

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Umum**

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu terdiri dari pengujian bahan penyusun beton, pengujian kekuatan beton dan pengujian waktu ikat beton. Pengujian bahan penyusun beton dilakukan guna mengetahui karakteristik bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini. Pengujian kekuatan beton dilakukan untuk mengetahui beban hancur beton, pengujian kekuatan beton meliputi kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Pengujian waktu ikat beton dilakukan untuk mengetahui berapa lama proses pengerasan beton.

#### **5.2 Pengujian agregat halus**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat halus yang dipakai, pemeriksaan meliputi pengujian kadar lumpur, pengujian berat jenis dan penyerapan air serta pengujian modulus halus butir agregat halus. Agregat halus yang dipakai yaitu agregat halus yang berasal dari Merapi.

##### **5.2.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air**

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan. Proses dari pengujian ini yaitu agregat halus dalam keadaan SSD ditimbang seberat 500 gram, lalu benda uji dimasukkan ke dalam piknometer, setelah itu masukkan air sampai mencapai 90%, putar sambil guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya, tambahkan air sampai mencapai tanda batas, lalu timbang piknometer yang berisi air dan benda uji, setelah itu keluarkan dan keringkan dalam oven dengan suhu 110 °C, setelah itu timbang benda uji yang telah dimasukkan ke dalam oven. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Pasir SSD, gram	500	500	500
Berat Pasir Kering Mutlak (BK), gram	487,2	484	485,6
Berat Piknometer + Pasir + Air (BT), gram	1020,1	1015	1017,5
Berat Piknometer Berisi Air (B), gram	706,4	701,1	703,7
Berat Jenis Curah, $BK/(B+500-Bt)$	2,615	2,601	2,608
Berat Jenis SSD, $500/(B+500-Bt)$	2,684	2,687	2,685
Berat Jenis Semu, $Bk/(B+Bk-Bt)$	2,808	2,845	2,827
Penyerapan Air, $(500-Bk)/Bk \cdot 100\%$	2,627%	3,306%	2,967%

Tabel 5.1 menunjukkan hasil analisis pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus, yaitu diperoleh berat jenis curah rerata sebesar 2,608, berat jenis kering permukaan sebesar 2,685, berat jenis semu sebesar 2,827. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air di atas didapat berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,685 dan dapat disimpulkan bahwa masuk dalam klasifikasi agregat normal karena nilainya masih di dalam batas yang diizinkan yaitu antara 2,5-2,7. Penyerapan air rata-rata yang didapat yaitu sebesar 2,967%, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan agregat halus untuk menyerap air pada saat keadaan kering mutlak hingga jenuh kering muka sebesar 2,967 % dari berat agregat itu sendiri.

### 5.2.2 Pengujian kadar lumpur agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus yang bertujuan untuk menentukan apakah agregat tersebut baik atau tidak untuk digunakan dalam campuran beton. Langkah dari pengujian ini yaitu ambil sampel agregat halus seberat 500 gram, lalu benda uji diletakkan di atas saringan No. 200, gerakkan saringan dan alirkan air yang cukup deras sehingga bagian yang halus menembus saringan dan bagian yang kasar tertinggal di atasnya, ulangi pekerjaan tersebut hingga air pencucian jernih, setelah itu keringkan benda uji ke dalam oven, setelah kering timbang benda uji dan catat beratnya. Hasil dari pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.2 Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.**

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah Dicuci (W2), gram	485,7	486,3
Kandungan Lumpur	2,86	2,74
Kandungan Lumpur Rata-rata	2,8	

Kandungan lumpur pada pasir didapat sebesar 2,8. Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI 1982), kandungan lumpur untuk pasir maksimum adalah 5%, dengan demikian pasir yang digunakan tidak perlu dicuci sebelum pengadukan.

### 5.2.3 Analisis saringan agregat halus

Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Langkah dari pengujian ini yaitu susun saringan dari lubang paling besar dibagian atas dan pan diletakkan dibagian paling bawah, lalu benda uji dimasukkan dari bagian paling atas saringan, lakukan pengayakan dengan menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit, kemudian benda uji yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang dan dicatat beratnya. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Analisis Saringan Agregat Halus**

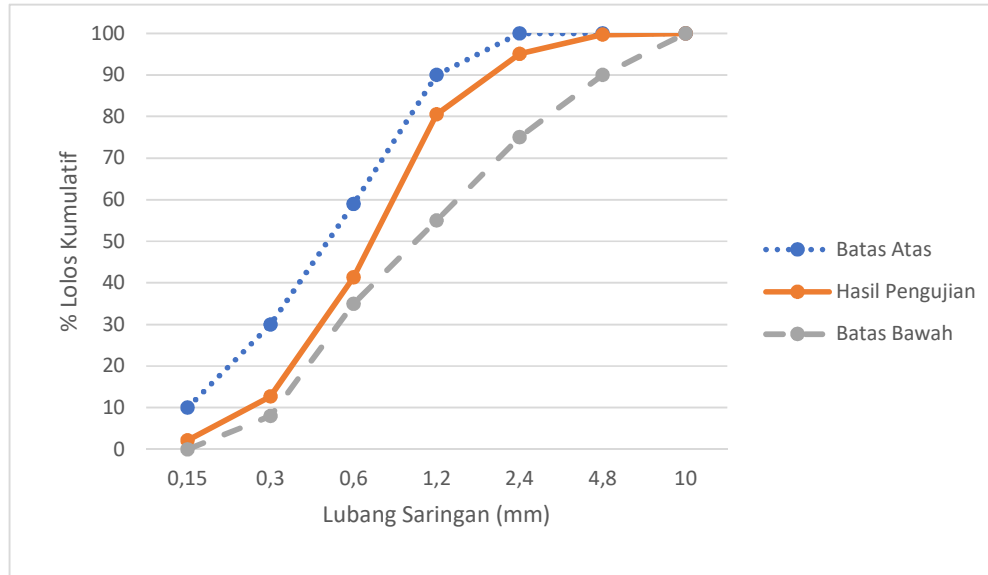
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	6,7	0,335	0,335	99,665
2,40	92	4,606	4,942	95,058
1,20	290,5	14,545	19,486	80,514
0,60	782,8	39,193	58,679	41,321
0,30	571,9	28,634	87,313	12,687
0,15	210,1	10,519	97,832	2,168
Sisa	46	2,298	100	0
Jumlah	2000	100	268,588	

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{persen tertinggal kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \\
 &= \frac{268,588}{100} \\
 &= 2,686
 \end{aligned}$$

Nilai MHB didapat 2,686% dan masih masuk kedalam syarat yaitu 1,5% - 3,8% ( SK SNI S-04-1989-F). Pasir yang digunakan yaitu pasir Daerah II. Spesifikasi dan grafik gradasi agregat halus disajikan pada Tabel 5.4 dan gambar 5.1 berikut ini.

**Tabel 5.4 Spesifikasi Gradasi Pasir Daerah II**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif		
	Batas Atas	Hasil Pengujian	Batas Bawah
4,80	100	99,665	90
2,40	100	95,058	75
1,20	90	80,514	55
0,60	59	41,321	35
0,30	30	12,687	8
0,15	10	2,168	0



**Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus**

### 5.3 Pengujian agregat kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar yang dipakai, pemeriksaan meliputi pengujian kadar lumpur, pengujian berat jenis dan penyerapan air serta pengujian modulus halus butir agregat kasar. Agregat kasar yang dipakai yaitu agregat kasar yang berasal dari Merapi.

#### 5.3.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan. Langkah pengujian ini yaitu ambil benda uji dengan kondisi SSD lalu timbang sebanyak 5000 gram, setelah itu benda uji masukkan ke dalam keranjang air, lalu benda uji digoncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air, lalu masukkan benda uji ke dalam pan dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 110°C, setelah kering timbang dan catat beratnya. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil SSD (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat Kerikil Kering Mutlak (Bk), gram	4812	4778	4795
Berat Kerikil dalam Air (Ba), gram	3019	3035	3027
Berat Jenis Curah, Bk/(Bj-Ba)	2,429	2,432	2,430
Berat Jenis SSD, Bj/(Bj-Ba)	2,524	2,545	2,534
Berat Jenis Semu, Bk/(Bk-Ba)	2,684	2,741	2,713
Penyerapan Air, (Bj-Bk)/Bk*100%	3,907%	4,646%	4,277%

Tabel 5.5 menunjukkan hasil analisis pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar, yaitu diperoleh berat jenis curah rerata sebesar 2,430, berat jenis kering permukaan sebesar 2,534, berat jenis semu sebesar 2,713. Berdasarkan pengujian penyerapan air pada agregat kasar didapatkan persentase penyerapan air sebesar 4,277%. Dari hasil pengujian berat jenis tersebut, berat jenis yang didapat adalah berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,534, angka tersebut memenuhi persyaratan karena berada diantara berat jenis normal agregat halus 2,5 – 2,7.

### 5.3.2 Pengujian analisis saringan agregat kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus yang bertujuan untuk menentukan apakah agregat tersebut baik atau tidak untuk digunakan dalam campuran beton. Langkah dari pengujian ini yaitu susun saringan dari lubang paling besar dibagian atas dan pan diletakkan dibagian paling bawah, lalu benda uji dimasukkan dari bagian paling atas saringan, lakukan pengayakan dengan menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit, kemudian benda uji yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang dan dicatat beratnya. Hasil dari pengujian analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5.6 Analisis Saringan Agregat Kasar**

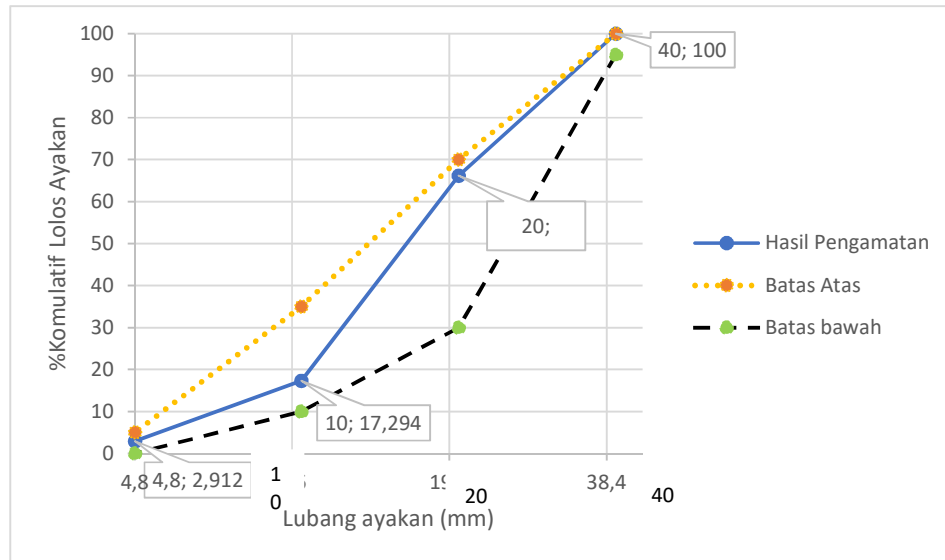
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	1689,5	33,817	33,817	66,183
10,00	2442,5	48,889	82,706	17,294
4,80	718,5	14,382	97,088	2,912
2,40	25,5	0,510	97,598	2,402
1,20	2,5	0,050	97,648	2,352
0,60	0	0	97,648	2,352
0,30	0	0	97,648	2,352
0,15	0	0	97,648	2,352
Pan	124,5	2,492		100
Jumlah	5000	99,86	701,801	

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{persen tertinggal kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \\
 &= \frac{701,801}{100} \\
 &= 7,018
 \end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapat adalah sebesar 7,018% dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 5% - 8% ( SK SNI S-04-1989-F). Kerikil yang digunakan yaitu dengan besar butir maksimum 40 mm. Spesifikasi dan grafik gradasi agregat kasar disajikan pada Tabel 5.7 dan gambar 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.7 Spesifikasi Gradasi Kerikil dengan Besar Butir Maksimum 40 mm**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif		
	Batas Atas	Hasil Pengujian	Batas Bawah
40,00	100	100	95
20,00	70	66,183	30
10,00	35	17,294	10
4,80	5	2,912	0



**Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar**

#### 5.4 Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton bertujuan untuk mengetahui proporsi dari campuran sesuai dengan kuat tekan beton yang direncanakan. Setiap campuran beton terdapat perbedaan pada variasi penambahan tetes tebu. Variasi penambahan tetes tebu yang direncanakan pada penelitian ini yaitu 0%, 0,2%, 0,25%, 0,3%, 0,35%, 0,4%, 0,45%, 0,5% dan 0,55% dari berat semen. Setiap variasi campuran beton terdiri dari 3 silinder untuk uji kuat tekan dan 3 silinder untuk uji kuat tarik belah pada umur 28 hari. Berikut adalah kode notifikasi untuk setiap variasi.

1. 0BA; beton normal tanpa tambahan apapun.
2. 02BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,2% dari berat semen.
3. 025BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,25% dari berat semen.
4. 03BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,3% dari berat semen.
5. 035BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,35% dari berat semen.
6. 04BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,4% dari berat semen.
7. 045BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,45% dari berat semen.



8. 05BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,5% dari berat semen.
9. 055BA; beton dengan penambahan tetes tebu 0,55% dari berat semen.

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan dengan menggunakan metode SNI-03-2843-2000 sebagai berikut ini.

1. Kuat tekan yang diisyaratkan ( $f'c$ ) adalah 25 MPa
2. Nilai tambah ( $M$ ) adalah 12 MPa
3. Kuat tekan beton yang ditargetkan ( $f'cr$ )
 
$$f'cr = f'c + M$$

$$= 25 + 12$$

$$= 37 \text{ MPa}$$
4. Jenis semen yang digunakan yaitu semen *Portland Composite Cement* (PCC)
5. Jenis agregat yang digunakan:
  - a. agregat halus pasir alami, dan
  - b. agregat kasar berupa batu pecah.

6. Faktor air semen (fas)

Untuk menentukan nilai faktor air semen dapat menggunakan tabel perkiraan kuat tekan beton yang telah disajikan pada Tabel 3.4. semen yang dipakai yaitu jenis *Portland Composite Cement* (PCC), jenis agregat kasar batu pecah, dan benda uji berbentuk silinder sehingga sesuai dengan Tabel 3.4 maka perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5 pada umur 28 hari adalah 37 MPa. Kuat tekan tersebut sama dengan kuat tekan yang ditargetkan ( $f'cr$ ) sehingga digunakan nilai faktor air semen 0,5.

7. Kadar air bebas agregat campuran

Ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm dan nilai *slump* yang ditentukan adalah 60-180 mm sehingga dari Tabel 3.6 diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus ( $Wh$ ) adalah 175 kg/ m<sup>3</sup> sedangkan untuk agregat kasar ( $Wk$ ) adalah 205 kg/ m<sup>3</sup>. Kemudian nilai kadar air bebas agregat campuran adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \\ &= \frac{2}{3} \cdot 175 + \frac{1}{3} \cdot 205 \end{aligned}$$

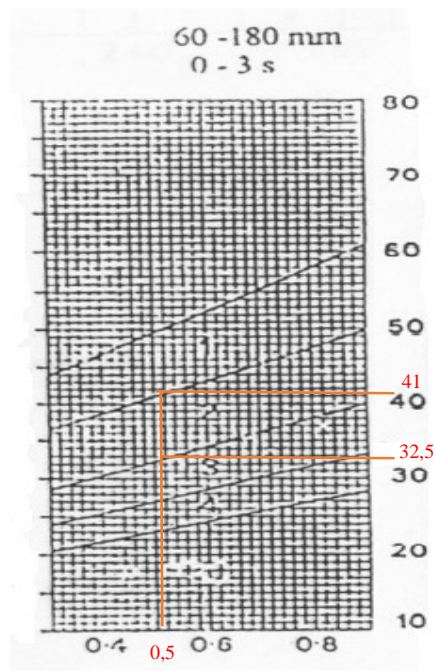
$$= 185 \text{ kg/m}^3$$

8. Kadar semen

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen per m}^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{fas}} \\ &= \frac{185}{0,5} \\ &= 370 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

9. Persentase agregat halus dan agregat kasar

Dengan mengacu pada *slump* 60-180 mm, faktor air semen 0,5 dan ukuran butir maksimum 40 mm serta agregat halus berada pada gradasi 2 maka persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada Gambar 5.3 berikut ini.



**Gambar 5.2 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total**

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Persentase agregat halus yang didapat dari gambar 5.3 yaitu berkisar 32,5% - 41%. Nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata yaitu 36,75%.

Nilai persentase agregat kasar = 100% - Persentase agregat halus

$$= 100\% - 36,75\%$$

$$= 63,25\%$$

## 10. Berat jenis relatif agregat

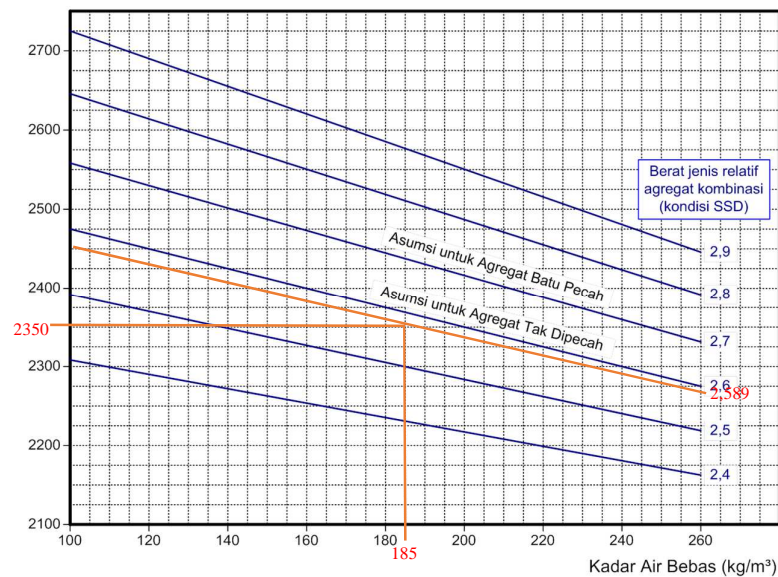
Berat jenis agregat halus ( $BJ_{AH}$ ) = 2,685

Berat jenis agregat kasar ( $BJ_{AK}$ ) = 2,534

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan } (BJ_{AG}) &= (\%AH \cdot BJ_{AH}) + (\%AK \cdot BJ_{AK}) \\ &= (36,75\% \cdot 2,685) + (63,25\% \cdot 2,534) \\ &= 2,589 \end{aligned}$$

## 11. Berat isi beton

Berat isi beton yang diperoleh dengan kadar air bebas 185 kg/m<sup>3</sup> dan berat jenis relatif agregat 2,589 maka perkiraan berat isi beton sesuai pada Gambar 5.4 berikut ini.



**Gambar 5.3 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan**

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Berat isi beton yang diperoleh yaitu sebesar 2350 kg/m<sup>3</sup>.

## 12. Kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan = berat isi beton - kadar semen - kadar air bebas

$$= 2350 - 370 - 185$$

$$= 1795 \text{ kg/m}^3$$

## 13. Kadar agregat halus

$$\text{Kadar agregat halus} = 36,75\% \cdot 1795$$

$$= 659,6625 \text{ kg/m}^3$$

## 14. Kadar agregat kasar

$$\text{Kadar agregat halus} = 58,5\% \cdot 1795$$

$$= 1135,338 \text{ kg/m}^3$$

Selanjutnya rekapitulasi perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton**

Proporsi Campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat	
			Halus (kg)	Kasar (kg)
Proporsi Campuran teoritis (Agregat SSD)				
• Setiap m <sup>3</sup>	370	185	659,6625	1135,338
• Setiap campuran uji: 0,0053 m <sup>3</sup>	1,9615	1,0868	3,4962	6,017
Proporsi Campuran dengan angka penambahan 20%				
• Setiap m <sup>3</sup>	444	222	791,595	1362,4056
• Setiap campuran uji: 0,0053 m <sup>3</sup>	2,3538	1,1769	4,196	7,2227

Kemudian untuk kebutuhan material setiap benda uji serta kebutuhan material pada 1 kali adukan dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

**Tabel 5.9 Kebutuhan Material Untuk 1 Benda Uji**

Kode Benda Uji	Volume	Material				
		Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)	Tetes Tebu (Kg)
0BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0
02BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,005
025BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0059

Lanjutan Tabel 5.10 Kebutuhan Material Untuk 1 Benda Uji

Kode Benda Uji	Volume	Material				
		Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)	Tetes Tebu (Kg)
03BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0071
035BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0082
04BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0094
045BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0106
05BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0118
055BA	0,0053	2,3538	4,196	7,222	1,176	0,0129

Tabel 5.11 Kebutuhan Material Untuk 1 Kali Adukan

Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Volume	Material				
			Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)	Tetes Tebu (Kg)
0BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0
02BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,028
025BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,0353
03BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,0423
035BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,049
04BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,0565
045BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,0635
05BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,071
055BA	6	0,0318	14,123	25,179	43,336	7,061	0,0777

### 5.5 Hasil pengujian *slump*

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan dalam pengerjaan beton. Semakin rendah nilai *slump* yang dihasilkan, maka semakin sulit pula pengerjaan beton, dan begitu pula sebaliknya. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel 5.11 berikut ini.

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Nilai Slump Setiap Variasi**

No	Nama Sampel	<i>Slump</i> (mm)
1	0BA	90
2	02BA	110
3	025BA	110
4	03BA	115
5	035BA	120
6	04BA	140
7	045BA	145
8	05BA	160
9	055BA	160

Pengadukan beton mengikuti *mix design* yang telah direcanakan, maka tidak ada penambahan ataupun pengurangan air pada saat pengadukan, hal ini dilakukan karena ingin mengetahui pengaruh tetes tebu terhadap kelecakan beton segar. Dilihat dari hasil pengujian *slump* pada seluruh variasi, maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan tetes tebu berbanding lurus dengan tingginya nilai *slump*.

### 5.5 Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian ini dilakukan pada seluruh sampel yaitu 27 buah sampel silinder. Sebelum pengujian dilakukan, bagian atas benda uji diberikan *cap* terlebih dahulu agar

permukaan bidang tekan menjadi rata. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.12, Tabel 5.13, dan Gambar 5.5.

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada umur 28 Hari**

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Diameter (mm)	Luas (mm)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	0BA1	24,767	150,4	17765,832	25,283
2	0BA2	26,100	149,8	17624,366	
3	0BA3	24,982	150,6	17813,113	
4	02BA1	26,875	150,8	17860,457	27,475
5	02BA2	29,025	148,1	17226,617	
6	02BA3	26,526	150,2	17718,614	
7	025BA1	28,707	150,4	17765,832	28,382
8	025BA2	28,370	149,8	17624,366	
9	025BA3	28,069	150,6	17813,113	
10	03BA1	30,794	150,8	17860,457	30,590
11	03BA2	31,347	148,1	17226,617	
12	03BA3	29,630	150,2	17718,614	
13	035BA1	33,773	150,4	17765,832	33,268
14	035BA2	32,909	149,8	17624,366	
15	035BA3	33,122	150,6	17813,113	
16	04BA1	30,514	150,8	17860,457	31,532
17	04BA2	31,347	148,1	17226,617	
18	04BA3	32,734	150,2	17718,614	
19	045BA1	30,395	150,4	17765,832	28,756
20	045BA2	27,802	149,8	17624,366	
21	045BA3	28,069	150,6	17813,113	
22	05BA1	29,395	150,8	17860,457	28,597
23	05BA2	29,025	148,1	17226,617	
24	05BA3	27,372	150,2	17718,614	

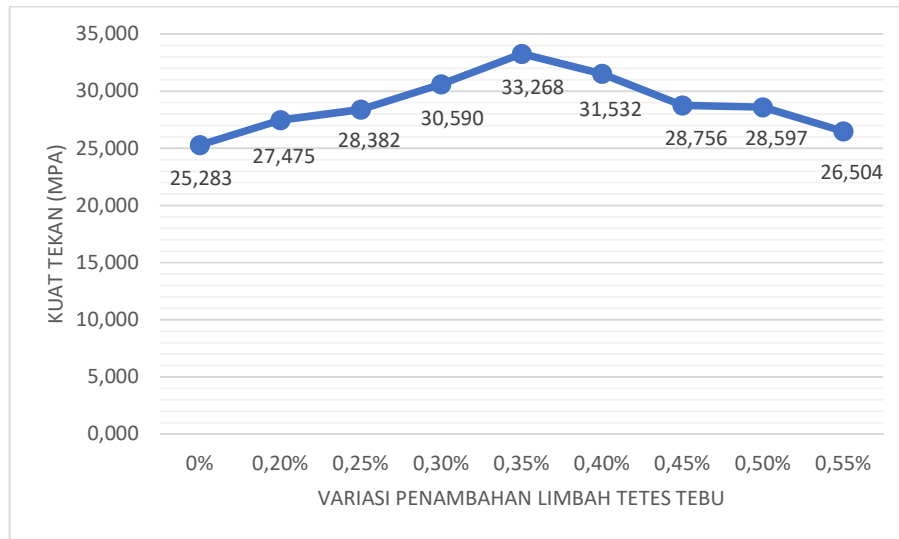
**Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada umur 28 Hari**

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Diameter (mm)	Luas (mm)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
25	055BA1	24,767	150,4	17765,832	26,504
26	055BA2	27,519	149,8	17624,366	
27	055BA3	27,227	150,6	17813,113	

**Tabel 5.15 Persentase Pertambahan Kuat Tekan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Rencana**

No	Benda Uji	Kuat Tekan Beton Rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton Rerata (MPa)	Persentase Pertambahan Kuat Tekan (%)
1	0BA	25	25,283	0,00
2	02BA	25	27,475	8,67
3	025BA	25	28,382	12,26
4	03BA	25	30,590	20,99
5	035BA	25	33,268	31,58
6	04BA	25	31,532	24,71
7	045BA	25	28,756	13,74
8	05BA	25	28,597	13,11
9	055BA	25	26,504	4,83





**Gambar 5.4 Grafik Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton**

Berdasarkan hasil pengujian di atas, kuat tekan beton mengalami peningkatan pada beberapa variasi tertentu. Beton pada variasi penambahan limbah tetes tebu 0,2%; 0,25%; 0,3%; 0,35%; 0,4%; 0,45%; 0,5% dan 0,55% terhadap berat semen mengalami kenaikan kuat tekan jika dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa bahan tambah.

Kenaikan nilai kuat tekan yang terjadi karena akibat dari penambahan limbah tetes tebu. Penambahan limbah tetes tebu meningkatkan *workability* dari beton, sehingga beton lebih mudah dalam pencampuran dan menjadi lebih padat. Kandungan lignin yang terdapat dalam gula meningkatkan lekatan antar partikel beton sehingga beton menjadi lebih padat. Selain itu, gula juga akan membuat semen memiliki waktu lebih banyak untuk berhidrasi sehingga beton lebih padat dan kaliper air yang terdapat dalam beton menjadi lebih sedikit (Aprillia dan Pramana, 2009).

Kuat tekan optimum pada pengujian ini terdapat pada variasi 0,35% yaitu sebesar 33,268 MPa. Penurunan yang terjadi pada variasi 0,4%, 0,45%, 0,5% dan 0,55% dari kuat tekan optimum bisa terjadi, karena pada variasi ini penambahan limbah tetes tebu sebesar 0,4%, 0,45%, 0,5% dan 0,55% sudah tidak efektif digunakan, sehingga menyebabkan kuat tekan beton menurun. Hal ini bisa terjadi

karena campuran air dan semen (pasta) sudah tidak mampu lagi untuk mengikat secara keseluruhan agregat yang dibutuhkan, sehingga ikatan yang terjadi di dalam campuran tidak sempurna.

### 5.6 Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian ini dilakukan pada seluruh sampel yaitu 27 buah sampel silinder. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.14, Tabel 5.15, dan Gambar 5.5.

**Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada umur 28 Hari**

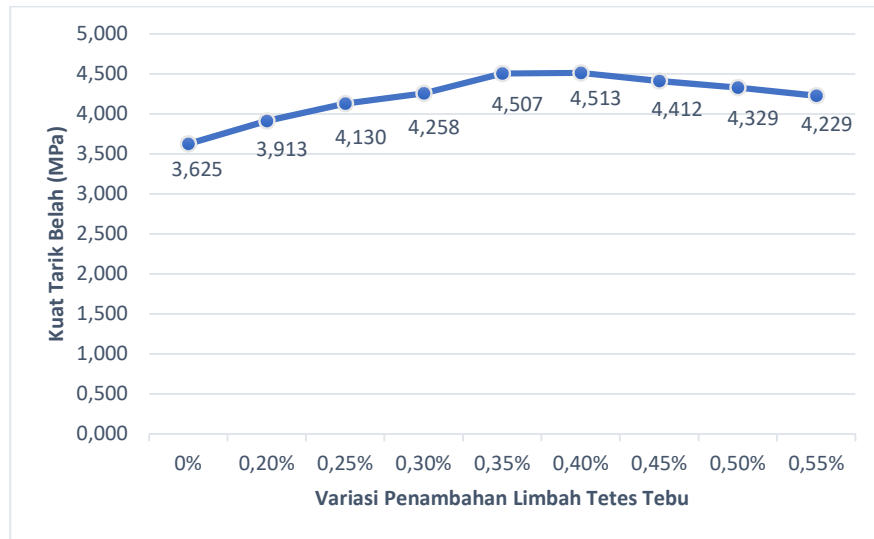
No	Benda Uji	Kuat Tarik belah (MPa)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Tarik belah Rerata (MPa)
1	0BA4	3,579	149,4	301,200	3,625
2	0BA5	3,745	150,4	301,800	
3	0BA6	3,745	149,3	300,100	
4	02BA4	3,861	150,8	301,800	3,913
5	02BA5	3,929	147	300,900	
6	02BA6	3,949	149,4	302,100	
7	025BA4	4,202	149,4	301,200	4,130
8	025BA5	4,081	150,4	301,800	
9	025BA6	4,106	149,3	300,100	
10	03BA4	4,071	150,8	301,800	4,258
11	03BA5	4,318	147	300,900	
12	03BA6	4,387	147	302,100	
13	035BA4	4,584	149,4	301,200	4,507
14	035BA5	4,320	150,4	301,800	
15	035BA6	4,618	149,3	300,100	
16	04BA4	4,462	150,8	301,800	4,513
17	04BA5	4,577	147	300,900	
18	04BA6	4,500	149,4	302,100	

**Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada umur 28 Hari**

No	Benda Uji	Kuat Tarik belah (MPa)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Tarik belah Rerata (MPa)
19	045BA4	4,343	149,4	301,200	4,412
20	045BA5	4,460	150,4	301,800	
21	045BA6	4,433	149,3	300,100	
22	05BA4	4,238	150,8	301,800	4,329
23	05BA5	4,462	147	300,900	
24	05BA6	4,288	149,4	302,100	
25	055BA4	4,159	149,4	301,200	4,229
26	055BA5	4,264	150,4	301,800	
27	055BA6	4,263	149,3	300,100	

**Tabel 5.18 Persentase Pertambahan Kuat Tekan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Rencana**

No	Benda Uji	Kuat Tekan Beton Rerata (MPa)	Persentase Pertambahan Kuat Tekan (%)
1	0BA	3,625	0,000
2	02BA	3,913	7,936
3	025BA	4,130	13,913
4	03BA	4,258	17,459
5	035BA	4,507	24,306
6	04BA	4,513	24,489
7	045BA	4,412	21,700
8	05BA	4,329	19,417
9	055BA	4,229	16,636

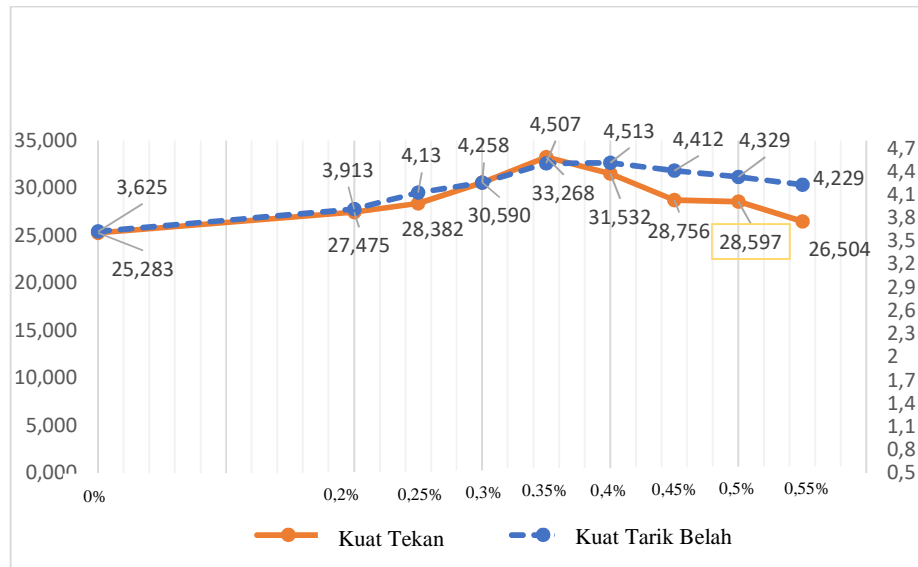


**Gambar 5.5 Grafik Hasil Analisis Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

Berdasarkan hasil pengujian di atas, kuat tarik belah beton mengalami peningkatan pada beberapa variasi tertentu. Beton pada variasi 0,2%; 0,25%; 0,3%; 0,35%; 0,4%; 0,45%; 0,5% dan 0,55% mengalami kenaikan kuat tarik belah jika dibandingkan dengan kuat tarik belah beton dengan tanpa penambahan limbah tetes tebu.

Hasil optimum pada penambahan limbah tetes tebu untuk kuat tarik belah beton pada umur 28 hari adalah pada variasi 0,4% yaitu sebesar 4,513 MPa. Variasi 0,45%, 0,5 dan 0,55 mengalami penurunan dari variasi sebelumnya, namun pada variasi ini kuat tarik belah betonnya masih berada di atas kuat tarik belah beton pada variasi 0%. Seluruh kuat tarik belah yang didapat dalam penelitian ini sesuai dengan persyaratan kuat tarik belah beton yaitu antara 8% - 15% kuat tekan betonnya.

Ditemukan perbedaan nilai optimum dari kuat tekan dan kuat tarik belah. Nilai optimum pada kuat tekan beton terdapat pada variasi 0,35% yaitu sebesar 33,268 MPa, kadar optimum pada kuat tarik belah beton terdapat pada variasi 0,4% yaitu sebesar 4,513 MPa. Perbedaan nilai optimum kuat tekan dan kuat tarik belah dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut ini.



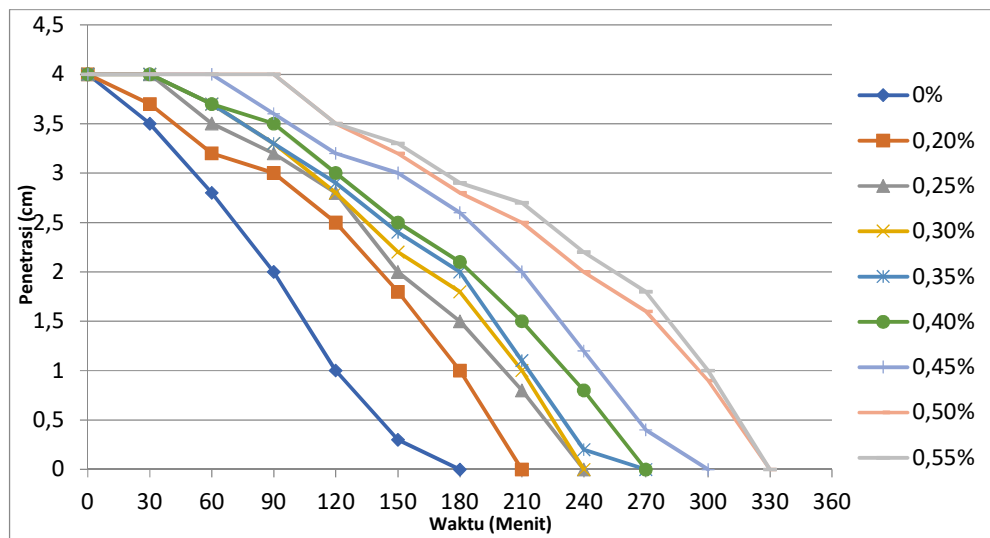
**Gambar 5.6 Grafik perbandingan kuat tekan dan kuat tarik belah beton**

SNI T-15-1991-03 menjelaskan bahwa nilai kuat tarik belah memiliki hubungan dengan nilai kuat tekan beton. Kenaikan nilai kuat tarik belah beton yang terjadi seharusnya bersamaan dengan kenaikan nilai kuat tekan. Sehingga jika kuat tekan suatu beton naik, maka kenaikan tersebut juga terjadi pada kuat tarik belah beton. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan kuat tekan beton tidak diiringi dengan kenaikan kuat tarik belahnya. Hal ini mungkin bisa terjadi karena sampel yang sedikit untuk setiap variasinya, maka perlu untuk menambah jumlah sampel di penelitian selanjutnya untuk meminimalisir kesalahan pada penelitian.

### 5.7 Hasil pengujian waktu ikat beton

Pengujian waktu ikat beton dilakukan dengan alat penguji waktu ikat yaitu *vikat*. Benda uji dari pengujian ini yaitu pasta beton dengan campuran yang sesuai dengan perencanaan adukan beton (*mix design*). Pengujian ini berfungsi untuk mencari waktu ikat awal beton dan waktu ikat akhir beton. Untuk mengetahui waktu ikat awal dan waktu ikat akhir beton ditunjukkan pada jarak masuknya jarum kepada benda uji. Beton sudah dianggap memasuki waktu ikat awal ketika jarum vikat telah masuk ke dalam benda uji setinggi 2,5 cm dan beton sudah dianggap memasuki waktu ikat akhir ketika jarum vikat telah tidak dapat masuk

ke dalam benda uji atau 0 cm. Proses pengujian ini yaitu siapkan pasta semen sesuai dengan rencana adukan (*mix design*), lalu masukkan ke dalam wadah vikat, setelah itu letakkan dibawah jarum vikat, lepaskan jarum vikat setiap 30 menit dengan posisi wadah yang berbeda. Hasil pengujian waktu ikat beton dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



**Gambar 5.7 Grafik Hasil Waktu Ikat Beton**

Hasil yang didapat waktu ikat terlama yaitu pada variasi penambahan tetes tebu 0,55% dengan waktu ikat 330 menit. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan limbah tetes tebu maka semakin lama waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya. Hal ini terjadi karena gula merupakan zat yang termasuk dalam golongan karbohidrat dengan C, H, O sebagai unsur pembentuknya. Gula biasa disebut sebagai *sukrosa / sakarosa* (C<sub>12</sub> H<sub>22</sub> O<sub>11</sub>) dan termasuk dalam golongan disakarida yang memiliki rasa manis. Menurut Olbrich (2006) dikutip dalam Agus Santoso (2012), limbah tetes tebu mengandung 32% sukrosa, 14% glukosa dan 16% fruktosa sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran beton. Pemanfaatan gula konsumsi sebagai bahan tambah beton juga didasarkan pada kenyataan bahwa gula konsumsi maupun larutan tebu murni didominasi oleh sukrosa yang dapat digolongkan

sebagai *retarder* dalam kategori sangat efisien. Tetes tebu memberikan pengaruh untuk mengurangi viskositas pada tekstur.