

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

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

4.1.1 Hasil Pengujian Material Agregat Kasar Buatan

Agregat buatan dalam penelitian ini menggunakan bahan dari abu terbang (*Fly Ash*), abu sekam padi, *silica fume* dan pasir. Kemudian mereaksikan dengan *Alkali Activator* bertahap dalam kondisi jenuh sehingga menghasilkan bentuk granular (*pelletized*). Kandungan silikat dan alumina yang terkandung dalam material abu terbang, abu sekam dan *silica fume* dapat beraksi menjadi reaksi geopolimerisasi sehingga menghasilkan satuan keras dengan bantuan alkali activator.

4.1.2 Hasil Analisis Saringan

Pengujian berat jenis agregat halus adalah sampel yang berasal dari gunung holcim hasil dari pengujian labolatorium PT. Jaya Beton dilakukan dengan temperatur ruang 30°C dan kondisi cuaca cerah, tabel hasil berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel Hasil Analisis Saringan

No	Percobaan	Satuan	1	2
1	Nomor flash		1	2
2	Berat flash (A)	Gr	141,00	224,00
3	Berat sampel dan flask (B)	Gr	641,00	724,00
4	Berat sampel (C=B-A)	Gr	500,00	500,00
5	Berat flask, sampel, dan air (D)	Gr	945,50	1026,80
6	Berat air (E=D-B)	Gr	304,50	302,80
7	Berat Jenis (F=C/(C-E))		2,56	2,54
8	Selisih		0,33	
9	Rata-Rata		2,53	

Jika ada perbedaan lebih besar dari 0,02 maka percobaan harus diulangi.

4.1.3 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus adalah sampel yang berasal dari gunung holcim hasil dari pengujian labolatorium PT. Jaya Beton dilakukan dengan temperatur ruang 30° C dan kondisi cuaca cerah, tabel hasil berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengujian 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 sampel dan container (C)	Gr	3652,30	3702,80
4	Berat sampel (D=C-B)	Gr	2864,30	2914,80
5	Berat isi (E=D/A)	cm ³ /gr	1,43	1,46
6	Selisih		0,03	
7	Rata-rata		1,44	
8	Berat jenis (G)		2,55	
9	Persentase volume padat (H=(F/G)X100%)		56,68	

4.1.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus adalah sampel yang berasal dari gunung holcim hasil dari pengujian labolatorium PT. Jaya Beton dilakukan dengan temperatur ruang 30°C dan kondisi cuaca cerah, tabel hasil berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengujian 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	963,60	966,10
3	Material lolos ayakan 0,074 mm (C=((A-B/A)X100%)	%	3,64	3,39
4	Selisih		0,25	
5	Rata-rata		3,52	

Keterangan :

Nilai presentase material lolos ayakan 0.074 mm adalah sama dengan nilai presentase kadar lumpur.

4.1.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar Alami

Pengujian agregat kasar alami dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dari agregat kasar alami yang digunakan sebagai pembanding uji abrasi (*Los Angeles*). Pengujian agregat kasar alami adalah sampel yang berasal dari gunung holcim hasil dari pengujian labolatorium PT. Jaya Beton dilakukan dengan temperatur ruang 30°C dan kondisi cuaca cerah, tabel hasil berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengujian 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 dicuci (B)	Gr	1983,60	1980,00
3	Material lolos ayakan 0,074 mm ($C = ((A-B/A) \times 100\%)$)	%	0,82	1,00
4	Selisih			0,18
5	Rata-rata			0,91

Keterangan :

Nilai presentase material lolos ayakan 0.074 mm adalah sama dengan nilai presentase kadar lumpur.

4.2 Analisis Data

Pada sub bab 4.2 ini tentang analisis data, data ini berisikan tentang perancangan proses pembuatan, dan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu membandingkan uji berat jenis, berat isi dan uji abrasi agregat kasar buatan dengan agregat kasar alami.

4.2.1 Perancangan Campuran Agregat Kasar Buatan dan Mortar Geopolimer

Perancangan campuran yang dilakukan dalam penelitian agregat kasar buatan ini dengan mereaksikan abu terbang dengan substitusi abu sekam padi dan *silica fume* dengan larutan alkali aktivator NaOH dan Na₂SiO₃ dengan nilai molar 6M.

Tabel 4.5 Tabel Perancangan Campuran Agregat Kasar Buatan dan Mortar Geopolimer

No	Material	NaOH 2Mol	NaOH 4Mol	NaOH 6Mol	NaOH 8Mol	NaOH 10Mol	NaOH 12Mol	NaOH 16Mol
1	NaOH (Kg)	9,5	18,5	27,8	37,1	48,1	55,1	73,5
2	Water (Kg)	114,65	114,65	114,65	114,65	114,65	114,65	114,65

Pencampuran yang digunakan untuk membuat mortar geopolimer dan agregat kasar buatan dilakukan perbandingan 1:2,5 antara *fly ash* dan alkali aktivator. Proses pembuatan ini menghasilkan 10 Kg agregat kasar buatan dengan 6M alkali aktivator, menggunakan mixer dengan kemiringan 40°

Sekam Padi

SiO ₂	38,15%	0,3815
Al ₂ O ₃	0,22%	0,0022

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama dengan komposisi kimia yang beragam. Salah satunya adalah sekam padi, yang berfungsi sebagai bahan pozzolan dengan kandungan SiO₂ sebesar 38,15% dan Al₂O₃ sebesar 0,22%. Kandungan silika dalam sekam padi memainkan peran penting dalam mendukung proses reaksi dalam mortar geopolimer.

Fly Ash Kelas F

SiO ₂	41,40%	0,414
Al ₂ O ₃	22,70%	0,227
Fe ₂ O ₃	17,70%	0,177
Total	81,80%	0,818

Selain itu, penelitian ini turut memanfaatkan fly ash kelas F, yang mengandung SiO₂ sebesar 41,40%, Al₂O₃ sebesar 22,70%, dan Fe₂O₃ sebesar

17,70%. Tingginya kadar silika dan alumina dalam fly ash menjadikannya sebagai material pengikat yang berperan penting dalam proses pembentukan mortar geopolimer.

Silica Fume		
SiO ₂	85.00%	0,85
Al ₂ O ₃	0,50%	0,005

Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan silica fume sebagai bahan tambahan. Silica fume mengandung SiO₂ dalam jumlah tinggi, yaitu 85,06%, yang berperan dalam meningkatkan kekuatan mortar geopolimer. Kehadirannya membantu membentuk ikatan silikat yang lebih padat dalam struktur mikro material, sehingga meningkatkan daya tahan mortar.

Larutan NaOH 6M		
NaOH	120	gr flake
Air	500	gr

Sebagai aktivator alkali dalam penelitian ini, digunakan campuran larutan NaOH dan waterglass (sodium silikat/Na₂SiO₃). Larutan NaOH disiapkan dalam berbagai tingkat molaritas, salah satunya adalah larutan 6M, yang dibuat dengan melarutkan 120 gram flakes NaOH ke dalam 500 gram air. Sementara itu, waterglass (Na₂SiO₃) yang digunakan memiliki komposisi Na₂O sebesar 18,50%, SiO₂ sebesar 36,40%, dan H₂O sebesar 45,10%. Waterglass berfungsi sebagai sumber silika tambahan yang berperan dalam mempercepat reaksi geopolimerisasi serta meningkatkan kekuatan mekanis mortar.

Waterglass (Na₂SiO₃)		
Na ₂ O	18,50%	0,185
SiO ₂	36,40%	0,364
H ₂ O	45,10%	0,451

NaOH (Sodium Hidroksida)		
Na ₂ O	98%	0,98
H ₂ O	2%	0,02

Untuk mencapai molaritas 6M pada larutan alkali, perlu diketahui kandungan H₂O dan nilai Mr dari senyawa yang dilarutkan. Rumus untuk menghitung molaritas sebagai berikut:

$$M1.V1 = M2.V2$$

$$12M \times 250gr = M2.500$$

$$\frac{12 M1 \times 250}{500} = 6M$$

Untuk mendapatkan larutan 6M dihitung menggunakan perhitungan di atas, dimana dibutuhkan molaritas awal 12M dengan memasukan (NaOH) = 120 gr NaOH *flake* yang dilarutkan air sebanyak 500ml air. Setelah itu tambahkan waterglass menjadi 6M.

Karena abu sekam padi dan *silica fume* di substitusikan dengan *Fly Ash* dalam campuran mortar geopolimer dan agregat kasar buatan, perbandingan seperti berikut:

Variabel	Fly Ash	Abu Sekam Padi	Silica Fume	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Agregat Halus
FA 100%	709 gram	0	0	120 gram	300 gram	1,587 gram
FA 80% & SP 20%	567,2 gram	567,2 gram	0	120 gram	300 gram	1,587 gram
FA 80% & SF 20%	567,2 gram	0	567,2 gram	120 gram	300 gram	1,587 gram

4.2.2 Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis pada agregat buatan dan agregat kasar alami sebagai perbandingannya mengacu pada SNI 03-1969-2008 tentang uji berat jenis dan daya serap air agregat kasar. Hasil pengujian berat jenis adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Sampel Agregat Kasar Buatan Fly Ash 100%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	2015	2000	Gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	2005	2012	Gram
Berat benda uji dalam air	C	1500	1400	Gram

Tabel 4.7 Perhitungna Berat Jenis Agregat Kasar Buatan Fly Ash 100%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,85	3,26	Gram
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,84	3,28	Gram
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,81	3,33	Gram
Penyerapan (S_w)	$\left[\frac{B - A}{(A)} \right] \times 100\%$	4	5	Persen
Penyerapan rata-rata			4,5	

Tabel 4.8 Sampel Agregat Kasar Buatan Fly Ash 80% dan Abu Sekam Padi 20%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	2000	2015	Gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	2012	2005	Gram
Berat benda uji dalam air	C	1500	1400	Gram

Tabel 4.9 Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar Buatan Fly Ash 80% dan Abu Sekam Padi 20%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat jenis curah kering (S _a)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,85	3,23	Gram
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S _s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,84	3,28	Gram
Berat jenis semu (S _a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,81	3,33	Gram
Penyerapan (S _w)	$\left[\frac{B - A}{(A)} \right] \times 100\%$	5	4	Persen
Penyerapan rata-rata			4,5	

Tabel 4.10 Sampel Agregat Kasar Buatan Fly ash 80% dan Silica Fume 20%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	2000	2000	Gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	2100	2100	Gram
Berat benda uji dalam air	C	1050	1100	Gram

Tabel 4.11 Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar Buatan Fly Ash 80% dan Silica Fume 20%

Pengujian	Notasi	1	2	Satuan
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	1,9	1,8	Gram
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2	1,9	Gram
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,1	2	Gram
Penyerapan (S_w)	$\left[\frac{B - A}{(A)} \right] \times 100\%$	5	5	Persen
Penyerapan rata-rata			5	

Berat jenis agregat kasar buatan yang didapatkan dari 3 jenis berat jenis, yaitu berat semu, berat jenis curah dan berat jenis kering permukaan. Dari ketiga jenis tersebut memiliki nilai 3,05 gram dari 3 persentase abu sekam padi dan *silica fume* yang menjadi tambahan campuran agregat kasar buatan. Adapun pengujian berat jenis agregat kasar alami yang membandingkan standar SNI yang sudah

ditetapkan berat jenis agregat kasar yang digunakan sebagai bahan konstruksi. Berat jenis agregat kasar alami adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Hasil Berat Jenis Agregat Kasar Alami

No	Percobaan	Satuan	1	2
1	Berat keranjang (A)	Gr	527,00	527,00
2	Berat sampel dan keranjang (B)	Gr	2527,00	2527,00
3	Berata sampel(C=B-A)	Gr	2000,00	2000,00
4	Berat keranjang dalam air (D)	Gr	365,00	365,00
5	Berat sampel dan keranjang dalam air (E)	Gr	1576,40	1583,50
6	Berat sampel dalam air (F=E-D)	Gr	1211,40	1218,50
7	Berat jenis (G=C/(C-F))		2,54	2,56
8	Selisih		0,22	
9	Rata-rata		2,55	

4.2.3 Hasil Pengujian Berat Isi

Pengujian densitas agregat kasar buatan dan agregat kasar alami dilakukan sesuai dengan SNI 1969-2008. Tabel 4.12 Menunjukkan hasil pengujian densitas tersebut.

Tabel 4.13 Berat Isi Agregat Kasar Buatan

No	Percobaan	Satuan	1	2	3
1.	Volume container (A)	Cm ³	2838	2838	2838
2.	Berat container (B)	Gr	450	450	450
3.	Berat sampel dan container (C)	Gr	2050	2010	2050

No	Percobaan	Satuan	1	2	3
4.	Berat sampel (D=C-B)	Gr	1600	1560	1600
5.	Berat isi (E=D/A)	Cm ³ /gr	0,653	0,549	0,653
6.	Rata-rata (F)			0,618	
7.	Berat jenis (G)			3,05	
8.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			20,26	

Berat isi agregat kasar alami adalah sebagai standar pembanding dari berat isi agregat buatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Berat Isi Agregat Kasar Alami

No	Percobaan	Satuan	1	2
1.	Volume container (A)	Cm ³	2000,00	2000,00
2.	Berat container (B)	Gr	787,00	787,00
3.	Berat sampel dan container (C)	Gr	3712,00	3665,00
4.	Berat sampel (D=C- B)	Gr	2925,00	2878,00
5.	Berat isi (E=D/A)	Cm ³ /gr	1,46	1,44
6.	Selisih			0,02
6.	Rata-rata (F)			1,45
7.	Berat jenis (G)			2,55
8.	Persentase volume padat (H=(F/G)x100%)			56,89

4.2.4 Hasil Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menggolongkan agregat buatan dibuat menggunakan metode *pelletized*, namun ukuran yang terbuat dari metode *pelletized* tidak seragam. Oleh karena itu analisis saringan dilakukan untuk menggolongkan ukuran agregat kasar tersebut sesuai dengan gradasi untuk pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles* dengan gradasi A. Gradasi A dipilih karena mayoritas ukuran agregat kasar yang dibuat sebanyak 15000 gram untuk mencakupi 3 kali uji abrasi adalah ukuran gradasi A, sehingga dapat memaksimalkan jumlah agregat kasar yang dibuat dalam pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*. Syarat gradasi A adalah tertahan di saringan nomor 1 inch, $\frac{3}{4}$ inch, $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{3}{8}$ inch. Berikut adalah tabel dari analisis saringan diperlukan untuk memenuhi gradasi A pada uji abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*.

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)							
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G	
mm	inch	Mm	inch								
75	3	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-	
63	2 1/2	50	2	-	-	-	-	2500±50	-	-	
50	2	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000±50	-	-	
37,5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	-	-	5000±50	-	
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25	
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	5000±25	
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-	
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500±10	-	-	-	-	
6,3	1/4	4,75	No.4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-	
4,75	No.4	2,36	No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-	
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	1000±10	
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12	
Berat bolat (gram)				5000±25	4584±25	3330±25	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25	

Tabel 4.15 Analisis Saringan Gradasi Pengujian Abrasi (Los Angeles)

4.2.5 Uji Abrasi

Uji abrasi dengan mesin *Los Angeles* adalah pengujian untuk mengetahui tingkat kehancuran agregat kasar dengan bola baja di dalam wadah yang berputar 30-33 rpm dengan putaran 100-500 putaran. Uji abrasi dengan mesin *Los Angeles* bersifat menguji kekuatan abrasi untuk mengukur agregat kasar layak dipakai atau tidak sesuai dengan (SNI 03-2417, 2008) tentang cara uji abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Sehingga standar tersebut dapat menggolongkan apakah agregat kasar dinyatakan baik atau tidak untuk digunakan pada dunia konstruksi.

4.2.5.1 Uji Abrasi Agregat Kasar Buatan

Pengujian abrasi sesuai (SNI 03-2417, 2008) mengenai cara uji keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles* yang dilakukan pada agregat kasar buatan yang terbuat dari *fly ash* dan pasir menghasilkan rata-rata keausan 92,23 % dari jumlah total 2 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada proses analisis saringan. Berikut adalah tabel hasil pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* agregat kasar buatan variabel *Fly ash* 100%

Tabel 4.16 Hasil Uji Abrasi Agregat Kasar Buatan Fly Ash 100%

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
Lolos Saringan		Saringan tertahan		A	Sampel 1	Sampel 2
Mm	Inch	mm	inch			
75	3	63	2 ½	-	-	-
63	2 ½	50	2	-	-	-
50	2	37,5	1 ½	-	-	-
37,5	1 ½	25	1	1250±50	1255	1255
25	1	19	¾	1250±50	1258	1256
19	¾	12,5	½	1250±10	1256	1256

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
12,5	½	9,5	3/8	1250±10	1256	1258
9,5	3/8	6,3	¼	-	-	-
6,3	¼	4,75	No.4	-	-	-
4,75	No. 4	2,36	No.8	-	-	-
Total				5000±70	5042	5025
Jumlah bola				12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	5000±50	5000±25
Jumlah tertahan saringan No.12				-	377	400
$Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\%$				-	92,46%	92%
Rata-rata Keausan				-	92,23	

Pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* yang dilakukan pada agregat kasar buatan yang terbuat dari abu terbang, pasir dan tambahan abu sekam padi 20% menghasilkan rata-rata keausan 83,43% dari jumlah total 2 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada proses analisis saringan. Berikut adalah tabel pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* agregat kasar buatan variabel *fly ash* 80% dan abu sekam padi 20%

Tabel 4.17 Hasil Uji Abrasi Agregat Kasar Buatan Fly ash 80% dan Abu Sekam Padi 20 %

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
Lolos Saringan		Saringan tertahan		A	Sampel 1	Sampel 2
Mm	Inch	mm	inch			
75	3	63	2 ½	-	-	-
63	2 ½	50	2	-	-	-
50	2	37,5	1 ½	-	-	-
37,5	1 ½	25	1	1250±50	1252	1253
25	1	19	¾	1250±50	1251	1250
19	¾	12,5	½	1250±10	1253	1251
12,5	½	9,5	3/8	1250±10	1250	1252

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
9,5	3/8	6.3	¼	-	-	-
6,3	¼	4,75	No.4	-	-	-
4,75	No. 4	2.36	No.8	-	-	-
Total				5000±70	5006	5006
Jumlah bola				12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	5000±50	5000±25
Jumlah tertahan saringan No.12				-	823	835
$Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\%$				-	83,54%	83,33%
Rata-rata Keausan				-	83,43	

- Pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* yang dilakukan pada agregat kasar buatan yang terbuat dari abu terbang, pasir dan tambahan *silica fume* 20% menghasilkan rata-rata keausan 83,81% dari jumlah total 2 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada proses analisis saringan. Berikut adalah tabel pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* agregat kasar buatan variabel *fly ash* 80% dan *silica fume* 20%

Tabel 4.18 Hasil Uji Abrasi Agregat Kasar Buatan Fly ash 80% dan Silica Fume 20 %

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
Lolos Saringan		Saringan tertahan		A	Sampel 1	Sampel 2
Mm	Inch	mm	inch	-	-	-
75	3	63	2 ½	-	-	-
63	2 ½	50	2	-	-	-
50	2	37,5	1 ½	-	-	-
37,5	1 ½	25	1	1250±50	1261	1255
25	1	19	¾	1250±50	1252	1253
19	¾	12,5	½	1250±10	1251	1256
12,5	½	9,5	3/8	1250±10	1255	1252

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
9,5	3/8	6.3	¼	-	-	-
6,3	¼	4,75	No.4	-	-	-
4,75	No. 4	2,,36	No.8	-	-	-
Total				5000±70	5019	5016
Jumlah bola				12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	5000±50	5000±25
Jumlah tertahan saringan No.12				-	804	815
$Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\%$				-	83,92%	83,70%
Rata-rata keausan				-	83,81	

4.2.5.2 Uji Abrasi Agregat Kasar Alami

Pengujian agregat kasar alami dilakukan sesuai dengan (SNI 03-2417, 2008) mengenai uji abrasi (*Los Angeles*). Tabel 4.19 adalah hasil dari pengujian keausan agregat kasar alami dengan gradasi

Tabel 4.19 Hasil Uji Abrasi Agregat Kasar Alami

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
Lolos Saringan		Saringan tertahan		A	Sampel 1	Sampel 2
Mm	Inch	mm	inch	-	-	-
75	3	63	2 ½	-	-	-
63	2 ½	50	2	-	-	-
50	2	37.5	1 ½	-	-	-
37.5	1 ½	25	1	-	-	-
25	1	19	¾	-	-	-
19	¾	12.5	½	-	2500	2500
12.5	½	9.5	3/8	-	2500	2500
9.5	3/8	6.3	¼	-	-	-
6.3	¼	4.75	No.4	-	-	-

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)		
4.75	No. 4	2.36	No.8	-	-	-
Total				-	5000	5000
Jumlah bola				-	11	11
Berat bola (gram)				-	4584±25	4584±25
Jumlah tertahan saringan No.12				-	4150	3885
$Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\%$				-	17	22,3
Rata-rata keausan				-	19,65	

4.2.6 Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Pengujian mortar geopolimer mengacu pada (SNI 03-6825, 2002) tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar geopolimer berbentuk kubus 5x5 cm dan volume sebesar 125cm³. Total benda uji adalah 81 buah dengan 3 variabel serta umur mortar 7,14 dan 28 hari yang sudah di bahas sebelumnya.

$$fc' = \frac{N}{mm}$$

$$fc' = \frac{36000}{2500}$$

$$= 14,4 \text{ Mpa}$$

4.3 Pengujian Benda Uji

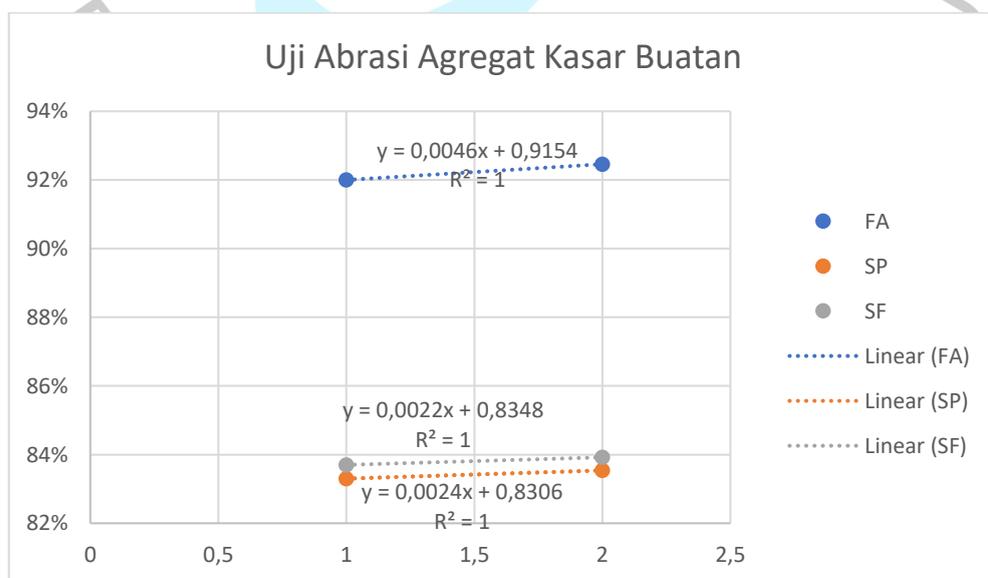
Pada sub bab 4.3 membahas tentang uji abrasi, uji berat jenis, dan uji berat isi dari agregat kasar buatan dengan penggambaran berupa grafik dari hasil pengujian pada sub bab 4.2 analisis data.

4.3.1 Uji Abrasi

Pada pekerjaan sipil baik dalam pekerjaan struktur maupun transportasi, kondisi agregat terutama pada tingkat keausan memiliki pengaruh yang signifikan. Selama proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan agregat mengalami pengikisan. Tingkat keausan agregat diklasifikasikan berdasarkan nilai abrasi yang diperoleh dari hasil uji mesin *Los Angeles* dengan kategori keras $\leq 20\%$ dan lunak $\geq 50\%$

Sebelum melakukan pengujian abrasi atau keausan, analisis saringan harus dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat yang dominan, apakah tipe A,B,C atau D dan dapat menentukan jumlah bola baja yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 4.15

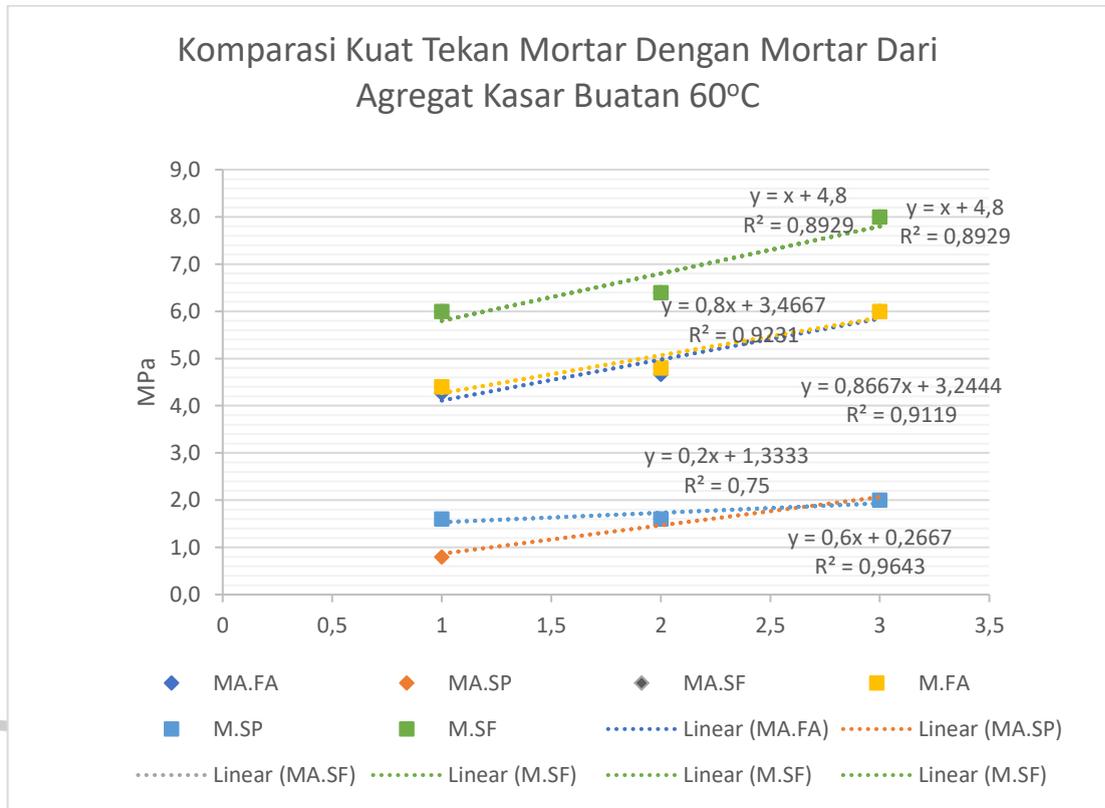
Pengujian abrasi agregat kasar alami maupun buatan menggunakan mesin *Los Angeles* dilakukan pada gradasi A dan menggunakan 12 bola baja, sesuai dengan (SNI 03-2417, 2008) tentang cara uji abrasi menggunakan mesin *los angele*. Gradasi A memerlukan 500 putaran dengan agregat kasar berukuran maksimal 37,5 mm (1 ½ inch) hingga ukuran butir 9,5 mm (3/8). Berikut adalah grafik hasil pengujian agregat kasar buatan dengan variabel *Fly ash* 100%, *Fly ash* 80% dan abu sekam padi 20%, dan *Fly ash* 80% dan *silica fume* 20%.



Gambar 4.1 Uji Abrasi Agregat Kasar Buatan

Grafik tersebut menyatakan bahwa agregat FA memiliki kinerja terbaik dengan persentase berat hancur yang sangat rendah, yaitu hanya sekitar 7% hingga 46,8%. Daya tahan ini menunjukkan bahwa FA memiliki struktur material yang padat, porositas yang minimal, dan kekerasan mineral yang sangat tinggi. Sifat-sifat ini menjadikan FA sebagai material yang ideal untuk aplikasi dengan beban mekanis yang berat, seperti lapisan beton struktural dan jalan raya dengan lalu lintas tinggi. Tren kenaikan nilai abrasi pada FA relatif kecil seiring dengan meningkatnya kondisi ASP, yang mencerminkan kestabilan sifat fisiknya. Nilai abrasi SP, yang berkisar antara 84% hingga 85%, lebih kecil daripada FA. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan mekanis SP cukup baik. Meskipun demikian, ini tetap berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima untuk penggunaan dalam proyek konstruksi standar. Dibandingkan dengan FA, yang memiliki daya tahan yang lebih konstan, SP lebih sensitif terhadap variasi kondisi SP, yang dibuktikan dengan peningkatan 0,5% pada nilai abrasi. Dengan nilai bobot hancur berkisar antara 83% hingga 84%, SF menunjukkan daya tahan yang paling rendah. Angka ini menunjukkan bahwa, berbeda dengan FA dan SP, agregat SF relatif rapuh. Agregat ini kemungkinan besar tidak memiliki kohesi struktural atau memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi. SF masih dapat digunakan untuk proyek non-struktural seperti jalan sekunder atau pelapis hias, namun kurang sesuai untuk digunakan pada aplikasi dengan beban mekanis yang signifikan.

4.3.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer



Gambar 4.2 Komparasi Kuat Tekan Mortar Geopolimer Dengan Mortar Agregat 60°C

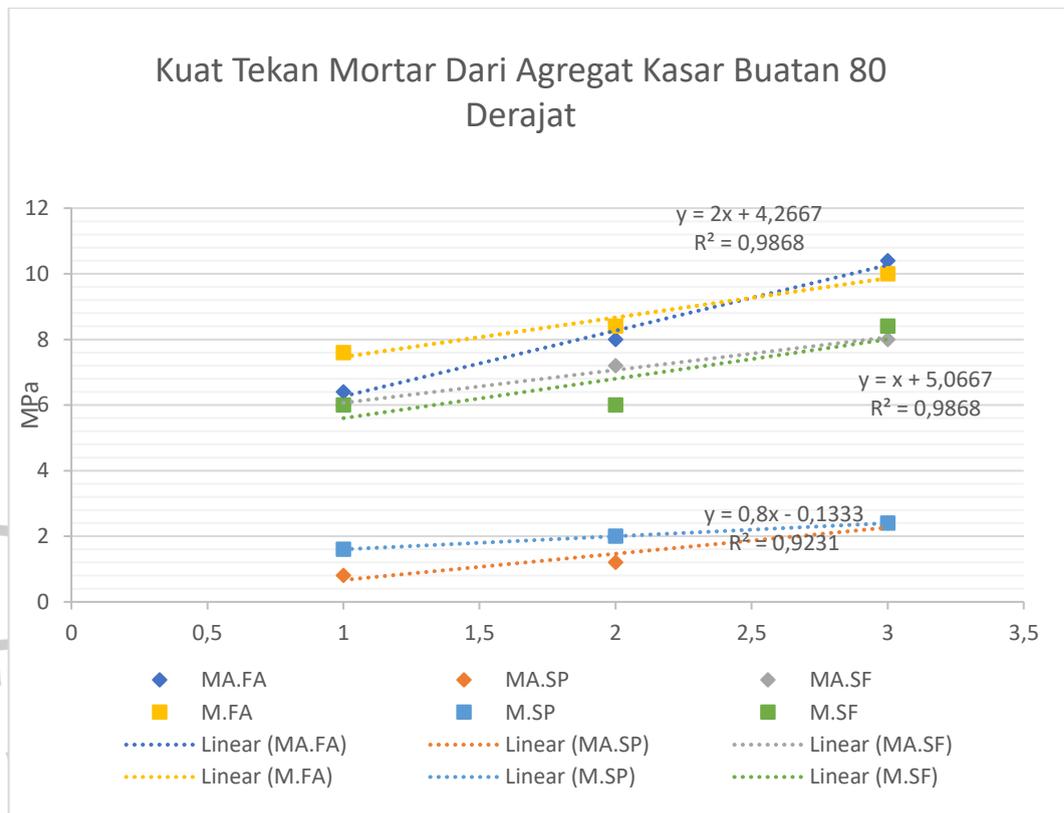
Berdasarkan dari hasil pengujian (Widyananto Eksi et al., n.d.) tentang “analisis kuat tekan mortar geopolimer berbahan abu sekam padi dan kapur padam” hasil pengujian kuat tekan umur uji 28 hari didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada mortar geopolimer MG70 yaitu 22,31 kg/cm², sedangkan nilai kuat tekan terendah pada mortar geopolimer MG100 yaitu 8,30 kg/cm² dapat disimpulkan jika menambahkan abu sekam padi hingga 100% dapat menurunkan kualitas kuat tekan mortar tersebut. Tentang “analisis kuat tekan mortar geopolimer berbahan abu sekam padi dan kapur padam” hasil pengujian kuat tekan umur uji 28 hari didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada mortar geopolimer MG70 yaitu 22,31 kg/cm², sedangkan nilai kuat tekan terendah pada mortar geopolimer MG100 yaitu 8,30 kg/cm² dapat disimpulkan jika menambahkan abu sekam padi hingga 100% dapat menurunkan kualitas kuat tekan mortar tersebut

Mengutip penelitian (Rahman et al., 2024) tentang ” pengaruh pemberian *silica fume* terhadap kekuatan tekan grout mortar dengan pendekatan practical mixed design” hasil uji pemberian kadar *silica fume* terhadap kuat tekan grout mortar mencapai 33,43 MPa pada umur tujuh hari dan 42,79 MPa saat umur 28 hari. Hasil yang hampir mendekati uji aktual, yaitu 30,2 MPa pada 7 hari dan 47,4 MPa pada 28 hari. Nilai tersebut terus menunjukkan penurunan seiring adanya peningkatan kandungan *silica fume* di campuran, baik saat pengujian umur tujuh hari maupun 28 hari. 29,7 MPa adalah nilai kuat tekan yang nyaris mendekati variasi kontrol, yaitu didapat dari sampel dengan kadar 5% SF pada umur tujuh hari. 39,2 MPa adalah besaran hasil nilai terendah praktis yang ditemukan SF dengan kadar 15% pada umur 28 hari.

Berdasarkan hasil penelitian peneliti terdapat perbedaan penelitian dari Eksi Widyananto dan Rahman A dimana hasil kuat tekan terdapat perbedaan penggunaan variabel abu sekam padi dan *silica fume* sebanyak 20% yang tertera pada gambar 4.2 dengan metode perawatan *steam curing* menggunakan suhu 60°C dan 80°C selama 1 jam, sedangkan pada penelitian Eksi Widyananto menggunakan abu sekam padi dan kapur padam MG 70 (70:30) dan Rahman A menunjukkan penggunaan *silica fume* 15% dan *curing* dengan cara di rendam air. Untuk mendapatkan berbagai macam kuat tekan, digunakan 2 jenis benda uji dengan metode *curing* dengan *steam curing* dan perendaman, yang didapatkan nilai kuat tekan beton dengan *steam curing* lebih tinggi dibandingkan dengan perendaman air. (Farida et al., 2023).

Hasil dari penelitian peneliti dapat disimpulkan bahwa *Steam Curing* mortar dengan suhu 60°C dibandingkan dengan kuat tekan mortar geopolimer dari agregat kasar 60°C dengan lama *curing* 1 jam, SF merupakan yang terbaik adanya peningkatan pengujian kuat tekan awal 6 MPa dan maksimalnya 8 MPa dan di lanjutkan FA kuat tekan awal 4,4 MPa dan kuat tekan maksimal 6 MPa dan yang terakhir SP kuat tekan awal 1,6 MPa dan maksimalnya 2 MPa. Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan agregat kasar buatan memberikan dampak positif terhadap peningkatan kuat tekan pada mortar, terutama untuk campuran dengan SP. SP yang sebelumnya memiliki peningkatan kuat tekan paling rendah

mengalami peningkatan signifikan, baik dari segi kemiringan garis tren maupun keakuratan model R^2 , FA mengalami sedikit peningkatan kuat tekan tetapi perubahannya tidak terlalu signifikan dan SF tetap mejadi material dengan kontribusi tertinggi terhadap kuat tekan mortar tanpa perubahan dalam tren maupun keakuratan model.



Gambar 4, 3 Komparasi Kuat Tekan Mortar Geopolimer Dengan Mortar Agregat 80°C

Menurut penelitian (Simanjuntak, 2022) dengan judul “Analisis Kuat Tekan Dan Porositas Mortar Geopolimer Menggunakan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi *Fly Ash* Pada Molaritas 8 Molar” penelitian ini berfokus pada evaluasi mortar geopolimer pada molaritas alkali 8 dengan mensubstitusi abu terbang (FA) dengan abu sekam padi (ASP). Sebagai pengganti beton tradisional yang ramah lingkungan, yang bergantung pada semen portland, dipilihlah mortar geopolimer. Karena semen adalah komponen utama yang sangat meningkatkan emisi karbon dioksida (CO_2) selama proses produksi, maka alternatif kreatif seperti geopolimer menjadi semakin penting.

Berdasarkan hasil analisis grafik, perawatan dengan *steam curing* hingga 80°C terbukti meningkatkan kuat tekan pada semua jenis campuran mortar. Namun, efek peningkatan ini bervariasi tergantung pada jenis material tambahan yang digunakan. Dari grafik, terlihat bahwa campuran dengan FA menunjukkan peningkatan kuat tekan yang paling signifikan, baik pada kondisi agregat kasar maupun setelah pemanasan. Hal ini menunjukkan bahwa FA memiliki kontribusi terbesar dalam meningkatkan kekuatan mortar. Sementara itu, campuran dengan SF juga mengalami peningkatan kuat tekan yang cukup tinggi. Namun, dibandingkan dengan FA, korelasi peningkatan kuat tekan pada SF sedikit lebih rendah, menunjukkan bahwa penyebaran datanya lebih bervariasi.

Dari gambar 4.2 dan 4.3 kuat tekan mortar menggunakan *fly ash* 100% menghasilkan kuat tekan yang tinggi hingga 11 MPa pengalikasiannya cocok untuk aplikasi struktural, mortar abu sekam padi 2,4 MPa menawarkan alternatif ekonomis dan ramah lingkungan dan hanya dapat diaplikasikan non-struktural dan mortar *silica fume* berada ditengah-tengah antara kedua bahan lainnya 8,4 MPa yang dapat dijadikan pilihan untuk aplikasi semi-struktural.

Hasil pengujian di atas menyatakan bahwa kuat tekan mortar geopolimer dengan suhu 80°C dengan campuran abu sekam padi sebanyak 20% menghasilkan kuat tekan yang rendah sebesar 2,4 MPa. Hal itu bisa terjadi karena adanya fraksi halus dari sifat abu sekam padi yang menyerap air, sehingga jumlah air dalam campuran mortar berkurang, hal ini terjadi karena abu sekam padi memiliki kandungan pozzolan yang sangat tinggi.

Berdasarkan hasil kuat tekan mortar geopolimer dari agregat kasar buatan nilai tertinggi yang dicapai SF dengan rata-rata kuat tekan 2,7 MPa kemudian FA dengan kuat tekan rata-rata 2,4 MPa dan SP 2,4 MPa. Berdasarkan hasil penelitian mengenai kuat tekan mortar geopolimer yang menggunakan berbagai bahan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* 100% menghasilkan kuat tekan tertinggi, mencapai 11 MPa, yang menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi struktural. Di sisi lain, mortar yang menggunakan abu sekam padi hanya mencapai kuat tekan 2,4 MPa. Meskipun lebih rendah, abu sekam padi menawarkan alternatif yang lebih

ekonomis dan ramah lingkungan, tetapi hanya dapat digunakan untuk aplikasi non-struktural.

SF, dengan kuat tekan 8,4 MPa, berada di antara kedua bahan tersebut dan merupakan pilihan yang baik untuk aplikasi semi-struktural. Pengujian lebih lanjut menunjukkan bahwa mortar geopolimer yang mengandung 20% abu sekam padi pada suhu 80°C menghasilkan kuat tekan yang rendah, yaitu 2,4 MPa. Hal ini disebabkan oleh fraksi halus dari abu sekam padi yang menyerap air, sehingga mengurangi jumlah air dalam campuran akibat kandungan pozzolan yang tinggi.

Metode *Steam Curing* pada suhu 60°C selama 1 jam menunjukkan hasil yang paling baik, dengan SF memberikan kuat tekan awal 6 MPa dan maksimum 8 MPa. FA menunjukkan kuat tekan awal 4,4 MPa dan maksimum 6 MPa, sedangkan semen Portland hanya mencapai kuat tekan awal 1,6 MPa dan maksimum 2 MPa.

- Dalam konteks penggunaan agregat kasar buatan sebagai bahan pembuatan mortar geopolimer, SF juga menunjukkan performa yang baik dengan rata-rata kuat tekan 2,7 MPa, lebih tinggi dibandingkan dengan FA dan SP, yang keduanya memiliki rata-rata kuat tekan 2,4 MPa. Keseluruhan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa SF dan FA dapat menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang berbeda, dengan SF lebih unggul dalam hal kuat tekan, sementara abu sekam padi tetap menjadi alternatif yang ramah lingkungan meskipun dengan kuat tekan yang lebih rendah.

Berdasarkan regresi linear dari kedua grafik, terlihat bahwa FA memiliki ketahanan abrasi tertinggi (92%) dan juga menunjukkan tren peningkatan kuat tekan mortar yang cukup signifikan ($y = 0,8x + 0,8$, $R^2 = 1$). Hal ini menunjukkan bahwa agregat dengan ketahanan abrasi yang lebih baik cenderung menghasilkan mortar dengan kuat tekan yang lebih tinggi.

Sebaliknya, SP dan SF, yang memiliki ketahanan abrasi lebih rendah (84%), menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih rendah atau kurang konsisten. Ini dapat dilihat dari nilai R^2 pada SP yang bernilai 0, yang menunjukkan bahwa tidak ada hubungan linear yang signifikan antara peningkatan kuat tekan dengan nilai abrasi pada agregat ini.