

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa terdiri dari beberapa pengujian seperti pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, semen, pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton.

Bab ini akan membahas hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada beton yang diteliti, hasil penelitian tersebut berupa nilai-nilai dan variabel yang kemudian akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian pengikat atau semen yang kemudian akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh kuat tekan dan kuat lentur beton.

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu *split* dengan ukuran lolos saringan 1½ inci hingga tertahan saringan No.4 dengan beberapa pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis mencakup berat jenis curah kering, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis dalam semu dan nilai penyerapan air dari agregat kasar.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Perhitungan	Persamaan	I	II	III	Rata-rata
Berat jenis curah kering	$\frac{A}{(B - C)}$	2,437	2,418	2,423	2,426
Berat jenis curah jenuh kering permukaan	$\frac{B}{(B - C)}$	2,532	2,517	2,521	2,523
Berat jenis semu	$\frac{A}{(A - C)}$	2,694	2,684	2,685	2,688
Penyerapan air	$\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	3,922	4,095	4,023	4,013

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat kasar didapat hasil berat jenis SSD dan juga absorpsi agregat kasar sebesar 2,52 dan 4,01%. Hasil pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai minimum berat jenis agregat kasar 2,1 dan untuk absorpsi 2,5% untuk perkerasan beton.



Gambar 5. 1 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

b. Pengujian kadar air agregat kasar

Kadar air agregat adalah perbandingan antara massa air yang dikandung suatu agregat dengan massa agregat dalam keadaan kering oven dan dinyatakan dalam satuan persen. Tujuan dari pengujian ini untuk memeriksa kadar air yang terkandung dalam agregat kasar.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Uraian	I	II	III
Massa wadah + benda uji	3177	3162	3162,5
Massa wadah	176,5	162	162,5
Massa benda uji (W_1)	3000,5	3000	3000
Massa wadah + benda uji kering oven	3082	3058	3075
Massa benda uji kering oven (W_2)	2905,5	2896	2912,5
Kadar air total (P) = $\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	3,27%	3,59%	3,00%
Kadar air total (P) rata-rata	3,29%		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai kadar air agregat kasar rata – rata sebesar 3,29%, nilai tersebut berpengaruh terhadap jumlah air yang dibutuhkan dalam perhitungan campuran beton dan hasil ini menunjukkan bahwa agregat

kasar yang digunakan tidak terlalu lembab karena nilai kadar air lebih kecil dibandingkan dengan nilai absorpsinya.



Gambar 5. 2 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

c. Pengujian keausan agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kebutuhan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles Abrasion* (LAA).

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Gradasi pemeriksaan		Jumlah putaran = 500 putaran		
Ukuran saringan		I	II	III
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (b)	Berat (c)
3/4	1/2	2500	2500	2500
1/2	3/8	2500	2500	2500
Jumlah berat		5000	5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (b)		3852,5	3912	3937
Keausan Rata-rata		21,99% < 40%		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai keausan agregat kasar pada mesin LAA dengan 500 putaran sebesar 21,99%. Hasil pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang menyebutkan keausan agregat kasar terhadap mesin LAA maksimum 40%.



Gambar 5. 3 Pengujian LAA Agregat Kasar
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

d. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan gradasi material berupa agregat kasar, hasil yang didapat digunakan untuk menentukan pemenuhan ukuran distribusi partikel dengan syarat-syarat spesifikasi yang dapat dipakai dan dapat berguna untuk porositas.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Modulus kehalusan	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Rata-rata
	7,548%	7,442%	7,629%	7,540%

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar mendapatkan gradasi sehingga dapat ditentukan modulus halusanya sebesar 7,54%. Ukuran gradasi dan butiran maksimum yang sudah didapat dari pengujian ini akan berpengaruh terhadap kepadatan dan porositas pada beton.



Gambar 5. 4 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

e. Pengujian berat isi agregat kasar

Berat isi agregat merupakan berat agregat persatuan isi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat dalam kondisi padat dan rongga udara dalam agregat.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Uraian			I	II	III
Berat silinder baja	gram	W1	6481	6481	6481
Berat silinder baja + benda uji	gram	W2	20335	20843	21000
Berat silinder baja + air	gram	W3	16605	16605	16605
Berat benda uji	gram	W4	13854	14362	14519
Volume silinder = volume air	cm ³	V	10124	10124	10124
Berat isi agregat kasar	gram/cm ³		1,368	1,419	1,434
Berat isi agregat kasar rata-rata	kg/m ³		1407,053		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian berat isi agregat kasar didapat hasil sebesar 1407 kg/m³. Hal ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mengisyaratkan minimum berat isi agregat adalah 1200 kg/m³.



Gambar 5. 5 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

f. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Pengujian kadar lumpur agregat kasar bertujuan untuk menentukan kandungan lumpur yang terdapat dalam agregat kasar.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Uraian			I	II	III
Berat Cawan	gram	W1	87,5	144	137
Berat Cawan + Benda Uji	gram	W2	1087,5	1144	1137
Berat Benda Uji	gram	A	1000	1000	1000

Uraian			I	II	III
Berat Cawan + Benda Uji Kering	gram	W3	1078,5	1133	1125
Berat Benda Uji Kering	gram	B	991	989	988
Kadar Lumpur Agregat Kasar	%		0,9%	1,1%	1,2%
	Rata-rata %		1,1%		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian di atas didapat nilai presentase rata – rata kadar lumpur agregat kasar sebesar 1,1%.



Gambar 5. 6 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis mencakup berat jenis curah kering, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis dalam semu dan nilai penyerapan air dari agregat halus.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Perhitungan	Persamaan	I	II	III	Rata-rata
Berat jenis curah kering	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,687	2,532	1,409	2,209
Berat jenis curah jenuh kering permukaan	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,725	2,571	1,428	2,241
Berat jenis semu	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,793	2,634	1,436	2,288
Penyerapan air	$\frac{(S - A)}{A} \times 100\%$	1,420	1,523	1,316	1,420

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat halus didapat nilai berat jenis SSD sebesar 2,24 dan untuk absorpsi sebesar 1,42%, hasil pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai maksimum absorpsi 5%.



Gambar 5. 7 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus
(Sumber : Analisa Penulis,2024)

b. Pengujian kadar air agregat halus

Kadar air agregat adalah perbandingan antara massa air yang dikandung suatu agregat dengan massa agregat dalam keadaan kering oven dan dinyatakan dalam satuan persen. Tujuan dari pengujian ini untuk memeriksa kadar air yang terkandung dalam agregat halus.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Uraian	I	II	III
Massa wadah + benda uji	648	663,5	663,5
Massa wadah	148	163,5	163,5
Massa benda uji (W_1)	500	500	500
Massa wadah + benda uji kering oven	638	645	653
Massa benda uji kering oven (W_2)	490	481,5	489,5
Kadar air total (P) = $\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$	2,04%	3,84%	2,15%
Kadar air total (P) rata-rata	2,68%		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian ini didapat nilai kadar air agregat halus rata - rata sebesar 2,68%, hasil ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan sedikit lebih lembab karena nilai kadar airnya lebih besar jika dibandingkan dengan absorpsinya.



Gambar 5. 8 Pengujian Kadar Air Agregat Halus
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

c. Pengujian analisa saringan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehalusan atau kekasaran agregat halus. Hasil yang didapat digunakan untuk menentukan pemenuhan ukuran distribusi partikel dengan syarat-syarat spesifikasi yang dapat dipakai dan dapat berguna untuk porositas.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Modulus kehalusan	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Rata-rata
	2,817%	2,985%	2,901%	2,901%

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus mendapatkan gradasi sehingga dapat ditentukan modulus kehalusan agregat sebesar 2,90%. Ukuran gradasi dan butiran halus yang sudah didapat dari pengujian ini akan berpengaruh terhadap kepadatan dan porositas pada beton.



Gambar 5. 9 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

d. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus bertujuan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat dalam agregat halus.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian			I	II	III
Berat Cawan	gram	W1	137,5	143	142
Berat Cawan + Benda Uji	gram	W2	437,5	443	442
Berat Benda Uji	gram	A	300	300	300
Berat Cawan + Benda Uji Kering	gram	W3	410,5	405	397,5
Berat Benda Uji Kering	gram	B	273	262	255,5
Kadar Lumpur Agregat Halus	%		9%	13%	15%
	Rata-rata %		12%		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian kadar lumpur agregat halus didapat nilai presentase kadar lumpur rata – rata yang terkandung dalam agregat halus sebesar 12%.



Gambar 5. 10 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

5.1.3 Hasil Pengujian Semen

Pengujian berat jenis semen bertujuan untuk mencari tahu massa semen per satuan volume zat padat. Pada pengujian ini semen yang digunakan adalah produk merek Semen Tiga Roda berjenis semen PCC tipe 1.

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

Keterangan	Pengujian		
	I	II	III
Massa Semen	64,03	64	64
Bacaan Awal (V1)	0,5	0,8	0,4

Keterangan	I	II	III
Bacaan Akhir (V2)	22,8	23,4	22,9
Berat Jenis (g/cm ³)	2,8713	2,8319	2,8444
Rata-rata (g/cm ³)	2,8492		

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Berdasarkan tabel di atas didapatkan berat jenis rata – rata semen sebesar 2,85 gr/cm³.

5.1.4 Hasil Pengujian Semen *Slag*

Slag activity index merupakan pengujian untuk mengetahui kinerja terak agar dapat diklasifikasikan. Semen *slag* diklasifikasikan menjadi tiga tingkat yaitu tingkat 80, tingkat 100 dan tingkat 120 (Karim et al., 2018). Data pengujian semen *slag* didapat dari pengujian yang dilakukan oleh PT Krakatau Semen Indonesia. Jika mengacu pada SNI 6385:2016, hasil dari pengujian *slag activity index* masuk ke dalam kategori semen *slag grade* 80 karena menghasilkan aktivitas sebesar 87,9% dengan batas persyaratan minimum dari ASTM C989 sebesar 70.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Slag Activity Index* Semen *Slag*

<i>Slag Activity Test</i>	<i>Control Mix (A)</i>	<i>Test Mix (B) 50% GGBFS + 50% Semen</i>	Unit	<i>Ratio (B/A)</i>	Unit	<i>Requirements ASTM C989</i>
3 Hari	28,5	13,8	MPa	48,5	%	
7 Hari	33,4	22,5	MPa	67,2	%	
28 Hari	41,2	36,2	MPa	87,9	%	Min. 70

(Sumber : PT Krakatau Semen Indonesia)

5.2 Analisa Perhitungan Proporsi Campuran Beton Normal

Perencanaan proporsi campuran beton (*mix design*) adalah upaya dalam menentukan besaran jumlah agregat, semen, air dan bahan tambah yang akan digunakan dalam 1 m³ beton untuk memperoleh kuat tekan rencana dan kemudahan dalam pengerjaan. Setelah memperoleh data uji material yang sudah dilakukan sebelumnya, didapatkan data bahan sebagai berikut.

- Kuat tekan rencana pada umur 28 hari (fc') : 25 MPa
- Semen yang digunakan : PCC tipe 1
- Berat jenis semen : 2,85
- Berat isi agregat kasar : 1407,053 kg/m³
- Modulus kehalusan agregat kasar : 7,54%

- f. Modulus kehalusan agregat halus : 2,90%
- g. Berat jenis SSD agregat kasar : 2,52
- h. Berat jenis SSD agregat halus : 2,24
- i. Absorpsi agregat kasar : 4,01%
- j. Absorpsi agregat halus : 1,42%
- k. Kadar air agregat kasar : 3,29%
- l. Kadar air agregat halus : 2,68%

Langkah selanjutnya adalah melakukan perencanaan proporsi campuran beton (*mix design*) dengan acuan SNI 7656:2012 tentang Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa, dengan perhitungan proporsi campuran beton sebagai berikut.

a. Pemilihan *slump*

Pemilihan *slump* didasari dengan jenis pekerjaan yang ingin dilakukan dan nilai *slump* boleh ditambah 25 mm untuk metode pemadatan selain dengan penggetaran.

Tabel 5. 13 Nilai *Slump* yang Dianjurkan Untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan tabel di atas, tipe konstruksi yang dikerjakan adalah perkerasan dan pelat lantai, maka nilai *slump* yang digunakan adalah 25 mm sampai 100 mm.

b. Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Berdasarkan hasil analisa saringan agregat kasar, ukuran besar butir agregat maksimum yang didapatkan adalah yang tertahan di saringan bukaan 25 mm, sehingga ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah sebesar 37,5 mm.

c. Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Perkiraan air pencampur dan kandungan udara berdasarkan dengan nilai *slump* dan nilai ukuran nominal besar butir agregat maksimum yang digunakan.

Tabel 5. 14 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-50	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

(Sumber : SNI 7656:2012)

Dikarenakan beton yang akan dibuat adalah beton tanpa tambahan udara, maka berdasarkan tabel di atas banyaknya air pencampur untuk beton tanpa tambahan udara dengan nilai *slump* 75 mm sampai 100 mm dan besar butir agregat maksimum yang dipakai 37,5 mm adalah 181 kg/m³, dengan banyaknya udara yang terperangkap pada beton sebesar 1%.

d. Pemilihan rasio air-semen

Pemilihan rasio air semen berdasarkan pada nilai kekuatan beton dengan umur 28 hari.

Tabel 5. 15 Hubungan Antara Rasio Air – Semen dan Kekuatan Beton

Kekuatan beton umur 28 hari, Mpa	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45

25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan tabel di atas, kekuatan beton umur 28 hari yang direncanakan adalah 25 MPa dan beton yang dibuat merupakan beton tanpa tambahan udara, maka nilai rasio air semen yang digunakan adalah 0,61.

e. Perhitungan kadar semen

Banyaknya semen untuk tiap satuan volume beton diperoleh dari pembagian antara kebutuhan air pencampur pada langkah 3 dan rasio air semen pada langkah 4, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kebutuhan air pencampur}}{\text{Rasio air semen}}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar Semen} &= \frac{181}{0,61} \\ &= 296,72 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka kadar semen yang digunakan adalah 296,72 kg/m³.

f. Perkiraan kadar agregat kasar

Perkiraan kadar agregat kasar berdasarkan pada ukuran nominal agregat maksimum dengan volume agregat kering oven persatuan volume terhadap modulus halus butir agregat halus.

Tabel 5. 16 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Uk. Nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus				
	2,4	2,6	2,8	2,9	3,0
12,5	0,59	0,57	0,55	0,54	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,61	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,70	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,77	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan tabel di atas, banyaknya kadar agregat kasar yang diperkirakan untuk beton dengan modulus kehalusan agregat halus 2,9 dan nilai ukuran nominal agregat maksimum 37,5 mm, menghasilkan nilai sebesar 0,70 m³ untuk setiap m³ beton. Dengan perhitungan kadar agregat kasar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{Volume agregat} \times \text{Berat isi agregat} \\ &= 0,70 \times 1407,053 \\ &= 984,937 \text{ kg}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kadar agregat kasar di atas, maka kadar agregat kasar yang digunakan adalah 984,937 kg.

g. Perkiraan kadar agregat halus

Sebelum menentukan perkiraan kadar agregat halus yang akan digunakan, menentukan terlebih dahulu perkiraan awal berat beton segar berdasarkan ukuran nominal maksimum agregat yang akan digunakan.

Tabel 5. 17 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan tabel di atas, massa 1 m³ tanpa tambahan udara yang dibuat dengan agregat berukuran nominal maksimum 37,5 mm diperkirakan terdapat udara yang terperangkap sebesar 1%. Maka kadar agregat halus yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Volume air} = \frac{181}{1000} = 0,181 \text{ m}^3$$

Volume padat semen	=	$\frac{296,721}{2,849 \times 1000}$	=	0,10414	m ³
Volume absolut agregat kasar	=	$\frac{984,937}{2,426 \times 1000}$	=	0,40599	m ³
Volume udara terperangkap	=	0,01 × 1	=	0,01	m ³ +
Jumlah volume padat selain agregat halus	=		=	0,70114	m ³
Volume agregat halus yang dibutuhkan	=	1 – 0,7011	=	0,2989	m ³

Maka, berat agregat halus yang dibutuhkan adalah

$$0,2989 \times 2,2094 \times 1000 = 660,3106 \text{ kg}$$

h. Koreksi terhadap kandungan air

Pengujian kadar air agregat kasar sebesar 3,29% dan agregat halus sebesar 2,68%. Jika proporsi campuran percobaan dengan anggapan berat yang digunakan, maka berat penyesuaian dari agregat menjadi :

$$\text{Agregat kasar (basah)} = 984,937 \times 1,0329 = 1017,33 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat halus (basah)} = 660,311 \times 1,0268 = 677,981 \text{ kg}$$

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan. Dengan demikian air pada permukaan yang diberikan adalah

$$\text{Agregat kasar} = 3,29\% - 4,01\% = -0,73\%$$

$$\text{Agregat halus} = 2,68\% - 1,42\% = 1,26\%$$

Dengan demikian, kebutuhan perkiraan air yang ditambahkan adalah

$$181 - 984,94 \times (-0,73\%) - 947,34 \times 1,26\% = 176,238 \text{ kg}$$

Maka perkiraan komposisi campuran untuk 1 m³ beton menjadi

Air (berat bersih)	=	176,24	kg
Semen	=	296,72	kg
Agregat kasar	=	1017,3	Kg
Agregat halus	=	677,98	Kg +
Jumlah	=	2168,3	kg

5.3 Pengaruh Semen *Slag* Terhadap Campuran Beton

Semen *slag* yang telah disubstitusi terhadap komposisi beton menghasilkan pengaruh berupa perubahan sifat fisis yaitu beton segar sedikit lebih mengembang yang mengakibatkan menjadi lebih banyak bila dibandingkan dengan beton segar tanpa mengganti sebagian semen menggunakan semen *slag*. Perubahan pada beton segar juga terjadi pada beton segar yang menggunakan semen *slag* lebih lengket bila dibandingkan dengan beton segar tanpa menggunakan semen *slag*, jika mengutip dari P.S et al., 2020 hal tersebut disebabkan karena kandungan kalsium oksida (CaO) pada semen *slag* yang tinggi yaitu 30% hingga 50%.

Pada benda uji silinder maupun balok juga terjadi perubahan fisik yang disebabkan oleh pengaruh semen *slag*. Benda uji beton yang disubstitusi menggunakan semen *slag* memiliki warna yang lebih cerah bila dibandingkan dengan beton tanpa menggunakan semen *slag*. Hal tersebut terjadi karena semen *slag* memiliki warna putih cerah dan berbentuk bubuk halus yang disebabkan oleh kandungan kalsium oksida (CaO) yang tinggi (Anggara & Siregar, 2024).



Gambar 5. 11 Semen *Slag*
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

5.4 Analisa Hasil Pengujian Beton Menggunakan Semen *Slag*

Setelah melalui proses pembuatan benda uji dan perawatan beton pada bak air, beton akan diuji dengan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder dan kuat lentur terhadap benda uji balok. Analisa dari hasil pengujian benda uji beton dilakukan agar dapat melihat pengaruh semen *slag* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen sebagian terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur pada beton.

5.4.1. Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Semen *Slag*



Gambar 5. 12 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui pengaruh semen *slag* terhadap kekuatan mutu beton dan untuk mengetahui komposisi ideal terkait penambahan semen *slag*. Analisa ini dilakukan sesuai dengan standar pengujian SNI 1974 : 2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Untuk mendapat nilai kuat tekan perlu dilakukan pembebanan pada benda uji sampai benda uji mendapatkan beban maksimumnya, ditandai dengan tidak ada kenaikan lagi pada pembebanan. Pada pengujian ini menggunakan 24 benda uji beton berbentuk silinder pada masing-masing umur beton 7 dan 28 hari dengan variasi kadar penambahan semen slag yaitu 0%, 40%, 50% dan 60%. Nilai mutu rencana yang akan dicapai pada pengujian ini adalah f_c' 25 MPa pada umur 28 hari. Dari pengujian kuat tekan beton yang dilakukan didapatkan hasil nilai kuat tekan beton menggunakan rumus sebagai berikut.

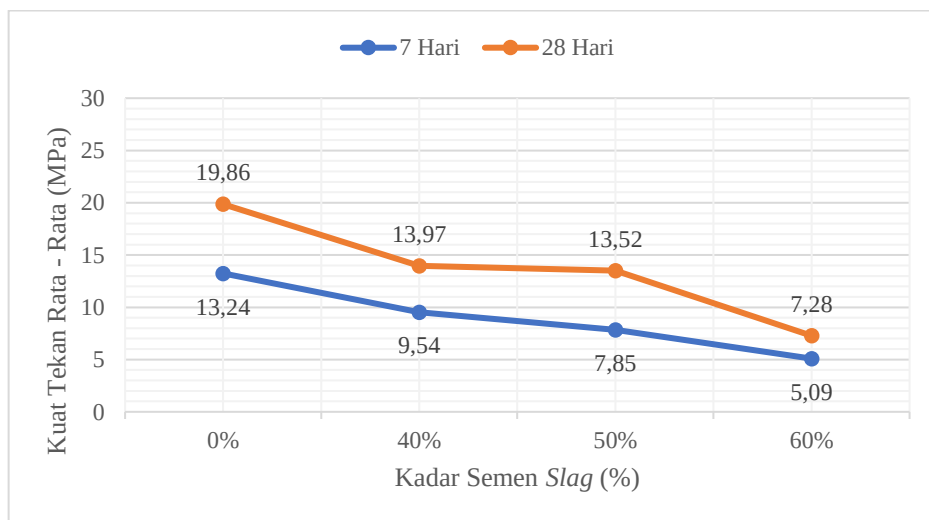
Tabel 5. 18 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton

No.	Kadar Semen <i>Slag</i>	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	
		7 Hari	28 Hari
1	0%	13,24	19,86
2	40%	9,54	13,97
3	50%	7,85	13,52
4	60%	5,09	7,28

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Beton yang dibuat atau direncanakan tidak ada yang mencapai mutu rencana yaitu f_c' 25 MPa pada umur 28 hari dan kuat tekan maksimum rata-rata hanya mencapai 19,86 MPa atau dapat dibulatkan ke 20 MPa. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kadar lumpur yang terkandung dalam agregat

terlalu tinggi yaitu 1,1% pada agregat kasar dan 12% pada agregat halus. Kadar lumpur agregat tersebut terlalu tinggi jika digunakan sebagai agregat penyusun karena jika mengacu pada SNI S-04-1989-F yang dikutip dari (Batubara, 2022), kadar lumpur maksimum yang terdapat pada agregat halus adalah 5% dan untuk kadar lumpur agregat kasar maksimum 1%. Namun perbandingan penggunaan kadar semen *slag* pada beton masih dapat dibandingkan, dari hasil yang didapat pada pengujian kuat tekan beton, maka dapat dilakukan analisa terkait pengaruh penggunaan semen *slag* sebagai pengganti sebagian semen terhadap nilai kuat tekan beton yang dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Semen *Slag* Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Pada umur benda uji beton 7 hari peningkatan kekuatan beton adalah 65% dari kuat tekan yang ingin dicapai pada umur 28 hari, namun realitanya kuat tekan beton yang dicapai hanya 19,86 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang dihasilkan ini lebih rendah sebesar 21% dari kuat tekan rencana yaitu 25 MPa. Hasil uji kuat tekan pada beton dengan presentase kadar semen *slag* 40%, 50% dan 60% dengan umur 7 hari nilai kuat tekan beton tidak mampu mencapai nilai kuat tekan beton pada kadar semen *slag* 0% dengan kuat tekan rata-rata yang dicapai yaitu 13,24 MPa, hasil ini membuktikan peningkatan kekuatan beton normal pada umur 7 hari adalah 65% dari beton yang dicapai.

Grafik di atas menunjukkan bahwa beton pada umur 28 hari dengan kadar semen *slag* 0% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 19,86 MPa, sementara beton dengan

kadar semen *slag* 40% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 13,97 MPa. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan kuat tekan sebesar 24% antara beton normal dengan beton yang menggunakan semen *slag* 40% yaitu 5,98 MPa. Namun beton dengan kadar semen *slag* 40% tidak menunjukkan perbedaan yang jauh bila dibandingkan beton dengan kadar semen *slag* 50% yang menghasilkan kuat tekan sebesar 13,52 MPa, penurunan yang terjadi hanya sebesar 2% yaitu 0,45 MPa. Akan tetapi pada beton dengan kadar semen *slag* 60% terjadi penurunan yang jauh dari beberapa kadar semen *slag* sebelumnya sebesar 25% yang hanya mendapatkan kuat tekan sebesar 7,28 MPa, hal ini menunjukkan penurunan kuat tekan sebesar 6,24 MPa jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan kadar semen *slag* 50%.

Grafik di atas juga menunjukkan bahwa beton pada umur 7 hari dengan kadar semen *slag* 0% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 13,24 MPa. Namun beton dengan kadar semen *slag* 40% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 9,54 MPa, hal tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tekan sebesar 23% bila dibandingkan dengan beton normal yaitu 3,7 MPa. Sedangkan beton dengan kadar semen *slag* 50% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 7,85 MPa, terjadi penurunan sebesar 10% yaitu 1,69 MPa bila dibandingkan beton dengan kadar semen *slag* 40%. Beton dengan kadar semen *slag* 60% hanya menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 5,09 MPa, terjadi penurunan sebesar 17% yaitu 2,76 MPa.

Hasil dari grafik dan analisa di atas menunjukkan benda uji dengan umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji umur 7 hari, hal ini terjadi karena pengaruh sifat *pozzolanic* yang menjadi perekat belum bekerja maksimal. Terjadi pola penurunan yang cukup signifikan antara beton normal dengan beton variasi kadar semen *slag* tertinggi, sehingga analisa tersebut membuktikan bahwa semakin bertambah kadar semen *slag* yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen pada beton semakin kecil juga nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hasil tersebut menunjukkan penggunaan semen *slag* dengan kadar yang tinggi tidak mampu menambah kekuatan tekan pada beton. Hasil kuat tekan tersebut berbanding terbalik dengan penelitian terdahulu yang diteliti oleh (Pratama et al., 2023) yang mengatakan semakin bertambahnya kadar semen *slag* maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan. Tetapi hasil kuat tekan yang telah diuji selaras dengan

penelitian terdahulu yang diteliti oleh (P.S et al., 2020) yang mengatakan bahwa semakin besar presentase substitusi semen *slag* akan semakin kecil kuat tekan beton yang dihasilkan. Jika mengacu pada penelitian (Paikun et al., 2021) yang menggunakan substitusi semen *slag* dengan kadar 30%, 40% dan 50%, kuat tekan optimum berada pada beton dengan menggunakan semen *slag* kadar 30%. Namun jika melihat dari hasil penelitian (Darmawan et al., 2019) yang menggunakan variasi 0%, 20%, 40% dan 60% kuat tekan optimum yang dihasilkan berada pada kadar 40% sehingga dapat dikatakan kadar ideal penggunaan semen *slag* berada pada kadar 40% ke bawah. Dari pengujian yang sudah dilakukan didapatkan karakteristik semen *slag* terhadap nilai kuat tekan menghasilkan penurunan. Penurunan tersebut dapat terjadi karena semen *slag* yang digunakan memiliki *activity index slag* dengan *grade* 80. Jika mengacu pada referensi yang ada dan membandingkan kandungan kimia antara semen *slag* dengan semen *portland* yang kandungannya diketahui dari Irawan, 2017, penurunan kuat tekan pada benda uji tersebut disebabkan karena kandungan Kalsium Oksida (CaO) yang terkandung dalam semen *slag* lebih tinggi bila dibandingkan dengan semen *portland*. Dikutip dari (Adi et al., 2011) menyebutkan bahwa penambahan kalsium oksida dapat menurunkan kuat tekan atau kualitas semen.

5.4.2. Analisa Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Menggunakan Semen *Slag*



Gambar 5. 14 Pengujian Kuat Lentur Beton Balok
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Pada penelitian ini pengujian kuat lentur beton mengacu pada SNI 4431 : 2011 tentang Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Pengujian ini dilakukan dengan memberi 2 titik pembebanan yang ditekan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) pada balok beton berukuran $150 \times 150 \times 600$ mm. Pada pengujian ini menggunakan 3 benda uji balok beton

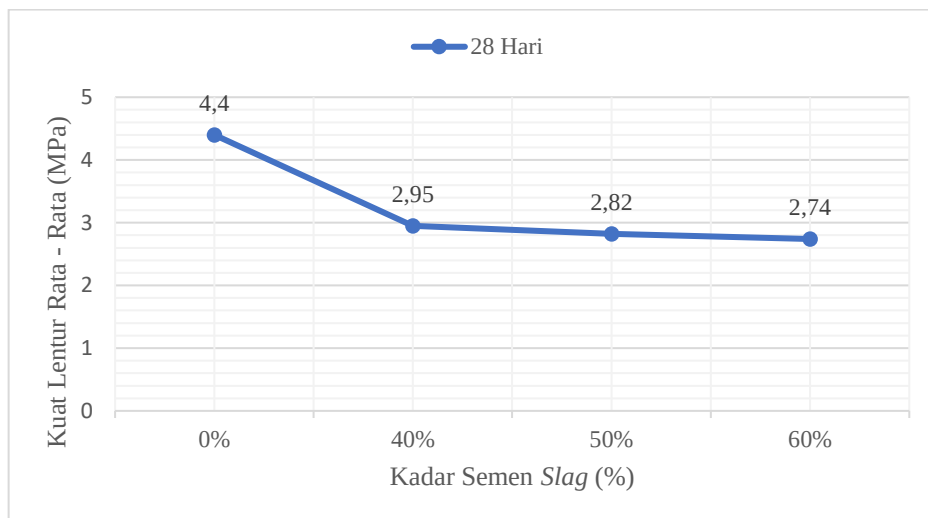
dengan kadar semen *slag* 0%, 40%, 50% dan 60% pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel 5.18.

Tabel 5. 19 Nilai Kuat Lentur Rata-Rata

No.	Kadar Semen <i>Slag</i>	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
		28 Hari
1	0%	4,40
2	40%	2,95
3	50%	2,82
4	60%	2,74

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Pada tabel di atas menunjukkan penurunan kuat lentur rata-rata yang signifikan dari kadar 0% ke 40%, tetapi kuat lentur rata-rata pada balok dengan kadar semen *slag* 40%, 50% dan 60% tidak terjadi penurunan yang signifikan. Dari hasil yang didapat pada pengujian kuat lentur beton, maka dapat dilakukan analisa terkait pengaruh penggunaan semen *slag* sebagai pengganti sebagian semen terhadap nilai kuat lentur beton yang dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Semen *Slag* Terhadap Nilai Kuat Lentur Beton
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Grafik di atas menunjukkan bahwa beton pada umur 28 hari dengan kadar semen *slag* 0% menghasilkan nilai kuat lentur sebesar 4,4 MPa, namun balok beton dengan kadar semen *slag* 40% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 2,95 MPa. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan yang jauh sebesar 29% antara beton normal dengan beton yang menggunakan kadar semen *slag* 40% yaitu 1,45 MPa. Akan tetapi beton dengan kadar semen *slag* 50% menghasilkan kuat lentur sebesar 2,82

MPa, hasil tersebut menunjukkan penurunan yang tidak terlalu jauh sebesar 2% yaitu 0,13 MPa bila dibandingkan dengan beton balok yang menggunakan kadar semen *slag* 40%. Beton balok dengan kadar 60% menghasilkan kuat lentur beton sebesar 2,74 MPa, yang mana hasil tersebut menunjukkan penurunan yang tidak terlalu jauh sebesar 2% bila dibandingkan dengan kadar semen *slag* 50% yaitu 0,08 MPa. Hasil dari pengujian kuat lentur beton menunjukkan adanya penurunan yang signifikan antara kuat lentur beton dengan penambahan semen *slag* dan beton tanpa penambahan semen *slag*. Namun pola penurunan kuat lentur beton tidak terlalu signifikan antara beton dengan kadar semen *slag* 40%, 50% dan 60%. Pengujian kuat lentur beton dengan menggunakan semen *slag* sebagai bahan pengganti sebagian semen menghasilkan penurunan kuat lentur yang rendah atau tidak dapat menambah kekuatan lentur pada beton. Analisa tersebut selaras bila dibandingkan dengan hasil dari pengujian kuat tekan pada beton.

5.4.3. Analisa Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI 2847 : 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural, korelasi nilai kuat tekan dan kuat lentur dapat didekati dengan persamaan $1\sqrt{F_c'}$. Dengan demikian hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton dapat dilihat pada perhitungan dan tabel di bawah ini.

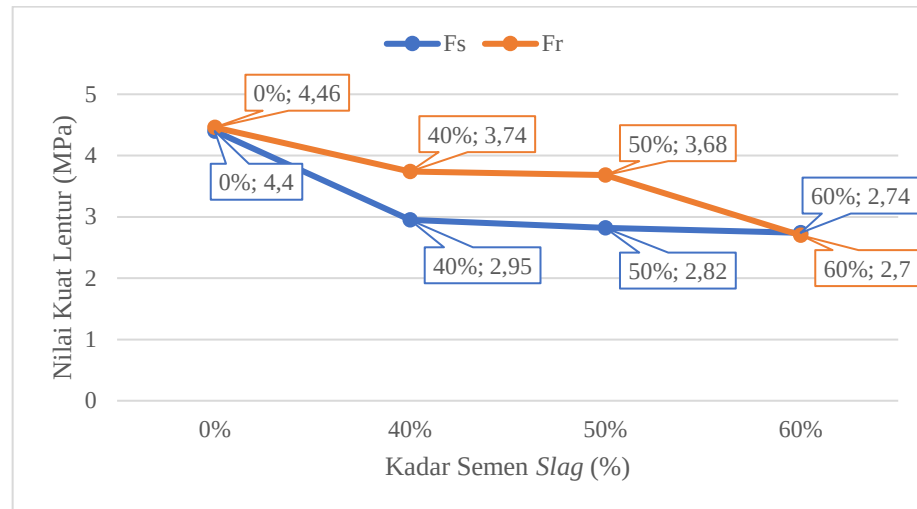
$$\begin{aligned}
 F_r &= 1\sqrt{F_c'} \\
 &= 1\sqrt{19,86} \\
 &= 4,46 \text{ MPa} \\
 K \text{ (Korelasi)} &= \frac{F_s \text{ (kuat lentur)}}{F_r \text{ (Hubungan } F_c' \text{ dan } F_s)} \\
 &= \frac{4,4}{4,46} \\
 &= 0,99 < 1
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 20 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

No.	Kadar GGBFS	F _s (MPa)	F _c ' (MPa)	Hubungan F _s dan F _c '	
				F _r (MPa)	K (1)
1	0%	4,40	19,86	4,46	0,99
2	40%	2,95	13,97	3,74	0,79

3	50%	2,82	13,52	3,68	0,77
4	60%	2,74	7,28	2,70	1,02

(Sumber : Analisa Penulis, 2024)



Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton
(Sumber : Analisa Penulis, 2024)

Korelasi menunjukkan keselarasan hasil mutu yang didapat antara benda uji silinder dengan pengujian kuat tekan dan benda uji balok dengan pengujian kuat lentur. Karena nilai koefisien korelasi beton normal adalah 1 (Suryani et al., 2018), maka dari grafik dan tabel di atas dapat dilihat korelasi antara kuat tekan dengan kuat lentur beton terjauh berada pada kadar 40% sebesar 0,79 dan pada kadar 50% sebesar 0,77. Sedangkan yang paling mendekati korelasi antara kuat tekan dan kuat lentur beton yaitu kadar 0% sebesar 0,99 dan kadar 60% sebesar 1,02.