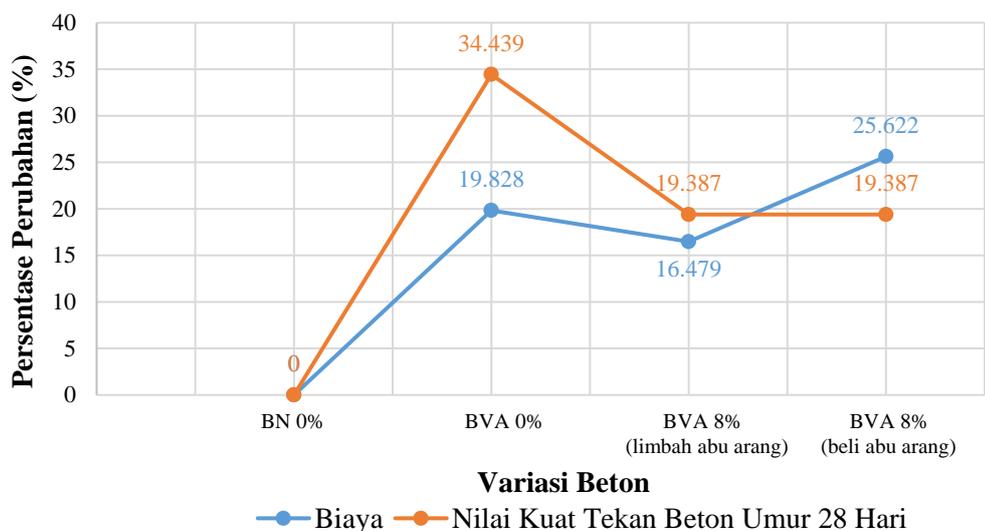
Tabel 5.34 Rekapitulasi Biaya Pembuatan Beton Berbahan Tambah Sika Viscocrete 1003 (0,6%) Dengan Membeli Abu Arang (8%) per 1 Benda Uji

No.	Bahan	Kebutuhan (kg)	Kemasan (kg)	Harga (Rp)	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Semen (Holcim)	1,901	40	36.500	912.5	1.735
2.	Agregat Kasar (Merapi)	5,971	1000	300.000	300	1.792
3.	Agregat Halus (Merapi)	3,437	1000	250.000	250	860
4.	Air	0,895	0	0	0	0
5.	Sika Viscocrete 1003 (0,6%)	0,012	1	75.000	75.000	900
6.	Abu Arang (8%)	0,166	10	25.000	2.500	415
Jumlah						5.702

Pengaruh penambahan Sika Viscocrete 1003 0,6% dan penggunaan abu arang sebagai pengganti sebagian semen berpengaruh terhadap biaya pembuatan beton dibandingkan dengan beton tanpa penambahan bahan tambah apapun. Persentase perubahan kuat tekan beton terhadap aspek biaya pembuatan beton berbahan tambah Sika Viscocrete 1003 0,6% dengan abu arang 8% sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap beton kontrol dapat dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.



Gambar 5.17 Persentase Perubahan Biaya dan Nilai Kuat Tekan Beton Per 1 m³



Gambar 5.18 Persentase Perubahan Biaya dan Nilai Kuat Tekan Beton Per 1 Benda Uji

Berdasarkan Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa perubahan biaya per 1 m³ dan per 1 benda uji pada beton BVA 0% dan BVA 8% dengan menggunakan limbah abu arang atau membeli abu arang mengalami peningkatan dari biaya beton normal disertai dengan peningkatan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Biaya BVA 8% dengan menggunakan limbah abu arang lebih murah 3,339% per 1 m³ daripada biaya BVA 0% dan lebih murah 9,148% per 1 m³ dari biaya BVA 8% dengan membeli abu arang. Jika ditinjau per 1 benda uji, harga BVA 8% dengan menggunakan limbah abu arang lebih murah 3,349% dari BVA 0% dan lebih murah 9,143% dari BVA 8% dengan membeli abu arang.

Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa BVA 8% dengan menggunakan limbah abu arang direkomendasikan penggunaannya dibandingkan dengan BVA 0% dan BVA 8% dengan membeli abu arang karena jika dilihat dari segi ekonomis, BVA 8% dengan menggunakan limbah abu arang lebih murah dan juga memiliki kualitas yang tinggi yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi (33,10 MPa pada umur 14 hari dan 36,954 MPa pada umur 28 hari).