

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Pengujian Agregat Kasar**

Pengujian terhadap agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini adalah penengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian los angle, dan pengujian berat volume. Pengujian dilakukan pada semua jenis agregat kasar yang digunakan, yaitu agregat kasar alam berupa batu pecah Merapi dan agregat kasar buatan berupa beton limbah.

##### **5.1.1 Berat jenis dan penyerapan air**

Rata-rata agregat kasar alam memiliki berat jenis antara 2,5-2,8 dan penyerapan air maksimum sebesar 5%. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 untuk agregat kasar alam dan Tabel 5.2 untuk agregat kasar buatan. Hasil lengkap pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.

**Tabel 5.1 Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar alam**

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Berat jenis curah	2,476	2,425	2,451
2	Berat jenis jenuh kering muka	2,541	2,496	2,519
3	Berat jenis semu	2,65	2,611	2,631
4	Penyerapan air	2,64%	2,94%	2,8%

Sumber: hasil penelitian

Hasil pengujian pada Tabel 5.1 menunjukkan agregat kasar alam berupa batu pecah Merapi memiliki berat jenis yang cukup ringan, yaitu 2,519. Hal tersebut akan berdampak pada berat jenis beton yang relatif ringan. Penyerapan air agregat kasar alam sebesar 2,8%, hasil ini menunjukkan penyerapan air agregat kasar ini cukup besar. Hal ini akan mempengaruhi nilai slump beton segar dan juga berat SSD.

**Tabel 5.2 Berat jenis dan penyerapan air agregat beton limbah**

No.	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Berat jenis curah	2,302	2,321	2,312
2	Berat jenis jenuh kering muka	2,389	2,405	2,397
3	Berat jenis semu	2,522	2,533	2,527
4	Penyerapan air	3,78%	3,61%	3,69%

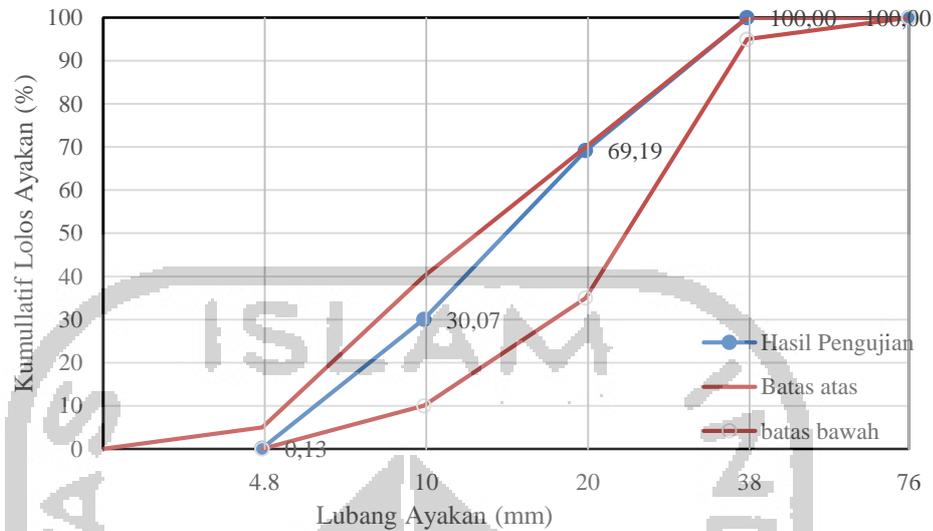
Sumber: hasil penelitian

Berat jenis agregat beton limbah hasil pengujian adalah 2,397, dimana hasil tersebut relatif sangat ringan untuk jenis agregat kasar, namun terbilang standar untuk berat jenis beton normal. Penyerapan air agregat beton limbah sangat besar, yaitu 3,69%.

Penelitian ini menggunakan agregat kasar berupa agregat kasar alam sebesar 60% dan agregat kasar beton limbah sebesar 40%. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar alam sebesar 2,519 dan agregat beton limbah sebesar 2,397, maka berat jenis agregat kasar gabungan adalah 2,47. Hal ini akan mengakibatkan beton memiliki berat jenis yang relatif ringan. Hasil pengujian penyerapan air agregat kasar alam sebesar 2,8% dan agregat kasar beton limbah sebesar 3,69%, maka penyerapan air agregat kasar gabungan adalah 3,15%.

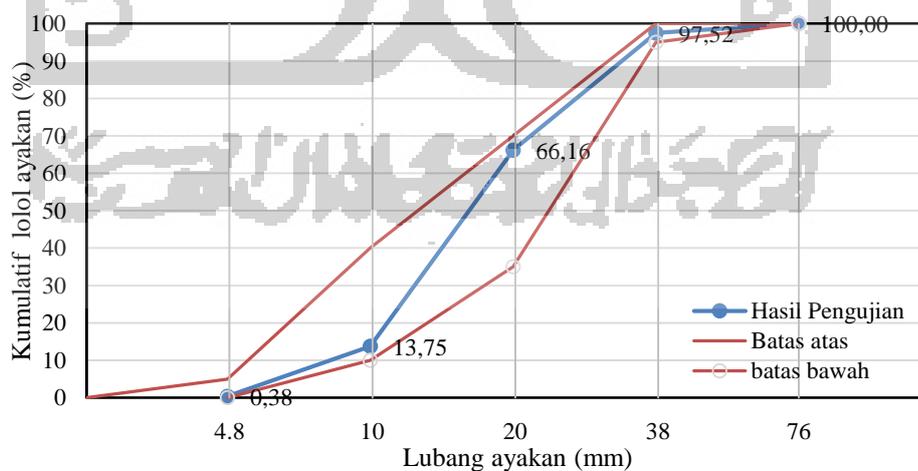
### 5.1.2 Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar agregat kasar dapat digunakan. SNI 03-2834-2000 menyatakan agregat kasar harus dalam batas gradasi berdasarkan ukuran maksimum agregat yang digunakan, dalam penelitian ini menggunakan ukuran krikil maksimum sebesar 40 mm. SNI 03-1750-1990 menyatakan modulus halus butir (MHB) agregat kasar sebesar 3,8-8,0. Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 5.1 untuk agregat kasar alam dan 5.2 untuk agregat kasar beton limbah. Hasil lengkap pengujian analisa sarinhan dapat dilihat pada Lampiran 3.



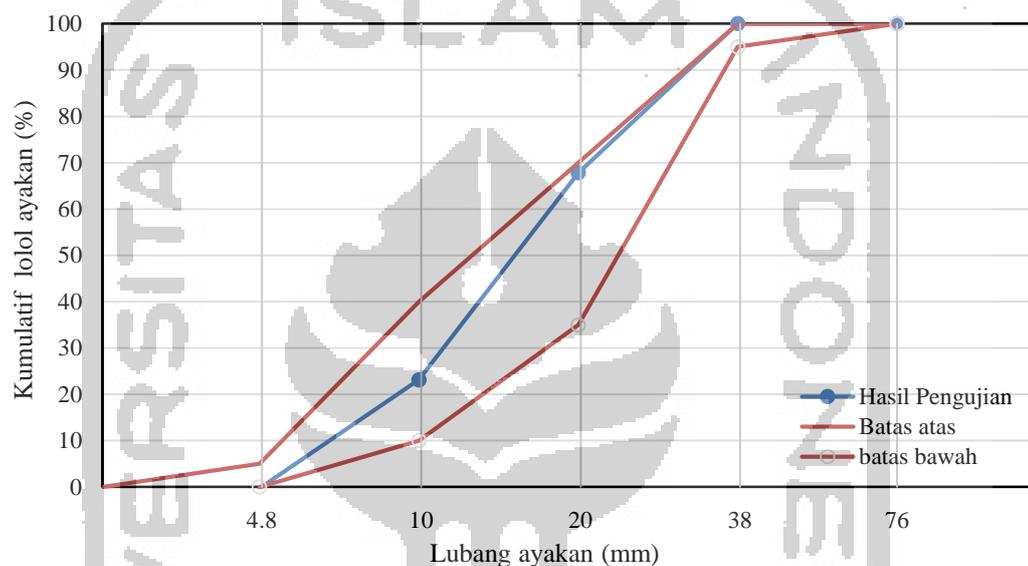
**Gambar 5.1 Gradasi agregat kasar alam butir maksimum 40 mm**  
Sumber: hasil penelitian

Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar alam pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi syarat gradasi pada SNI 03-2837-2000. Modulus halus butir agregat kasar alam adalah sebesar 7,0. Hal tersebut menunjukkan agregat ini memiliki butir yang cukup besar dengan gradasi cukup merata. Agregat ini memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai campuran beton.



**Gambar 5.2 Gradasi agregat kasar beton limbah butir maksimum 40 mm**  
Sumber: hasil penelitian

Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar beton limbah masuk dalam gradasi dengan butir maksimum 40 mm dengan dominasi gradasi butir 10 mm dan 20 mm. Modulus halus butir agregat ini sebesar 7,22. Berdasarkan hasil tersebut agregat beton limbah memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran.



**Gambar 5.3 Analisa saringan agregat kasar gabungan**

Sumber: hasil penelitian

Analisa saringan agregat kasar gabungan masuk dalam gradasi dengan butir maksimum 40 mm, nilai modulus halus butir 7,122. Berdasarkan hasil tersebut, agregat gabungan batu pecah dan beton limbah memiliki gradasi yang cukup seragam dan memenuhi syarat untuk digunakan sebagai campuran beton.

### 5.1.3 Berat volume

Data hasil pengujian berat volume agregat kasar alam dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 untuk agregat kasar alam dan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 untuk agregat kasar beton limbah.

**Tabel 5.3 Data hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar alam**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	12883
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	19827
3	Berat agregat (gram)	6944
4	Volume tabung (cm <sup>3</sup> )	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,31

**Tabel 5.4 Data hasil pengujian berat volume padat agregat kasar alam**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	12883
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	20332
3	Berat agregat (gram)	7449
4	Volume tabung (cm <sup>3</sup> )	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,41

Hasil pengujian berat volume gembur dan padat berdasarkan Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 diatas adalah 1,3133 dan 1,4089, dengan demikian selisih berat volume gembur dan padat adalah 0,0955. Kecilnya selisih nilai berat volume gembur dan padat menunjukkan agregat memiliki gradasi yang seragam.

**Tabel 5.5 Data hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar beton limbah**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	6558
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	12764
3	Berat agregat (gram)	6206
4	Volume tabung (cm <sup>3</sup> )	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,17

**Tabel 5.6 Data hasil pengujian berat volume padat agregat kasar beton limbah**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	6558
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	13519
3	Berat agregat (gram)	6961
4	Volume tabung (cm <sup>3</sup> )	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,32

Berdasarkan Tabel 5.5 dan 5.6, berat volume gembur dan berat volume padat agregat beton limbah adalah sebesar 1,174 dan 1,317, dengan demikian berat volume gembur dan padat memiliki selisih sebesar 0,1428. Nilai selisih berat volume padat dan gembur agregat kasar beton limbah lebih besar dibanding agregat kasar alam. Hal ini menunjukkan agregat kasar alam memiliki gradasi yang baik.

## 5.2 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian berat jenis dan penyerapan air, Analisa saringan, berat volume, dan kadar lumpur. Agregat halus yang diuji berupa pasir Merapi.

### 5.2.1 Berat jenis dan penyerapan air

Berat jenis pasir yang digunakan sebagai campuran pengisi beton umumnya memiliki berat jenis antara 2,6-2,8 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan SNI menyaratkan kandungan lumpur maksimum agregat halus adalah 3%. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7.

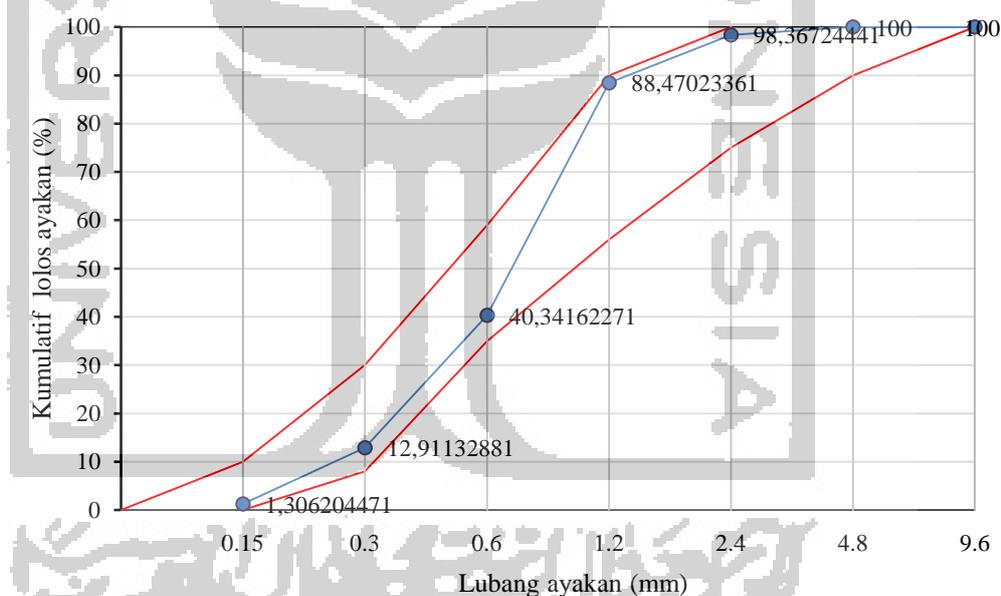
**Tabel 5.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus**

No	Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
1	Berat jenis curah	2,619	2,555	2,587
2	Berat jenis jenuh kering muka	2,685	2,623	2,654
3	Berat jenis semu	2,803	2,741	2,772
4	Penyerapan air	2,50%	2,65%	2,57%

Berdasarkan hasil penelitian di atas, pasir Merapi ini memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi, yaitu  $2,654 \text{ kg/m}^3$ . Penggunaan pasir dengan kepadatan cukup tinggi akan menghasilkan beton dengan berat volume yang tinggi. Pasir ini memiliki tingkat penyerapan air sebesar 2,57%. Hal ini menunjukkan permukaan pasir tidak bulat, melainkan berpori dengan kadar cukup baik, dimana pori berfungsi pada pengikatan semen dengan agregat.

### 5.2.2 Analisa saringan

SNI 03-2843 mensyaratkan agregat halus berupa pasir harus memiliki gradasi yang masuk dalam batas gradasi 1(kasar) hingga batas gradasi 4(halus) dan memiliki modulus halus butir antara 2,0 - 3,8. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat dalam Gambar 5.3, data lengkap pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.



**Gambar 5.4 Grafik gradasi agregat halus pasir merapi**

Sumber: hasil penelitian

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, agregat halus berupa pasir Merapi masuk dalam kategori batas gradasi sedang (nomor 2) dengan modulus halus butir 2,5886. Agregat halus dengan kategori batas gradasi sedang dan MHB 2,5886 cukup baik digunakan sebagai bahan campuran beton.

### 5.2.3 Berat volume

Pengujian berat volume agregat halus bertujuan untuk mendapatkan nilai berat volume yang dapat digunakan untuk mengkonversi perhitungan dari berat ke volume. Hal ini dapat mempermudah dalam mempersiapkan bahan material untuk campuran beton. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.8, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pasir Merapi**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	12883
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	19837
3	Berat agregat (gram)	6954
4	Volume tabung	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,31

**Tabel 5.9 Berat Volume Padat Pasir Merapi**

No	Uraian	Hasil Pengujian
1	Berat tabung (gram)	12883
2	Berat tabung + agregat kering (gram)	21218
3	Berat agregat (gram)	8335
4	Volume tabung	5287,09
5	Berat volume gembur (gram/cm <sup>3</sup> )	1,58

Pengujian berat jenis gembur dan berat jenis padat pasir Merapi yang didapat dari pengujian adalah 1,315 dan 1,576, maka selisih antara berat jenis gembur dan padat adalah 0,261. Semakin kecil selisih antara berat jenis gembur dan berat jenis padat, maka gradasi agregat semakin baik. Hasil ini menunjukkan agregat ini memiliki gradasi yang cukup sejenis.

### 5.2.4 Pengujian kadar lumpur

Pengujian kadar lumpur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan tabung erlemeyer dan juga analisa saringan lolos ayakan 200. SNI mensyaratkan kadar lumpur agregat kasar tidak boleh melebihi 5%. Hasil pengujian

kadar lumpur menggunakan tabung erlemeyer didapatkan nilai lumpur sebesar 20 ml dari 500 ml pasir, sehingga nilai kadar lumpur  $= \frac{20}{500+20} = 3,846\%$  dan dari pengujian analisa ayakan pada 5.2.2 didapatkan berat lumpur (lolos ayakan nomor 200) sebesar 26 gram atau 1,31% dari total berat sampel. Pengujian kadar lumpur agregat halus menggunakan kedua metode menunjukkan kadar lumpur dibawah 5%, maka agregat ini memenuhi syarat untuk campuran beton. Hasil pengujian kadar lumpur dengan tabung erlemeyer dapat dilihat pada gambar 5.9 berikut, hasil kadar lumpur lolos saringan nomor 200 dalam pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Lampiran 3.



**Gambar 5.5 Pengujian kadar lumpur dengan tabung erlemeyer**

### **5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)**

Perencanaan campuran beton atau *mix design* dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan menggunakan program Microsoft Excel tahun 2016. Data awal yang digunakan dalam perhitungan adalah kuat tekan rencana ( $f'c$ ) sebesar 25 MPa, semen holcim dengan jenis semen portland tipe 1, agregat halus berupa agregat alam (pasir Merapi) dengan gradasi sedang (nomor 2), agregat kasar berupa batu pecah Merapi dan beton limbah dengan ukuran

maksimum 40 mm dan nilai *slump* rencana adalah 80-180 mm. Perhitungan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5.10 Perhitungan perencanaan campuran beton (*mix design*)**

No.	Uraian	Table/grafik/perhitungan Dari SNI 03-2834-2000	nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	25 MPa (pada 28 hari)
2	Deviasi standar	Butir 4.3.2.1.1). (2 tabel 1)	12 MPa
3	Nilai tambah (margin)	Butir 4.2.3.1.2	-
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	Butir 4.2.3.1.3	37 MPa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Portland Tipe I
6	Jenis agregat : a. kasar  b. halus		a. (60% batu pecah + 40% beton limbah) b. Pasir alam
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2 Grafik 1 atau 2 (lihat Gambar 5.6)	0,5
8	Faktor air semen maksimum	Butir 4.2.3.2. 2 (lihat Tabel 3.2)	0,6
9	Slump	Ditetapkan Butir 4.2.3.3	60-180 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan Butir 4.2.3.4	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 3 Butir 4.2.3.4 (Lihat Tabel 3.6)	185 kg/m <sup>3</sup>
12	Jumlah semen	Perhitungan = 11 : 8 atau 7	370 kg/m <sup>3</sup>
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-

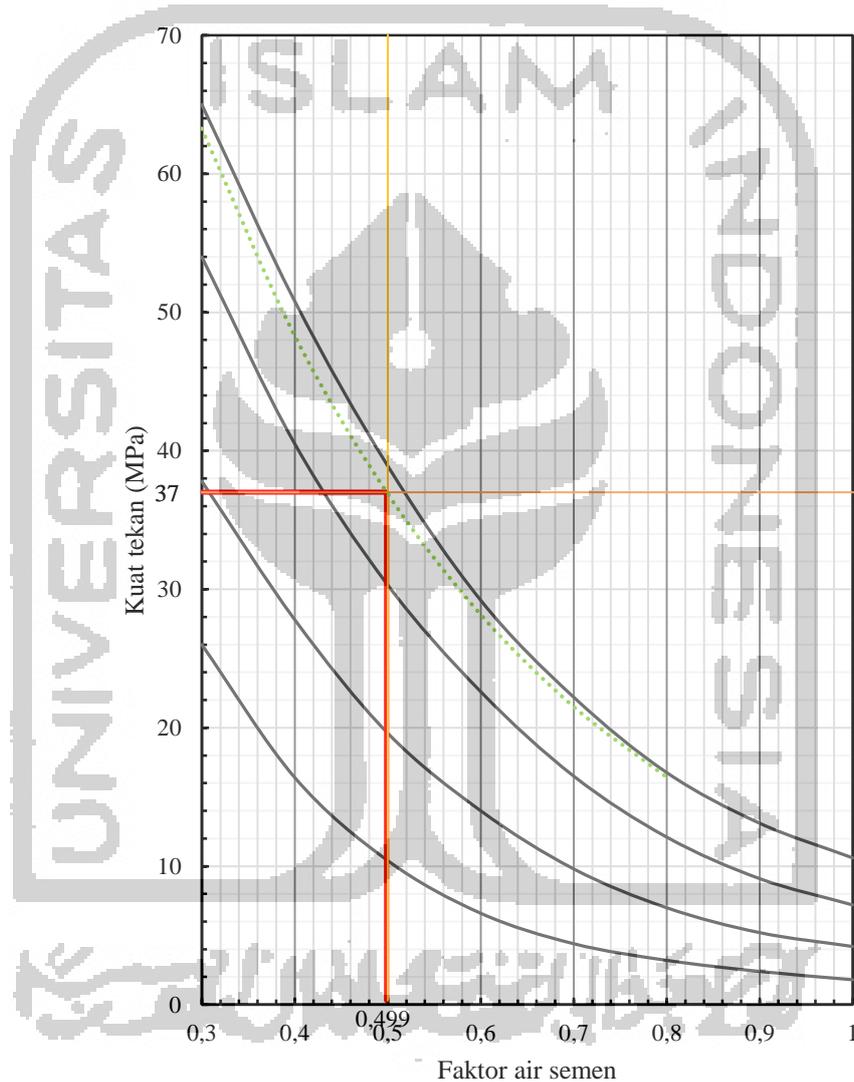
14	Jumlah semen minimum	Ditetapkan Butir 4.2.3.2 Tabel 4,5,6 (lihat Tabel 3.2)	275 kg/m <sup>3</sup>
15	Faktor air semen yang disesuaikan		-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6 (lihat Gambar 5.4)	Gradasi sedang (nomor 2)
17	Susunan agregat kasar atau gabungan	Grafik 7, 8, 9 atau Tabel 7 Grafik 10, 11, 12 (lihat Gambar 5.3)	Gradasi butir maksimum 40 mm
18	Persen agregat halus	Grafik 13 s/d 15 atau perhitungan (lihat Gambar 5.6)	36,67%
19	Berat jenis relative, agregat (kering permukaan)	Diketahui dari hasil pengujian laboratorium	2,54
20	Berat isi beton	Grafik 16(Lihat Gambar 5.8)	2324.06 kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	Perhitungan = 20-(12+11)	648.51 kg
22	Kadar agregat kasar	Perhitungan = 18x21	1119.70 kg (671.82 kg batu pecah + 447.88 kg beton limbah)

1. Menentukan  $f_{cr}$

- a. Benda uji per variasi yang digunakan adalah 10 dibawah 15, maka nilai standar deviasi yang digunakan 12 dan
- b. Nilai  $f_{cr}$  didapatkan 37 MPa.

2. Menentukan faktor air semen (FAS)

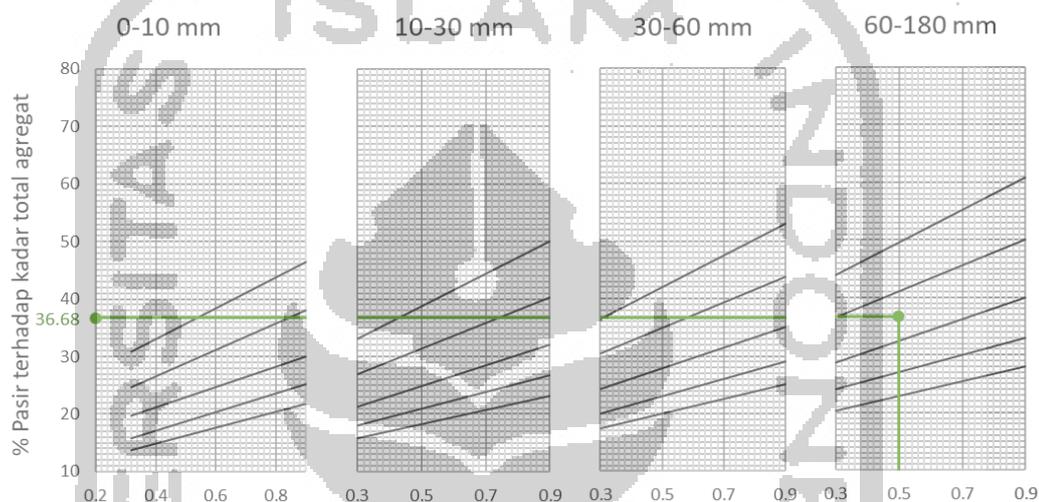
- Berdasarkan Tabel 2 pada SNI 03-2834-2000 (lihat Tabel 3.2), didapat kuat tekan ( $f'_c$ ) beton silinder pada umur 28 hari sebesar 37 MPa.
- Nilai FAS didapatkan dari grafik, grafik yang digunakan dapat dilihat pada gambar 5.6 berikut



**Gambar 5.6 Nilai FAS saat  $f_{cr} = 37$  MPa**

Dari grafik(Gambar 5.6) didapat nilai FAS sebesar 0,499 atau dibulatkan menjadi 0,5. Nilai FAS maksimum adalah 0,6, maka nilai FAS dapat digunakan.

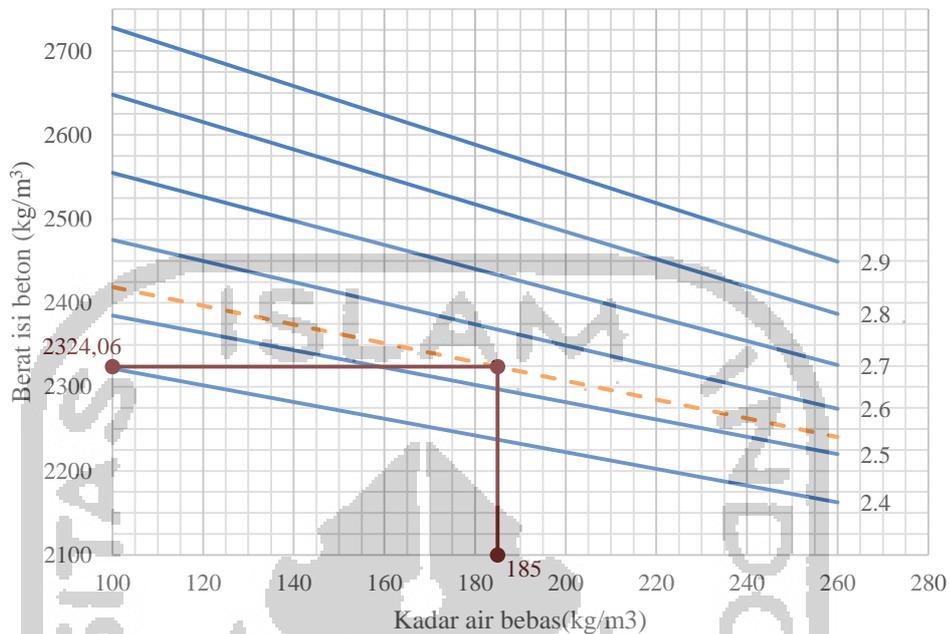
3. Kadar air bebas berdasarkan Tabel 2 SNI 03-2834-2000 (lihat Tabel 3.6), dengan Persamaan 3.7 didapatkan nilai kadar air bebas sebesar  $185 \text{ kg/m}^3$ ,
4. Jumlah semen yang dibutuhkan berdasarkan Persamaan 3.8 didapatkan sebesar  $410.951 \text{ kg/m}^3$ ,
5. Persentase agregat halus dan agregat kasar ditentukan berdasarkan grafik 13 s/d 15 dari SNI 03-2834-2000 (lihat gambar 5.7)



**Gambar 5.7 Persentase agregat halus terhadap keseluruhan agregat hasil perencanaan**

berdasarkan grafik (lihat Gambar 5.7) didapat persentase agregat halus adalah 36.68% dari keseluruhan agregat, maka persentase agregat kasar adalah sebesar 63,32%.

6. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, berat isi beton dicari dengan menggunakan grafik 16 (lihat Gambar 5.8)



**Gambar 5.8 Nilai berat isi beton hasil perencanaan**

Berdasarkan grafik (lihat Gambar 5.8) didapatkan nilai berat isi beton sebesar  $2324,06 \text{ kg/m}^3$ ,

7. Berat agregat gabungan didapat berdasarkan berat isi beton  $2324,06 \text{ kg/m}^3$  adalah sebesar  $1768,20 \text{ kg/m}^3$ , maka didapat
  - a. Berat agregat halus sebesar  $648,51 \text{ kg/m}^3$ ,
  - b. Berat agregat kasar sebesar  $1119,70 \text{ kg/m}^3$ , dengan agregat kasar alam sebesar  $671,82 \text{ kg/m}^3$  dan agregat kasar beton limbah sebesar  $447,88 \text{ kg/m}^3$ .
8. Proporsi campuran agregat dalam kondisi SSD untuk  $1 \text{ m}^3$  beton adalah
  - a. Semen = 370 kg.
  - b. Air = 185 kg.
  - c. Agregat halus = 648,51 kg.
  - d. Agregat kasar alam = 671,82 kg.
  - e. Agregat kasar beton limbah = 447,88 kg.
9. Volume keseluruhan benda uji adalah  $0,212 \text{ m}^3$  beton dengan volume 1 benda uji silinder sebesar  $0,0053 \text{ m}^3$  dan nilai penyusutan sebesar 15%, maka kebutuhan material untuk  $0,212 \text{ m}^3$  adalah

- a. Semen = 90,44 kg.
- b. Air = 45,12 kg.
- c. Agregat halus = 158,15 kg.
- d. Agregat kasar alam = 163,83 kg.
- e. Agregat kasar beton limbah = 109,22 kg.

10. Kebutuhan Viscocrete 3115-N untuk tiap variable (10 silinder) adalah

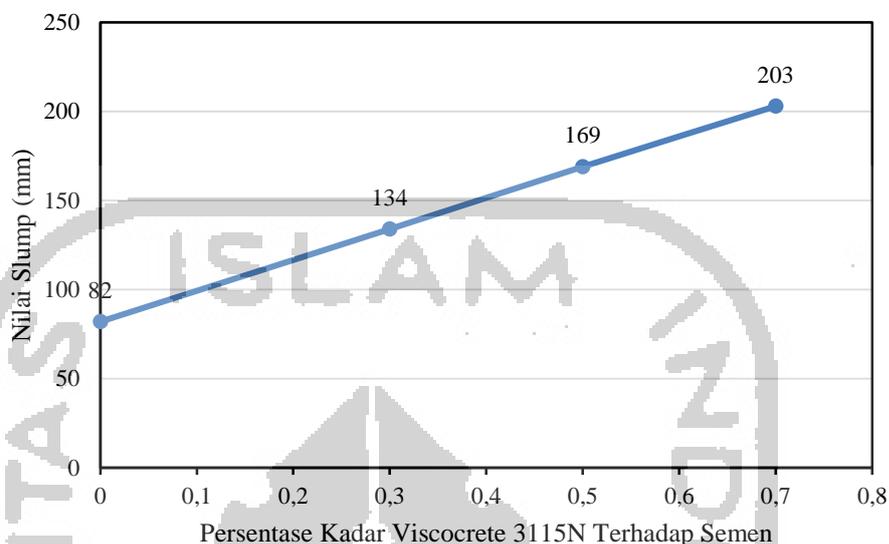
- a. Variasi A (0%) = 0 kg.
- b. Variasi B (0,3%) = 0,0678 kg.
- c. Variasi C (0,5%) = 0,1131 kg.
- d. Variasi D (0,7%) = 0,1583 kg.
- e. Rekapitulasi rencana campuran beton atau *mix design* dapat dilihat pada Tabel 5.11

**Tabel 5.11 Rekapitulasi kebutuhan material untuk 10 benda uji (kg)**

No.	Variasi	Semen	Air	Pasir	Kerikil	Beton limbah	Viscocrete 3115-N
1	A	22,61	11,28	39,54	40,95	27,31	0
2	B	22,61	11,28	39,54	40,95	27,31	0,0678
3	C	22,61	11,28	39,54	40,95	27,31	0,1131
4	D	22,61	11,28	39,54	40,95	27,31	0,1583
Total		90,44	45,12	158,15	163,83	109,22	0,3391

#### 5.4 Slump Test

Pengujian nilai *slump* dilakukan ketika pengadukan campuran beton menggunakan mesin pengaduk sudah tercampur secara baik. Nilai *slump* digunakan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 5.9, dokumentasi pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.



**Gambar 5.9 Grafik nilai *slump* terhadap penambahan Viscocrete 3115N**

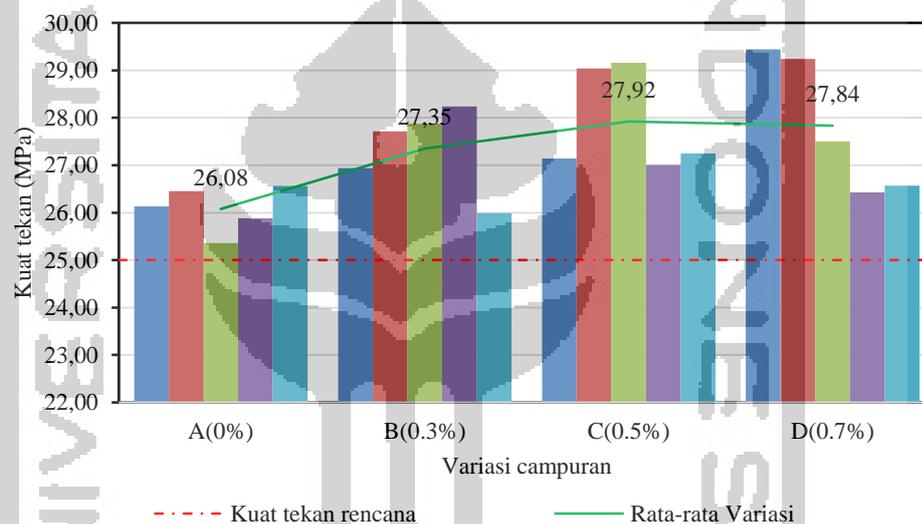
Berdasarkan Gambar 5.9 nilai *slump* mengalami kenaikan secara linier terhadap penambahan Viscocrete 3115-N dengan gradien  $Y=173,08x + 82,093$ , dimana  $x$  adalah nilai persentase penambahan Viscocrete 3115-N terhadap berat semen. Nilai *slump* digunakan sebagai acuan tingkat kekentalan campuran beton, pada beton normal semakin rendah nilai *slump*, maka semakin tinggi tingkat kekentalan campuran. Berikut penjelasan lebih rinci mengenai pengujian *slump*.

1. Variasi A memiliki tingkat kekentalan yang cukup tinggi, hal ini ditunjukkan oleh nilai *slump* sebesar 82 mm. Namun memiliki tingkat kelacakan yang kecil, hal ini dibuktikan dengan campuran beton yang bersifat kaku.
2. Variasi B memiliki nilai *slump* sebesar 134 mm, namun memiliki kekentalan yang baik dan memiliki tingkat kelacakan cukup tinggi karena memiliki sifat yang lebih cair.
3. Variasi C memiliki tingkat kelacakan paling tinggi dengan kekentalan yang baik dan memiliki sifat cair yang baik.
4. Variasi D memiliki tingkat kekentalan yang cukup baik namun sifatnya sudah terlalu cair, sehingga pasta beton dapat mengalir dan terpisah dari agregat kasar.

## 5.5 Kuat Tekan Beton

### 5.5.1 Hasil pengujian

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Untuk memaksimalkan hasil, dilakukan perawatan dengan cara direndam dalam air hingga satu hari sebelum pengujian kuat tekan dilakukan. Hasil Pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5.10, detail hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 5.



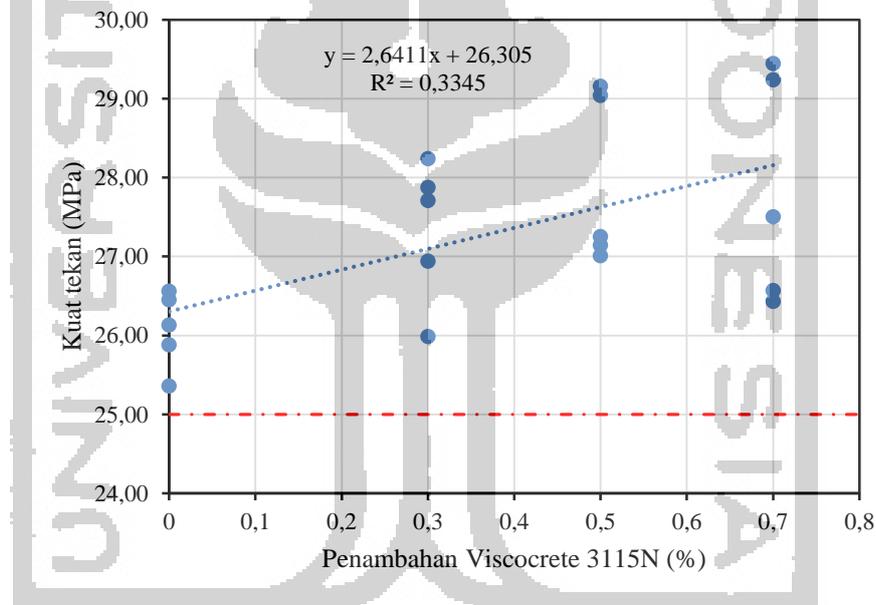
**Gambar 5.10 Grafik hasil pengujian kuat tekan beton**

Campuran beton Variasi A digunakan sebagai beton kontrol dalam penelitian ini. Kuat tekan beton Variasi A berkisar antara 25,36 – 26,56 MPa dengan kuat tekan rata-rata adalah 26,08 MPa. Nilai kuat tekan dari tiap benda uji memiliki selisih yang tidak terlalu tinggi, hal ini menunjukkan campuran beton tercampur secara baik.

Variasi B memiliki kuat tekan antara 25,99-28,4 MPa dengan kuat tekan rata-rata 27,35 MPa. Kuat tekan Variasi B lebih tinggi 4,88% dibanding dengan kuat tekan Variasi A. Kuat tekan Variasi B cukup seragam, hal ini menunjukkan campuran beton homogen.

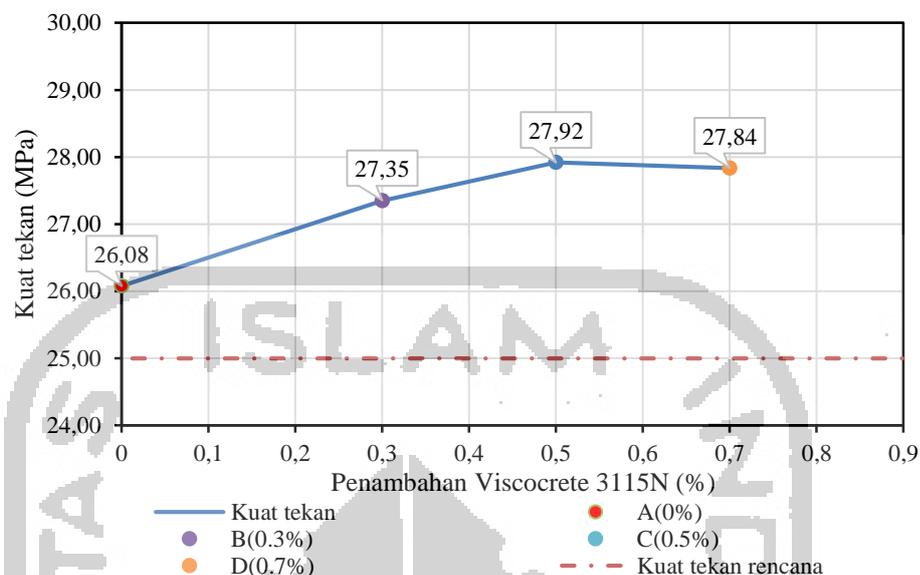
Variasi C kuat tekan rata-rata sebesar 27,92 MPa dengan nilai kuat tekan terkecil 27,01 MPa dan tertinggi 27,25 MPa. Kuat tekan rata rata variasi ini lebih besar 1,84 MPa dari bekon kontrol atau 7,07%. Selisih nilai kuat tekan tertinggi dan terendah sebesar 2,15 MPa, hal ini menunjukkan beton memiliki campuran yang homogen.

Variasi D memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 27,84 MPa, lebih besar 1,76 MPa dibanding beton kontrol atau 6,74%. Selisih nilai kuat tekan tertinggi dan terendah sebesar 3.01, nilai ini merupakan selisih terbesar yang menunjukkan campuran beton paling tidak homogen. Sebaran kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5.14.



**Gambar 5.11 Sebaran Kuat Tekan Beton**

Berdasarkan grafik sebaran kuat tekan beton (lihat Gambar 5.11) penambahan Viscocrete 3115N mampu meningkatkan kuat tekan beton seiring dengan kadar yang digunakan. Peningkatan kuat tekan beton akan penambahan Viscocrete 3115N digambarkan oleh garis regresi yang menunjukkan peningkatan tiap penambahan Viscocrete 3115N dengan gradien  $y = 2,6411x + 26,305$ . Grafik kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 5.12.



**Gambar 5.12 Grafik kuat tekan rata-rata variasi**

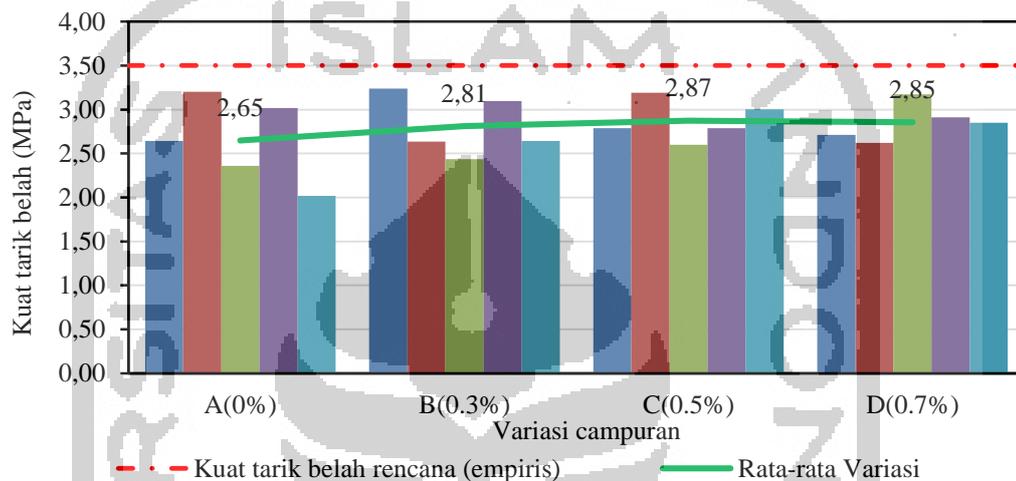
### 5.5.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat tekan beton dengan komposisi 40% beton limbah sebagai agregat kasar. Pemakaian beton limbah memiliki kecenderungan mengurangi kuat tekan beton, khususnya beton limbah hasil uji tekan. Meski pemakaian beton limbah sebagai agregat memiliki kecenderungan untuk menurunkan kuat tekan beton, penambahan Viscocrete 3115N mampu meminimalisir penurunan kuat tekan atau bahkan meningkatkan. Dugaan ini diperkuat oleh penelitian Bardosono dan Herbudiman (2015) yang menuturkan bahwa pemakaian beton limbah sebagai agregat memiliki kecenderungan untuk mengurangi kuat tekan beton seiring kadar penambahannya dan menurut penelitiannya pemakain *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan beton seiring dengan kadar penambahannya. Lakshmi dan Niveditha (2015) yang menyimpulkan melalui penelitiannya bahwa penggunaan beton limbah memiliki kecenderungan menurunkan kuat tekan beton.

## 5.6 Kuat Tarik Beton

### 5.6.1 Hasil pengujian

Pengujian kuat tarik beton dilakukan setelah umur 28 hari dan perawatan berupa perendaman dalam air. Hasil pengujian kuat Tarik beton dapat dilihat pada Gambar 5.13. Detail hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 5.



**Gambar 5.13 Grafik kuat tarik belah beton variasi A**

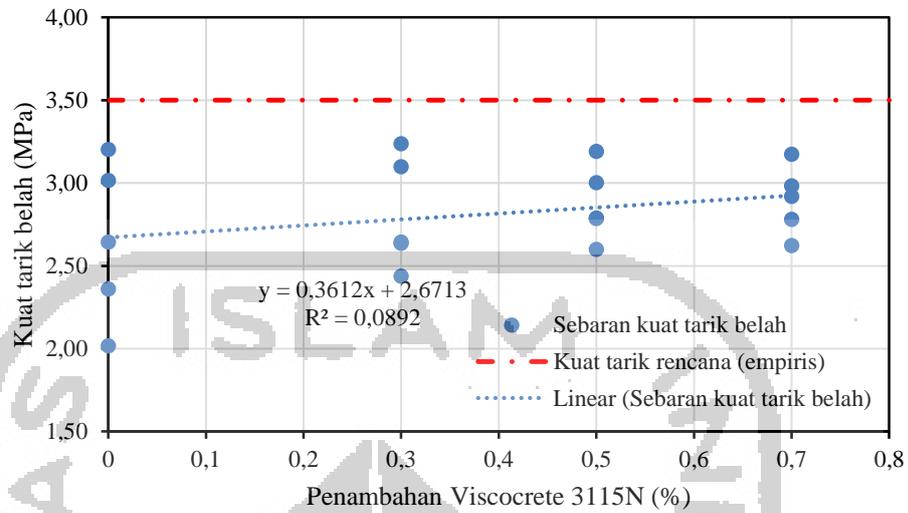
Kuat tarik belah beton dengan variasi campuran tanpa penambahan Viscocrete 3115N memiliki rata-rata sebesar 2,66 MPa dengan sebaran cukup seragam. Persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton Variasi A sebesar 10,19%. Nilai kuat tarik belah beton ini cukup besar jika dibandingkan dengan beton normal. Berdasarkan rumus dalam SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 nilai kuat tarik belah memiliki hubungan dengan nilai kuat tekan, untuk kuat tekan rata-rata variasi A, kuat tarik belah empiris sebesar 3,575 MPa atau 13,71% dari kuat tekannya. Sedangkan kuat tarik belah rencana dihitung dengan rumus yang sama untuk kuat tekan rencana 25 MPa didapat nilai sebesar 3,5 MPa. Seluruh hasil pengujian kuat tarik belah lebih kecil dari kuat tarik belah rencana, hal ini dikarenakan gradasi agregat kasar yang didominasi oleh ukuran butir cukup besar, yaitu 20 mm. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik, hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan variasi A dirumuskan dengan persamaan  $f_t = 0,518\sqrt{f'_c}$ ,

persamaan empiris ini mungkin tidak akurat dikarenakan jumlah sampel yang sedikit.

Berdasarkan Gambar 5.16, Variasi B memiliki kuat tarik belah sebesar 2,81 MPa dengan sebaran yang sragam. Kuat tarik belah Variasi B lebih tinggi 0,162 MPa atau sebesar 6,13% dibanding Variasi A. Nilai persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan Variasi B sebesar 10,27%. Nilai kuat tarik belah ini masih dibawah nilai hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton pada SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5, yaitu sebesar 3,661 MPa atau 13,39% dari kuat tekannya.

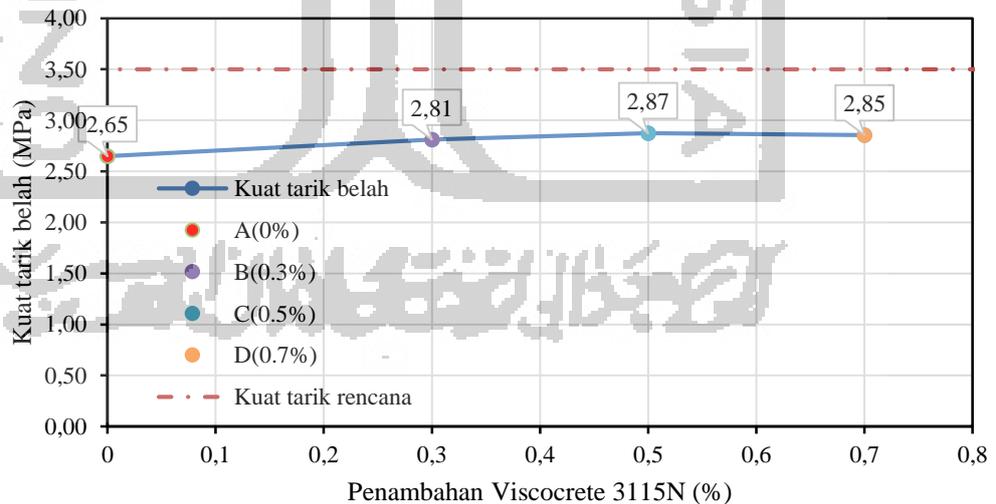
Campuran beton Variasi C memiliki kuat Tarik belah sebesar 2,88 MPa dengan deviasi antar benda uji kecil. Kuat Tarik belah Variasi C lebih tinggi 0,226 MPa dari beton kontrol atau sebesar 8,54%. Sedangkan nilai kuat tarik belah terhadap kuat tekan pada variasi yang sama memiliki nilai sebesar 10,29%. Nilai tersebut lebih kecil dibanding nilai hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan berdasarkan SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 sebesar 3,7 MPa atau 13,25% dari kuat tekannya.

Variasi D memiliki nilai kuat tarik rata-rata sebesar 2,9 MPa, mengalami kenaikan 0,248 MPa dari beton kontrol atau sebesar 9,36%. Nilai kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton pada variasi sama sebesar 10,40%. Nilai ini lebih kecil dibanding nilai hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan berdasarkan SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 sebesar 3,693 atau 13,27% dari kuat tekannya. Sebaran kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 5.20.



**Gambar 5.14 Sebaran kuat tarik belah beton**

Berdasarkan sebaran kuat tarik belah beton (lihat Gambar 5.14) penambahan Viscocrete 3115N dapat meningkatkan kuat tarik belah beton seiring kadar penambahannya. Peningkatan kuat tarik belah beton digambarkan dengan garis regresi yang memiliki persamaan  $y = 0,3612x + 2,7713$ . Grafik kuat tarik rata-rata dapat dilihat pada Gambar 5.15.



**Gambar 5.15 Grafik kuat tarik belah rata-rata**

## 5.6.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, semua variasi beton dengan beton limbah dan penambahan Viscocrete 3115N memiliki kuat tarik belah dibawah kuat tarik belah rencana yang dihitung dengan rumus empiris dalam SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 sebesar 3,5 MPa, namun masih dalam kisaran yang disyaratkan yaitu antara 8-15%. Hal tersebut dikarenakan agregat yang digunakan memiliki ukuran butir cukup besar, yaitu didominasi agregat tertahan 20 mm. Sedangkan penggunaan *superpasticizer* dapat meningkatkan kuat tarik belah beton dengan beton limbah sebagai agregat kasar. Dugaan ini diperkuat dengan penelitian Lakshmi dan Nivedhitha (2015) yang menuturkan bahwa penggunaan agregat kasar dari beton limbah mampu meningkatkan kuat tarik pada kadar tertentu dan kemudian menurunkan kuat tarik pada kadar tinggi. Begitu juga dengan Silvia Dkk (2015) yang menuturkan bahwa penggunaan beton limbah sebagai agregat kasar menyebabkan kuat tarik belah beton menurun dan menurutnya penggunaan *superplasticizer* dapat meminimalisir penurunan tersebut.

## 5.7 Modulus Elastisitas Beton

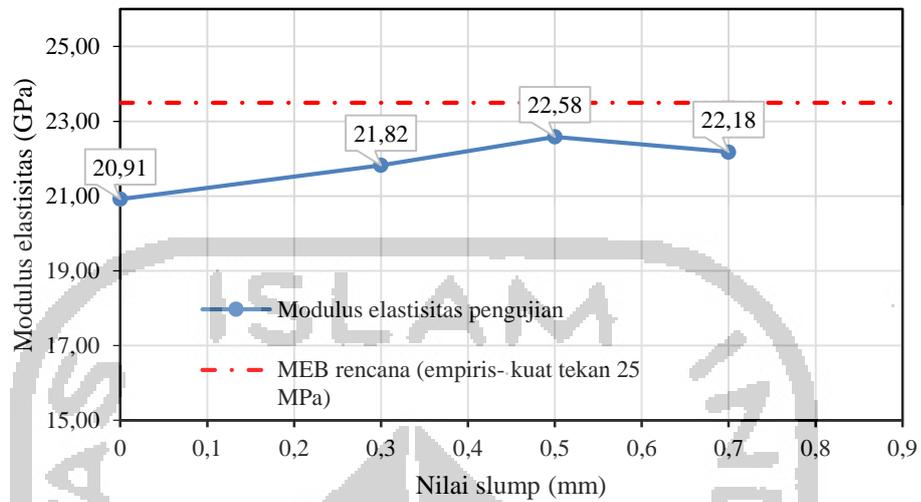
### 5.7.1 Hasil pengujian

Pengukuran modulus elastisitas beton dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dengan memasang dial regangan pada beton uji. Nilai modulus elastisitas atau modulus young didapat dari pembagian tegangan maksimum pada pengujian kuat tekan beton dibagi dengan regangan yang didapat dari pembacaan dial pada eksenometer saat pengujian kuat tekan beton. Hasil pengukuran modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 5.12. Detail hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 5.

**Tabel 5.12 Modulus elastisitas beton hasil penelitian (MPa)**

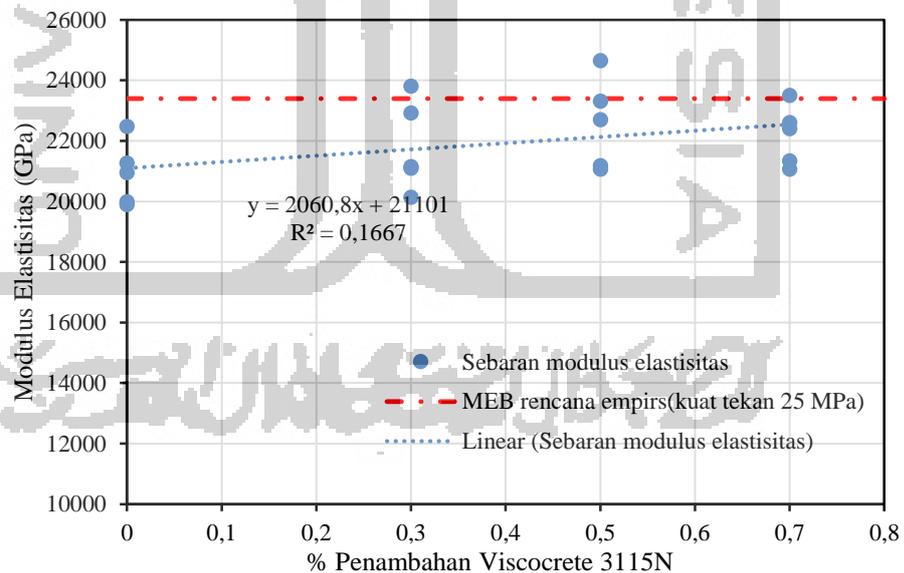
Variasi	No Benda Uji	Tegangan (40%) (MPa)	Regangan (40%) (mm)	$E_c$ $\sigma/\epsilon_c$ (MPa)	Rata-rata $\times 10^4$ (MPa)	Rerata Persentase Kenaikan Terhadap Variasi A
A (0%)	1	10.47	0.0005	20948.33	2,091	0.00
	2	10.20	0.0005125	19894.85		
	3	9.62	0.0004525	21266.83		
	4	10.17	0.0004525	22480.33		
	5	10.49	0.000525	19983.65		
B (0.3%)	1	10.73	0.0005075	21143.51	2,182	4.33
	2	10.72	0.0005325	20137.44		
	3	11.13	0.0004675	23802.59		
	4	10.77	0.00047	22921.99		
	5	10.13	0.00048	21093.91		
C (0.5%)	1	11.22	0.000455	24651.67	2,256	7.96
	2	11.19	0.00048	23313.54		
	3	11.07	0.0005225	21177.89		
	4	10.21	0.000485	21058.01		
	5	10.61	0.0004675	22694.90		
D (0.7%)	1	11.13	0.0004925	22601.80	2,218	6.05
	2	11.31	0.000505	22396.32		
	3	10.75	0.0004575	23501.20		
	4	10.06	0.0004775	21064.11		
	5	10.56	0.000495	21335.05		

Berdasarkan data pada Tabel 5.12, dapat diambil kesimpulan bahwa modulus elastisitas beton mengalami peningkatan seiring dengan kadar penggunaan Viscocrete 3115N. Peningkatan yang cukup signifikan terjadi pada campuran Variasi B dengan kadar 0,3% dengan kenaikan sebesar 4,33% dari variasi A dan Variasi C dengan kadar 0,5% dengan kenaikan sebesar 7,96% dari variasi A. Data dalam tabel kemudian dipaparkan melalui grafik, grafik dapat dilihat pada Gambar 5.22.



**Gambar 5.16 Grafik modulus elastisitas beton hasil pengujian**

Untuk mengetahui peningkatan modulus elastisitas beton, data hasil pengujian dibuat grafik sebaran. Grafik sebaran modulus elastisitas beton dapat dilihat pada gambar 5.17.



**Gambar 5.17 Grafik sebaran modulus elastisitas beton hasil pengujian**

Dari grafik sebaran modulus elastisitas didapat garis regresi dengan persamaan  $y = 2060,8x + 21101$ . Berdasarkan persamaan tersebut menunjukkan penambahan

Viscocrete 3115N dapat meningkatkan modulus elastisitas beton sebesar 169,89 MPa tiap penambahan 0,1% dari berat semen.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai modulus elastisitas beton lebih mendekati modulus elastisitas beton empiris yang didapat dari persamaan  $E_{c\text{ empirik A}} = 0,043W^{1,5} \times \sqrt{f'c}$  dari pada modulus elastisitas empiris yang didapat dari persamaan  $E_{c\text{ empirik B}} = 4700 \times \sqrt{f'c}$ . Hal ini dikarenakan persamaan  $E_{c\text{ empirik A}}$  digunakan untuk beton dengan agregat bukan alam dan memiliki berat volume lebih ringan, sedangkan  $E_{c\text{ empirik B}}$  digunakan untuk beton normal.

### 5.7.2 Pembahasan

Modulus elastisitas menunjukkan tingkat kekakuan suatu bahan. Berdasarkan hasil penelitian diatas, penambahan Viscocrete 3115N meningkatkan kekakuan beton yang ditunjukkan dengan meningkatnya modulus elastisitas seiring dengan kadar penambahan. EC hasil pengujian memiliki nilai dibawah rencana, hal ini dikarenakan penggunaan agregat beton limbah yang memiliki kualitas dibawah agregat kasar alam baik dari kadar lumpur maupun penyerapan air. Penelitian Simonová dkk, (2014) menyampaikan bahwa penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan modulus elastisitas beton dan juga sekaligus memberi efek positif maupun negatif pada perambatan retak beton. Hamad dan Dawi (2017) dalam penelitiannya menuturkan bahwa penggunaan agregat kasar beton limbah menurunkan modulus elastisitas beton seiring dengan kadar penambahannya.

### 5.8 Analisis dan pembahasan umum

Untuk mengetahui faktor-faktor sebab-akibat yang mempengaruhi hasil pengujian dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan kemudian akan dibahas secara rinci.