

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

Dalam bab ini merupakan hasil dari penyajian data pengujian yang sudah disesuaikan dengan standar yang berlaku di bab sebelumnya.

4.1.1 Hasil Pengujian Agregat

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium PT. Jaya Beton Indonesia. Material seperti agregat kasar alami dan agregat halus alami yang digunakan dalam penelitian berasal dari PT Jaya Beton Indonesia yang dipasok dari beberapa lokasi pemasok material seperti Cikadu. Maka dari itu hasil pengujian agregat kasar dan halus alami akan menggunakan hasil pengujian dari PT Jaya Beton, sedangkan hasil pengujian agregat buatan dilakukan mandiri sesuai dengan standar berlaku di bab sebelumnya.

4.1.1.1 Hasil Analisa Saringan

Pada uji analisa saringan ini akan menggunakan standar SNI ASTM C136-2012 pada pengujian agregat buatan. Sedangkan pada agregat kasar dan halus alami akan menggunakan standar yang digunakan oleh PT Jaya Beton. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

- a. Agregat kasar alami

Tabel 4 1 Tabel Analisa Saringan Agregat Kasar Alami

Ukuran Saringan	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan	Kumulatif	Kumulatif	Spesifikasi	
	Berat	Persentase	Berat	Persentase		Persentase	Persentase	Min	Max
	Tertahan	Tertahan	Tertahan	Tertahan		Tertahan	Lolos		
(mm)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(%)			
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
20	123.00	6.15	142.00	7.10	6.63	6.63	93.38	90.00	100.00
12.7	1489.00	74.45	1524.00	76.20	75.33	81.95	18.05	0.00	100.00
10	254.00	12.70	212.00	10.60	11.65	93.60	6.40	0.00	10.00
5	112.00	5.60	99.00	4.95	5.28	98.88	1.13	0.00	5.00
2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13	0.00	5.00
1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1.13		
Pan	22.00	1.10	23.00	1.15	1.13	100.00	0.00		
Total	2000.00		2000.00						
FM						7.75			

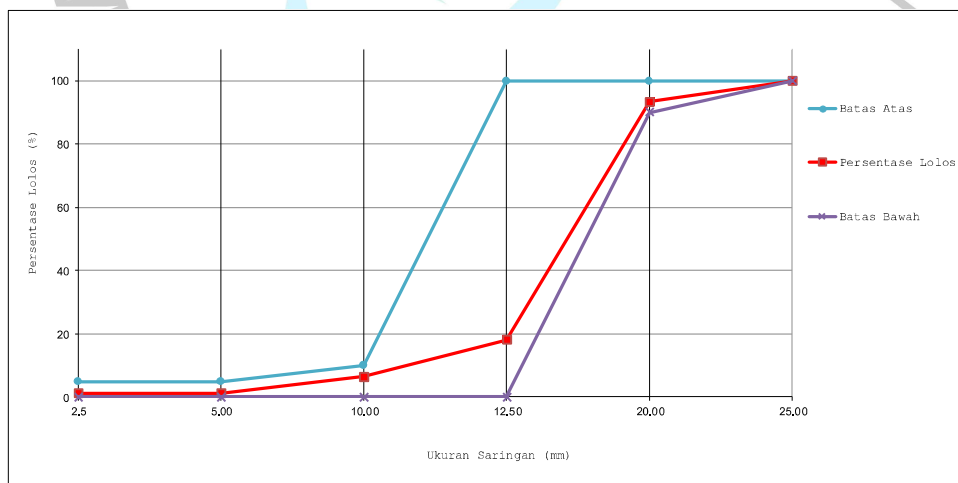
Sumber : PT Jaya Beton

Pada tabel 4.1 didapatkan derajat kehalusan agregatnya berada di angka 7,75, dimana hal tersebut belum memenuhi standar dari SNI-04-1989-F, yaitu 6.0-7.1.

Tabel 4 2 Tabel Persentase Agregat Kasar Lolos Saringan

Ukuran Saringan (mm)	2.5	5.00	10.00	12.50	20.00	25.00
Batas Atas	5	5	10	100	100	100
Persentase Lolos	1.1	1.1	6.4	18.1	93.4	100.0
Batas Bawah	0	0	0	0	90	100

Sumber : PT Jaya Beton



Gambar 4. 1 Grafik Interpretasi Persentase Kumulatif Lolos Saringan Agregat Kasar

Sumber : PT Jaya Beton

Berdasarkan hasil uji yang didapat dari Gambar 4.1 gradasi sampel memenuhi standar atas dan bawah. Hal tersebut karena hasil grafik persentase lolos tidak berada di atas batas atas dan di bawah batas bawah, grafik tersebut berada di antara batas atas dan batas bawah grafik.

b. Agregat kasar buatan

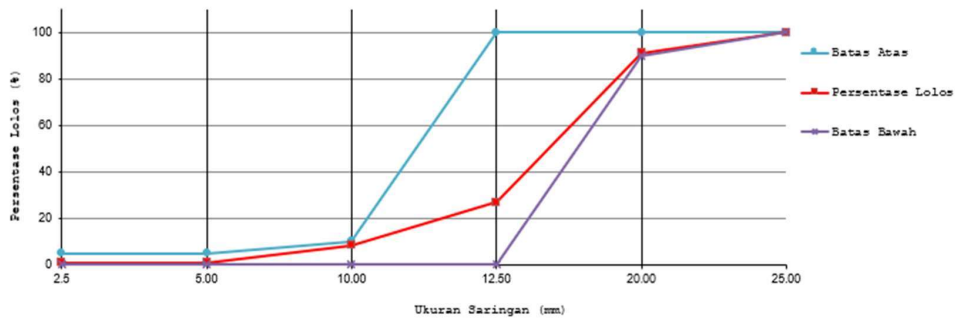
Tabel 4 3 Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Buatan

Ukuran Saringan (mm)	Test I		Test II		Rata-rata Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Lolos (%)	Spesifikasi (%)	
	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)				Min	Max
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
20	125.00	6.25	115.00	11.23	8.74	8.74	91.26	90.00	100.00
12.7	1500.00	75.00	549.00	53.61	64.31	73.05	26.95	0.00	100.00
10	250.00	12.50	250.00	24.41	18.46	91.50	8.50	0.00	10.00
5	100.00	5.00	100.00	9.77	7.38	98.89	1.11	0.00	5.00
2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.89	1.11	0.00	5.00
1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.89	1.11		
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.89	1.11		
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.89	1.11		
0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.89	1.11		
Pan	25.00	1.25	10.00	0.98	1.11	100.00	0.00		
Total	2000.00		1024.00						
FM						7.67			

Dari Tabel 4.3 derajat kehalusan (FM) berada pada 7.67, hal tersebut menyatakan bahwa derajat kehalusan agregat buatan belum memenuhi standar yang nilainya. Oleh karena itu dibuatlah tabel hasil lolos saringan agregat berdasarkan pengujian sebelumnya.

Tabel 4 4 Hasil Lolos Saringan Agregat Kasar Buatan

Ukuran Saringan (mm)	2.5	5.00	10.00	12.50	20.00	25.00
Batas Atas	5	5	10	100	100	100
Persentase Lolos	1.1	1.1	8.5	27.0	91.3	100.0
Batas Bawah	0	0	0	0	90	100



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Uji Lolos Saringan

Berdasarkan gambar di atas menunjukkan bahwa gradasi agregat kasar buatan memenuhi syarat gradasi. Hal ini dibuktikan pada hasil uji yang tidak melawati batas atas dan bawah standar uji.

c. Agregat halus

Tabel 4 5 Tabel Analisa Saringan Agregat Halus Alami

Ukuran Ayakan (mm)	Percobaan 1		Percobaan 2		Rata-Rata Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Tertahan (%)	Kumulatif Persentase Lolos (%)
	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)			
10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
5	25.0	2.50	101.00	10.10	6.30	6.30	93.70
2.5	144.0	14.40	120.00	12.00	13.20	19.50	80.50
1.2	321.0	32.10	185.00	18.50	25.30	44.80	55.20
0.6	115.0	11.50	254.00	25.40	18.45	63.25	36.75
0.3	203.0	20.30	164.00	16.40	18.35	81.60	18.40
0.15	127.0	12.70	150.00	15.00	13.85	95.45	4.55
Pan	65.00	6.50	26.00	2.60	4.55	100.00	0.00
Total	1000.00	100.00	1000.00	100.00			
FM						3.11	

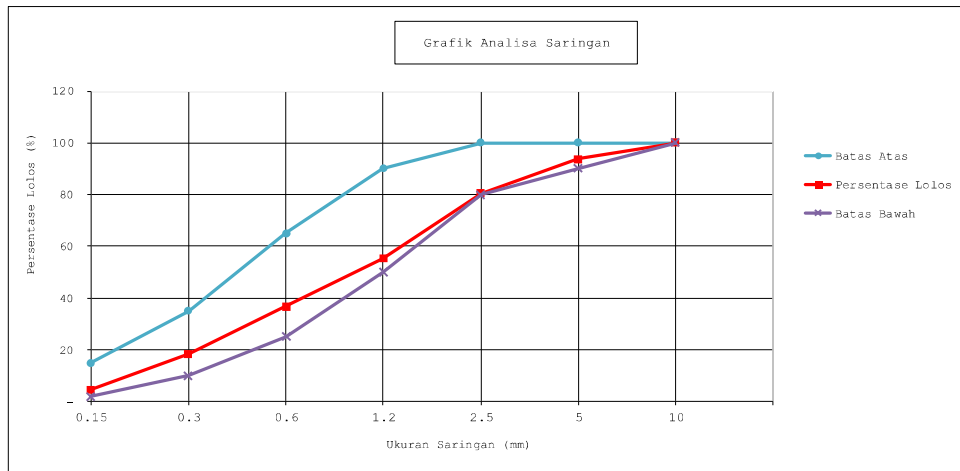
Sumber : PT Jaya Beton

Dari Tabel 4.5 hasil uji analisa saringan didapatkan angka 3.11, dimana angka tersebut memenuhi standar, yaitu 1.5-3.8.

Tabel 4 6 Hasil Persentase Kumulatif Lolos Saringan Agregat Halus

Ukuran Ayakan (mm)	30	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
% Lolos Kumulatif					100.0	93.7	80.5	55.2	36.8	18.4	4.6
Standard					100	90-100	80-100	50-90	25-65	10-35	2-15
Ukuran Saringan (mm)	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10				
Batas Atas	15	35	65	90	100	100	100				
Persentase Lolos	4.6	18.4	36.8	55.2	80.5	93.7	100.0				
Batas Bawah	2	10	25	50	80	90	100				

Sumber : PT Jaya Beton



Gambar 4. 3 Grafik Interpretasi Kumulatif Lolos Saringan Agregat Halus

Sumber : PT Jaya Beton

4.1.1.2 Hasil Analisa Berat Jenis dan Daya Serap Air

Pengujian Berat Jenis dan Daya Serap air ini bertujuan untuk menentukan kebutuhan air saat pembuatan beton nantinya. Pengujian ini menggunakan SNI 1969-2008 pada pengujian agregat buatan. Sedangkan pada agregat kasar dan halus alami akan menggunakan standar yang digunakan oleh PT Jaya Beton.

a. Agregat Kasar Alami

Tabel 4 7 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar Alami

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat keranjang (A)	gr	527.00	527.00
2.	Berat sample dan keranjang (B)	gr	2527.00	2527.00
3.	Berat sample (C=B-A)	gr	2000.00	2000.00
4.	Berat keranjang dalam air (D)	gr	365.00	365.00
5.	Berat sample dan keranjang dalam air (E)	gr	1575.50	1583.00
6.	Berat sample dalam air (F=E-D)	gr	1210.50	1218.00
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		2.53	2.56
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.55

Sumber : PT Jaya Beton

Hasil uji berat jenis agregat kasar alami berdasarkan data Tabel 4.7 didapatkan sampel agregat berada di angka 2.55, maka dari itu

berdasarkan SNI 03-069-2008 hasil berat jenis harus di atas 2.5. Maka dinyatakan bahwa agregat alami memenuhi standar.

Tabel 4.8 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar Alami

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat pan (A)	gr	1286.00	1252.00
2.	Berat sample dan pan (B)	gr	3286.00	3252.00
3.	Berat Sample (C=B-A)	gr	2000.00	2000.00
4.	Berat Sample Kering (D)	gr	1944.80	1945.70
5.	Daya Serap air (E=(C-D)/D)	%	2.84	2.79
6.	Selisih			0.05
7.	Rata-rata			2.81

Sumber : PT Jaya Beton

Berdasarkan hasil uji daya serap air pada Tabel 4.8 hasil tersebut memenuhi standar SNI 03-169-2008, yaitu < 3%.

b. Agregat Kasar Buatan

Tabel 4.9 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar Buatan

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat keranjang (A)	gr	900.00	900.00
2.	Berat sample dan keranjang (B)	gr	5900.00	5900.00
3.	Berat sample (C=B-A)	gr	5000.00	5000.00
4.	Berat keranjang dalam air (D)	gr	200.00	175.00
5.	Berat sample dan keranjang dalam air (E)	gr	2660.00	2722.00
6.	Berat sample dalam air (F=E-D)	gr	2460.00	2547.00
7.	Berat jenis (G=C/(C-F))		1.97	2.04
8.	Selisih			0.07
9.	Rata - rata			2.00

Berdasarkan hasil dari Tabel 4.8 berat jenis dari agregat buatan adalah 2 g/cm^3 . Berdasarkan standar SNI 03-069-2008 hasil uji berat jenis agregat kasar harus di atas 2.5. Maka dari itu agregat buatan ini tidak memenuhi standar uji berat jenis agregat normal. Namun berdasarkan penelitian (Hao et al., 2022) menyatakan bahwa berat jenis agregat *lightweight* berada pada angka kurang dari sama dengan 2.0 g/cm^3 .

Tabel 4 10 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Buatan

NO	PERCOBAAN	SATUAN	PENGUJIAN 1	PENGUJIAN 2
1	BERAT CAWAN (W1)	gr	900	900
2	BERAT BENDA UJI + CAWAN (W2)	gr	5900	5900
3	BERAT BENDA UJI (W3)	gr	5000	5000
4	BERAT BENDA UJI KERING + CAWAN (W4)	gr	4545	4700
5	BERAT BENDA UJI KERING (W5 = W4 - W1)	gr	4530	4600
6	KADAR AIR AGREGAT (W3-W5)/W5 X 100%	%	10.38%	8.70%
7	KADAR LUMPUR (W2-W4/W2 X 100%)	%	9.10%	6.00%
	selisih	%		1.68%
	rata rata	%		9.54%

Pada SNI-03-169-2008 kadar air dalam agregat tidak boleh melebihi dari 3%. Sedangkan kadar air agregat buatan ini melebihi standar, yaitu 9.5%. Hal tersebut dikarenakan kandungan alkali aktivator yang menggunakan banyak air untuk proses pembuatannya, seperti **Na2sio3** yang mengandung tambahan air.

c. Agregat Halus Alami

Tabel 4 11 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Halus Alam

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Nomor flash		1	2
2.	Berat flash (A)	gr	141.00	224.00
3.	Berat sample dan flask (B)	gr	641.00	724.00
4.	Berat sample (C=B-A)	gr	500.00	500.00
5.	Berat flask, sample, dan air (D)	gr	944.60	1025.70
6.	Berat air (E=D-B)	gr	303.60	301.70
7.	Berat Jenis (F=C/(C-E))		2.55	2.52
8.	Selisih			0.02
9.	Rata - rata			2.53

Sumber : PT Jaya Beton

Berdasarkan hasil uji berat jenis pada Tabel 4.10 sampel agregat halus memenuhi standar berat jenis sesuai dengan SNI-03-1969-2008, yaitu di atas 2.5. Sedangkan sampel agregat nilainya 2.52.

Tabel 4.12 Hasil Uji Daya Serap Air Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1	Berat pan (A)	gr	1247.90	654.00
2	Berat sample dan pan (B)	gr	2247.90	1654.00
3	Berat sample (C=B-A)	gr	1000.00	1000.00
4	Berat sample kering (D)	gr	972.40	971.90
5	Daya serap air (E=(C-D)/D)	%	2.84	2.89
6	Selisih			0.05
7	Rata - rata			2.86

Sumber : PT Jaya Beton

Dari Tabel 4.11 hasil uji daya serap air agregat halus memenuhi standar karena nilainya di bawah 3%.

4.1.1.3 Hasil Uji Kadar Lumpur

Pengujian Kadar Lumpur ini bertujuan. Pengujian ini menggunakan SNI-03-4142-1996 pada pengujian agregat buatan. Sedangkan pada agregat kasar dan halus alami akan menggunakan standar yang digunakan oleh PT Jaya Beton.

a. Agregat Kasar

Tabel 4.13 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar Alami

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	2000.00	2000.00
2.	Berat kering material sesudah di cuci (B)	gr	1984.20	1980.30
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm (C=((A-B)/A)x100%)	%	0.79	0.99
4.	Selisih			0.20
5.	Rata - rata			0.89

Sumber : PT Jaya Beton

Kadar lumpur dari hasil uji Tabel 4.12 berada pada nilai 0.89%, hal tersebut memenuhi standar, yaitu di bawah 1% berdasarkan SNI-03-4142-1996.

b. Agregat Buatan

Tabel 4 14 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar Buatan

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	5000.00	5000.00
2.	Berat kering material sesudah di cuci (B)	gr	4530.00	4600.00
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm ($C = ((A-B)/A) \times 100\%$)	%	9.40	8.00
4.	Selisih			1.40
5.	Rata - rata			8.70

Hasil uji kadar lumpur pada agregat kasar buatan tidak memenuhi standar yaitu hasil berada di atas 1%, 8.70%. Untuk itu pada saat proses pembuatan beton, agregat akan dicuci terlebih dahulu untuk mengurangi kadar lumpur pada agregat, baru setelah itu bisa dicampurkan dalam adukan beton.

c. Agregat Halus

Tabel 4 15 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Berat kering material sebelum dicuci (A)	gr	1000.00	1000.00
2.	Berat kering material sesudah dicuci (B)	gr	965.60	970.10
3.	Material lolos ayakan 0.074 mm ($C = ((A-B)/A) \times 100\%$)	%	3.44	2.99
4.	Selisih			0.45
5.	Rata - rata			3.22

Sumber : PT Jaya Beton

Kadar lumpur pada agregat halus pada Tabel 4.14 adalah 3.22%. Hal tersebut agregat halus memenuhi standar dari SNI-03-4142-1996, yaitu di bawah 5%.

4.1.1.4 Hasil Pengujian Berat Isi

a. Agregat Kasar Alami

Tabel 4 16 Hasil Uji Berat Isi Agregat Alami

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002.00	2002.00
2.	Berat container (B)	gr	787.00	787.00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	3675.00	3730.00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2888.00	2943.00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.44	1.47
6.	Selisih			0.03
7.	Rata - rata (F)			1.46
8.	Berat jenis (G)			2.55
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57.21

Sumber : PT Jaya Beton

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 agregat harus memiliki berat isi sebesar ≥ 1.4 , sedangkan pada sampel agregat alami memiliki nilai 1.46. Maka dari itu, agregat alami memenuhi standar yang diberikan oleh SNI 03-4804-1998.

b. Agregat Kasar Buatan

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	14000.00	14000.00
2.	Berat container (B)	gr	7318.00	7318.00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	29100.00	26970.00
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	21782.00	19652.00
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.56	1.40
6.	Selisih			0.15
7.	Rata - rata (F)			1.48
8.	Berat jenis (G)			2.21
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			66.96

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 agregat harus memiliki berat isi sebesar ≥ 1.4 , sedangkan pada sampel agregat buatan memiliki nilai 1.46. Maka dari itu, agregat alami memenuhi standar yang diberikan oleh SNI 03-4804-1998.

c. Agregat Halus

Tabel 4 17 Hasil Uji Berat Isi Agregat Halus

No.	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	cm ³	2002.00	2002.00
2.	Berat container (B)	gr	788.00	788.00
3.	Berat sample dan container (C)	gr	3694.50	3723.80
4.	Berat sample (D=C-B)	gr	2906.50	2935.80
5.	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1.45	1.47
6.	Selisih			0.01
7.	Rata - rata			1.46
8.	Berat Jenis (G)			2.53
9.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			57.59

Sumber : PT Jaya Beton

Berdasarkan Tabel 4.17 sampel agregat halus nilai berat isinya lebih dari 1.4, yaitu 1.46 artinya sampel agregat halus memenuhi standar yang diberikan oleh SNI 03-4804-1998.

4.1.1.5 Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat

Setelah pengujian sebelumnya dilakukan, berikut adalah hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar dan halus.

Tabel 4 18 Hasil Rekapitulasi Uji Properti Agregat Kasar

REKAPITULASI HASIL UJI AGREGAT KASAR							
No.	Pengujian	JIS A 5004 2008	SNI	HASIL		Status	
				Agregat Alami	Agregat Buatan	Agregat Alami	Agregat Buatan
1	Berat Jenis	> 2.5		2.55	1.93	OK	NOT OK
2	Berat Isi	> 1.4		1.46	1.48	OK	OK
3	Daya Serap Air	< 3		2.81	9.54	OK	NOT OK
4	Kadar Lumpur	< 1		0.89	8.7	OK	NOT OK
5	Modulus Halus		6.0-7.1	7.75	7.67	NOT OK	NOT OK

REKAPITULASI HASIL UJI AGREGAT HALUS						
No.	Pengujian	JIS A 5004 2008	SNI	HASIL		STATUS
				Agregat Alami	Agregat Alami	
1	Berat Jenis	> 2.5		2.53		OK
2	Berat Isi	> 1.4		1.46		OK
3	Daya Serap Air	< 3		2.88		OK
4	Kadar Lumpur	< 7		3.22		OK
5	Modulus Halus		1.5-3.8	3.11		OK

4.1.2 Perancangan Campuran

4.1.2.1 Mix Design Agregat Buatan

a. Komposisi Campuran Agregat

Tabel 4 19 Tabel Mix Design Agregat Buatan

Komposisi Campuran Agregat Kebutuhan per 1m ³			
No	material	Satuan	Berat
1	Fly Ash	Kg/m ³	801.92
2	Pasir	Kg/m ³	1531
3	Waterglass	Kg/m ³	160.38
4	Naoh	Kg/m ³	80.19

Pembuatan agregat buatan ini mengambil referensi dari jurnal-jurnal terdahulu. Tabel 4.15 adalah hasil dari *trial* dan *error* pengambilan referensi jurnal yang dapat dilihat pada Tabel 3.3, sehingga ada sedikit perbedaan yaitu penambahan pasir sebagai campuran pembuatan agregat ini. (Cornelis et al., 2019) memberikan asumsi bahwa pasta geopolimer akan melapisi dan mengisi *void* pada partikel pasir dan penambahan pasir membuat campuran geopolimer semakin solid.

Berdasarkan persamaan 2.1 pada sub bab 2.2.2 dapat dihitung nilai kebutuhan air dengan molaritas yang direncanakan, adalah :

$$10 = \frac{80190 \text{ gr}}{40} \times \frac{1000}{V. \text{ air}}$$

$$10V. \text{ air} = 2004750$$

$$V. \text{ air} = 2004750/10 = 200475 \text{ ml} = 200.475 \text{ L/m}^3$$

b. Hasil Uji

Pada sampel agregat yang digunakan peneliti menggunakan referensi dari (Cornelis et al., 2019) seperti yang ada pada sub bab 3.5. peneliti hanya menggunakan campuran nomor 1, 2, dan 3 yang hasilnya dirangkum pada Tabel

Tabel 4 20 Hasil Trial&Error Sampel Agregat

No	Sampel	Molar	Pasir	Fly Ash	Na2si03	Naoh	Kuat Tekan
			Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Mpa
1	GM 10 M 3AL RM	10	1531	801.92	160.38	80.19	34.52
2	GM 10 M 30AL 25RM	10	1237.9	1002.4	200.48	100.24	13.76
3	GM 10 M 3AL 2RM	10	944.31	1202.88	240.58	120.29	16.82



Gambar 4. 4 Hasil Uji Kuat Tekan Sampel Agregat (Trial & Error)

Pada Gambar 4.4 merupakan hasil uji kuat tekan sampel agregat menggunakan komposisi agregat dari Tabel 4.15. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan (MPa) akan menggunakan rumus dari persamaan 1,

Berdasarkan persamaan 2.4 pada sub bab 2.8, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$F'c = \frac{271.000(N)}{7850(mm^2)} = 34.52 \frac{N}{mm^2} = 34.52 \text{ Mpa}$$

$$F'c = \frac{132.000(N)}{7850(mm^2)} = 16.82 \frac{N}{mm^2} = 16.82 \text{ Mpa}$$

$$F'c = \frac{108.000(N)}{7850(mm^2)} = 13.76 \frac{N}{mm^2} = 13.76 \text{ Mpa}$$

4.1.2.2 Mix Design Beton

Pada Tabel 4.16 adalah rangkuman hasil perhitungan campuran beton berdasarkan standar SNI 7657-2012, dengan

Tabel 4 21 Tabel Mix Design Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana dalam 28 hari	15	MPa
2	Deviasi Standar	7	MPa
2	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_c)	15	MPa
3	Jenis Semen	PCC/biasa	
3	Jenis Agregat Kasar	Pecah	
4	Jenis Agregat Halus	Alami	
4	Faktor Air Semen	0.6	
5	Nilai Slump	10-12	cm
6	Ukuran maksimum agregat kasar	40	mm
7	Kebutuhan Air (SNI)	216.75	liter
8	Kebutuhan Semen Portland	341.67	kg
9	Daerah Gradasi Agregat Halus	Daerah Zona 2	
10	Berat Jenis Agregat Campuran	2.34	
11	Berat Jenis Beton Lihat Tabel SNI	2310	kg/m ³
12	Kebutuhan Agregat	1751.58	kg/m ³
13	Kebutuhan Agregat Kasar	782.94	kg/m ³
14	Kebutuhan Agregat Halus	1035.16	kg/m ³

Berdasarkan data dari Tabel 4.16, setelah itu langkah selanjutnya adalah mengkonversi data hasil *mix design* menjadi satuan kedalam cetakan, yaitu cetakan balok uk. (15 × 15 × 60)cm.

Tabel 4 22 Hasil Konversi Mix Design kedalam Cetakan

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kebutuhan Agregat Kasar	13.97	kg
2	Kebutuhan Agregat Halus	10.57	kg
2	Kebutuhan Semen	4.61	kg
3	Kebutuhan Air	2.78	L

Tabel 4 23 Implementasi Data Aktual Mix Design

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kebutuhan Agregat Kasar	13.97	kg
2	Kebutuhan Agregat Halus	10.57	kg
2	Kebutuhan Semen	4.61	kg
3	Kebutuhan Air	2.90	L

Untuk mendapatkan nilai uji *slump* sesuai rencana, berdasarkan Tabel 4.18 terjadi perubahan untuk menyesuaikan hasil rencana.

Tabel 4 24 Implementasi Data Aktual Mix Design Menggunakan Agregat Kasar Buatan

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kebutuhan Agregat Kasar	10.57	kg
2	Kebutuhan Agregat Halus	13.97	kg
2	Kebutuhan Semen	4.61	kg
3	Kebutuhan Air	2.90	L

Tabel 4 25 Komposisi Campuran Beton Variasi Benda Uji

No	Sampel	Semen	Agregat Kasar		Agregat Halus	Air
		Kg	Alami (kg)	Buatan (kg)	Kg	L
1	BA-A	4.61	13.97	-	10.57	2.78
2	BA-B1	4.61	4.191	9.779	10.57	2.9
3	BA-B2	4.61	8.382	5.588	10.57	2.9
4	BA-B3	4.61	-	13.97	10.57	2.9

Pada Tabel 4.24 adalah tabel komposisi campuran beton berdasarkan variasi benda uji. Perbedaannya terletak pada komposisi agregat kasar dan air yang berubah menjadi 2.9 liter pada sampel agregat buatan, yaitu BA-B1, BA-B2, BA-B3.

4.2 Analisa Data

Pada sub bab 4.2 akan berisi hasil dan analisa terkait data yang diberikan, seperti uji *slump* dan kuat lentur terhadap agregat buatan serta agregat alami, sebagai berikut.

4.2.1 Uji Slump

Tujuan pengujian *slump* adalah untuk mengetahui *workability* beton sebelum dimasukkan ke dalam cetakkan, yang dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4 26 Hasil Uji *Slump* Campuran Beton

Campuran	Slump (mm)
BA-A	110
BA-B1	120
BA-B2	120
BA-B3	117

Berdasarkan Gambar 4.5 dan orientasi pada Tabel 3.1 campuran BA-A memiliki *slump* paling rendah yaitu 110 mm ,menunjukkan bahwa campuran in memiliki konsistensi yang lebih kental dan memungkinkan memiliki *workability* yang lebih rendah dibandingkan campuran lainnya. Sedangkan

BA-B1 dan BA-B2 memiliki nilai *slump* yang paling tinggi dari semua campuran, yaitu 120 mm menunjukkan bahwa campuran ini lebih cair dan memiliki *workability* yang lebih baik. Ini berarti campuran ini lebih mudah untuk ditempatkan dan diolah. Campuran BA-B3 memiliki nilai *slump* 117 mm sedikit lebih rendah dibandingkan BA-B1 dan BA-B2, menunjukkan bahwa campuran ini memiliki *workability* yang baik, namun sedikit lebih kental dibandingkan BA-B1 dan BA-B2.

4.2.2 Uji Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur ini akan menggunakan referensi dari SNI 4431-2011, sebagai standar penentuan kuat lentur benda uji. Benda uji yang akan diuji ini memiliki spesifikasi, seperti balok berukuran 15x15x60 cm dan volume sebesar 0.0135 m^3 . Total benda uji adalah 27 benda uji dengan 3 variabel serta umur beton 7, 14, dan 28 hari yang sudah dibahas sebelumnya.

Hasil uji kuat lentur yang dilakukan di PT Mixindo Indonesia ini menghasilkan patahan di bagian 1/3 bagian tengah. Maka dari itu sesuai dengan SNI 4431-2011, rumus yang digunakan adalah rumus 1 yang dapat dilihat pada persamaan 2.2 sub bab 2.7, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \frac{20000 \text{ N} \times 450 \text{ mm}}{150 \text{ mm} \times (150 \text{ mm})^2} \\
 \sigma_1 &= \frac{9000000 \text{ Nmm}}{3375000 \text{ mm}^2} \\
 &= 2.6 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 2.6 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4 27 Kuat lentur Benda Uji

NO	NAMA	UMUR HARI	MOLAR	KEADAAN RETAK	BEBAN		DIMENSI		BENTANG MM	KUAT LENTUR MPA
					N	LEBAR (MM)	TINGGI (MM)			
1		7	-	1/3 BENTANG TENGAH	20930	150	150	450	2.79	
2		7	-	1/3 BENTANG TENGAH	21455	150	150	450	2.86	
3		7	-	1/3 BENTANG TENGAH	21193	150	150	450	2.83	
4		14	-	1/3 BENTANG TENGAH	26100	150	150	450	3.48	
5	BA-A	14	-	1/3 BENTANG TENGAH	25880	150	150	450	3.45	
6		14	-	1/3 BENTANG TENGAH	25990	150	150	450	3.47	
7		28	-	1/3 BENTANG TENGAH	28400	150	150	450	3.79	
8		28	-	1/3 BENTANG TENGAH	28500	150	150	450	3.80	
9		28	-	1/3 BENTANG TENGAH	28000	150	150	450	3.73	
10		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	9700	150	150	450	1.29	
11	BA-B1	7	10	1/3 BENTANG TENGAH	9675	150	150	450	1.29	
12		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	9825	150	150	450	1.31	
13		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	17300	150	150	450	2.31	
14	BA-B2	7	10	1/3 BENTANG TENGAH	17250	150	150	450	2.30	
15		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	17340	150	150	450	2.31	
16		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	22400	150	150	450	2.99	
17		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	22350	150	150	450	2.98	
18		7	10	1/3 BENTANG TENGAH	21340	150	150	450	2.85	
19		14	10	1/3 BENTANG TENGAH	25900	150	150	450	3.45	
20	BA-B3	14	10	1/3 BENTANG TENGAH	29000	150	150	450	3.87	
21		14	10	1/3 BENTANG TENGAH	27500	150	150	450	3.67	
22		28	10	1/3 BENTANG TENGAH	38480	150	150	450	5.13	
23		28	10	1/3 BENTANG TENGAH	37650	150	150	450	5.02	
24		28	10	1/3 BENTANG TENGAH	38065	150	150	450	5.08	

Berdasarkan Tabel 4.26 beban dari mesin kuat lentur harus dikalikan dengan 1000 agar mendapatkan nilai dengan satuan Newton. Pada sampel BA-B1 dan BA-B2 dikarenakan masalah waktu dan biaya akan menggunakan angka konversi dari sumber *AASHTO Final Report, May 2008* dan penelitian (Ahmed et al., 2016), yang bisa dilihat pada persamaan 2.3 pada sub bab 2.7.1. penggunaan rumus tersebut, sebagai berikut :

1. Konversi dari 7 hari ke 28 hari

$$2.7 \text{ Mpa} = \left(1 + \left(\text{Log}_{10} \frac{7}{0.0767}\right) - 0.0156 \left(\text{Log}_{10} \left(\frac{7}{0.0767}\right)^2 \times \text{mor}28\right)\right)$$

$$2.7 = 1 + 1.96 - 0.0156 \times 3.84 \times \text{mor}28$$

$$2.7 = 1 + 1.96 - 0.06 \text{mor}28$$

$$\text{mor}28 = \frac{0.26}{0.06} = 4.33 \text{ mpa}$$

2. Konversi dari 28 hari ke 14 hari

$$\text{mor}14 = \left(1 + \text{Log}_{10} \left(\frac{14}{0.0767}\right) - 0.001566 \left(\frac{14}{0.0767}\right)^2 \times 4.33\right)$$

$$\text{mor 14} = 1 + 2.26 - 0.001566 \times 5.113 \times 4.33$$

$$\text{mor 14} = 1 + 2.26 - 0.346 = 2.92 \text{ Mpa}$$

Tabel 4 28 Konversi Kuat Lentur Beton 14 Hari dan 28 Hari

NO	NAMA	UMUR	KUAT LENTUR KONVERSI HARI
		HARI	MPA
1	BA-B1	14	1.47
2		14	1.47
3		14	1.49
4		28	1.99
5		28	1.98
6		28	2.02
7	BA-B2	14	2.62
8		14	2.61
9		14	2.63
10		28	3.55
11		28	3.54
12		28	3.56

Pada Tabel 4.25 berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan rumus persamaan 2.3 pada sub bab 2.7.1 didapatkan hasil konversi kuat lentur yang ada pada tabel.

a. Hasil Berat Jenis Beton

Tabel 4.29 Hasil Berat Jenis Beton

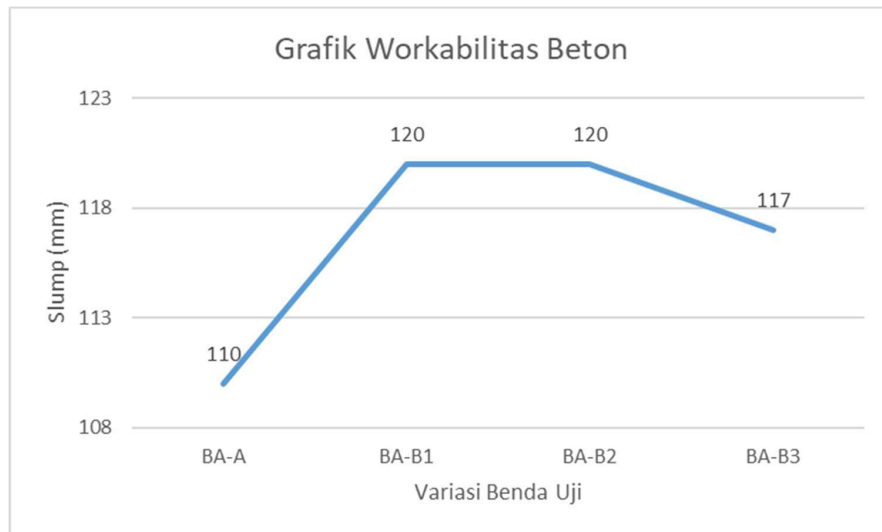
NO	NAMA	UMUR	MOLAR	MASSA	BERAT JENIS
		HARI		KG	KG/M3
1	BA-A	7	-	26.25	1944.44
2	BA-A	7	-	28.65	2122.22
3	BA-A	7	-	29.78	2205.93
4	BA-A	14	-	27.80	2059.26
5	BA-A	14	-	28.35	2100.00
6	BA-A	14	-	32.70	2422.22
7	BA-A	28	-	31.56	2337.78
8	BA-A	28	-	31.99	2369.63
9	BA-A	28	-	32.10	2377.78
10	BA-B	7	10	29.94	2217.78
11	BA-B	7	10	30.01	2222.96
12	BA-B	7	10	29.97	2220.00
13	BA-B2	7	10	31.00	2296.30
14	BA-B2	7	10	32.12	2379.26
15	BA-B2	7	10	30.67	2271.85
16	BA-B3	7	10	25.00	1851.85
17	BA-B3	7	10	26.00	1925.93
18	BA-B3	7	10	27.50	2037.04
19	BA-B3	14	10	28.00	2074.07
20	BA-B3	14	10	25.80	1911.11
21	BA-B3	14	10	27.90	2066.67
22	BA-B3	28	10	30.00	2222.22
23	BA-B3	28	10	30.00	2222.22
24	BA-B3	28	10	29.00	2148.15

Dari Tabel 4.27 didapatkan pemahaman lebih mendalam terkait pengaruh komposisi beton dengan campuran yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan perbedaan berat jenis dari agregat kasar yang digunakan, yaitu agregat kasar buatan dan agregat kasar alami.

4.3 Pembahasan Data

Pada sub bab 4.3 ini adalah pembahasan data dari analisa data yang diberikan, seperti uji *slump* dan kuat lentur beton normal.

4.3.1 Uji Slump



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Nilai *Slump* Variasi Benda Uji

Variasi nilai *slump* ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor dalam komposisi campuran, seperti rasio air-semen (*w/c ratio*), jenis dan proporsi agregat, serta penambahan bahan aditif atau *superplasticizer*. Campuran dengan agregat buatan mungkin memerlukan sedikit penambahan air untuk mencapai *workability* yang diinginkan, yang tercermin dalam nilai *slump* yang lebih tinggi pada BA-B1 dan BA-B2.

Berdasarkan hal tersebut komposisi campuran BA-A merupakan yang paling kental dan komposisi BA-B1 dan BA-B2 merupakan yang paling cair. Maka dari itu sesuai dari tujuan penelitian ini, tingkat pengerjaan beton (*workability*) pembuatan beton yang mudah untuk dikerjakan adalah komposisi dari BA-B1 dan BA-B2, dimana campuran agregat kasar buatanya adalah 30% dan 60%.

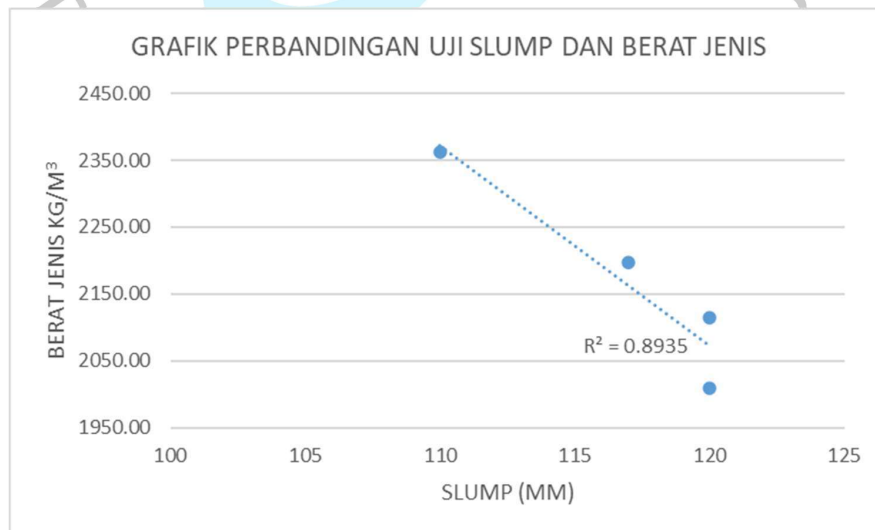
Menurut Mehta dan Monteiro (2001), *workability* beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rasio air-semen, jenis agregat, dan penggunaan bahan tambahan. Nilai *slump* adalah indikator langsung dari *workability*, di mana nilai *slump* yang lebih tinggi menunjukkan *workability* yang lebih baik. Hasil grafik menunjukkan bahwa campuran BA-B1 dan BA-B2 memiliki nilai *slump* yang tinggi (120 mm), yang menunjukkan *workability* yang baik. Ini sejalan dengan penelitian Mehta dan Monteiro yang menunjukkan bahwa

peningkatan rasio air-semen atau penggunaan superplasticizer dapat meningkatkan nilai *slump* dan *workability* beton. Menurut penelitian yang dilakukan (Day, 2021), menyatakan bahwa pengaruh agregat yang heterogen membuat nilai *slump* lebih konstan seperti pada sampel BA-B1 dan BA-B2 dimana ada dua jenis agregat yang digunakan dalam campuran, bentuk bulat dan granular, sehingga mortar mampu mengisi lebih banyak ruang yang ada pada campuran beton.



Gambar 4. 6 Uji *Slump* pada Beton

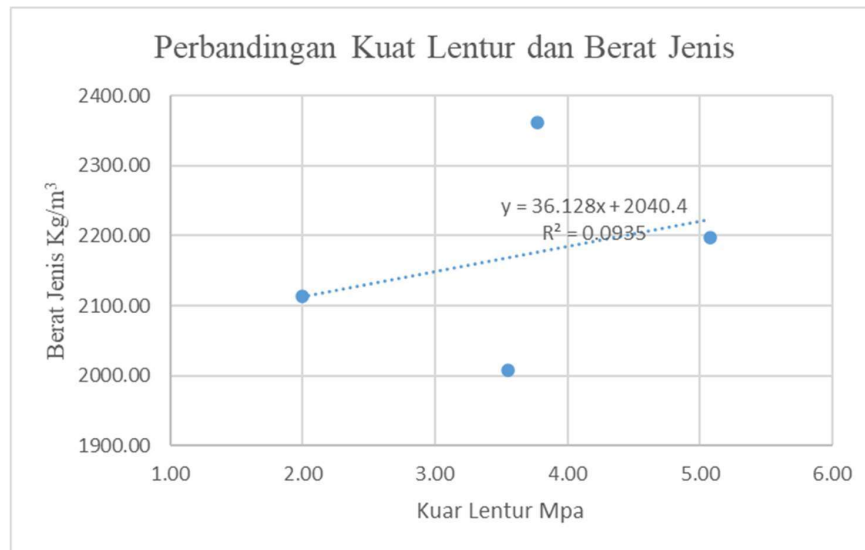
a. Berat Jenis Beton



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Uji *Slump* dan Berat Jenis

Berdasarkan pada Gambar 4.7 tren grafik uji *slump* menunjukkan bahwa nilai *slump* yang lebih tinggi menunjukkan *workability* yang lebih baik. Beton dengan *workability* tinggi cenderung memiliki konsistensi yang lebih cair, yang bisa menyebabkan peningkatan volume pasta semen dan penurunan kerapatan beton. Hal ini mengarah pada penurunan berat jenis Di lain pihak, nilai *slump* yang lebih rendah menunjukkan beton yang lebih kental dan kurang *workability*. Beton dengan *workability* rendah cenderung memiliki kerapatan yang lebih tinggi karena kurangnya air dan pasta semen yang berlebihan, sehingga berat jenisnya lebih tinggi. Penggunaan agregat buatan atau agregat dengan berat jenis yang lebih rendah juga dapat memengaruhi hasil. Agregat buatan mungkin memerlukan lebih banyak air untuk mencapai *workability* yang diinginkan, yang dapat menurunkan berat jenis beton. Penambahan air pada campuran yang menggunakan agregat buatan, seperti yang terlihat pada BA-B1 dan BA-B2, menyebabkan penurunan berat jenis.

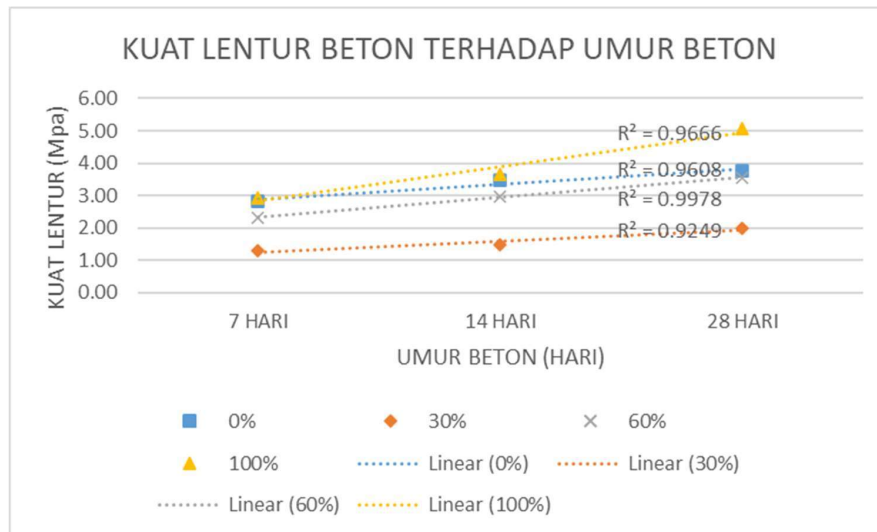
Penelitian terdahulu oleh Mehta dan Monteiro (2001) menunjukkan bahwa berat jenis beton berbanding terbalik dengan nilai *slump*, yang disebabkan oleh peningkatan volume pasta semen dan penurunan kerapatan pada beton dengan *workability* tinggi. Penelitian Neville (1995) dan Mindess & Young (1981) juga mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa peningkatan rasio air-semen meningkatkan *workability* tetapi menurunkan kerapatan dan berat jenis beton.



Gambar 4. 8 Perbandingan Kuat Lentur Umur 28 hari terhadap Berat Jenis

Berdasarkan Gambar 4.8 pengaruh berat jenis terhadap kuat lentur tidak dapat diambil kesimpulan dikarenakan berdasarkan referensi (P. Kumar Mehta & Paulo J. M. Monteiro, 2001), menyatakan bahwa hubungan berat jenis dan porositas atau kerapatan bertolak belakang, sedangkan fakta bahwa kerapatanlah yang berbanding lurus dengan kuat tekan dan kuat lentur beton. Pengaruh mortar juga memengaruhi, seperti w/c rasio, volume air yang digunakan, dan spesifikasi semen. Pada *mix design* ada sedikit penambahan air pada campuran beton yang menggunakan agregat buatan, sehingga memengaruhi komposisi campuran beton dan memengaruhi kerapatan campuran beton.

4.3.2 Kuat Lentur Beton Normal



Gambar 4. 9 Interpretasi Perbandingan Kuat Lentur Beton Agregat Alami dan Agregat Buatan

Berdasarkan Gambar 4.6 didapatkan bahwa sampel BA-B3 atau substitusi agregat buatan 100% merupakan campuran dengan nilai kuat lentur paling besar, yaitu 5,08 Mpa. Dari keempat sampel didapatkan bahwa seluruh sampel mengalami tren peningkatan yang mencerminkan sifat beton yang semakin lama semakin bertambahnya umur beton, baik pada 7 hari, 14 hari, maupun 28 hari. Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa umur beton adalah faktor yang sangat berpengaruh terhadap kuat lentur.

Perbedaan kuat lentur sampel BA-B3 dari sampel BA-A adalah sebesar 25.65%, ini menunjukkan bahwa campuran BA-B3 merupakan campuran yang paling maksimal. Hal ini sesuai dengan penelitian (Ravisankar et al., 2007), yang menyatakan bahwa agregat buatan berbahan *fly ash* ini mampu meningkatkan kuat lentur beton dengan campuran substitusi 100%. Sedangkan sampel BA-B1 memiliki nilai kuat lentur terendah dari keempat sampel. Hal ini sejalan dengan penelitian (Indra Tjahjani et al., 2023), yang menyatakan bahwa, pengaruh agregat buatan yang berbentuk bulat meningkatkan kuat lentur terhadap agregat alami sebesar 122%. Pada penelitian tersebut terjadi peningkatan yang signifikan pada kuat lentur akibat pengaruh agregat buatan.



Gambar 4. 10 Perbandingan Agregat Buatan (kiri) dan Agregat Alami (kanan) setelah Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.7 agregat kasar buatan terbelah setelah pengujian dibandingkan dengan agregat alami yang tidak terbelah setelah pengujian. Berdasarkan hal tersebut agregat kasar buatan menyumbang kekuatan untuk menahan beban, hal tersebut dikarenakan bentuk bulat agregat buatan yang searah dengan beban mengakibatkan tegangan antara mortar dan agregat menjadi solid dibandingkan dengan agregat alami. Agregat alami cenderung berada pada posisi tidur yang mengakibatkan penyaluran beban tidak maksimal dan daya rekat antara mortar dan agregat tidak kuat (Burhanuddin, 2016).