

## BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Bahan-bahan penyusun campuran beton mempunyai beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sebelum digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Tujuan dilakukan pengujian agregat adalah untuk mengetahui bahan yang digunakan layak dan telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

#### 5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan.

##### 1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan pedoman sesuai dengan SNI 1969-2008. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini,

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4791	4868	4829,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3072	3112	3092
Berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba)	2,485	2,578	2,532
Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba)	2,593	2,648	2,621
Berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba)	2,787	2,772	2,780
Penyerapan air, (Bj - Bk)/Bk x 100%	4,36%	2,71%	3,54%

Analisis hasil perhitungan berat jenis pada pengujian sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{4791}{5000 - 3072} \\
 &= 2,485 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{b. Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3072} \\
 &= 2,593 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4791}{4791 - 3072} \\
 &= 2,787 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4791}{4791} \times 100\% \\
 &= 4,36\%
 \end{aligned}$$

Analisis hasil perhitungan berat jenis pada pengujian sampel 2.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{4868}{5000 - 3112} \\
 &= 2,578 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{b. Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3112} \\
 &= 2,648 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4868}{4868 - 3112} \\
 &= 2,772 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4868}{4868} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 2,71\%$$

Berdasarkan hasil dari kedua sampel pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar diatas, maka nilai rata-rata berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{berat jenis SSD 1} + \text{berat jenis SSD 2})}{2} \\ &= \frac{(2,593+2,648)}{2} \\ &= 2,621 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{b. Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{penyerapan air 1} + \text{penyerapan air 2})}{2} \\ &= \frac{(4,36+2,71)}{2} \\ &= 3,54 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil analisis di atas, hasil berat jenis jenuh kering muka yang diperoleh sebesar  $2,621 \text{ gram/cm}^3$  dan penyerapan air sebesar  $3,54 \%$ . Menurut Nugraha (2007), bahwa berat jenis agregat normal adalah  $2400 - 2900 \text{ kg/m}^3$  atau  $2,4 \text{ gram/cm}^3 - 2,9 \text{ gram/cm}^3$ . Maka berat jenis agregat kasar dari Clereng, Kulon Progo memenuhi persyaratan. Berat jenis dapat mempengaruhi rencana proporsi campuran beton. Semakin besar berat jenis beton, maka semakin besar pula berat beton yang dihasilkan.

Sedangkan nilai penyerapan air agregat kasar yang lebih besar dari  $3\%$  dapat berpengaruh pada nilai *slump* campuran beton. Semakin besar nilai penyerapan air, semakin banyak juga jumlah air yang akan diserap oleh agregat dan mengakibatkan nilai *slump* menjadi kecil.

## 2. Pengujian analisa saringan pada agregat kasar

Pengujian analisa saringan ini menggunakan pedoman dari SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian didapatkan hasil dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 1**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0,00	0,00	100,00
20	215,6	4,32	4,32	95,68
10	3486	69,83	74,14	25,86
4,8	1083,2	21,70	95,84	4,16
2,4	93	1,86	97,70	
1,2	60	1,20	98,91	
0,6	0	0,00	98,91	
0,3	0	0,00	98,91	
0,15	0	0,00	98,91	
Pan	54,6	1,09		
Jumlah	4992,4	100,00	667,63	

**Tabel 5.3 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 2**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0,00	0,00	100,00
20	215	4,30	4,30	95,70
10	3512	70,28	74,58	25,42
4,8	1079	21,59	96,17	3,83
2,4	94,5	1,89	98,06	1,94
1,2	25	0,50	98,56	1,44
0,6	0	0,00	98,56	
0,3	0	0,00	98,56	
0,15	0	0,00	98,56	
Pan	72	1,44		
Jumlah	4997,5	100,00	667,34	

Analisis perhitungan modulus halus butir untuk sampel 1

- a. Berat tertinggal dalam gram yang diperoleh dari hasil pengujian analisa saringan.

b. Berat tertinggal (%)	$= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$	
1) Lubang ayakan 40 mm	$= \frac{0}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 0\%$	
1) Lubang ayakan 20 mm	$= \frac{215,6}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 4,32\%$	
1) Lubang ayakan 10 mm	$= \frac{3486}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 25,86\%$	
1) Lubang ayakan 4,8 mm	$= \frac{1083,2}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 21,70\%$	
1) Lubang ayakan 2,4 mm	$= \frac{93}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 1,86\%$	
1) Lubang ayakan 1,2 mm	$= \frac{60}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 1,20\%$	
1) Sisa	$= \frac{54,6}{4992,4} \times 100\%$	
	$= 1,09\%$	
c. Berat tertinggal kumulatif (%)		
1) Lubang ayakan 40 mm	$= 0\%$	
2) Lubang ayakan 20 mm	$= 0\% + 4,32\%$	$= 4,32\%$
3) Lubang ayakan 10 mm	$= 4,32\% + 69,83\%$	$= 74,14\%$
4) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 74,14\% + 21,70\%$	$= 95,84\%$
5) Lubang ayakan 2,4 mm	$= 95,84\% + 1,86\%$	$= 97,70\%$
6) Lubang ayakan 1,2 mm	$= 97,70\% + 1,2\%$	$= 98,91\%$
7) Sisa	$= 98,91\% + 1,09\%$	$= 100\%$
d. Persen lolos kumulatif (%)		
1) Lubang ayakan 40 mm	$= 100 - 0$	$= 100\%$
2) Lubang ayakan 20 mm	$= 100\% - 4,32\%$	$= 95,68\%$
3) Lubang ayakan 10 mm	$= 100\% - 74,14\%$	$= 25,86\%$
4) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 100\% - 95,84\%$	$= 4,16\%$

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Lubang ayakan } 2,4 \text{ mm} &= 100 \% - 97,70 \% = 2,30 \% \\
 6) \text{ Lubang ayakan } 1,2 \text{ mm} &= 100 \% - 98,91 \% = 1,09 \% \\
 7) \text{ Total} &= 667,63 \% \\
 \text{e. Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{667,63}{100} \\
 &= 6,68
 \end{aligned}$$

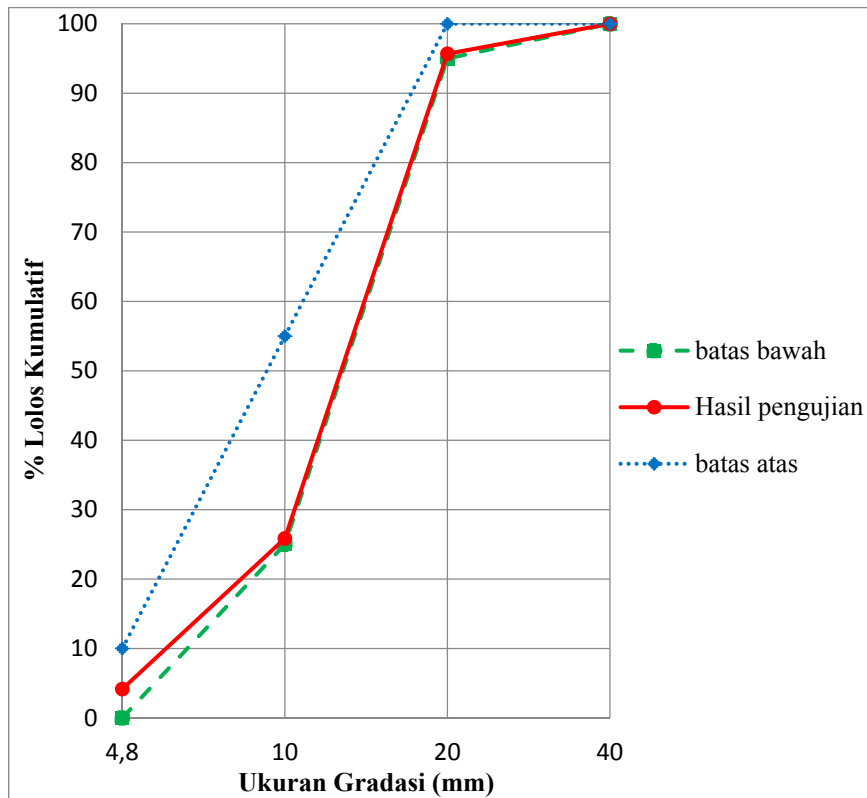
Menggunakan cara analisis perhitungan yang sama pada sampel 1, maka hasil yang didapat pada sampel 2 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{f. Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{677,98}{100} \\
 &= 6,78
 \end{aligned}$$

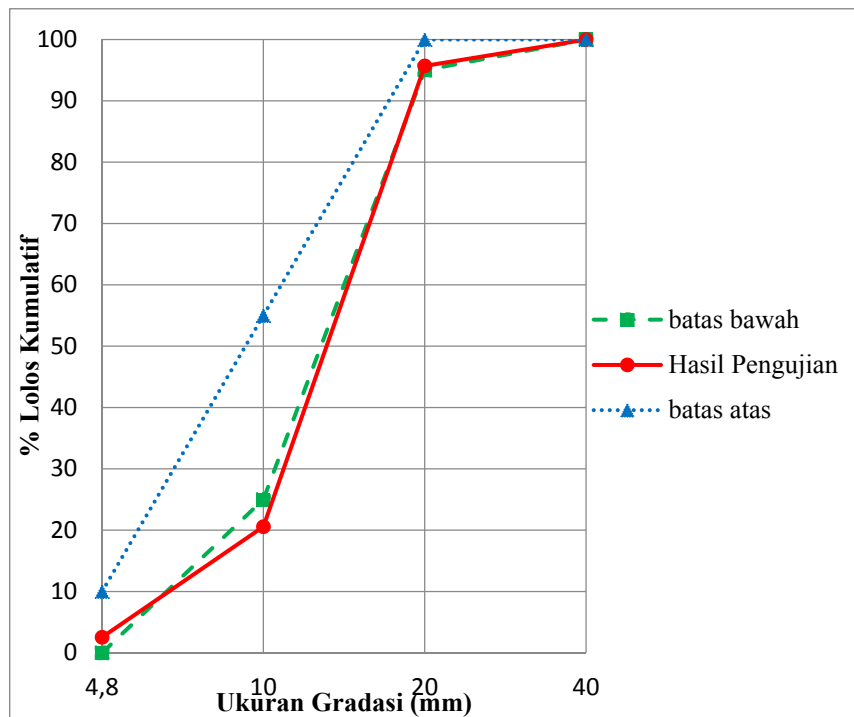
Berdasarkan kedua hasil perhitungan analisa saringan, maka didapat nilai rata-rata modulus halus butir agregat kasar berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{g. Modulus halus butir rata-rata} &= \frac{MHB \ 1 + MHB \ 2}{2} \\
 &= \frac{6,68 + 6,78}{2} \\
 &= 6,72
 \end{aligned}$$

Kurva gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2



**Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Sampel 1**



**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Sampel 2**

### 3. Hasil pengujian Kadar lumpur

Pengujian kadar lumpur menggunakan pedoman sesuai dengan SNI 4428-1997. Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini,

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	1500	1500	1500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (W2)	1488	1491	1489,5
Berat Agregat yang lolos saringan no 200, Gram	12	9	10,5
Persentase Lolos Ayakan no 200	0,800%	0,600%	0,700%

Analisis hasil pengujian, kadar lumpur 0,7% memenuhi syarat kurang dari 1% untuk kadar lumpur agregat kasar yang berpedoman pada SII.0052

#### 5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian kadar lumpur.

##### 1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan pedoman sesuai dengan SNI 1970-2008. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini,

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	474	472	473
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1009	1008	1008,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	716	716	716
Berat jenis curah ( $Bk/(B + 500 - Bt)$ )	2,290	2,269	2,280
Berat jenis kering muka ( $500/(B + 500 - Bt)$ )	2,415	2,404	2,410
Berat jenis semu, $Bk/(B + Bk - Bt)$	2,619	2,622	2,621
Penyerapan air, $(500 - Bk)/Bk \times 100\%$	5,49%	5,93%	5,71%



Analisis hasil perhitungan berat jenis pada pengujian sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+Bj-Bt} \\
 &= \frac{474}{716+500-1009} \\
 &= 2,290 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{b. Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{B+Bj-Bt} \\
 &= \frac{500}{716+500-1009} \\
 &= 2,415 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\
 &= \frac{474}{716+474-1009} \\
 &= 2,619 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{500-474}{474} \times 100\% \\
 &= 5,49\%
 \end{aligned}$$

Analisis hasil perhitungan berat jenis pada pengujian sampel 2.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+Bj-Bt} \\
 &= \frac{472}{716+500-1008} \\
 &= 2,269 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{b. Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{B+Bj-Bt} \\
 &= \frac{500}{716+500-1008} \\
 &= 2,404 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\
 &= \frac{472}{716+472-1008} \\
 &= 2,622 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{500-472}{472} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 5,93\%$$

Berdasarkan hasil dari kedua sampel pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus diatas, maka nilai rata-rata berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{berat jenis SSD 1} + \text{berat jenis SSD 2})}{2} \\ &= \frac{(2,415+2,404)}{2} \\ &= 2,410 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{b. Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{penyerapan air 1} + \text{penyerapan air 2})}{2} \\ &= \frac{(5,49+5,93)}{2} \\ &= 5,71 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil analisis di atas, hasil berat jenis jenuh kering muka yang diperoleh sebesar 2,410 gram/cm<sup>3</sup> dan penyerapan air sebesar 5,71 %. Menurut Nugraha (2007), bahwa berat jenis agregat normal adalah 2400 – 2900 kg/m<sup>3</sup> atau 2,4 gram/cm<sup>3</sup> – 2,9 gram/cm<sup>3</sup>. Maka berat jenis agregat halus dari Gunung Merapi memenuhi persyaratan. Berat jenis dapat mempengaruhi rencana proporsi campuran beton. Semakin besar berat jenis beton, maka semakin besar pula berat beton yang dihasilkan.

Sedangkan nilai penyerapan air agregat kasar yang lebih besar dari 3% dapat berpengaruh pada nilai *slump* campuran beton. Semakin besar nilai penyerapan air, semakin banyak juga jumlah air yang akan diserap oleh agregat dan mengakibatkan nilai *slump* menjadi kecil.

## 2. Pengujian analisa saringan pada agregat kasar

Pengujian analisa saringan ini menggunakan pedoman dari SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian didapatkan hasil dalam Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5.6 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0			
20	0			
10	0	0,00	0,00	100,00
4,8	14,2	0,71	0,71	99,29
2,4	185,5	9,28	9,99	90,01
1,2	244,7	12,24	22,24	77,76
0,6	579,7	29,01	51,24	48,76
0,3	551,4	27,59	78,83	21,17
0,15	259,3	12,97	91,81	8,19
Sisa	163,7	8,19		
Jumlah	1998,5	100,00	254,83	

**Tabel 5.7 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 2**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0			
20	0			
10	0	0,00	0,00	100,00
4,8	13,4	0,67	0,67	99,33
2,4	152,2	7,63	8,30	91,70
1,2	289,5	14,51	22,81	77,19
0,6	543,7	27,24	50,05	49,95
0,3	536,3	26,87	76,92	23,08
0,15	324,8	16,28	93,20	6,80
Sisa	135,7	6,80		
Jumlah	1995,6	100,00	251,95	

Analisis perhitungan modulus halus butir untuk sampel 1

- a. Berat tertinggal dalam gram yang diperoleh dari hasil pengujian analisa saringan.

b. Berat tertinggal (%)	$= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$	
1) Lubang ayakan 4,8 mm	$= \frac{14,2}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 0,71 \%$	
1) Lubang ayakan 2,4 mm	$= \frac{185,5}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 9,28 \%$	
1) Lubang ayakan 1,2 mm	$= \frac{244,7}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 12,24 \%$	
1) Lubang ayakan 0,6 mm	$= \frac{579,7}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 29,01 \%$	
1) Lubang ayakan 0,3 mm	$= \frac{551,4}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 27,59 \%$	
1) Lubang ayakan 0,15 mm	$= \frac{259,3}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 12,97 \%$	
1) Sisa	$= \frac{163,7}{1998,5} \times 100\%$	
	$= 8,19 \%$	
c. Berat tertinggal kumulatif (%)		
1) Lubang ayakan 10 mm	$= 0\%$	
2) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 0\% + 0,71 \%$	$= 0,71 \%$
3) Lubang ayakan 2,4 mm	$= 0,71\% + 9,28 \%$	$= 9,99 \%$
4) Lubang ayakan 1,2 mm	$= 9,99 \% + 12,24 \%$	$= 22,24 \%$
5) Lubang ayakan 0,6 mm	$= 22,24 \% + 29,01 \%$	$= 51,24 \%$
6) Lubang ayakan 0,3 mm	$= 51,24 \% + 27,59 \%$	$= 78,83\%$
7) Lubang ayakan 0,15 mm	$= 78,83 \% + 12,97 \%$	$= 91,81\%$
8) Sisa	$= 91,81 \% + 8,19 \%$	$= 100 \%$
d. Persen lolos kumulatif (%)		
1) Lubang ayakan 10 mm	$= 100 - 0$	$= 100\%$
2) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 100 \% - 0,71 \%$	$= 99,29 \%$
3) Lubang ayakan 2,4 mm	$= 100 \% - 9,99 \%$	$= 90,01\%$

4) Lubang ayakan 1,2 mm	= 100 % - 22,24 %	= 77,76%
5) Lubang ayakan 0,6 mm	= 100 % - 51,24 %	= 48,76 %
6) Lubang ayakan 0,3 mm	= 100 % - 78,83 %	= 21,17 %
7) Lubang ayakan 0,15 mm	= 100 % - 91,81 %	= 8,19 %
8) Total	= 254,83 %	

$$\begin{aligned}
 \text{e. Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{254,83}{100} \\
 &= 2,548
 \end{aligned}$$

Menggunakan cara analisis perhitungan yang sama pada sampel 1, maka hasil yang di dapat pada sampel 2 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{f. Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{251,95}{100} \\
 &= 2,519
 \end{aligned}$$

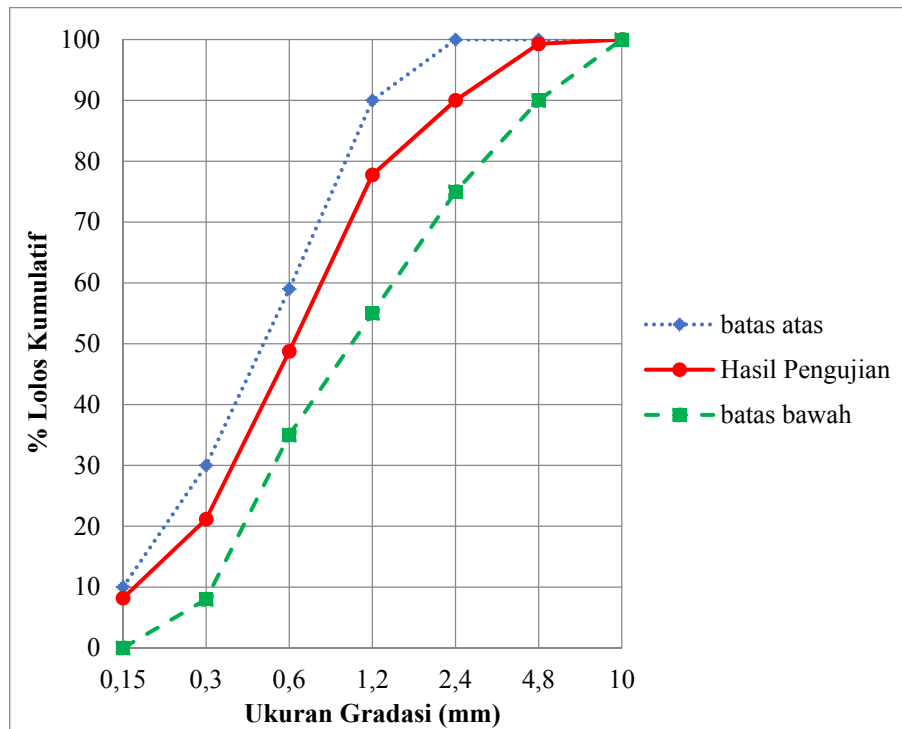
Berdasarkan kedua hasil perhitungan analisa saringan, maka didapat nilai rata-rata modulus halus butir agregat kasar berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{g. Modulus halus butir rata-rata} &= \frac{MHB\ 1 + MHB\ 2}{2} \\
 &= \frac{2,548 + 2,519}{2} \\
 &= 2,534
 \end{aligned}$$

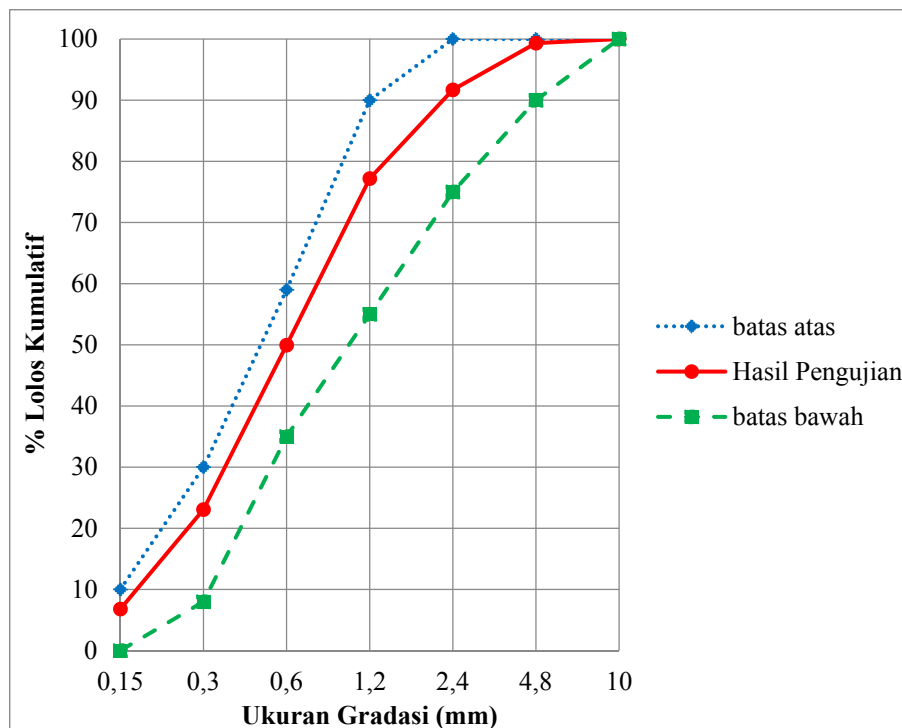
**Tabel 5.8 Daerah Gradasi Rencana**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	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

Daerah gradasi rencana yang digunakan adalah daerah II. Kurva gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4



**Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1**



**Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2**

### 3. Hasil pengujian Kadar lumpur

Pengujian kadar lumpur menggunakan pedoman sesuai dengan SNI 4428-1997. Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini,

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (W1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (W2)	493,1	491	492,05
Berat Agregat yang lolos saringan no 200, Gram	6,9	9	7,95
Persentase Lolos Ayakan no 200	1,380%	1,800%	1,590%

Analisis hasil pengujian, kadar lumpur 1,59% memenuhi syarat kurang dari 5% untuk kadar lumpur maksimum agregat halus yang berpedoman pada SII.0052

## 5.2 Perhitungan Rencana Campuran Beton Normal

Perencanaan campuran beton berpedoman menggunakan SNI 03-2834-2000. Berikut merupakan hasil dari perhitungan rencana campuran (*mix design*). Berikut ini merupakan hasil perhitungan rencana campuran beton normal.

1. Kuat tekan rencana ( $f'c$ ) = 20 MPa dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen tipe I jenis *Portland Composite Cement* (PCC) dengan merek Holcim.
3. Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.
4. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir alami yang berasal dari Gunung Merapi.
5. Ukuran butir agregat maksimum yang digunakan sebesar 20 mm.
6. Data uji di lapangan yang digunakan untuk menghitung deviasi standar tidak ada. Berdasarkan Tabel 3.1, maka nilai tambah (M) diambil 12 MPa.
7. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didapat dengan rumus

$$f'_{cr} = M + f'c \quad (5.1)$$

$$f'_{cr} = 12 + 20 = 20 \text{ MPa}$$

## 8. Pemilihan faktor air semen

### a. Perhitungan perkiraan kekuatan tekan

Menentukan nilai perkiraan kekuatan tekan dapat dilihat pada Tabel 3.2. Berdasarkan Tabel 3.2 agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah, benda uji silinder, semen portland tipe I, dan umur beton yang digunakan adalah 28 hari. Maka, didapat kuat tekan silinder umur 28 hari,  $f'_c = 37$  MPa.

### b. Menentukan faktor air semen yang dibutuhkan

Menentukan faktor air semen yang dibutuhkan dengan cara menggunakan grafik pada Gambar 3.6. Cara penggunaan grafik tersebut adalah buat garis titik awal dengan  $fas = 0,5$  sebagai absis dan kuat tekan beton yang telah diperoleh dari Tabel 3.2 adalah 37 MPa berfungsi sebagai ordinat. Setelah itu, dari titik awal dibuat grafik baru yang bentuknya sama dengan dua grafik yang ada didekatnya. Selanjutnya tarik garis mendatar dari sumbu tegak kiri pada kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ( $f'_{cr}$ ) = 32 MPa sampai bertemu dengan grafik yang baru dibuat tersebut, kemudian tarik garis kebawah untuk mendapatkan nilai  $fas = 0,54$ .

### c. Menentukan nilai faktor air semen maksimum

Dalam penentuan nilai faktor air semen maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.3, Tabel 3.4, atau Tabel 3.5. Pada penelitian ini rencana lokasi beton yang akan digunakan berada di dalam ruangan dan keadaan keliling non korosif. Nilai  $fas$  yang didapat berdasarkan Tabel 3.3 sebesar 0,60. Maka, nilai  $fas$  yang digunakan adalah yang terkecil yaitu 0,54.

## 9. Nilai slump

Nilai slump yang digunakan didapat dari Tabel 3.6 berdasarkan kegunaan beton. Beton yang direncanakan akan digunakan sebagai plat, kolom, balok, dan dinding. Dengan melihat Tabel 3.6 didapat syarat slump yang direncanakan harus 75 – 150 mm. maka, nilai rencana slump yang digunakan adalah 0 – 100 mm

## 10. Kadar air bebas



Kadar air bebas dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.12 dan untuk perkiraan kadar air bebas agregat dapat dilihat pada Tabel 3.8. nilai  $W_h$  adalah batu tak dipecah, dan nilai  $W_k$  adalah batu pecah. Dengan slump rencana 0-100 mm dan ukuran besar butir agregat maksimum 20 mm, didapat nilai  $W_h$  sebesar  $135 \text{ kg/m}^3$  dan nilai  $W_k$  sebesar  $170 \text{ kg/m}^3$ . Maka, nilai kadar air bebas sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Nilai kadar air bebas} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\ &= \frac{2}{3} 135 + \frac{1}{3} 170 \\ &= 146,7 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

#### 11. Jumlah semen

Semen didapat menggunakan Persamaan 3.13

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{W_{air}}{fas} \\ &= \frac{146,7}{0,54} \\ &= 271,667 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dalam menentukan jumlah semen juga dibutuhkan jumlah semen minimum. Jumlah semen minimum didapat menggunakan Tabel 3.3 dengan hasil sebesar  $275 \text{ kg/m}^3$ . Maka, jumlah semen yang dipilih adalah  $271,667 \text{ kg/m}^3$ .

Dikarenakan ada perubahan jumlah semen dari fas awal, maka fas dihitung kembali menggunakan Persamaan 3.13. fas yang didapat sebesar 0,53.

#### 12. Persen agregat halus

Persen agregat halus didapat dari Gambar 3.9 karena besar butir maksimum agregat kasar 20 mm. Dengan nilai slump rencana 60-180 mm dan daerah gradasi agregat halus yang didapat dari analisis saringan agregat halus adalah daerah II. Menentukan persen agregat halus dengan cara menarik garis dengan nilai fas sebagai absis sampai batas atas dan batas bawah pada daerah II, lalu tarik garis ke arah ordinat. Maka, didapat batas atas persen pasir sebesar 46 %, dan batas bawah persen pasir sebesar 37 %. Persen pasir yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Persen pasir yang digunakan} = \frac{\text{Batas atas} + \text{Batas bawah}}{2}$$

$$= \frac{46+37}{2}$$

$$= 41,5 \%$$

13. Berat jenis relatif gabungan

Dari hasil analisis berat jenis agregat, didapat berat jenis agregat kasar 2,62 gram/cm<sup>3</sup> dan berat jenis agregat halus 2,41 gram/cm<sup>3</sup>. Berat jenis relatif gabungan dapat dicari menggunakan Persamaan 3.14

$$BJ_{\text{Gabungan}} = \%AH \times BJ_{\text{Halus}} + \%AK \times BJ_{\text{Kasar}}$$

$$= 41,5 \times 2,41 + (100 - 41,5) \times 2,62$$

$$= 2,53 \text{ gram/cm}^3$$

14. Mencari berat isi beton

Berat isi beton didapat menggunakan Gambar 3.11. dengan cara menarik garis dari nilai kadar air bebas sebesar 146,7 kg/m<sup>3</sup> sebagai absis sampai garis baru berat jenis agregat gabungan 2,53 gram/cm<sup>3</sup> yang berada di antara garis berat jenis agregat bernilai 2,5 dan 2,6, setelah itu ditarik ke ordinat. Maka, didapat berat isi beton sebesar 2360 kg/m<sup>3</sup>.

15. Menentukan proporsi campuran beton

Menentukan proporsi campuran beton menggunakan Persamaan 3.15 dan Persamaan 3.16.

$$W_{\text{halus}} = (W_{\text{isi beton}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}}) \times \%AH$$

$$= (2360 - 275 - 146,7) \times 41,5\%$$

$$= 804,394 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{kasar}} = (W_{\text{isi beton}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}}) \times \%AK$$

$$= (2360 - 275 - 146,7) \times 58,5\%$$

$$= 1133,905 \text{ kg/m}^3$$

Proporsi campuran agregat dalam kondisi SSD untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 275 kg
- b. Air = 146,7 kg
- c. Agregat halus = 804,349 kg
- d. Agregat kasar = 1133,905 kg

## 16. Proporsi campuran beton pada benda uji

Benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder berukuran 0,15 x 0,3 m dengan volume sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= 0,25 \times \pi \times 0,15 \times 0,3 \\ &= 0,015903 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka, berat masing-masing bahan pada tiap benda uji adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{a. Semen} &= \text{berat proporsi tiap } 1 \text{ m}^3 \text{ beton} \times \text{volume silinder} \\ &= 275 \times 0,015903 \\ &= 1,458 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. Air} &= \text{berat proporsi tiap } 1 \text{ m}^3 \text{ beton} \times \text{volume silinder} \\ &= 146,7 \times 0,015903 \\ &= 0,933 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. Agregat halus} &= \text{berat proporsi tiap } 1 \text{ m}^3 \text{ beton} \times \text{volume silinder} \\ &= 804,395 \times 0,015903 \\ &= 4,264 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d. Agregat kasar} &= \text{berat proporsi tiap } 1 \text{ m}^3 \text{ beton} \times \text{volume silinder} \\ &= 1133,9055 \times 0,015903 \\ &= 6,011 \text{ kg}\end{aligned}$$

17. Kadar *PET* tiap benda uji sebagai pengganti sebagian agregat halus sebesar 5 % dari berat agregat halus

$$\begin{aligned}\text{PET} &= 5 \% \times 4,264 \\ &= 0,213 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= 4,264 - 0,213 \\ &= 4,051 \text{ kg}\end{aligned}$$

18. Hasil rekapitulasi perhitungan perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dapat dilihat pada Tabel 5.10

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)**

<b>Formulir Perencanaan Campuran Beton</b>					
<b>(SNI 03-2834-2000)</b>					
<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>	<b>Tabel/ Grafik/ Hitungan</b>	
1	Kuat tekan beton	20	MPa	Ditetapkan	
2	Deviasi standar (Sd)	-			
3	Nilai tambah / Margin (m)	12		M = 1,64 x Sd	
4	Kuat teknan rata-rata	32	MPa	(1) + (3)	
5	Jenis semen	PPC tipe I		Ditetapkan	
6	Jenis gregat kasar	Batu pecah		Ditetapkan	
	Jenis agregat halus	Alami		Ditetapkan	
7	FAS bebas	0,54		Tabel 3.2 dan Gambar 3.6	
	FAS maksimum	0,6		Tabel 3.3	
8	FAS digunakan	0,54			
9	Slump	75-150	mm	Ditetapkan	
10	Ukuran agregat maks	20	mm	Ditetapkan	
11	Kadar air bebas	146,7	Kg/m <sup>3</sup>	Tabel 3.8	
12	Kadar semen	271,667	Kg/m <sup>3</sup>	(11) : (8)	
13	Kadar semen maksimum	-	Kg/m <sup>3</sup>		
14	Kadar semen minimum	275	Kg/m <sup>3</sup>	Tabel 3.3	
15	Kadar semen digunakan	275	Kg/m <sup>3</sup>		
16	FAS disesuaikan	0,533			
17	Susunan besar agregat halus	2		Daerah Gradasi	
18	Berat jenis agregat kasar (kerikil)	2,621			
	Berat jenis agregat halus	2,410			
19	Persen agregat halus	41,5		Gambar 3.8/3.9/3.10	
20	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,533			
21	Berat isi beton	2360	Kg/m <sup>3</sup>	Gambar 3.11	
22	Kadar agregat gabungan	1938,3	Kg/m <sup>3</sup>	21- 15- 11	
23	Kadar agregat halus	804,394	Kg/m <sup>3</sup>	19 x 22	
24	Kadar agregat kasar	1133,905	Kg/m <sup>3</sup>	22- 23	
		Semen	Air	Agregat	
		(kg)	(kg)	Halus (kg)	Kasar (kg)
25	Proporsi campuran teoritis (SSD)				
	setiap m <sup>3</sup>	275	146,7	804,394	1133,905
	setiap benda uji :	1,458	0,777	4,264	6,011
26	Proporsi campuran dengan angka penyusutan 20%				
	setiap m <sup>3</sup>	330	176,04	965,273	1360,687
	setiap benda uji :	1,749	0,933	5,117	7,213

19. *PET* sebagai bahan penyusun beton tidak terpengaruh oleh angka penyusutan karena nilai penyerapan air *PET* yang sangat kecil.
20. Pencampuran adukan beton dilakukan dalam dua tahap untuk benda uji silinder sebanyak 5 buah tiap tahap. Hasil rekapitulasi kebutuhan material pencampuran beton dengan *PET* dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Kebutuhan Material Pencampuran Beton**

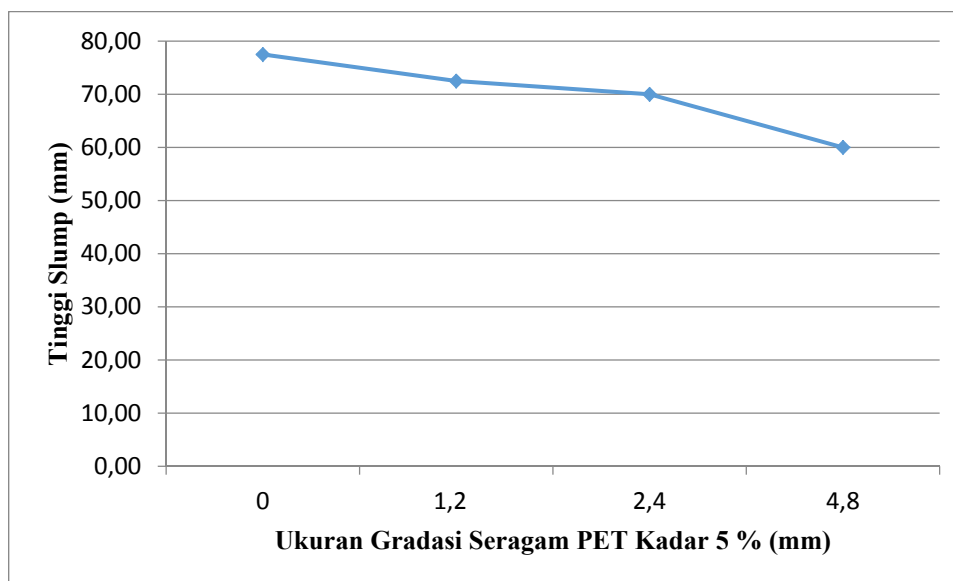
Kode Benda Uji	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>PET</i> 5% (kg)
BN	8,747	4,666	25,586	36,068	0
BA (1,2 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066
BB (2,4 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066
BC (4,8 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066

### 5.3 Pengujian Nilai *Slump*

Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini adalah sebesar 75 - 150 mm, karena beton dalam dalam penelitian adalah beton normal. Pengujian nilai *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari sebuah adukan beton. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan bahwa beton tersebut memiliki adukan yang kental, sedangkan nilai *slump* yang tinggi menunjukkan beton tersebut memiliki adukan yang encer. Hasil pengujian nilai *slump* dapat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Nilai *Slump***

Kode Benda Uji	Tinggi <i>Slump</i> (mm)	Keterangan
BN	77,50	Memenuhi
BA (1,2 mm)	72,5	Tidak memenuhi
BB (2,4 mm)	70	Tidak memenuhi
BC (4,8 mm)	60	Tidak memenuhi



**Gambar 5.5 Grafik Nilai Slump**

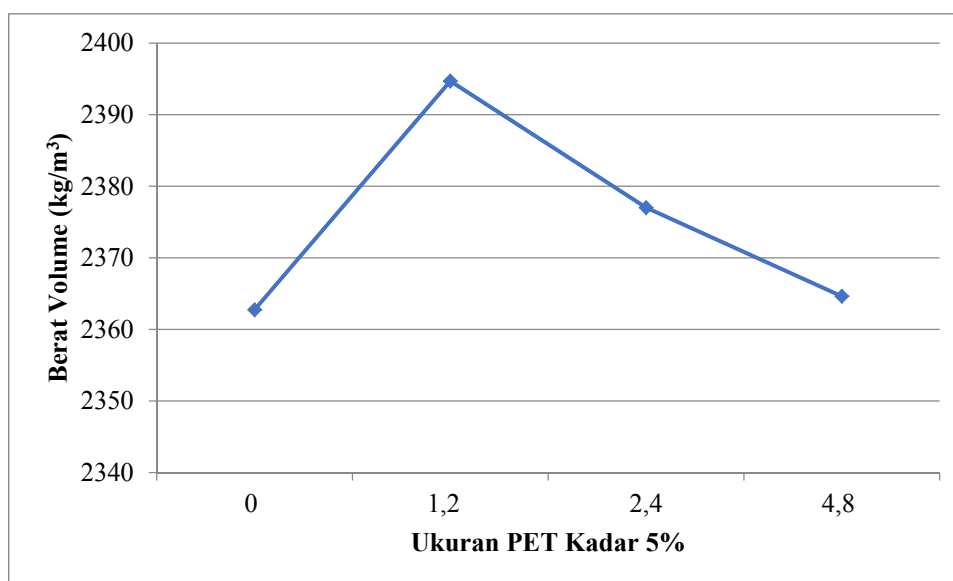
Nilai *slump* menunjukkan *workability* / kelecakan pada campuran beton basah. Pada penelitian ini sebagian agregat halus diganti dengan menggunakan *PET* yang bergradasi seragam dapat mempengaruhi kelecakan beton. Dapat dibuktikan bahwa pada penambahan *PET* bergradasi seragam nilai *slump* tidak memenuhi target yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan karena sifat *PET* yang sulit untuk menyerap air. Gradasi pada agregat halus lebih menentukan kelecakan (*workability*) daripada gradasi pada agregat kasar. Hal ini disebabkan oleh pasta semen yang telah dicampur dengan agregat halus akan menjadi mortar yang berfungsi sebagai pelumas sedangkan agregat kasar hanya sebagai pengisi ruang saja. Dapat dilihat pada Gambar 5.5, jumlah butir *PET* yang banyak dan kecil memiliki nilai *slump* yang tinggi karena kemampuan bahan penyusun untuk tergelincir semakin besar. Maka, semakin besar ukuran *PET* akan semakin sulit untuk mengalami gelincir pada beton basah.

#### 5.4 Pengujian Berat Volume Beton

Pengujian berat volume beton bertujuan untuk mengetahui berat beton tiap  $m^3$ . Berat volume rencana beton adalah  $2360 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Beton**

Kode Benda Uji	Diameter rata-rata (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )
BN	BN 1	150,20	298,3	12,4	2346,058
	BN 2	150,13	297,3	12,5	2375,04
	BN 3	150,97	304	13,1	2407,386
	BN 4	150,13	300,6	12,7	2386,55
	BN 5	151,07	296,9	12,4	2330,152
	BN 6	150,63	300,6	12,5	2333,399
	BN 7	151,13	299,7	12,7	2362,145
	BN 8	150,57	298,1	12,5	2355,052
	BN 9	150,30	297,4	12,5	2368,979
BA	BA 1	150,87	301,1	12,73	2365,055
	BA 2	151,27	303,6	12,67	2322,194
	BA 3	151,10	299	12,85	2396,697
	BA 4	150,10	304,1	12,95	2406,59
	BA 5	149,73	301,6	12,93	2434,671
	BA 6	150,53	299,6	12,99	2436,195
	BA 7	150,33	304,6	12,78	2363,744
	BA 8	149,53	302,4	12,88	2425,315
	BA 9	149,60	299,4	12,64	2401,83
BB	BB 1	151,97	301	12,8	2344,536
	BB 2	151,20	302,5	12,9	2375,04
	BB 3	151,67	302,1	13,1	2400,216
	BB 4	150,73	302,1	12,8	2374,383
	BB 5	150,80	303,6	12,8	2360,563
	BB 6	150,33	301,5	13	2429,157
	BB 7	150,20	293,7	12,3	2363,586
	BB 8	150,13	297,3	12,5	2375,04
	BB 9	150,97	304	12,9	2370,632
BC	BC 1	148,90	301	12,6	2403,946
	BC 2	150,97	299,7	12,5	2330,082
	BC 3	150,60	301,8	12,6	2343,751
	BC 4	149,50	299,7	12,5	2376,025
	BC 5	152,30	301,8	13	2364,473
	BC 6	150,23	302,8	12,7	2366,058
	BC 7	149,90	303,6	12,6	2351,666
	BC 8	150,13	297,3	12,5	2375,04
	BC 9	150,97	304	12,9	2370,632



**Gambar 5.6 Grafik Berat Volume**

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa berat volume beton dengan *PET* kadar 5 % sebagai pengganti agregat halus ini semakin menurun seiring dengan semakin besarnya ukuran *PET* karena semakin besarnya ukuran *PET* dapat membuat pori-pori pada beton semakin banyak, hal ini menyebabkan berat volume beton semakin menurun. Menurut SNI 03-2834-2000, beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200-2500) kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan hal tersebut, seluruh sampel benda uji dapat memenuhi kriteria beton normal.

### 5.5 Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air adalah pengujian dengan cara menimbang berat beton ketika dalam kondisi basah setelah direndam 28 hari dan berat beton ketika benda uji dalam kondisi kering oven dengan suhu 110°C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut.

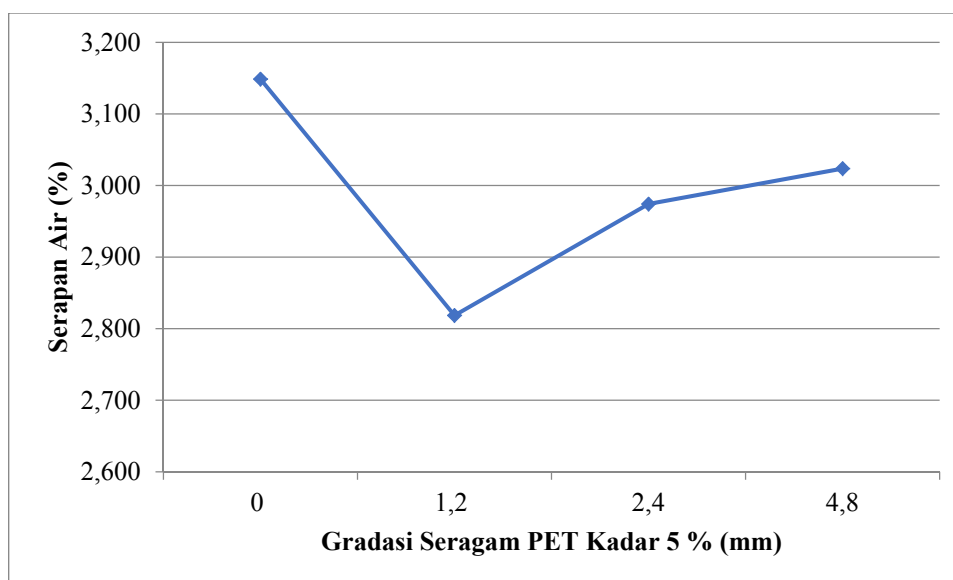
**Tabel 5.14 Hasil Pengujian Penyerapan Air**

No	Kode Benda Uji	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Serapan Air Rata-Rata(%)
1	BN 7	12,7	12,275	3,462	3,149
	BN 8	12,5	12,05	3,734	
	BN 9	12,5	12,225	2,249	



Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pengujian Penyerapan Air

No	Kode Benda Uji	Berat Basah (Kg)	Berat Kering (kg)	Serapan Air (%)	Serapan Air Rata-Rata(%)
2	BA 7	12,78	12,38	3,231	2,818
	BA 8	12,88	12,53	2,793	
	BA 9	12,64	12,34	2,431	
3	BB 7	12,3	11,95	2,929	2,974
	BB 8	12,5	12,05	3,734	
	BB 9	12,9	12,615	2,259	
4	BC 7	12,6	12,1775	3,470	3,024
	BC 8	12,5	12,11	3,220	
	BC 9	12,9	12,6	2,381	



Gambar 5.7 Grafik Hasil Pengujian Penyerapan Air

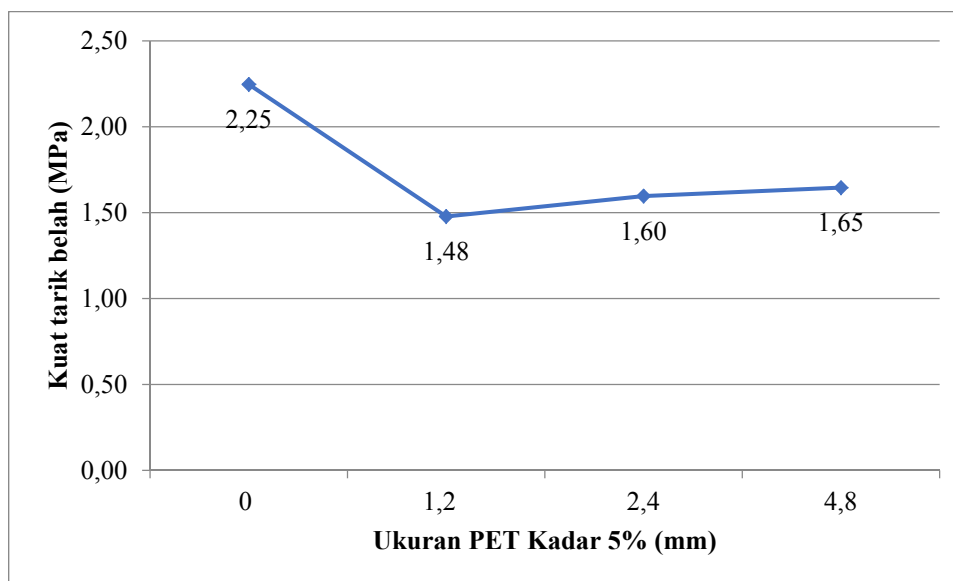
Gambar 5.7 menunjukkan bahwa penyerapan air pada beton menunjukkan bahwa semakin besar ukuran *PET*, maka nilai penyerapan air akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena ukuran butir *PET* yang kecil dapat mengisi rongga-rongga pada campuran beton sehingga membuat beton menjadi padat, dan semakin besar ukuran *PET* dapat menyebabkan pori-pori yang semakin banyak. Oleh karena itu, semakin padat beton dan semakin tinggi berat volume beton maka penyerapan air semakin berkurang, dan hal ini dipengaruhi juga oleh sifat *PET* yang memiliki penyerapan air yang sangat kecil.

## 5.6 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat Tarik belah beton pada penelitian ini hanya dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Benda uji berbentuk silinder beton dengan 3 sampel dari setiap variasi, jadi total keseluruhan benda uji untuk pengujian kuat tarik belah beton sebanyak 12 sampel. Perhitungan kuat tarik belah beton dihitung dengan Persamaan 3.4. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton**

Kode Benda Uji	Diameter, D (mm)	Tinggi, L (mm)	Beban, P (N)	Kuat Tarik Belah Beton, $F_{ct} = \frac{2P}{\pi DL}$ (MPa)	Kuat Tarik Belah Beton Rata-Rata (MPa)
BN	BN 4	150,13	297,3	177000	2,525
	BN 5	150,57	298,1	175000	2,482
	BN 6	150,20	298,3	122000	1,733
BA	BA 4	150,53	299,6	115000	1,623
	BA 5	150,33	304,6	112000	1,557
	BA 6	149,53	302,4	89000	1,253
BB	BB 4	151,20	302,5	90000	1,253
	BB 5	151,97	301	130000	1,809
	BB 6	150,33	301,5	123000	1,728
BC	BC 4	152,30	301,80	112000	1,551
	BC 5	150,23	302,8	115000	1,609
	BC 6	149,90	303,6	127000	1,777



**Gambar 5.8 Nilai Kuat Tarik Belah**

Gambar 5.8 menunjukkan nilai kuat tarik belah beton akan meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran *PET* dengan kadar 5% sebagai pengganti agregat halus. Nilai kuat tarik yang paling rendah terdapat pada *PET* kadar 5% dengan gradasi seragam berukuran 1,2 mm. Hal ini disebabkan oleh sifat *PET* yang memiliki permukaan halus dan licin bahkan lebih halus daripada pasir. Apabila jumlah butir *PET* terlalu banyak dengan sifat *PET* yang halus ini akan membuat bahan penyusun sulit untuk menahan beban karena gesekan antara pasta dan permukaan butir berkurang.

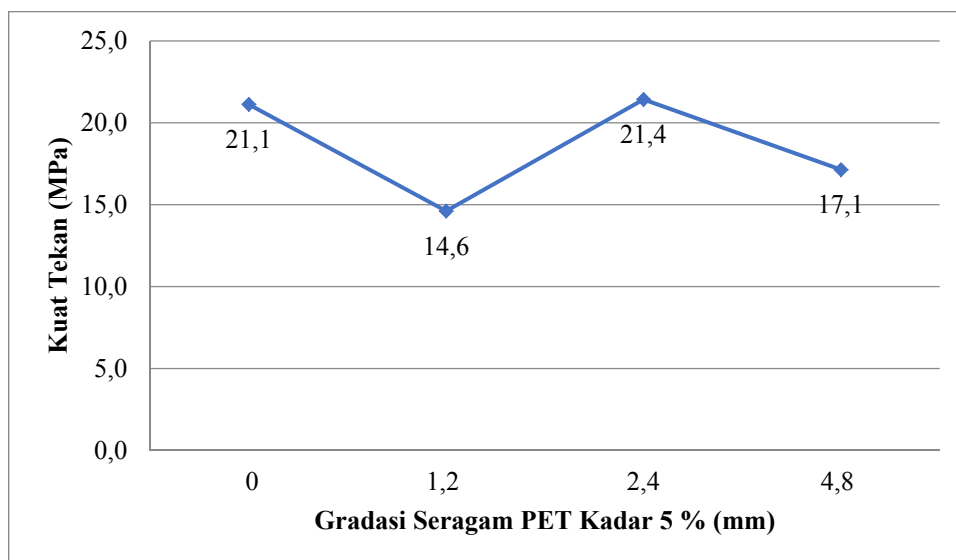
### 5.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diberi *capping* dengan menggunakan belerang untuk mempersiapkan beton dalam pelaksanaan pengujian kuat tekan. Pemberian *capping* ini diperlukan untuk memastikan distribusi beban aksial yang merata keseluruh bidang tekan beton. Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *Compression Machine* untuk mendapatkan beban maksimum. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder beton dengan tiga sampel dari setiap variasi, jadi total benda uji untuk pengujian kuat tekan beton

sebanyak 12 sampel. Perhitungan kuat tekan beton dihitung dengan Persamaan 3.3. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

Kode Benda Uji		Diameter rata-rata (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (Mpa)
BN	BN 1	151,13	17939,5029	390000	21,740	21,1
	BN 2	150,57	17805,2286	380000	21,342	
	BN 3	150,30	17742,2152	360000	20,291	
BA	BA 1	150,87	17876,2521	238000	13,314	14,6
	BA 2	151,27	17971,1701	298000	16,582	
	BA 3	151,10	17931,5904	250000	13,942	
BB	BB 1	151,97	18137,8813	360000	19,848	21,4
	BB 2	151,20	17955,333	420000	23,391	
	BB 3	151,67	18066,3394	380000	21,034	
BC	BC 1	149,90	17647,9046	290000	16,433	17,1
	BC 2	149,50	17553,8453	320000	18,230	
	BC 3	150,97	17899,9581	300000	16,760	



**Gambar 5.9 Nilai Kuat Tekan**

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa penggunaan *PET* kadar 5% dengan menggunakan gradasi seragam sebagai pengganti sebagian agregat halus pada

nilai kuat tekannya mengalami fluktuatif. Pada *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 1,2 mm mengalami penurunan juga karena butiran *PET* yang kecil dan berjumlah banyak ini menyebabkan bahan penyusun beton kekurangan agregat berbutir besar yang dapat menahan beban lebih besar daripada agregat berbutir kecil. Pada *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 4,8 mm mengalami penurunan karena butiran *PET* yang besar sulit untuk diikat oleh pasta semen yang menyebabkan daya lekat berkurang pada bahan penyusun beton.

Menurut Murdiyono (2011), kekerasan agregat kasar buatan *PET* dengan menggunakan metode *British Standard* sebesar 33,66% sesuai dengan yang disyaratkan yaitu sebesar 30-40 % untuk beton normal. Selain itu, kekuatan beton akan meningkat apabila *PET* sebagai pengganti beberapa agregat halus ini memiliki ukuran yang dapat mengisi ruang-ruang kosong dari agregat halus yang tergantikan pada campuran beton. Daerah agregat halus yang didapat berdasarkan analisis saringan yaitu pada daerah II, maka berdasarkan pengujian yang telah dilakukan. *PET* kadar 5% bergradasi seragam berukuran 2,4 mm merupakan ukuran optimum yang dapat mengisi ruang-ruang kosong pada campuran beton karena kuat tekan yang didapat 1,42% dari beton normal.

## **5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton**

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Pengujian dilaksanakan saat benda uji berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 12 buah beton silinder dengan 4 variasi gradasi seragam *PET* kadar 5%. Pembacaan *dial gauge* dilakukan seiring dengan kelipatan beban yang diberikan hingga beban mengalami penurunan. Pengujian ini menghasilkan data berupa tegangan dan regangan aksial pada beton. Hasil pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Tegangan dan Regangan Beton BN 1

Beban (KN)	Pembacaan Dial x 0,001 (mm)	$\Delta L$ x 0,001 (mm)	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$
0	0	0,0000	17718,614	200	0,000	0,0000000
10	5	0,0025	17718,614	200	0,564	0,0000125
20	12	0,0060	17718,614	200	1,129	0,0000300
30	21	0,0105	17718,614	200	1,693	0,0000525
40	27	0,0135	17718,614	200	2,258	0,0000675
50	38	0,0190	17718,614	200	2,822	0,0000950
60	46	0,0230	17718,614	200	3,386	0,0001150
70	53	0,0265	17718,614	200	3,951	0,0001325
80	62	0,0310	17718,614	200	4,515	0,0001550
90	71	0,0355	17718,614	200	5,079	0,0001775
100	81	0,0405	17718,614	200	5,644	0,0002025
110	87	0,0435	17718,614	200	6,208	0,0002175
120	102	0,0510	17718,614	200	6,773	0,0002550
130	112	0,0560	17718,614	200	7,337	0,0002800
140	121	0,0605	17718,614	200	7,901	0,0003025
150	127	0,0635	17718,614	200	8,466	0,0003175
160	130	0,0650	17718,614	200	9,030	0,0003250
170	135	0,0675	17718,614	200	9,594	0,0003375
180	153	0,0765	17718,614	200	10,159	0,0003825
190	169	0,0845	17718,614	200	10,723	0,0004225
200	178	0,0890	17718,614	200	11,288	0,0004450
210	190	0,0950	17718,614	200	11,852	0,0004750
220	195	0,0975	17718,614	200	12,416	0,0004875
230	207	0,1035	17718,614	200	12,981	0,0005175
240	223	0,1115	17718,614	200	13,545	0,0005575
250	228	0,1140	17718,614	200	14,109	0,0005700
260	237	0,1185	17718,614	200	14,674	0,0005925
270	243	0,1215	17718,614	200	15,238	0,0006075
280	257	0,1285	17718,614	200	15,803	0,0006425
290	271	0,1355	17718,614	200	16,367	0,0006775
300	288	0,1440	17718,614	200	16,931	0,0007200
310	305	0,1525	17718,614	200	17,496	0,0007625
320	321	0,1605	17718,614	200	18,060	0,0008025
330	335	0,1675	17718,614	200	18,624	0,0008375
340	353	0,1765	17718,614	200	19,189	0,0008825

Lanjutan Tabel 5.17 Tegangan dan Regangan Beton BN 1

Beban (KN)	Pembacaan Dial x 0,001 (mm)	$\Delta L$ x 0,001 (mm)	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\varepsilon$
350	364	0,1820	17718,614	200	19,753	0,0009100
360	384	0,1920	17718,614	200	20,318	0,0009600
370	396	0,1980	17718,614	200	20,882	0,0009900
380	413	0,2065	17718,614	200	21,446	0,0010325
390	456	0,2280	17718,614	200	22,011	0,0011400
380	496	0,2480	17718,614	200	21,446	0,0012400
370	567	0,2835	17718,614	200	20,882	0,0014175

Analisis perhitungan modulus elastisitas

a. Pada saat beban 390 kN

$$\begin{aligned}
 1) \Delta L &= \frac{Dial}{2} \times 0,001 \\
 &= \frac{426}{2} \times 0,001 \\
 &= 0,2280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) A_0 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,2^2 \\
 &= 17718,614 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

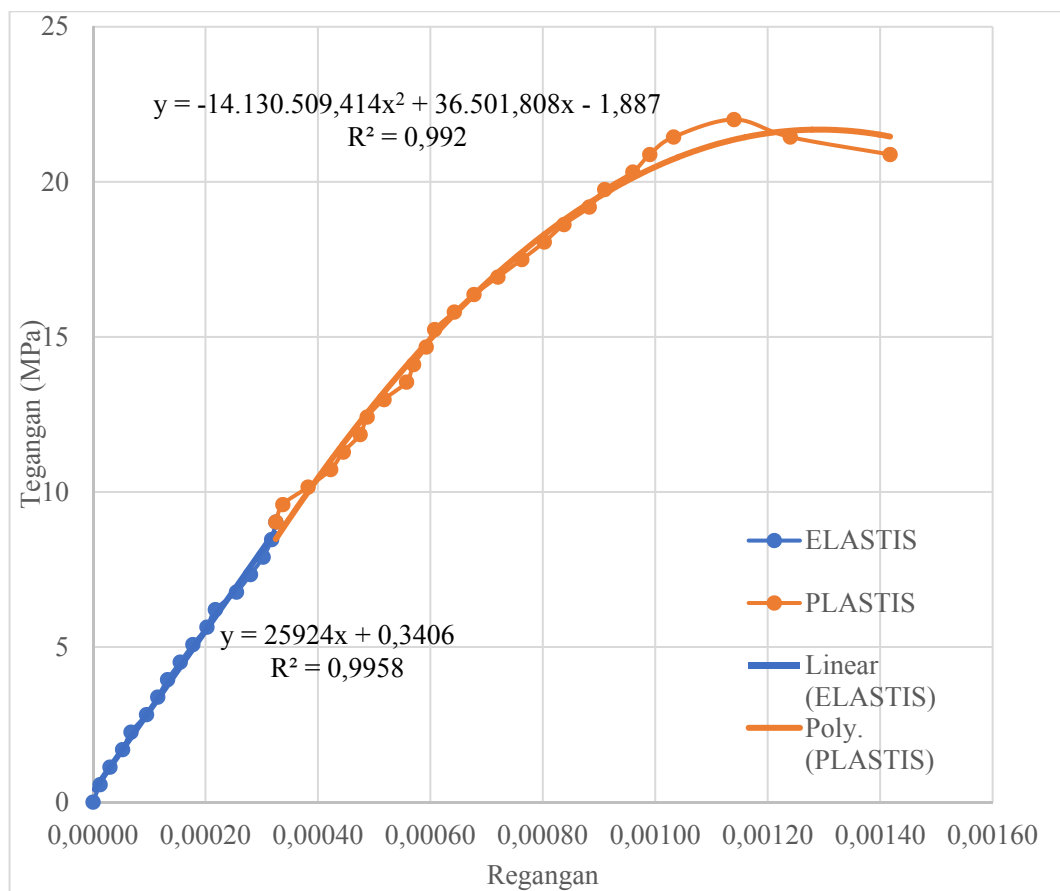
$$\begin{aligned}
 3) \text{Tegangan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{390 \times 1000}{17718,614} \\
 &= 22,011 \text{ N/mm}^2 = 22,011 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \text{Regangan } (\varepsilon) &= \frac{\Delta L}{L_0} \\
 &= \frac{0,2280}{200} \\
 &= 0,001140
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 5.17 terdapat nilai tegangan dan regangan, dari nilai tersebut dapat dicari nilai modulus elastisitas dari sebuah grafik menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*. Pada program tersebut dapat mempermudah

untuk mendapatkan Persamaan regresi linear (daerah elastis), batas daerah ini diambil kurang dari 40% dari kuat tekan maksimum. Pada daerah plastis didapat Persamaan regresi polinomial ordo 2.

Pembuatan regresi ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien korelasi (R) yang dapat menunjukkan keterkaitan secara statistik antara tegangan dan regangan. Pembuatan regresi dari data regangan dan tegangan menggunakan fasilitas *trendline* pada *Microsoft Excel*.



**Gambar 5.10 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton BN 1**

Gambar 5.10 menunjukkan persamaan regresi linear untuk daerah elastis dan persamaan regresi polinomial ordo 2 untuk daerah plastis. Nilai koefisien korelasi (R) yang didapatkan sebesar 0,9958 untuk Persamaan regresi linear dan 0,992 untuk Persamaan regresi polinomial ordo 2. Nilai tersebut disesuaikan



berdasarkan tabel interpretasi nilai koefisien korelasi untuk mengetahui tingkat hubungan antara regangan dan tegangan beton. Tabel interpretasi nilai koefisien korelasi adalah sebagai berikut.

**Tabel 5.18 Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi**

Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat kuat

Sumber : Sugiyono (2006 : 214)

Berdasarkan Tabel 5.18 nilai R yang didapatkan masuk ke dalam kategori sangat kuat, sehingga dapat diartikan keterkaitan antara tegangan dan regangan beton BN 1 pada daerah elastis dan daerah plastis sangat kuat.

b. Mencari nilai koreksi tegangan maksimum pada beton

Tegangan maksimum dapat dicari menggunakan Persamaan daerah plastis  $y = -14130509,414x^2 + 36501,808x - 1,887$ , y merupakan nilai kuat tegangan sedangkan x merupakan nilai regangan beton.

$$\text{Tegangan } (\sigma) \text{ maksimum} = 22,011 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) \text{ maksimum} = 0,001140$$

Tegangan maksimum yang terjadi harus dikoreksi menggunakan Persamaan polynomial ordo 2

$$y = -14130509,414x^2 + 36501,808x - 1,887$$

$$y = -14130509,414(0,001140)^2 + 36501,808(0,001140) - 1,887$$

$$y = -15,768 + 41,612 - 1,887$$

$$y = 23,96 \text{ MPa}$$

c. Mencari nilai koreksi 40% tegangan maksimum

$$S_2 = 0,4 f'c \text{ baru}$$

$$= 0,4 \times 23,96 \text{ MPa}$$

$$= 9,584 \text{ MPa}$$

- d. Mencari nilai  $\varepsilon_2$  berdasarkan dari nilai  $S_2$  dengan menggunakan Persamaan linear (daerah elastis)  $y = 25924 x + 0,3406$ ,  $x$  adalah nilai regangan  $\varepsilon_2$  sedangkan  $y$  merupakan  $S_2$ .

$$\begin{aligned} y &= 25924 x + 0,3406 \\ 9,584 &= 25924 x + 0,3406 \\ 9,584 - 0,3406 &= 25924 x \\ 9,2435 &= 25924 x \\ x = \varepsilon_2 &= 0,0003566 \end{aligned}$$

- e. Mencari nilai tegangan  $S_1$  berdasarkan nilai  $\varepsilon_1 = 0,00005$  menggunakan Persamaan linear  $y = 25924 x + 0,3406$ ,  $x$  adalah nilai regangan  $\varepsilon_1$  sedangkan  $y$  merupakan  $S_1$ .

$$\begin{aligned} y &= 25924 x + 0,3406 \\ y &= 25924 (0,00005) + 0,3406 \\ y &= 1,637 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- f. Mencari nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) berdasarkan ASTM C-469.

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{9,584 - 1,637}{0,0003566 - 0,00005} \\ &= 25924 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- g. Modulus elastisitas teori beton memiliki berat volume  $2346,0577 \text{ kg/m}^3$ . Berdasarkan SNI 2847-2013 untuk nilai  $w_c$  antara 1440 sampai  $2560 \text{ kg/m}^3$ .

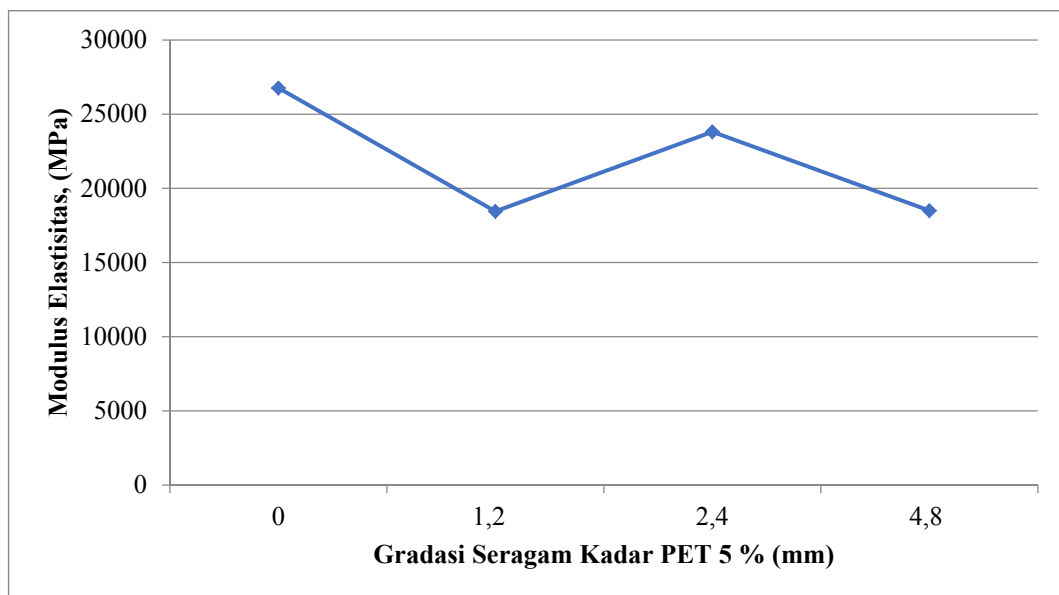
$$\begin{aligned} E_c &= w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \\ &= 2346,0577^{1,5} 0,043 \sqrt{23,96} \\ &= 23917,852 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, modulus elastisitas penelitian  $>$  modulus elastisitas teori ( $25924 \text{ MPa} > 23917,852 \text{ MPa}$ ). Sehingga pengujian beton telah memenuhi persyaratan SNI 2847-2013.

Hasil perhitungan lainnya untuk nilai modulus elastisitas berdasarkan rumus dari ASTM C-469 dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

**Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton**

Kode Benda Uji		Modulus Elastisitas ( $E_c$ ), MPa	$E_c$ rata-rata, MPa
BN	BN 1	25924	26764,606
	BN 2	27764,954	
	BN 3	26604,865	
BA	BA 1	24723,149	18450,538
	BA 2	16445,269	
	BA 3	14183,197	
BB	BB 1	17278,798	23812,962
	BB 2	25924	
	BB 3	28236,09	
BC	BC 1	10879	18501,823
	BC 2	18701,749	
	BC 3	25924,721	

**Gambar 5.11 Modulus Elastisitas Beton**

Gambar 5.11 menunjukkan nilai modulus elastisitas beton mengalami fluktuatif. Pada penggunaan gradasi seragam ukuran 4,8 mm, modulus elastisitas menurun dikarenakan ukuran *PET* kadar 5% cukup besar sehingga sulit untuk mengisi ruang-ruang pada beton, sedangkan pada gradasi seragam ukuran 2,4 mm modulus elastisitas naik mendekati nilai ketika beton normal dikarenakan *PET* kadar 5 % cukup dapat mengisi ruang-ruang pada beton dan jumlah *PET* tidak terlalu banyak. Pada gradasi seragam ukuran 1,2 mm mengalami penurunan nilai

modulus elastisitas, karena *PET* berukuran kecil, jumlah butirannya menjadi banyak, dan butir *PET* lebih halus dan licin dari agregat halus yang digunakan menyebabkan campuran membutuhkan tambahan semen. Hal ini menyebabkan campuran kekurangan kemampuan untuk mengikat dan mengalami penurunan modulus elastisitas.

Nilai modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan bahwa beton dapat melakukan deformasi dengan mudah dan dapat kembali ke bentuk asalnya, sedangkan dengan nilai modulus elastisitas yang rendah menunjukkan bahwa beton mudah getas dan retak. Walaupun pada beton *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton dengan *PET* 5% yang lainnya, namun keadaan ini belum dapat lebih tinggi daripada beton normal. Hal ini disebabkan dengan sifat *PET* yang getas, maka mortar mudah retak.

## 5.9 Pembahasan Keseluruhan

Berdasarkan hasil penelitian masing-masing pengujian diperoleh hasil rekapitulasi perhitungan semua pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

**Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji**

Kodefikasi	Nilai Slump Rata-Rata (mm)	Berat Volume Rata-Rata (kg/m <sup>2</sup> )	Penyerapan Air Rata-Rata (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
<i>PET</i> 0%	77,50	2376,16124	3,148750126	21,12412256	2,25	26764,60633
<i>PET</i> 5 % 1,2 mm	72,50	2359,259904	2,818477391	14,61258088	1,48	18450,53833
<i>PET</i> 5 % 2,4 mm	70,00	2373,264056	2,974175116	21,42431117	1,60	23812,96267
<i>PET</i> 5 % 4,8 mm	60,00	2361,315194	3,023648257	17,14066187	1,65	18501,82333

Berdasarkan Tabel 5.20 dapat diketahui bahwa masing-masing hasil pengujian memiliki nilai dan satuan yang berbeda, maka untuk menggabungkan dalam sebuah grafik dilakukan perhitungan persentase perubahan penggunaan *PET* kadar 5% bergradasi seragam sebagai substitusi sebagian agregat halus.

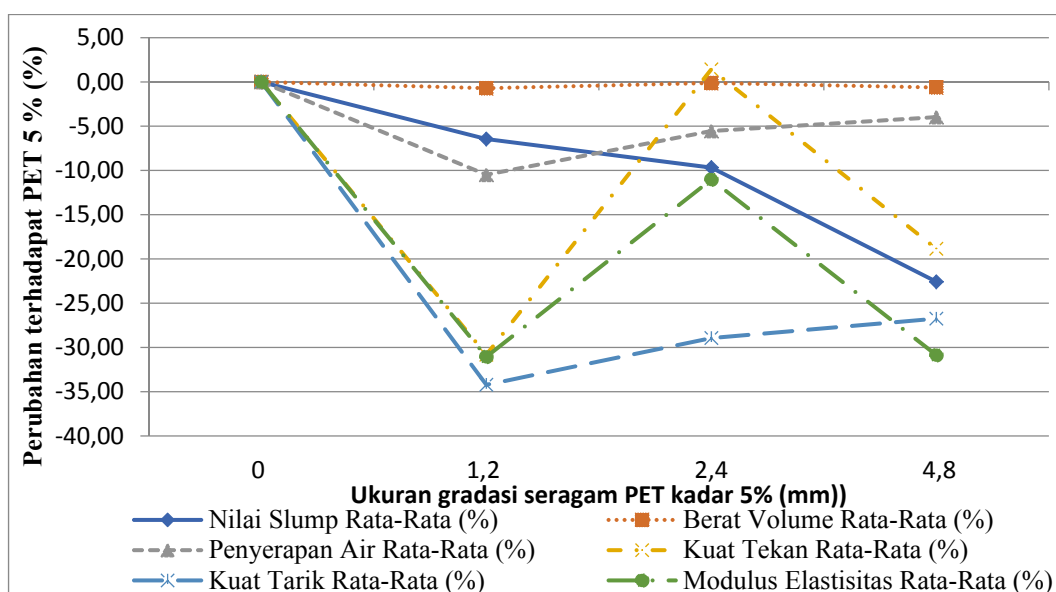
Berikut contoh langkah perhitungan persentase perubahan pada nilai slump rata-rata *PET* 5% 4,8 mm.

$$\frac{60-77,50}{77,50} \times 100 = -22,58 \%$$

Persamaan tersebut dilakukan perhitungan persentase perubahan pada masing-masing pengujian. Hasil rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Perubahan Pengujian**

Kodefikasi	Nilai Slump Rata-Rata (mm)	Berat Volume Rata-Rata (kg/m <sup>2</sup> )	Penyerapan Air Rata-Rata (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
<i>PET</i> 0%	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>PET</i> 5 % 1,2 mm	-6,45	-0,711	-10,489	-30,825	-34,224	-31,064
<i>PET</i> 5 % 2,4 mm	-9,68	-0,122	-5,544	1,421	-28,940	-11,028
<i>PET</i> 5 % 4,8 mm	-22,58	-0,625	-3,973	-18,857	-26,750	-30,872



**Gambar 5.12 Grafik Hubungan Perubahan Hasil Pengujian Terhadap *PET* Kadar 5 % Bergradasi Seragam**

Gambar 5.12 menunjukkan perubahan nilai pengujian yang diperoleh terhadap *PET* kadar 5 % bergradasi seragam pada seluruh pengujian. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam mengamati pengaruh yang terjadi pada penelitian yang telah dilakukan. Hasil yang diperoleh pada Gambar 5.12

menunjukkan bahwa terdapat hubungan-hubungan antar pengujian yang dilakukan. Hubungan nilai slump dengan berat volume yang berbanding lurus walaupun pada nilai slump mengalami penurunan dari beton normal ke *PET* kadar 5% bergradasi seragam seiring dengan semakin besarnya ukuran *PET*. Hal ini disebabkan, semakin besar ukuran *PET* akan semakin sulit untuk mengalami gelincir pada beton basah.

Hubungan antara berat volume dan penyerapan air yang berbanding terbalik karena semakin padat suatu beton, maka semakin sedikit ruang-ruang kosong yang menyebabkan semakin kecilnya penyerapan air. Walaupun beton yang padat seharusnya memiliki kuat tekan yang tinggi, namun tidak pada penelitian menggunakan *PET* kadar 5% bergradasi seragam. Dapat dilihat pada *PET* 5% bergradasi seragam berukuran 4,8 mm mengalami penurunan dari beton normal dikarenakan jumlah butir *PET* kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus yang berukuran 4,8 mm yang seharusnya agregat halus berfungsi sebagai pengisi dan akan menjadi mortar apabila tercampur dengan semen dan air yang dapat mengikat bahan penyusun beton lainnya. Gradasi seragam ini membuat mortar tidak tercampur dengan maksimal dikarenakan ukuran *PET* sebagai substitusi sebagian gradasi agregat halus besar-besar. Pada *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm mengalami kenaikan karena butir-butir *PET* bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm dapat mengikat bahan penyusun beton yang lainnya dengan lebih baik. Hal ini dapat dibuktikan terjadi kenaikan yang signifikan pada nilai *slump* *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm yang menyebabkan nilai kuat tekan naik. Pada *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 1,2 mm mengalami penurunan karena jumlah butir *PET* yang banyak membuat *PET* tidak dapat mengikat karena sifat *PET* yang halus dan licin.

Hasil pada grafik nilai kuat tekan dan grafik modulus elastis hampir menyerupai. Namun, dapat dilihat pada modulus elastisitas *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm lebih rendah dari beton normal tidak seperti nilai kuat tekannya yg ternyata 1,42% lebih tinggi dari beton normal. Hal ini disebabkan karena sifat getas pada *PET*.

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan ukuran optimum pada penggunaan gradasi seragam *PET* kadar 5% sebagai pengganti agregat halus adalah ukuran 2,4 mm karena dapat meningkatkan kuat tekan beton 1,42 % lebih tinggi dari beton normal, namun penggunaan gradasi seragam *PET* kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan bergradasi seragam tidak direkomendasikan. Hal ini disebabkan substitusi sebagian agregat halus lebih dominan mengurangi sifat mekanik beton. Menurut Mulyati (2016), beton dengan agregat kasar batu pecah bergradasi seragam, mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar batu pecah bergradasi menerus karena beton dengan agregat kasar batu pecah bergradasi seragam memiliki nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan agregat kasar batu pecah bergradasi menerus. Dapat dibuktikan juga pada penelitian ini, agregat halus yang sebagian bergradasi seragam dapat mengurangi kuat tekan beton.