

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bahan

Setelah melakukan pengujian-pengujian yang mengacu pada SNI. Agregat kasar dan agregat halus sebelum pembuatan benda uji harus melalui tahapan pengujian bahan untuk memastikan kualitasnya, serta agar mengurangi resiko kegagalan pada saat pengujian beton.

4.1.1 Uji Gradasi

Untuk mendapatkan butiran yang diperlukan agar optimal, tahapan yang perlu diperhatikan yaitu pengujian gradasi atau analisis saringan sesuai dengan SNI 03-1968-2011. Agregat dengan gradasi yang baik dapat meningkatkan kekuatan beton, karena partikel-partikel agregat dapat saling mengisi rongga-rongga dengan lebih baik.

a. Agregat Halus

Dengan berat awal 1000 gram analisa saringan agregat halus dengan hasil:

Tabel 4.1 Analisa Saringan Agregat Halus.

No. Saringan	Ukuran Butir (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
No. 8	2,36	126,9	12,69	12,69	87,31
No. 16	1,18	212,7	21,27	33,96	66,04
No. 30	0,6	183,0	18,30	52,26	47,74
No. 50	0,3	128,3	12,83	65,09	34,91
No. 100	0,15	253,2	25,32	90,41	9,59
No. 200	0,075	41,1	4,11	94,52	5,48
PAN		54,8	5,48	100,00	0
TOTAL		1000	Modulus Halus Butir		

Tabel 4.2 ASTM C33.

TYPE OF SAND	FINENESS MODULUS RANGE
FINE SAND	2,2 - 2,6
MEDIUM SAND	2,6 – 2,9
COARSE SAND	2,9 – 3,2

(Sumber: www.ASTM.org)

Menurut standar ASTM C33, pasir dengan modulus halus butir 2,6 diklasifikasikan sebagai pasir zona 2, yang berarti termasuk dalam kategori pasir medium.

b. Serbuk Kaca

Pengujian gradasi serbuk kaca bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran kaca yang digunakan sebagai bahan substitusi pasir dalam campuran beton. Pengujian ini dilakukan dengan metode pengayakan (*sieving*) sesuai dengan standar SNI 03-1968-2008, menggunakan seperangkat ayakan berjenjang.

Tabel 4.3 Analisa Saringan Serbuk Kaca.

No. Saringan	Ukuran Butir (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
No. 8	2,36	134,5	13,45	12,69	86,55
No. 16	1,18	196,7	19,67	33,12	66,88
No. 30	0,6	195,3	19,53	52,65	47,35
No. 50	0,3	150,6	15,06	67,71	32,29
No. 100	0,15	243,8	24,38	92,09	7,91
No. 200	0,075	56,4	5,64	97,73	2,27
PAN		22,7	2,27	100,00	0
TOTAL		1000	Modulus Halus Butir		

Berdasarkan hasil percobaan yang diperoleh, nilai modulus kehalusan tercatat sebesar 0%, sedangkan kehilangan berat selama proses pengujian juga sebesar 0%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengujian menggunakan *sieve shaker* telah memenuhi ketentuan dalam SNI 03-1750-1990, baik dari aspek modulus kehalusan maupun batas toleransi kehilangan berat yang diperbolehkan (karena $0\% < 1\%$).

c. Abu Sekam Padi

Pengujian gradasi abu sekam padi bertujuan untuk mengetahui ukuran butiran partikel abu sekam padi yang lolos saringan standar semen, khususnya saringan No. 200 (75 μ m), guna memastikan bahwa semen memiliki tingkat kehalusan yang memenuhi persyaratan standar. Tingkat kehalusan ini sangat berpengaruh terhadap proses hidrasi, kekuatan awal, dan durabilitas beton. Berikut hasil dari pengujian gradasi abu sekam padi :

Tabel 4.4 Analisa Saringan Abu Sekam Padi.

No. Saringan	Ukuran Butir (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
No. 200	0,075	9,5	9,5	9,5	91,5
PAN		91,5	91,5	100,00	0
TOTAL		100	Modulus Halus Butir		

Dari hasil pengujian abu sekam yang telah dilakukan sesuai dengan pengujian semen diperoleh hasil $9,5\% < 10\%$ dari berat yg tertahan saringan no.200, hal ini menunjukkan bahwa abu sekam padi memenuhi standar.

d. Agregat Kasar

Dengan berat awal 1000 gram analisa saringan agregat kasar memperoleh hasil:

Tabel 4.5 Analisa Saringan Agregat Kasar.

No. Saringan	Ukuran Butir (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
1"	25	141,9	14,19	14,19	85,81
3/4"	19	233,4	23,34	37,53	62,47
1/2"	12,5	366,6	36,66	74,19	25,81
3/8"	9,5	102,9	10,29	84,48	15,52
No. 4	4,75	155,2	15,52	100,00	0
TOTAL		1000	Modulus Halus Butir		

Dalam SNI ASTM C136:2012, agregat kasar yang memenuhi syarat harus dengan persentase lolos pada saringan 4,75 mm sebesar 0-10%. Maka pada pengujian gradasi agregat kasar ini telah memenuhi syarat.

4.1.2 Uji Berat Jenis

Berat jenis bahan dapat digunakan untuk menentukan kualitas bahan, karena bahan dengan berat jenis yang tidak sesuai dapat mempengaruhi kekuatan dan ketahanan beton. Hasil pengujian berat jenis dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain campuran beton, sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan dan ketahanan yang diinginkan. Berikut adalah hasil pengujian berat jenis:

a. Agregat Halus

Berikut adalah hasil pengujian berat jenis agregat halus dengan pasir 500 gram:

Tabel 4.6 Uji Berat Jenis Agregat Halus.

No.	Keterangan	Hasil
1.	Berat kering permukaan jenuh (SSD)	500 gr
2.	Berat kering oven (BK)	492 gr
3.	Berat <i>Picnometer</i> + Aquades (B)	670 gr
4.	Berat <i>Picnometer</i> + Pasir SSD + Aquades (Bt)	986 gr

Perhitungan dari rumus seperti berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Pasir} &= \frac{BK}{B+SSD-Bt} \\
 &= \frac{492}{((670+500)-986)} \\
 &= \frac{492}{184} \\
 &= 2,67 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, agregat halus tersebut dapat dikategorikan sebagai agregat normal karena nilai penyerapannya berada dalam rentang yang diizinkan, yaitu antara 1,5 - 3,8 gram.

b. Agregat Kasar

Berikut adalah hasil dengan kerikil 2000 gram dalam pengujian berat jenis agregat kasar:

Tabel 4.7 Uji Berat Jenis Agregat Kasar.

No.	Keterangan	No. 1	No. 2
1.	Berat Batu Pecah SSD (W1)	1000 gr	1000 gr
2.	Berat Agregat Kering Oven Setelah Basah (W2)	963 gr	974 gr
3.	Berat Jenis Kerikil $((W1-W2) / W1) \times 100\%$	0,037 %	0,026 %

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Benda uji No. 1} &= \frac{(W1-W2)}{W1} \times 100\% \\
 &= \frac{(1000 - 963)}{1000} \times 100\% = 3,7\% \\
 3. \text{ Benda uji No. 2} &= \frac{(W1-W2)}{W1} \times 100\% \\
 &= \frac{(1000-974)}{1000} \times 100\% = 2,6\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian pada agregat kasar didapat persentase hasil rata-rata 0,0315%, yang dimana nilai tersebut mengindikasikan bahwa agregat memiliki kemampuan penyerapan air sebesar 0,0315% dari beratnya sendiri, mulai dari kondisi kering mutlak hingga jenuh kering permukaan dan untuk agregat kasar maksimum yang disyaratkan adalah sebesar 1%.

4.1.3 Uji Kadar Lumpur

Proses pengujian kadar lumpur, digunakan alat gelas ukur untuk mengukur jumlah lumpur yang terkandung dalam pasir. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kualitas pasir sesuai dengan standar SNI 03-4142-1996. Berikut hasil yang dilakukan dalam pengujian kocokan agregat halus untuk mengetahui kandungan lumpur yang terkandung dalam agregat halus:

Tabel 4.8 Uji Kadar Lumpur.

No.	Keterangan	Hasil
1.	Tinggi Pasir Awal	140
2.	Tinggi Pasir Setelah 24 Jam	134
3.	Tinggi Lumpur Setelah 24 Jam	12

Perhitungan:

$$1. \text{ Kandungan Lumpur} = \frac{12}{(140)} \times 100 = 8,571 \%$$

$$2. \text{ Kandungan Pasir Bersih} = \frac{134}{(140)} \times 100 = 95,71\%$$

Jadi pada pasir bersih adalah $95,71\% > 70\%$ masih aman digunakan sebagai penelitian, sedangkan kandungan lumpur yang terdapat pada pasir sebesar $8,571\%$.

4.1.4 Uji Kadar Air Agregat

Uji kadar air adalah suatu metode pengujian yang digunakan untuk menentukan jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan, dalam hal ini agregat. Kadar air agregat dapat mempengaruhi sifat-sifat agregat, seperti kekuatan, stabilitas, dan ketahanan terhadap abrasi. Pengujian ini sesuai dengan SNI 1971-2011.

Tabel 4.9 Uji Kadar Air Agregat.

No.	Keterangan	No. 1	No. 2
1.	Massa Wadah + Benda Uji	1055 gr	1045 gr
2.	Berat Batu Pecah SSD (W1)	1000 gr	1000 gr
3.	Berat Agregat Kering Oven (W2)	975 gr	968 gr
4.	Berat Jenis Kerikil $((W1-W2) / W2) \times 100\%$	2,5 %	3,2 %

Perhitungan:

$$1. \text{ Benda uji No. 1} = \frac{(W1-W2)}{W2} \times 100\% \\ = \frac{(1000 - 975)}{975} \times 100\% = 2,5\%$$

$$2. \text{ Benda uji No. 2} = \frac{(W1-W2)}{W2} \times 100\% \\ = \frac{(1000-968)}{968} \times 100\% = 3,2\%$$

Dari hasil pengujian kadar air di dapat hasil rata-rata $2,85\%$, yang dimana nilai tersebut mengindikasikan bahwa agregat memiliki kemampuan penyerapan air sebesar $2,85\%$, mulai dari kondisi kering mutlak hingga jenuh kering permukaan dengan syarat maksimal penyerapan sebesar 5% , maka agregat dinyatakan memenuhi persyaratan.

4.1.5 Uji Konsistensi Normal

Setelah melakukan pengujian konsistensi normal untuk mengetahui kekentalan pasta semen guna mengetahui kondisi optimal dalam pembuatan beton, dapat diperoleh dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10 Uji Konsistensi Normal.

Variasi (ASP + SK)	Berat Semen	Berat Abu Sekam Padi	Presentase Air (%)	Penurunan Jarum
V0 (0%+0%)	300	0%	26	7
	300	0%	27	10
	300	0%	28	12
V1 (5%+5%)	285	5%	26	7
	285	5%	27	10
	285	5%	28	12
V2 (10%+7,5%)	270	10%	27	6
	270	10%	28	10
	270	10%	29	12
V3 (15%+10%)	255	15%	27	6
	255	15%	28	10
	255	15%	29	12
V4 (20%+12,5%)	240	20%	28	7
	240	20%	29	10
	240	20%	30	12

Perhitungan:

$$1. \quad 27 + \frac{10-8}{12-8} = 27 + \frac{2}{4} = 27,5$$

Hasil konsistensi normal variasi 0 = 27,5%

$$2. \quad 27 + \frac{10-8}{12-8} = 27 + \frac{2}{4} = 27,5$$

Hasil konsistensi normal variasi 1 = 27,5%

$$3. \quad 28 + \frac{10-8}{12-8} = 28 + \frac{2}{4} = 28,5$$

Hasil konsistensi normal variasi 2 = 28,5%

$$4. \quad 28 + \frac{10-8}{12-8} = 28 + \frac{2}{4} = 28,5$$

Hasil konsistensi normal variasi 3 = 28,5%

$$5. \quad 29 + \frac{10-8}{12-8} = 29 + \frac{2}{4} = 29,5$$

Hasil konsistensi normal variasi 4 = 29,5%

Dari perhitungan diatas menyatakan bahwa setiap penambahan abu sekam padi untuk substitusi semen membutuhkan air lebih banyak. Jadi, hasil dari pengujian ini memenuhi syarat, karena nilai tersebut berada dalam rentang yang umum digunakan yaitu 23% - 32%, menurut SNI 15-7064-2004.

4.1.6 Uji Waktu Pengikatan Semen

Hasil pengujian waktu ikat semen digunakan untuk menentukan kualitas semen dan memastikan bahwa semen tersebut memenuhi standar yang relevan. Berikut hasil setelah menentukan waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen untuk mengikat dan mengeras dengan suhu air 28°C:

Tabel 4.11 Uji Waktu Pengikatan Semen.

No.	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan Jarum (mm)				
		V0 %	V1 5%	V2 10%	V3 15%	V4 20%
1.	15	45	42	37	42	40
2.	30	38	41	32	39	32
3.	45	35	40	24	34	25
4.	60	32	37	23	25	22
5.	75	30	36	21	22	21
6.	90	25	30	20	20	20

Hasil tersebut telah menunjukkan bahwa uji waktu ikat semen optimal dengan 90 menit, yang berarti telah memenuhi syarat.

4.1.7 Pengujian *Slump*

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar yang berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan beton di lapangan, seperti

pengecoran, pemadatan, dan perataan. Uji *slump* beton dilakukan sesuai dengan SNI 1972:2008 mengenai metode pengujian *slump*. Berikut adalah hasil dari pengujian tersebut :

Tabel 4.12 Pengujian *Slump*.

No	Variasi (Abu Sekam Padi +Serbuk Kaca)	Umur	Nilai <i>Slump</i>	Hasil
1	V0 (0%+0%)	7	13	Memenuhi
		7	13	Memenuhi
		7	13	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
2	V1 (5%+5%)	7	14	Memenuhi
		7	14	Memenuhi
		7	14	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
		28	12	Memenuhi
3	V2 (10%+7,5%)	7	13	Memenuhi
		7	13	Memenuhi
		7	13	Memenuhi
		28	14	Memenuhi
		28	14	Memenuhi
		28	14	Memenuhi
4	V3 (15%+10%)	7	16	Memenuhi
		7	16	Memenuhi
		7	16	Memenuhi
		28	13	Memenuhi
		28	13	Memenuhi

No	Variasi (Abu Sekam Padi +Serbuk Kaca)	Umur	Nilai <i>Slump</i>	Hasil
		28	13	Memenuhi
5	V4 (20%+12,5%)	7	14	Memenuhi
		7	14	Memenuhi
		7	14	Memenuhi
		28	15	Memenuhi
		28	15	Memenuhi
		28	15	Memenuhi

Hasil dari pengujian slump test menunjukkan hasil memenuhi dari yang direncanakan yaitu 14 ± 2 cm.

4.2 Pengujian Benda Uji

Pengujian beton untuk kuat tekan dan daya serap berfungsi untuk menentukan kekuatan beton dalam menahan beban tekan dan kemampuan beton dalam menyerap air dan zat lainnya, sehingga dapat mengontrol kualitas beton dan memastikan bahwa beton memenuhi standar yang ditetapkan serta memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan.

4.2.1 Uji Kuat Tekan

Pada setiap variasi, disiapkan tiga benda uji beton. Perhitungan standar deviasi dilakukan dari hasil uji kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari. Rumus yang digunakan untuk menentukan standar deviasi adalah sebagai berikut:

Selisih hasil uji kuat tekan yang baik menurut SNI 2847:2019 tercantum dalam Pasal 26.12.3.1, yaitu:

1. Setiap rata-rata tiga spesimen pengujian kekuatan tekan yang dilakukan secara berurutan, dengan kekuatan tekan sama dengan atau melebihi.
2. Selisih maksimal 3,5 MPa untuk $f'c \leq 35$ MPa.
3. Selisih maksimal 10 % (hasil individu tidak boleh $< 0,90 \times f'c$) untuk $f'c > 35$ Mpa

Jika 1 benda uji tidak memenuhi batas individu, maka hasil set tersebut

dianggap gagal dan harus dilakukan:

1. **Pengujian ulang** menggunakan **benda uji cadangan** yang diambil bersamaan dengan benda uji awal.
2. Jika tidak ada benda uji cadangan, maka mutu beton dianggap **tidak memenuhi persyaratan** dan harus dianalisis (evaluasi struktural atau koreksi mutu beton di lapangan)

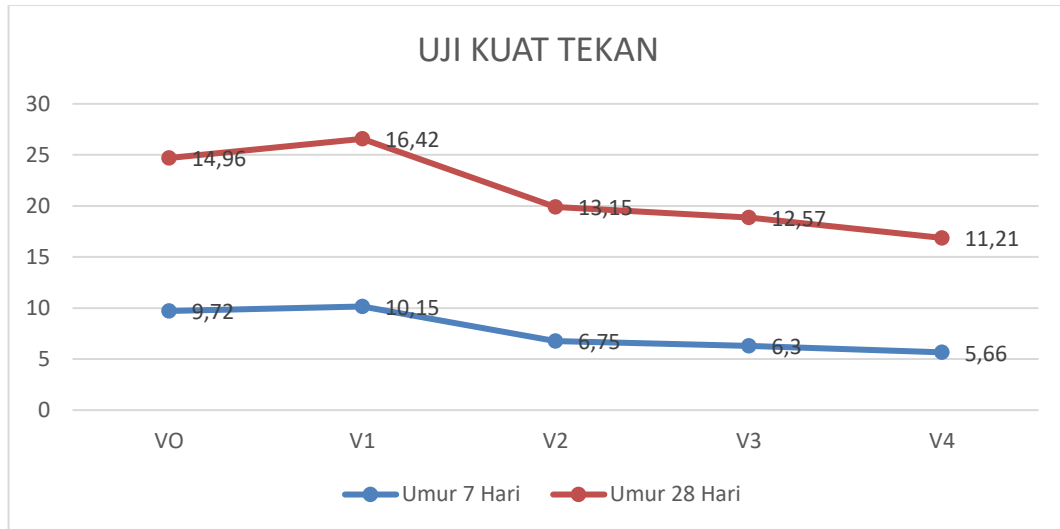
$$\text{Mutu Beton} = \frac{\text{Hasil Kuat Tekan}}{\text{Luas Penampang}} \times 10 = \dots \text{ MPa}$$

Tabel 4.13 Pengujian Kuat Tekan.

No	Variasi	Benda Uji	Hasil Kuat Tekan (MPa) 7 Hari	Rata-Rata (MPa)	Hasil Kuat Tekan (MPa) 28 Hari	Selisih Kuat Tekan Rencana ($\pm 3,5$ MPa dari 14,5 MPa)	Hasil Selisih Antar Benda Uji ($\pm 3,5$ MPa)	Rata-Rata (MPa)	Syarat 1
1	V0 (Abu Sekam 0%, Serbuk Kaca 0%)	1	8,38	9,72	12,74	1,76 (OK)	(NO)	14,96	OK
		2	11,16		16,99	2,49 (OK)	(OK)		
		3	9,62		15,17	0,67 (OK)	(OK)		
2	V1 (Abu Sekam 5%, Serbuk Kaca 5%)	1	9,17	10,15	16,76	2,26 (OK)	(OK)	16,42	OK
		2	12,40		16,99	2,49 (OK)	(OK)		
		3	8,89		15,51	0,99 (OK)	(OK)		
3	V2 (Abu Sekam 10%, Serbuk Kaca 7,5%)	1	6,79	6,75	12,85	1,64 (OK)	(OK)	13,15	OK
		2	7,13		14,44	0,10 (OK)	(OK)		
		3	6,34		12,17	2,30 (OK)	(OK)		
4	V3 (Abu Sekam 15%, Serbuk Kaca 10%)	1	6,17	6,30	13,08	1,45 (OK)	(OK)	12,57	OK
		2	6,06		11,95	2,54 (OK)	(OK)		
		3	6,68		12,68	1,83 (OK)	(OK)		
5	V4 (Abu Sekam 20%, Serbuk Kaca 12,5%)	1	5,38	5,66	10,76	3,77 (NO)	(OK)	11,21	OK
		2	5,66		11,38	3,15 (OK)	(OK)		
		3	5,94		11,49	3,00 (OK)	(OK)		

Keterangan:

- OK : Memenuhi Syarat Kuat Tekan Rencana
- NO : Tidak Memenuhi Syarat Kuat Tekan Rencana



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton.

Jadi pada penelitian beton dengan substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca dengan mutu 14,5 MPa menunjukkan hasil dengan kuat tekan V0 sebesar 14,96 MPa, V1 sebesar 16,42 MPa, V2 sebesar 13,15 MPa, V3 sebesar 12,57 MPa, dan V4 11,21 MPa, berdasarkan hasil yang didapat bahwa terjadi peningkatan pada V1 dengan campuran abu sekam 5% dan serbuk kaca 5%. Namun terjadi penurunan kuat tekan pada V2, V3, V4 terhadap V0 yaitu sebesar 1,81 MPa, 2,39 MPa, dan 3,75 MPa.

4.2.2 Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air digunakan untuk menentukan kemampuan beton dalam menyerap air, yang dapat mempengaruhi risiko kerusakan beton. Perhitungan daya serap air menggunakan rumus berikut:

$$\text{- Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

Keterangan:

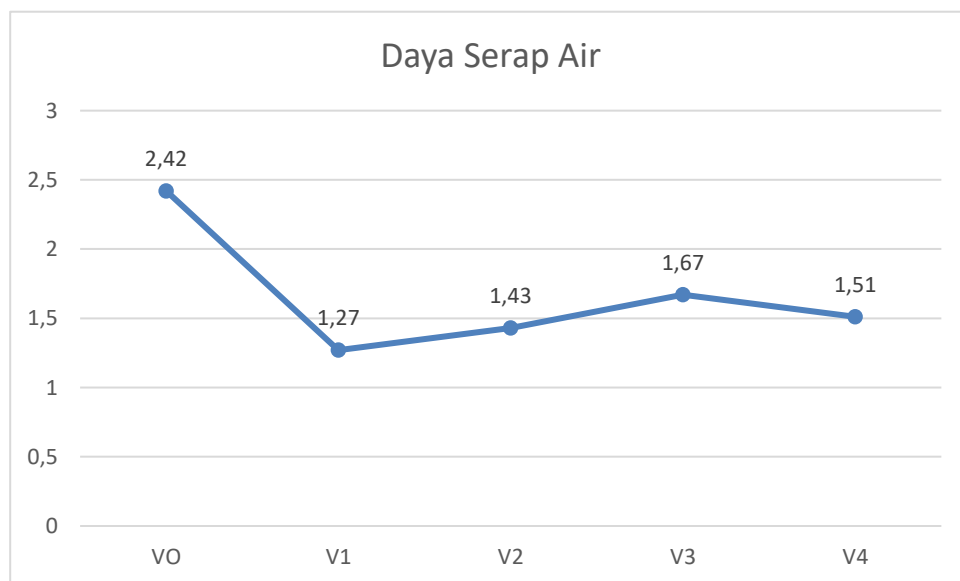
A = Berat Basah

B = Berat Kering

Tabel 4.14 Uji Daya Serap Air.

No.	Variasi	Benda Uji	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Selisih (gr)	Presentase Penyerapan Air (%)	Rata-Rata	Memenuhi / Tidak
1	VO (Abu Sekam 0%, Serbuk Kaca 0%)	1	12.060	11.770	290	2,46	2,42	Memenuhi
		2	12.175	11.890	285	2,39		
		3	12.190	11.900	290	2,43		
2	V1 (Abu Sekam 5%, Serbuk Kaca 5%)	1	11.765	11.615	150	1,29	1,27	Memenuhi
		2	11.710	11.560	150	1,29		
		3	11.705	11.560	145	1,25		
3	V2 (Abu Sekam 10%, Serbuk Kaca 7,5%)	1	11.900	11.735	165	1,40	1,43	Memenuhi
		2	11.675	11.510	165	1,43		
		3	11.935	11.760	165	1,48		
4	V3 (Abu Sekam 15%, Serbuk Kaca 7,5%)	1	11.760	11.520	240	2,08	1,67	Memenuhi
		2	11.705	11.565	140	1,21		
		3	11.745	11.545	200	1,73		

No.	Variasi	Benda Uji	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Selisih (gr)	Presentase Penyerapan Air (%)	Rata-Rata	Memenuhi / Tidak
	10%)							
5	V4 (Abu Sekam 20%, Serbuk Kaca 12,5%)	1	11.655	11.475	180	1,56	1,51	Memenuhi
		2	11.545	11.380	165	1,45		
		3	11.580	11.405	175	1,53		



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Daya Serap Air.

Pada pengujian daya serap beton ini telah memenuhi syarat sesuai pada SNI 03-2834-2000, beton yang baik memiliki daya serap air kurang dari 5%.

4.3 Perhitungan Biaya Pembuatan

Perhitungan biaya pembuatan beton 14,5 MPa di wilayah Semarang disesuaikan dengan harga satuan material lokal,. Komponen utama dalam biaya ini meliputi harga semen, agregat halus dan kasar, air, serta bahan tambahan abu sekam padi

dan serbuk kaca. Selain itu, kondisi geografis dan ketersediaan material di Semarang turut mempengaruhi estimasi total biaya pembuatan beton. Berikut perhitungan biaya pembuatan beton 14,5 MPa per m³.

Tabel 4.15 Analisis Harga Beton 14,5 MPa Konvensional.

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Agregat Kasar No.4	0,6770741	m ³	Rp.360.197,00	Rp.243.880,05
Pasir	0,5286929	m ³	Rp.384.800,00	Rp.203.441,01
Semen	307,6	kg	Rp.1.410,00	Rp.433.716,00
Air	250	liter	Rp.200,00	Rp.50.000,00
TOTAL				Rp.931.037,06

Tabel 4.16 Analisis Harga Beton 14,5 MPa V1.

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Agregat Kasar No.4	0,6770741	m ³	Rp.360.197,00	Rp.243.880,05
Pasir	0,4969713	m ³	Rp.384.800,00	Rp.191.234,55
Semen	292,22	kg	Rp.1.410,00	Rp.412.030,20
Air	250	liter	Rp.200,00	Rp.50.000,00
Abu Sekam Padi	15,38	kg	Rp.1.380,00	Rp.21.224,40
Serbuk Kaca	0,0264346	m ³	Rp.276.000,00	Rp.7.295,96
TOTAL				Rp.927.699,57

Tabel 4.17 Analisis Harga Beton 14,5 MPa V2.

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Agregat Kasar	0,6770741	m ³	Rp.360.197,00	Rp.243.880,05

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
No.4				
Pasir	0,4863974	m ³	Rp.384.800,00	Rp.183.096,91
Semen	276,84	kg	Rp.1.410,00	Rp.368.658,60
Air	250	liter	Rp.200,00	Rp.50.000,00
Abu Sekam Padi	30,76	kg	Rp.1.380,00	Rp.42.448,80
Serbuk Kaca	0,039652	m ³	Rp.276.000,00	Rp.10.943,39
TOTAL				Rp.914.856,19

Tabel 4.18 Analisis Harga Beton 14,5 MPa V3.

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Agregat Kasar No.4	0,6770741	m ³	Rp.360.197,00	Rp.243.880,05
Pasir	0,4748236	m ³	Rp.384.800,00	Rp.183.096,91
Semen	261,46	kg	Rp.1.410,00	Rp.368.658,60
Air	250	liter	Rp.200,00	Rp.50.000,00
Abu Sekam Padi	46,14	kg	Rp.1.380,00	Rp.63.673,20
Serbuk Kaca	0,0528693	m ³	Rp.276.000,00	Rp.14.591,92
TOTAL				Rp.923.900,68

Tabel 4.19 Analisis Harga Beton 14,5 MPa V4.

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Agregat Kasar No.4	0,6770741	m ³	Rp.360.197,00	Rp.243.880,05
Pasir	0,4652497	m ³	Rp.384.800,00	Rp.179.028,09
Semen	246,08	kg	Rp.1.410,00	Rp.346.972,80

Material	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Air	250	liter	Rp.200,00	Rp.50.000,00
Abu Sekam Padi	61,52	kg	Rp.1.380,00	Rp.84.897,60
Serbuk Kaca	0,0660866	m ³	Rp.276.000,00	Rp.18.239,90
TOTAL				Rp. 922.001,24



Gambar 4.3 Grafik Analisis Perbandingan Harga Beton f'c 14,5 MPa

Berdasarkan hasil perhitungan biaya pembuatan beton mutu 14,5 MPa yang mengacu pada Harga Satuan Dasar (HSD) Kota Semarang tahun 2025, diketahui bahwa biaya beton konvensional per 1 m³ sebesar Rp.931.037,06. Sementara itu, pada beton inovatif, variasi dengan harga terendah terdapat pada variasi ke-2, yaitu sebesar Rp.914.856,19 per 1 m³. Setelah dilakukan analisis perbandingan biaya antara kedua jenis beton tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan material inovatif mampu menekan biaya produksi, dengan selisih penghematan sebesar Rp.16.180,87 per 1 m³. Hal ini menunjukkan bahwa beton inovatif lebih ekonomis

dibandingkan beton konvensional, sehingga dapat menjadi alternatif yang layak dipertimbangkan dalam upaya efisiensi biaya pada proyek konstruksi.

4.4 Pembahasan Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan terhadap beton dengan substitusi bahan menggunakan abu sekam padi dan serbuk kaca menunjukkan hasil yang menjanjikan.

1. Hasil pengujian bahan menunjukkan bahwa semua material yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI. Agregat halus dan kasar yang diuji termasuk dalam kategori agregat normal dengan kemampuan penyerapan air yang sesuai standar. Pada pengujian semen, khususnya uji konsistensi normal dan waktu ikat, ditemukan bahwa semakin tinggi proporsi abu sekam padi sebagai substitusi, semakin besar kebutuhan air untuk mencapai konsistensi yang sesuai standar. Jika kadar air tidak ditingkatkan, maka kualitas benda uji tidak akan memenuhi standar yang dipersyaratkan. Dengan demikian, penambahan abu sekam padi mempengaruhi kebutuhan air dalam proses pembuatan beton.
2. Pada penelitian terdahulu dengan umur beton 28 hari, oleh Anwar C., (2020). Menghasilkan uji kuat tekan dengan substitusi pecahan kaca sebagai bahan pengganti pasir dengan hasil rata-rata, variasi 0%, 5%, dan 10%, secara berurutan 18,62 MPa, 18,98 MPa, dan 19,78 MPa, serta penyerapan air sebesar 2,63%, 2,39%, dan 2,10%. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sari Utama Dewi, Dkk, (2024). Diperoleh dari uji kuat tekan beton dengan penambahan abu sekam padi, variasi 0%, 5,5%, 7,5%, dan 10% memiliki kuat tekan sebesar 25,30 MPa, 18,83 MPa, 18,34 MPa, dan 16,48 MPa.

Pengujian beton mutu 14,5 MPa dengan penambahan abu sekam padi substitusi semen 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, serta serbuk kaca sebagai substitusi parsial agregat halus 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% ini menghasilkan kuat tekan beton umur 28 hari nilai rata-rata variasi V0 14,96 MPa, V1 16,42 MPa, V2 13,15 MPa, V3 12,57 MPa, dan V4 11,21 MPa. Dengan hasil daya serap air rata-rata 2,42%, 1,27%, 1,43%, 1,67%, dan 1,51%. Selisih hasil dengan penelitian terdahulu sangat jauh pada pengujian kuat tekan beton, ini dikarenakan perbedaan dalam proporsi campuran beton (rasio semen, pasir,

agregat kasar, air, dan bahan substitusi tambahan). Namun terjadi keunggulan dalam daya serap air dibanding dengan penelitian terdahulu rata-rata penyerapan air yang dilakukan oleh Anwar C., (2020). Dengan hasil 2,37% dan beton inovasi dari penelitian substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca ini rata-rata hasil penyerapan sebesar 1,66%, yang dimana selisih dari kedua penelitian yaitu 0,71% penurunan terhadap daya serap air.

Pencampuran bahan-bahan untuk mendapatkan nilai optimal yang sesuai. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan optimum sebesar 16,42 MPa dicapai pada campuran dengan 5% abu sekam padi dan 5% serbuk kaca setelah 28 hari. Sementara itu, penambahan abu sekam padi melebihi 5% justru menyebabkan penurunan kuat tekan yang signifikan, menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi dalam jumlah tertentu perlu dikontrol untuk mencapai hasil yang optimal dalam peningkatan kualitas beton. Banyaknya presentase serbuk kaca juga dapat menurunkan kuat tekan, namun dapat meningkatkan daya penyerapan air yang rendah.

3. Penambahan abu sekam padi dan serbuk kaca pada beton sangat mempengaruhi kuat tekan dan daya serap air. Penambahan keduanya membuat kuat tekan semakin menurun dibandingkan dengan penelitian terdahulu, ini disebabkan oleh beberapa faktor yang diantaranya seperti reaksi kimia, abu sekam padi yang mengandung silika sama dengan semen dapat meningkatkan kekuatan beton karena reaksi hidrasi yang terjadi antara semen dan air, namun jika reaksi ini tidak terkendali, dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton karena terbentuknya struktur yang tidak stabil atau bahkan retak. Rasio air semen juga menjadi tidak optimal ketika adanya penambahan bahan abu sekam padi dan serbuk kaca pada pembuatan beton, hal ini juga menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Serbuk kaca yang memiliki permukaan butiran yang halus dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dan agregat, sehingga menyebabkan penurunan kekuatan beton.

Reaksi antara abu sekam padi, serbuk kaca, dan semen dapat menyebabkan perubahan struktur mikro beton dengan mengisi pori-pori dan mempengaruhi porositas. Kualitas material substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca ini juga

dapat mempengaruhi hasil akhir beton, jika kualitas tidak baik maka akan terjadi penurunan kuat tekan beton. Namun pada pengujian daya serap air dibandingkan dengan penelitian terdahulu, penelitian dengan substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca ini menghasilkan daya serap yang rendah, pengaruh dari bahan ini dapat meningkatkan kepadatan beton dan mengurangi porositas, dengan mengisi pori-pori dalam beton, sehingga mengurangi ruang kosong yang dapat diisi oleh air, serta serbuk kaca juga dapat membantu meningkatkan ketahanan beton terhadap kelembaban.

4. Dalam upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam proyek konstruksi, salah satu aspek yang sangat penting untuk dipertimbangkan adalah biaya produksi material bangunan. Penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca dalam campuran beton mutu 14,5 MPa dapat mengurangi biaya produksi. Berdasarkan analisis harga satuan dasar Kota Semarang 2025, beton konvensional berharga Rp. 931.037,06/m³, sedangkan beton inovasi dengan abu sekam padi dan serbuk kaca variasi V2 memiliki biaya produksi sebesar Rp. 914.856,19/m³. Ini menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan tambahan dapat mengurangi biaya produksi beton secara signifikan, sehingga membuat beton inovasi lebih ekonomis dan efisien dibandingkan dengan beton konvensional. Dengan demikian, penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca tidak hanya meningkatkan kualitas beton, tetapi juga dapat membantu mengurangi biaya produksi, sehingga lebih menguntungkan bagi industri konstruksi.