

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHSAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Bahan

Pemeriksaan bahan sebagai material beton harus dilakukan sebelum perencanaan perhitungan pencampuran beton (*mix design*). Pemeriksaan bahan yang telah dilakukan adalah :

##### 4.1.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Berdasarkan pemeriksaan agregat halus berupa pasir yang berasal dari Kali Progo, Kulon Progo, yang mana didapatkan dari hasil perhitungan pada Lampiran I maka diperoleh data seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat halus

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	-	Zona 3
2	Modulus Halus Butir	-	1,87
3	Berat Jenis	-	2,31
4	Penyerapan Air	%	11,37
5	Kadar Air	%	1,63
6	Kadar Lumpur	%	2,40

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat diuraikan beberapa pembahasan untuk agregat halus.

a. Pemeriksaan gradasi

Berdasarkan SNI 03-2834 (2000) distribusi gradasi agregat halus terbagi atas 4 wilayah yaitu wilayah 1 kasar, wilayah 2 sedang, wilayah 3 agak halus, dan wilayah 4 halus. Untuk gradasi agregat halus yang digunakan pada penelitian ini didapatkan distribusi gradasinya masuk pada wilayah atau zona 3 dimana klasifikasi agregat halus dengan ukuran butiran agak halus.

b. Pemeriksaan modulus halus butir (MHB)

Berdasarkan SNI 03-1968 (1990) yang menyebutkan bahwa nilai modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1,5-3,8. Pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium didapatkan hasil kekasaran atau modulus halus butir

agregat halus sebesar 1,87. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus memenuhi syarat acuan.

c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SNI 03-1970 (1990) di mana rentang berat jenis untuk agregat halus sebesar 2,3 – 2,6. Pengujian agregat halus didapatkan nilai berat jenis nya yaitu 2,31, dan penyerapan air sebesar 11,37 % sehingga agregat halus yang diuji memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

d. Pemeriksaan kadar air

Pemeriksaan kadar air pada agregat halus mengacu pada (SNI 03-1971, 1990), sesuai dengan acuan tersebut didapatkan nilai untuk kadar air agregat halus rata-rata sebesar 1,63%.

e. Pemeriksaan kadar lumpur

Pemeriksaan untuk kadar lumpur agregat halus mengacu pada (SNI 03-2461, 1991) bahwa kadar lumpur maksimum agregat halus adalah 5% dari berat keringnya. Pada pengujian yang dilakukan didapatkan kadar lumpur agregat halus sebesar 2,40%, hal ini menunjukkan bahwasannya agregat halus yang berasal dari Kali Progo, Kulon Progo memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan sebagai patokan pengujian.

Hasil pemeriksaan dan perhitungan

#### 4.1.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, yang mana didapatkan dari hasil perhitungan pada Lampiran I, maka diperoleh data seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	mm	Maksimum 20
2	Modulus Halus Butir	-	6,96
3	Berat Jenis	-	2,51
4	Penyerapan Air	%	1,42
5	Kadar Air	%	1,80
6	Kadar Lumpur	%	2,48
7	Keausan Agregat	%	20,3

Berdasarkan data dari tabel di atas dapat diuraikan beberapa pembahasan untuk agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yaitu:

a. Pemeriksaan gradasi

Berdasarkan acuan SNI 03-2834 (2000) terdapat 3 ukuran maksimum agregat kasar seperti ukuran maksimum 40 mm, ukuran maksimum 20 mm, dan ukuran maksimum 10 mm. Berdasarkan hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar, dapat ditentukan ukuran maksimum untuk agregat kasar dalam penelitian ini yaitu 20 mm sesuai dengan acuan yang telah ditetapkan.

b. Pemeriksaan modulus halus butir

Pemeriksaan modulus halus butir (MHB) berdasarkan pengujian analisis saringan agregat kasar, bahwa batas gradasi agregat kasar yaitu berkisar antara 6,0 – 7,1. Hasil pengujian yang telah dilakukan pada agregat kasar didapatkan untuk nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar yaitu 6,961. nilai ini berdasarkan berat tertahan komulatif saringan.

c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SNI 03-1968 (1990) yang menyebutkan bahwa nilai berat jenis agregat kasar normal yaitu berkisar antara 2,5 – 2,7. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar yang telah dilaksanakan pada Laboratorium didapatkan nilai berat jenis agregat kasar yaitu 2,51. Nilai ini memenuhi standar yang telah diterapkan oleh acuan yang digunakan. Sementara itu untuk nilai penyerapan air pada agregat kasar didapatkan nilai sebesar 1,42%.

d. Pemeriksaan kadar air

Berdasarkan ASTM C70 yang menyebutkan bahwa kadar air agregat kasar berkisar antara 0,2% - 4%. Berdasarkan pemeriksaan kadar air agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kulon Progo didapatkan hasil rata-rata yaitu 1,80%, sehingga agregat kasar ini memenuhi spesifikasi yang telah dijadikan acuan penggunaan bahan penelitian.

e. Pemeriksaan kadar lumpur

Berdasarkan SNI 03-1968 (1990) bahwasannya kadar lumpur maksimal untuk agregat kasar adalah 1%. Berdasarkan pemeriksaan kadar lumpur yang dilakukan didapatkan besaran kadar lumpur pada agregat kasar adalah 2,48%. Sehingga dalam penggunaan agregat kasar ini harus dicuci terlebih dahulu.

f. Pemeriksaan keausan

Berdasarkan SNI 03-2417 (2008) dimana untuk nilai maksimum nilai keausan agregat kasar yaitu 40%. Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar, didapatkan nilai ketahanannya atau keausan sebesar 20,3%. Hal ini menunjukkan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan.

#### 4.1.3 Pemeriksaan *Steel Slag*

Hasil pemeriksaan *Steel Slag* (limbah baja) yang merupakan bahan sebagai pengganti agregat kasar berasal dari PT. Krakatau Steel, Clegon. Berdasarkan hasil perhitungan pada Lampiran I, maka diperoleh data seperti terdapat pada Tabel 4.3 yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.3 Pemeriksaan *Steel Slag* Substitusi Agregat Kasar

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	Mm	Maksimum 20
2	Modulus Halus Butir	-	6,99
3	Berat Jenis	-	3,54
4	Penyerapan Air	%	1,01
5	Kadar Air	%	2,1
6	Kadar Lumpur	%	0,25
7	Keausan Agregat	%	11,58

Berdasarkan data dari table di atas dapat diuraikan beberapa pembahasan untuk *Steel Slag* sebagai bahan pengganti agregat kasar yaitu:

a. Pemeriksaan gradasi

Berdasarkan SNI 03-2834 (2000) terdapat 3 ukuran maksimum agregat kasar seperti ukuran maksimum 40 mm, ukuran maksimum 20 mm, dan ukuran maksimum 10 mm. Berdasarkan hasil pemeriksaan analisis saringan *Slag*

sebagai substitusi agregat kasar, dapat ditentukan ukuran maksimum untuk *slag* dalam penelitian ini yaitu 20 mm sesuai dengan acuan yang telah ditetapkan.

b. Pemeriksaan modulus halus butir

Pemeriksaan modulus halus butir (MHB) berdasarkan pengujian analisis saringan agregat kasar bahwa batas gradasi agregat kasar yaitu berkisar antara 6,0 – 7,1. Hasil pengujian yang telah dilakukan pada *slag* sebagai substitusi agregat kasar didapatkan untuk nilai modulus halus butir (MHB) *slag* yaitu 6,99, nilai ini berdasarkan berat tertahan kumulatif saringan kemudian dibagi dengan 100.

c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SNI 03-1968 (1990) yang menyebutkan bahwa nilai berat jenis agregat kasar normal yaitu berkisar antara 2,5 – 2,7. Pemeriksaan berat jenis *slag* sebagai pengganti agregat kasar yang telah dilaksanakan pada Laboratorium didapatkan nilai berat jenis *slag* yaitu 3,54. Nilai ini memenuhi standar yang telah diterapkan oleh acuan yang digunakan. Sementara itu untuk nilai penyerapan air pada agregat kasar didapatkan nilai sebesar 1,01%.

d. Pemeriksaan kadar air

Berdasarkan ASTM C70 yang menyebutkan bahwa kadar air agregat kasar berkisar antara 0,2% - 4%. Berdasarkan pemeriksaan kadar air pada *slag* sebagai substitusi agregat kasar yang berasal dari PT. Kratatau Steel, Indonesia didapatkan hasil rata-rata yaitu 2,1%, sehingga *slag* ini memenuhi spesifikasi yang telah dijadikan acuan penggunaan pengganti agregat kasar penelitian.

e. Pemeriksaan kadar lumpur

Berdasarkan SNI 03-1968 (1990) bahwasannya kadar lumpur maksimal untuk agregat kasar adalah 1%. Berdasarkan pemeriksaan kadar lumpur yang dilakukan didapatkan besaran kadar lumpur pada *slag* adalah 0,25%. Sehingga penggunaan *slag* sebagai pengganti agregat kasar pada penelitian ini memenuhi spesifikasi.

f. Pemeriksaan keausan

Berdasarkan SNI 03-2417 (2008) dimana untuk nilai maksimum nilai keausan agregat kasar yaitu 40%. Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap *slag* didapatkan nilai ketahanannya atau keausan sebesar 11,58%. Hal ini menunjukkan *slag* sebagai pengganti agregat kasar yang digunakan dalam penelitian memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan.

#### 4.2 Hasil Perencanaan Pencampuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan pencampuran beton (*mix design*) dalam penelitian ini mengacu pada (SNI 03-2834-2000) tentang *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*. Acuan tentang tata cara pembuatan beton normal bertujuan untuk menentukan kebutuhan proporsi bahan atau material penyusun beton pada tiap volume 1 m<sup>3</sup>. Setelah didapatkan proporsi tiap-tiap bahan penyusun maka dapat ditentukan kebutuhan bahan untuk pembuatan benda uji silinder yang digunakan. Silinder yang digunakan berdiameter 7,5 cm dengan tinggi 15 cm. Hasil *mix design* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran II. Berikut ini proporsi kebutuhan material penyusun untuk pembuatan 1 m<sup>3</sup> beton segar.

Tabel 4.4 Kebutuhan Campuran Beton Untuk 1 m<sup>3</sup>

Material	Variasi Pencampuran Beton			Satuan
	Beton A.K. <i>Slag</i> 50%, Dan <i>Additive</i>	Beton A.K. <i>Slag</i> 100%, Dan <i>Additive</i>	Beton Normal <i>Additive</i>	
Semen	499,76	499,76	499,76	kg/m <sup>3</sup>
Agregat Halus	645,87	645,87	528,62	kg/m <sup>3</sup>
Agregat Kasar	599,73	-	981,72	kg/m <sup>3</sup>
<i>Steel Slag</i>	599,73	1199,47	-	kg/m <sup>3</sup>
Air	204,90	204,90	204,90	liter
<i>Plastocrete RT 06</i>	2,998	2,998	2,998	liter
<i>Sikament NN</i>	14,992	14,992	14,992	liter

Berikut ini kebutuhan material penyusun beton segar dalam silender berdiameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm dengan volume yaitu 662,67 cm<sup>3</sup> atau 6,626 x 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup> terdapat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Kebutuhan Campuran Beton Untuk 1 Buah Sampel Silinder

Variasi Pencampuran Beton				
Material	Beton A.K. Slag 50%, Dan Additive	Beton A.K.Slag 100%, Dan Additive	Beton Normal Additive	Satuan
Semen	0,33	0,33	0,33	kg/m <sup>3</sup>
Agregat Halus	0,43	0,43	0,35	kg/m <sup>3</sup>
Agregat Kasar	0,395	-	0,65	kg/m <sup>3</sup>
Steel Slag	0,395	0,79	-	kg/m <sup>3</sup>
Air	0,14	0,14	0,14	Liter
Plastocrete RT 06	0,0019	0,0019	0,0019	Liter
Sikament NN	0,0098	0,0098	0,0098	Liter

Berdasarkan data dari Tabel di atas dapat diuraikan beberapa diantaranya penggunaan pasir atau agregat halus pada beton variasi *slag* 50%, dan variasi *slag* 100% memiliki proporsi sama yaitu 0,43 kg/m<sup>3</sup>, sementara itu beton normal *additive* proporsi agregat halus sebanyak 0,35 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini dikarenakan pemakaian berat jenis agregat kasar normal yaitu berat jenis kerikil Clereng Kulon Progo pada beton normal *additive*, sementara itu berat jenis *Steel Slag* digunakan pada *mix design* beton agregat kasar *slag* 50%, dan 100%. Penggunaan agregat kasar kerikil digunakan pada beton normal sebanyak 0,65 kg/m<sup>3</sup>, dan beton variasi *steel slag* 50% yaitu sebanyak 0,395 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada variasi beton *steel slag* 100% menggunakan material *slag* sebanyak 0,79 kg/m<sup>3</sup>. Jumlah penggunaan semen pada tiap-tiap variasi beton sama. Untuk jumlah penggunaan *Sikament NN*, *Plastocrete RT 06*, dan Air pada beton agregat kasar *slag* 50%, 100%, dan beton normal *additive* jumlahnya tetap.

### 4.3 Hasil Penelitian *Slump* dan Waktu Ikut (*Setting Time*)

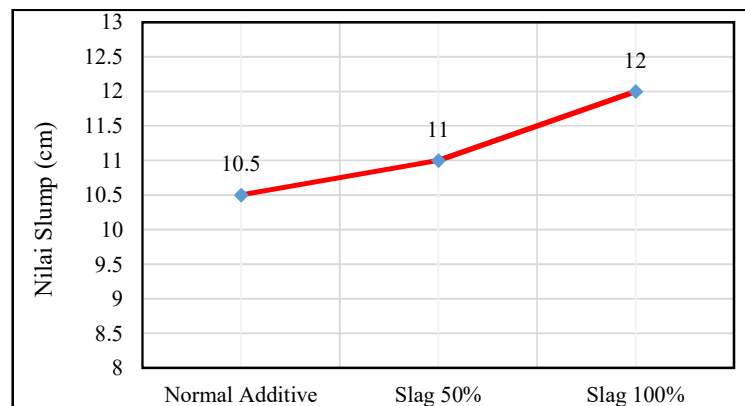
#### 4.3.1 Pemeriksaan nilai *slump*

Nilai *slump* merupakan nilai keruntuhan suatu beton saat dilakukan uji *slump* menggunakan alat berupa kerucut *Abrams* yang di isi beton segar kemudian diukur keruntuhannya saat kerucut diangkat dan diletakan di samping sampel. Nilai *slump* mengukur kekentalan atau kelecakan dari beton segar yang berguna untuk kemudahan pengerjaanya (*workability*). Kekentalan campuran beton segar sangat bergantung pada pemakaian jumlah airnya.

Dalam penelitian ini nilai *slump* yang direncanakan yaitu  $10 \pm 2$ . Pada saat perencanaan (*mix design*) beton normal *additive*, beton agregat kasar kadar *slag* 50%, dan 100% penggunaan airnya akan dikurangi pada saat pengadukan bahan material dengan air. Hal ini dikarenakan penambahan bahan tambah (*admixture*) zat *additive Plastocrete RT 06* sebanyak 0,6%, dan *Sikament NN* sebanyak 3% dari berat semen yang digunakan pada setiap variasi campuran. *Plastocrete RT 06* dan *Sikament NN* merupakan zat *additive* yang berfungsi sebagai mengurangi kebutuhan air. Maka dalam proses pengerjaan penelitian ini air yang digunakan akan dituang secara perlahan dan terkontrol agar nilai *slump* dapat tercapai. Pengurangan air sebanyak 400 ml pada pencampuran beton variasi *steel slag* 100%, pengurangan air sebanyak 380 ml pada pencampuran beton variasi *steel slag* 50%, sedangkan untuk beton normal pengurangan air sebanyak 320 ml. Untuk hasil pengujian *slump* yang telah dilakukan terdapat pada Tabel 4.6 seperti di bawah ini.

Tabel 4.6 Nilai *Slump* Tiap Variasi Campuran

No	Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran Beton	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Pengurangan air (%)
1	7			
2	21	Normal dengan <i>additive</i>	10,5	21,5
3	28			
4	7			
5	21	<i>Slag</i> 50% dengan <i>additive</i>	11	25,5
6	28			
7	7	<i>Slag</i> 100% dengan <i>additive</i>	12	27
8	21			
9	28			

Gambar 4.1 Grafik Nilai *Slump* Tiap Variasi Campuran



Berdasarkan Tabel 4.5 di atas diketahui nilai *slump* pada variasi beton normal dengan penambahan zat *additive* yaitu 10,5 cm dengan pengurangan air sebesar 21,5%, nilai *slump* untuk variasi beton agregat kasar *slag* 50% dengan penambahan zat *additive* naik sebesar 0,5 cm dari variasi sebelumnya menjadi 11 cm dengan pengurangan air 25,5%, dan nilai *slump* pada variasi beton agregat kasar *slag* 100% dengan penambahan zat *additive* naik sebesar 1 cm dari variasi beton sebelumnya yaitu menjadi 12 cm dengan pengurangan air sebesar 27%. Dari hasil pengujian nilai *slump* tersebut dapat disimpulkan untuk beton variasi agregat kasar *slag* 100% dengan penambahan zat *additive* dapat mengurangi pemakaian air lebih banyak dan nilai *slump* yang lebih tinggi, sehingga campuran beton segar ini lebih mudah dalam pengerjaannya (*workability*) dibandingkan variasi lainnya.

Penggunaan bahan material agregat kasar normal memiliki nilai *slump* terendah dengan pengurangan air yang lebih sedikit, dan nilai keruntuhan yang lebih kecil dibandingkan variasi lainnya. Variasi bahan material agregat *slag* sebagai substitusi agregat kasar, terjadi peningkatan nilai keruntuhan beton segar (*slump*), dengan meningkatnya pengurangan air. Semakin dominan material *slag* sebagai substitusi agregat kasar tersebut maka semakin banyak pengurangan pemakaian air pada pencampuran. Hal ini mengacu pada data hasil pengujian material agregat kasar krikil dimana penyerapan terhadap air yaitu 1,42% dan *steel slag* yaitu 1,01%.

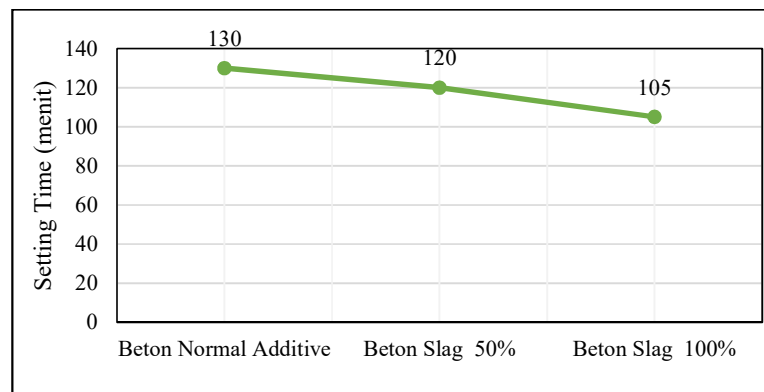
Penambahan zat *addiktive* yang berfungsi mengontrol dan mengurangi air, berupa *Plastocrete RT 06* dengan pemakaian kadar maksimum 0,6%, dan *Sikament NN* dengan pemakaian kadar maksimum 3% dapat mengurangi penggunaan air hingga maksimal 25%. Pada pengujian yang dilakukan untuk beton bahan material normal membutuhkan bahwasannya zat tersebut memenuhi pengurangan air maksimal. Sedangkan untuk beton bahan material menggunakan *slag* terjadi pengurangan air melebihi dari syarat ketentuan kegunaan zat *addiktive* tersebut. Penambahan zat *addiktive* berupa *Plastocrete RT 06* sebanyak 0,6% dan *Sikament NN* sebanyak 3% pada sampel beton variasi agregat kasar *slag* 50%, dan 100% dinyatakan terlalu banyak sehingga untuk mendapatkan nilai *slump* rencana  $10 \pm 2$  cm pencampuran bahan dan material harus mengurangi air melebihi dari ketentuan maksimal.

### 4.3.2 Pemeriksaan waktu ikat (*Setting Time*)

Pemeriksaan waktu ikat (*setting time*) yaitu waktu keadaan beton segar dalam keadaan plastis, mudah dikerjakan, dan dibentuk hingga keadaan beton mengeras, kaku, dan tidak dapat dirubah lagi bentuknya. Jadi waktu ikat (*setting time*) merupakan waktu yang dibutuhkan diantara kedua keadaan yang disebutkan. Untuk hasil pemeriksaan waktu ikat (*setting time*) terdapat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Waktu Ikat (*Setting Time*)

No	Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran Beton	<i>Setting Time</i> (menit)
1	7	Normal dengan zat <i>additive</i>	130
2	21		
3	28		
4	7	<i>Slag</i> 50% dengan zat <i>additive</i>	120
5	21		
6	28		
7	7	<i>Slag</i> 100% dengan zat <i>additive</i>	105
8	21		
9	28		



Gambar 4.2 Grafik Waktu ikat (*setting Time*)

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa waktu ikat pada beton normal dengan penambahan zat *additives* memerlukan waktu ikat yaitu selama 130 menit, waktu ikat pada variasi beton agregat kasar *slag* 50% dengan penambahan zat *additive* dapat menambah laju waktu ikat beton dari sebelumnya 10 menit sehingga pengikatan hanya terjadi dalam waktu 120 menit, sedangkan waktu ikat pada beton agregat kasar *slag* 100% dengan penambahan zat *additives* kecepatan waktu ikat

meningkat 15 menit dari variasi sebelumnya sehingga hanya memerlukan waktu 105 menit. Waktu ikat (*setting time*) pada beton agregat kasar *steel slag* 100% lebih singkat, sehingga pengerasan campuran beton segar lebih cepat dibandingkan variasi lainnya.

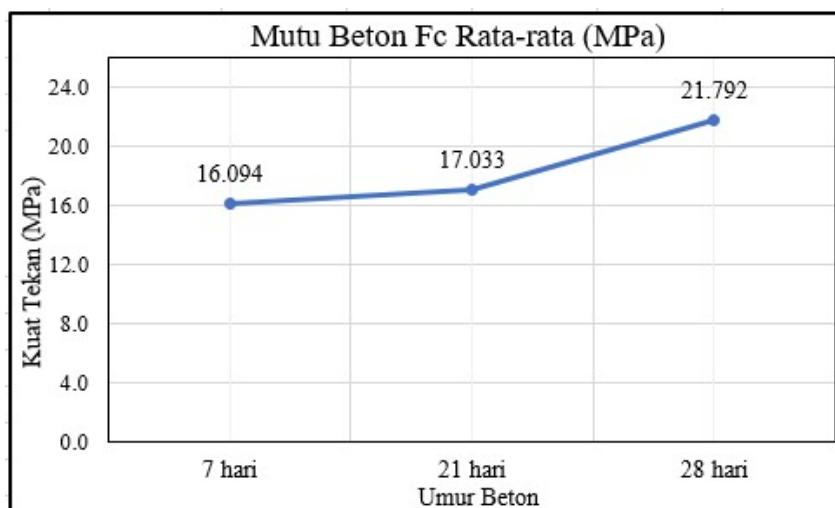
#### 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

##### 4.4.1 Hasil pengujian kuat tekan beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah mencapai umur rencana yang telah ditentukan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji yang telah berumur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari. Setiap hasil sampel beton silinder diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm dikonfersikan kedalam bentuk sampel beton silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sehingga dapat distarakan dengan kuat tekan yang mengacu pada SNI.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal *Additive*

Variasi campuran beton	Umur benda uji	Berat Benda Uji (gr)	Peak Point (N)	Luas Alas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan (MPa)
Normal dengan penambahan <i>additive</i>	7	1535	7940	44.18	16.64	16.09
		1540	7420	44.18	15.55	
	21	1620	8080	45.48	16.44	17.03
		1625	8820	46.32	17.62	
	28	1595	11550	44.65	23.94	21.79
		1545	9400	44.3	19.64	



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal *Additive*

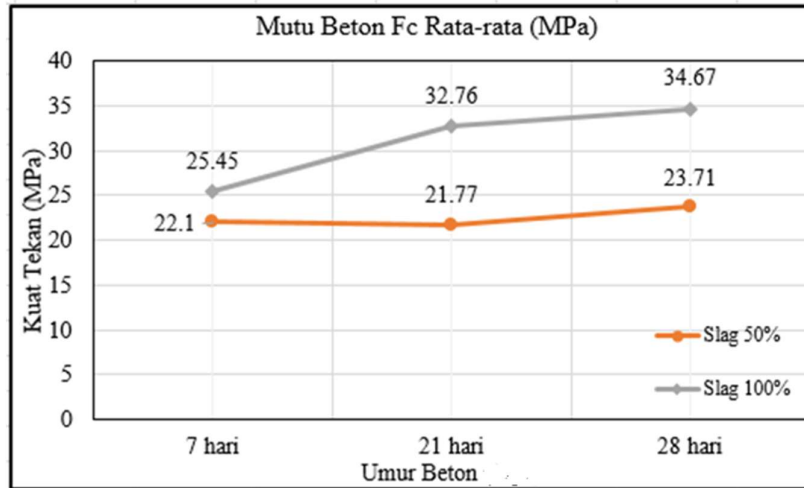
Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata beton normal dengan penambahan zat *additive* berupa *Plastocrete RT06* sebanyak 0,6% dan *Sikament NN* sebanyak 3% mengalami kenaikan berturut-turut. Pada umur 7 hari yaitu 16,09 MPa, naik sebesar 5,5% pada umur 21 hari menjadi 17,03 MPa, kemudian pada umur 28 hari naik sebesar 21,84% menjadi 23,1 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwasannya nilai kuat tekan beton normal *additive* mengalami kenaikan berturut-turut seiring dengan umur beton itu sendiri.

Kuat tekan beton yang direncanakan pada penelitian sebesar 37,35 MPa seperti pada Lampiran II. Hasil kuat tekan beton normal *additive* tertinggi yaitu 23,1 MPa. Nilai kuat tekan tersebut mengalami penurunan sebesar 38,1% dari kuat tekan rencana. Hal tersebut disebabkan oleh terjadinya porositas pada beton. Menurut Irwan dkk. (2017) Porositas beton yaitu tingkat kepadatan beton itu sendiri. Porositas merupakan persentase perbandingan pori-pori atau ruang kosong terhadap volume beton. Pori-pori merupakan gelembung udara yang terjebak didalam beton. Ruang pori ini terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan, nilai *slump*, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, lamanya pemadatan, serta faktor air semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat.

Kuat tekan beton dengan agregat kasar substitusi *steel slag* 50%, dan 100% dapat dilihat pada tabel 4.9, 4.10 berikut.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Steel Slag* 50%, 100%

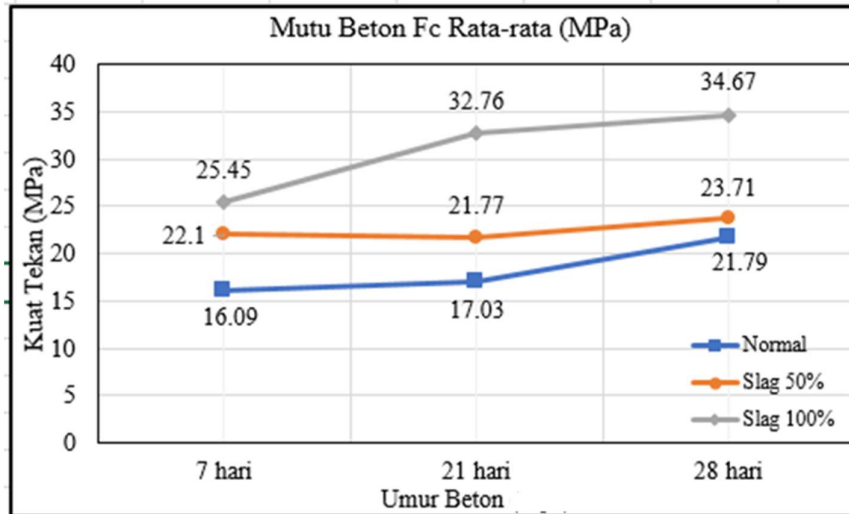
Variasi campuran beton	Umur benda uji	Berat Benda Uji (gr)	Peak Point (N)	Luas Alas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan (MPa)
Agregat Kasar <i>Steel Slag</i> 50%	7	1915	10350	44.18	21.69	22.10
		1900	10750	44.18	22.52	
	21	1855	10380	44.41	21.63	21.77
		1905	10540	44.53	21.91	
	28	1900	10810	44.77	22.35	23.71
		1926	12000	44.30	25.08	
Agregat Kasar <i>Steel Slag</i> 100%	7	1915	8480	44.18	17.76	25.45
		1900	15820	44.18	33.14	
	21	1855	15210	44.18	31.87	32.76
		1905	16060	44.18	33.65	
	28	1900	18160	44.18	38.05	34.67
		1926	14970	44.30	31.28	



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Steel Slag* 50%, 100%

Dari Gambar 4.4 grafik hasil pengujian kuat tekan beton *steel slag* 50%, dan 100% sebagai substitusi agregat kasar dengan penambahan zat *additive* berupa *Plastocrete RT06* dengan kadar 0,6%, dan *Sikament NN* dengan kadar 3% dalam pencampuran beton mengalami kenaikan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan beton umur 7 hari yaitu 22,1 MPa dan 25,45 MPa atau perbandingan kenaikan sebesar 13,2%, pada umur 21 hari nilai kuat tekan naik yaitu 21,77 dan 32,76 MPa atau perbandingan kenaikan sebesar 33,5%, terakhir pada umur 28 hari nilai kuat tekan naik yaitu 23,71 MPa dan 34,67 MPa atau perbandingan kenaikan sebesar 31,6%. Dengan hasil demikian didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton *steel slag* sangat berpengaruh pada usia beton itu sendiri. Nilai kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton

Berdasarkan nilai kuat tekan *steel slag* sebagai substitusi agregat kasar, nilai tertinggi dicapai oleh beton *steel slag* 100% yaitu 34,67 MPa yang mana nilai tersebut belum memenuhi kuat tekan rencana sebesar 37,35 MPa atau penurunan yaitu 7,1%. Hal tersebut disebabkan oleh terjadinya porositas yang sama seperti pembuatan beton normal *additive*. Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal. Semakin padat beton, maka kekuatannya juga semakin besar sehingga dapat menopang beban yang lebih berat. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuai material pengisi beto (Irwan, dkk 2017).



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Pengujian Tekan Tiap Variasi Beton

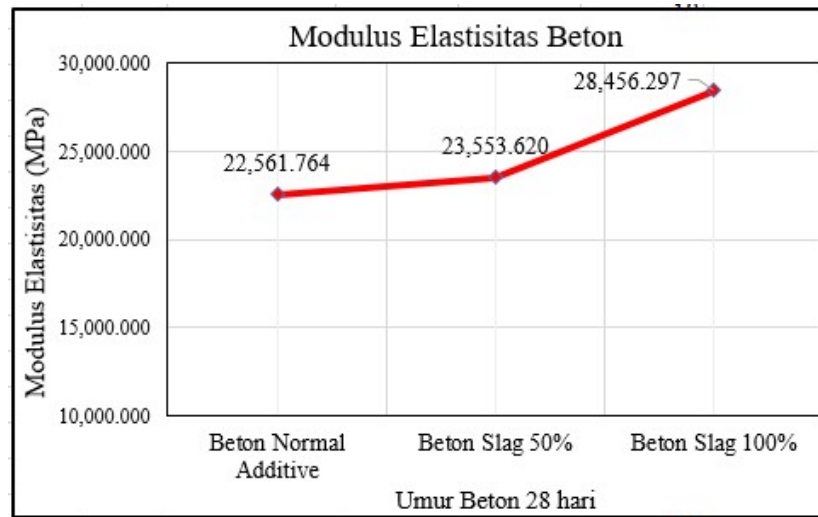
Berdasarkan Gambar 4.5 didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton *steel slag* 50% dan 100% sebagai substitusi agregat kasar pada umur 7 hari mencapai 22,1 MPa dan 25,45 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 27% dan 36,8% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 16,09 MPa. Pada umur 21 hari kuat tekan beton *steel slag* 50% dan 100% mencapai 21,77 MPa dan 32,76 MPa, kuat tekan tersebut mengalami peningkatan sebesar 21,7% dan 48% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 17,03 MPa. Pada umur 28 hari beton *steel slag* 50% dan 100% yaitu 23,71 MPa dan 34,67 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 8% dan 37% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 21,79 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *steel slag* sebagai substitusi agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton.

#### 4.4.2 Pemeriksaan modulus elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton ialah suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton terhadap menahan deformasi (perubahan bentuk). Salah satu sifat beton yaitu kaku yang apabila dibebani, beton tidak dapat berubah kebentuk semulanya (elastis). Hal ini membantu untuk menganalisa perkembangan tegangan regangan terhadap struktur sederhana dan untuk menganalisa tegangan regangan, momen, dan lendutan pada struktur yang lebih kompleks (Rifky, 2011).

Tabel 4.10 Hasil Pemeriksaan Modulus Elastisitas Beton

Variasi Campuran Beton	Umur (hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-rata Modulus Elastisitas (MPa)
Normal <i>additive</i>	28	25.38	23677.926	22561,764
		20.82	21445.601	
Agregat Kasar <i>Slag 50%</i>	28	23.69	22876.016	23553,620
		26.58	24231.224	
Agregat Kasar <i>Slag 100%</i>	28	40.33	29847.775	28456,297
		33.16	27064.818	



Gambar 4.6 Grafik Modulus Elastisitas Beton

Pemeriksaan modulus elastisitas beton didapatkan setelah pengujian kuat tekan beton umur 28 hari. Hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan beton dinyatakan dalam bentuk persamaan  $4700 \sqrt{f'c}$  28 hari. Berdasarkan Gambar 4.6 diketahui bahwa nilai modulus elastisitas beton *steel slag* 50% dan 100% sebagai substitusi agregat kasar mencapai 23.553,620 MPa dan 28.456,297 MPa, nilai modulus elastisitas beton mengalami peningkatan 4,2% dan 20,7% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 22.561,764 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beton *steel slag* sebagai agregat kasar memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi lebih tinggi.