

PENGARUH KONSENTRASI NAOH TERHADAP MIKROSTRUKTUR MORTAR GEOPOLIMER DENGAN *PRECURSOR FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI

Ikahariya Pratiwi Matra¹⁾, Asri Mulyadi²⁾, Surya Darma³⁾,
Rita Anggrainy⁴⁾, Ririn Fauzana⁵⁾

^{1), 2), 3), 4)} Dosen Fakultas Teknik Universitas Palembang

⁵⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Palembang

e-mail: ikahariya@unpal.ac.id¹⁾, asrimulyadi@unpal.ac.id²⁾, suryadarma.stmt@gmail.com³⁾,
rita.anggrainy@gmail.com⁴⁾

ABSTRACT

Mortar geopolimer is a mortar that does not use Portland cement so the mortar produced is environmentally friendly. Geopolymer mortar is formed from chemical reaction not from hydration reaction as conventional mortar (Davidovits, 1999). This study used rice husk ash waste (RHA) and fly ash as cement substitution material. The aim of this study is to determine the optimum composition of geopolymer mortar mixture with fly ash and rice husk ash precursors with NaOH solution to produce high compressive strength of geopolymer mortar, to know the effects of NaOH solution concentration on microstructure of geopolymer mortar, and to know the effects of fly ash and husk ash rice as a precursor to microstructure of geopolymer mortar. Variations of molarity to the effects of NaOH concentration were 8M, 10M, 12M, 14M and 16M. The percentage ratios of fly ash and rice husk ash used were FA 100%: RHA 0%, FA 75%: RHA 25%, FA 50%: RHA 50%, and FA 25%: RHA 75%. The use of RHA is expected to accelerate the secondary hydration reaction for the formation of new CSH. The implementation methodology used in accordance with ASTM and ACI. The tests conducted in this study include fresh mortar test, 28-day mortar compressive strength, and SEM test. Fresh concrete test included slump flow test and setting time test. The results showed that the decrease of slump flow value with the increase percentage of RHA to the activator. The percentage of FA 100%: RHA 0% to 8 molar of NaOH concentration showed the largest slump flow value was 112 cm. The result of setting time test increases with the increase of fly ash percentage to NaOH concentration. The percentage of FA 100%: RHA 0% with 16 molar of NaOH concentration showed the longest setting time. The percentage ratio of FA 100%: RHA 0% with a 16 molar of NaOH concentration indicated the maximum 28-day concrete compressive strength value of 57.213 MPa with a specific density of 1.15 kg/m³ and a solid and complex CH structure.

Keywords: *Geopolymer mortar, fly ash, rice husk ash, microstructure.*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material yang umum digunakan dalam bidang konstruksi selain material baja dan kayu. Dalam proses pembuatannya beton terdiri atas air, semen, agregat halus, dan agregat kasar. Namun, dengan berkembangnya teknologi mutakhir dalam pembuatan beton kini telah ditemukan beton atau mortar yang ramah lingkungan serta memiliki keunggulan yang lebih dibandingkan beton atau mortar konvensional. *Light Mortar (Mortar Ringan)*, *Geopolymer Mortar (Mortar Geopolimer)*, *Self Compacting Concrete (SCC)*, dan *Reactive Powder Concrete (RPC)* merupakan beton atau mortar mutakhir. Terdapat berbagai macam beton yang berkembang masa kini salah satunya adalah beton geopolimer.

Beton geopolimer merupakan beton yang dalam proses pembuatannya terdiri atas air, *activator*, *precursor*, dan *fine aggregate*. Dalam penelitian ini, membahas tentang *mortar geopolimer*. *Mortar geopolimer* merupakan mortar yang tidak menggunakan semen Portland sehingga mortar yang dihasilkan ramah lingkungan. *Mortar geopolimer* terbentuk dari reaksi kimia bukan dari

reaksi hidrasi seperti pada mortar konvensional (Davidovits, 1999). Alkali aktivator yang umum digunakan untuk membuat geopolimer adalah kombinasi antara Sodium hidroksida dengan Sodium Silikat (Davidovits, 1999).

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah abu sekam padi dan *fly ash* sebagai bahan limbah yang dapat dimanfaatkan. Abu sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi berfungsi untuk mengikat campuran mortar agar menjadi salah satu jenis mortar yang kuat dan tahan lama. Sedangkan, menurut ASTM C618 abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Banyaknya hasil material, *fly ash* dan slag terbukti menjadi sumber material yang dapat membuat geopolimer. *Fly ash* dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada slag. Reaksi dari bahan substitusi *mortar geopolimer* ini dapat dilakukan pengamatan secara makrostruktur dan mikrostruktur. Sebelumnya, makrostruktur merupakan salah satu metode pengujian yang dilakukan untuk mengamati reaksi bahan campuran dengan skala yang besar.

Sedangkan mikrostruktur merupakan salah satu metode pengujian yang dilakukan untuk mengamati reaksi bahan campuran mortar dengan skala yang lebih kecil. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan secara mikrostruktur.

Pengujian mikrostruktur ini memiliki tiga jenis pengujian, seperti pengujian X-RD difactometer, scanning electron microscope (SEM), dan mercury injection capillary pressure (MCIP). Penelitian ini menggunakan salah satu dari ketiga jenis pengujian mikrostruktur yaitu pengujian secara scanning electron microscope (SEM). Berdasarkan uraian diatas penelitian ini adalah meninjau pengaruh konsentrasi activator NaOH terhadap mikrostruktur mortar geopolimer dengan precursor fly ash dan abu sekam padi.

2. MATERIAL DAN KOMPOSISI CAMPURAN

Material mortar geopolimer yang digunakan dalam penelitian ini berupa fly ash, air, agregat halus (fine aggregate), dan admixture. Material tersebut memiliki ketentuan komposisi sesuai ASTM dan SNI sehingga menghasilkan mortar geopolimer yang baik.

Fly Ash merupakan abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industry, fly ash sendiri tidak memiliki kemampuan untuk mengikat. Pada mortar konvensional material pendukung semen sangat berperan aktif. Pada saat proses memproduksi semen, terjadi pula CO₂ ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah produksi semen dengan kata lain untuk memproduksi semen itu sendiri sama dengan memproduksi CO₂ sebesar 1 ton banyaknya ke dalam udara (Davidovits 1994). Fly Ash sumber pengikat geopolimer, terdapat diseluruh dunia. Dari taksiran 1998, produksi abu batu bara global lebih besar dari 390 juta ton tiap tahun tapi penggunaannya kurang dari 15% (Malhotra, 1999) di USA produksi tahunan Fly Ash kurang lebih 63 juta ton, yang dipakai pada industri beton hanya 18% s/d 20% (Sumajouw et al, 2006). Dimasa mendatang, produksi Fly Ash akan meningkat khususnya di Negara Cina dan India, ditaksir pada tahun 2010 mencapai sekitar 780 juta ton tiap tahun (Sumajouw et al, 2006).

Fly Ash bisa dijadikan sebagai bahan tambahan campuran beton, untuk meningkatkan kualitas beton dalam hal kekuatan, kekedapan air dan ketahanan terhadap sulfat (Sofwan Hadi, 2000).

Air merupakan salah satu material pendukung terpenting dalam pembuatan mortardan sangat dibutuhkan. Air memiliki fungsi sebagai pelarut material pendukung seperti fine aggregate, coarse aggregate, dan Alkali-Liquid. Kadar air ini haruslah diperhatikan komposisinya agar tidak berlebih ataupun berkurang. Apabila kadar air pada mortar terlalu berlebihan maka mortar sulit mengikat satu sama lain sehingga pada saat mortar mengering

terdapat banyak rongga begitu pula sebaliknya apabila kadar air pada mortar terlalu sedikit maka campuran mortar tidak dapat menyatu dan melekat dengan baik sebagaimana mestinya.

Agregat halus adalah salah satu material pendukung setelah air yang berfungsi sebagai filling atau pengisi campuran mortar, agregat halus ini digunakan untuk menghasilkan kekuatan yang tinggi pada mortar juga mengurangi susut pada mortar (Asri Mulyadi, Surya Darma, and Hertanto 2023). Agregat halus ini harus memenuhi syarat dan ketentuan, apabila agregat halus tidak memenuhi syarat dan ketentuan maka agregat halus harus diproses kembali atau diganti kembali dengan agregat halus yang baru. Agregat halus ini juga harus memiliki ukuran butiran yang sesuai agar dapat mengikat satu sama lain sehingga mortar yang dihasilkan memenuhi syarat dan ketentuan ASTM C 33.

Mineral admixtures merupakan bahan tambahan yang memiliki karakteristik tertentu. Sekam padi adalah kulit yang membungkus butiran beras, dimana kulit padi akan terpisah dan menjadi limbah atau buangan. Jika sekam padi dibakar akan menghasilkan abu sekam padi. Kulit sekam dibakar pada tungku pembakar, dihasilkan sekitar 55 kg (25%) RHA. Terdapat 20% dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi dari 13 hingga 29% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar (Asri Mulyadi, H. Mega Yunanda, Pengki Suanto 2021).

Nilai paling umum kandungan silika (SiO₂) dalam abu sekam padi adalah 94% hingga 96% dan apabila nilainya mendekati atau dibawah 90 % kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah. Abu sekam padi apabila dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi sekitar (500°C – 600°C) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Prasetyoko, 2001).

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia abu sekam padi PT. Putra Buyung Sembada

No.	Composition	Weight (%)
1.	Silicon Dioxide (SiO ₂)	93,12
2.	Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	0,96
3.	Iron (III) Oxide (Fe ₂ O ₃)	0,32
4.	Calcium Oxide (CaO)	1,77
5.	Magnesium Oxide (MgO)	0,63
6.	Sulfur Trioxide (SO ₃)	1,16
7.	LOI	-

Penentuan mix design mortar geopolimer dilakukan dengan pengumpulan data-data dari jurnal, ASTM C109, ASTM C270, dan ACI sebagai acuan yang digunakan untuk menentukan mix design mortar geopolimer. Larutan alkali berfungsi mengaktifkan precursor, larutan alkali yang digunakan memiliki rasio NaOH 8 M, 10 M, 12 M, 14 M, 16 M, dan 18 M dengan Na₂SiO₃

senilai 2,5. *Precursor* yang digunakan berupa *fly ash* dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen. Rencana komposisi campuran *Precursor fly ash* dan abu sekam padi memiliki empat perbandingan yaitu 100:0, 75:25, 50:50, dan 25:75. *Superplasticizer* tipe F digunakan untuk meningkatkan *workability* pada mortar geopolimer. *Job mix formula* dari bahan material tersebut mempengaruhi kuat tekan mortar geopolimer. Komposisi campuran dari bahan material tersebut mempengaruhi berat jenis dan kuat tekan yang dihasilkan *geopolimery mortar*. Rencana komposisi campuran *geopolimery mortar* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi campuran *geopolimery mortar* (untuk 1.125 gr/cm³)

Mix	FA (gr)	ASP (gr)	Pasir (gr)	Na ₂ SiO ₃ (liter)	NaOH (gr)	SP (gr)
MG1-8M	740	0	1.480	238,1	94,9	1,1
MG1-10M	740	0	1.480	238,1	94,9	1,1
MG1-12M	740	0	1.480	238,1	94,9	1,1
MG1-14M	740	0	1.480	238,1	94,9	1,1
MG1-16M	740	0	1.480	238,1	94,9	1,1
MG2-8M	555	185	1.480	238,1	94,9	1,1
MG2-10M	555	185	1.480	238,1	94,9	1,1
MG2-12M	555	185	1.480	238,1	94,9	1,1
MG2-14M	555	185	1.480	238,1	94,9	1,1
MG2-16M	555	185	1.480	238,1	94,9	1,1
MG3-8M	370	370	1.480	238,1	94,9	1,1
MG3-10M	370	370	1.480	238,1	94,9	1,1
MG3-12M	370	370	1.480	238,1	94,9	1,1
MG3-14M	370	370	1.480	238,1	94,9	1,1
MG3-16M	370	370	1.480	238,1	94,9	1,1
MG4-8M	185	555	1.480	238,1	94,9	1,1
MG4-10M	185	555	1.480	238,1	94,9	1,1
MG4-12M	185	555	1.480	238,1	94,9	1,1
MG4-14M	185	555	1.480	238,1	94,9	1,1
MG4-16M	185	555	1.480	238,1	94,9	1,1

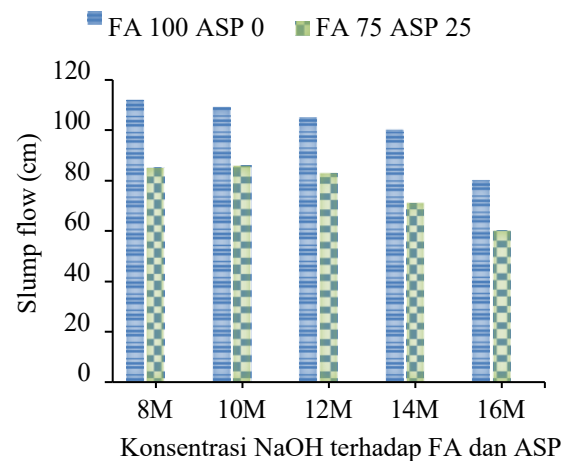
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Beton Segar

A. Slump flow

Pada pengujian *slump flow* mortar geopolimer dilakukan pengukuran diameter sebaran mortar segar dalam empat arah.

Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil pengujian *slump flow* berdasarkan kandungan *fly ash* dan abu sekam padi dengan variasi molaritas NaOH

Gambar 1 dapat diambil kesimpulan jika semakin tinggi kandungan ASP yang dicampurkan kedalam *mix design* maka nilai *slump flow* yang terjadi akan semakin kecil dan dapat disimpulkan semakin tinggi molaritas NaOH mengakibatkan nilai *slump flow* mengecil. Selisih nilai *slump flow* berdasarkan konsentrasi NaOH dapat dilihat pada Tabel.2. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *initial time* dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Persentase perubahan dari hasil pengujian *setting time* terhadap konsentrasi NaOH

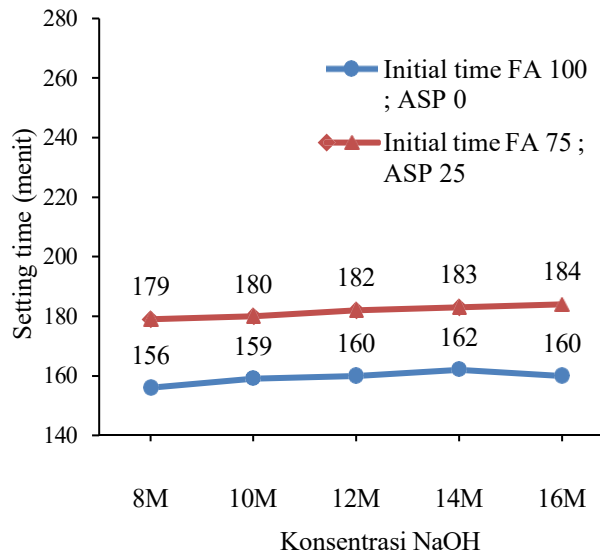
Mix (%)	NaOH	Slump Flow (cm)	Persentase Perubahan (%)
FA100:ASP0	8M	112	0
	10M	109	-7
	12M	105	-7
	14M	100	-12
	16M	80	-32
FA75:ASP25	8M	85	0
	10M	86	-1
	12M	83	-2
	14M	71	-24
	16M	60	-25

B. Setting time

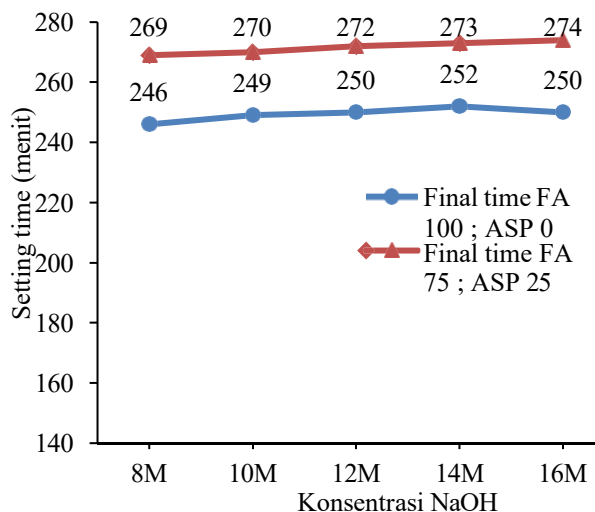
Pengujian *setting time* ini dilakukan dengan rentang waktu 15 menit. . Persentase perubahan hasil pengujian *setting time* terhadap konsentrasi NaOH dapat dilihat pada Tabel 3. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *setting time* dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan penambahan nilai konsentrasi NaOH tidak memiliki pengaruh besar kepada *initial setting time*. Semakin tinggi molaritas NaOH, *final time* yang didapat semakin lama dapat dilihat pada Gambar 3. Begitu juga dengan *initial time* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Semakin tinggi molaritas NaOH semakin lama *initial time*

yang didapat. Tetapi tinggi molaritas tidak berpengaruh besar terhadap *final time* dan *initial time*.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *initial time*



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap *final time*

3.2. Hasil Pengujian Berat Jenis 28 Hari

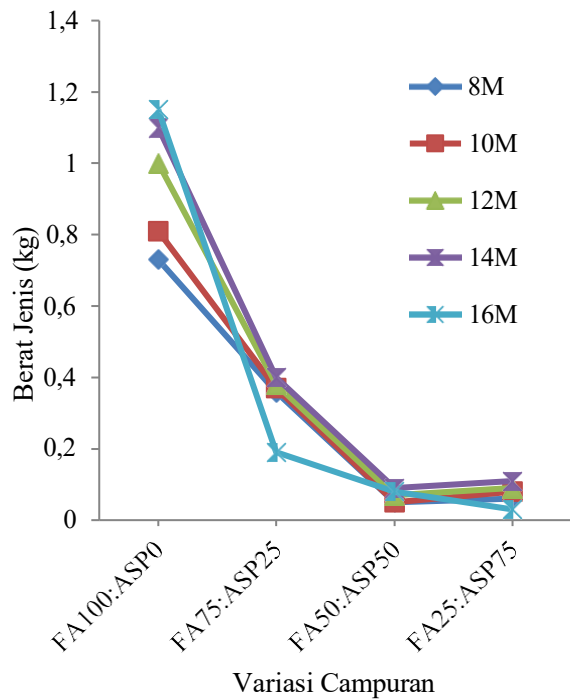
Pada penelitian ini berat maksimum yang didapat sebesar 1,15 gram/cm³ untuk *mix design* MG1-16M pada umur 28 hari. Berat jenis minimum terdapat pada campuran MG3-8 M yaitu sebesar 0,05 gram/cm³.

Tabel 3 menunjukkan selisih berat jenis mortar umur 28 hari terhadap abu sekam padi dan *fly ash*. Pada tabel tersebut menjelaskan berat jenis mortar cenderung mengecil jika kandungan abu sekam padi pada mortar semakin banyak. Tabel 3 ditunjukkan konsentrasi NaOH 8 M dengan ASP

0%; FA 100% berat jenis mortar sebesar 0.73. dengan ASP 25%; FA 75% sebesar 0.36. dengan ASP 50%; FA 50% sebesar 0.05. dengan ASP 25%; FA 75% sebesar 0.06. Pada Tabel 3 menunjukkan pengaruh kandungan ASP dan FA terhadap hasil berat jenis umur 28 hari. Tabel 3 tersebut dapat dilihat pula jika semakin banyak kandungan ASP yang terkandung dalam campuran cenderung menyebabkan berat jenis semakin menurun.

Tabel 3. Persentase perubahan berat jenis 28 hari abu terhadap sekam padi dan *fly ash*

Mix Design	Konsentrasi NaOH	Berat jenis (kg/m ³)	Persentase Perubahan (%)
FA100:ASP0	8M	0,73	0,00
	10M	0,81	0,00
	12M	1,00	0,00
	14M	1,10	0,00
	16M	1,15	0,00
FA75:ASP25	8M	0,36	-0,37
	10M	0,37	-0,44
	12M	0,38	-0,62
	14M	0,40	-0,70
	16M	0,19	-0,96
FA50:ASP50	8M	0,05	-0,68
	10M	0,05	-0,67
	12M	0,07	-0,93
	14M	0,09	-1,01
	16M	0,08	-1,07
FA25:ASP75	8M	0,06	-0,67
	10M	0,08	-0,64
	12M	0,09	-0,91
	14M	0,11	-0,99
	16M	0,03	-1,12



Gambar 4. Perubahan berat jenis mortar umur 28 hari terhadap abu sekam padi dan *fly ash*

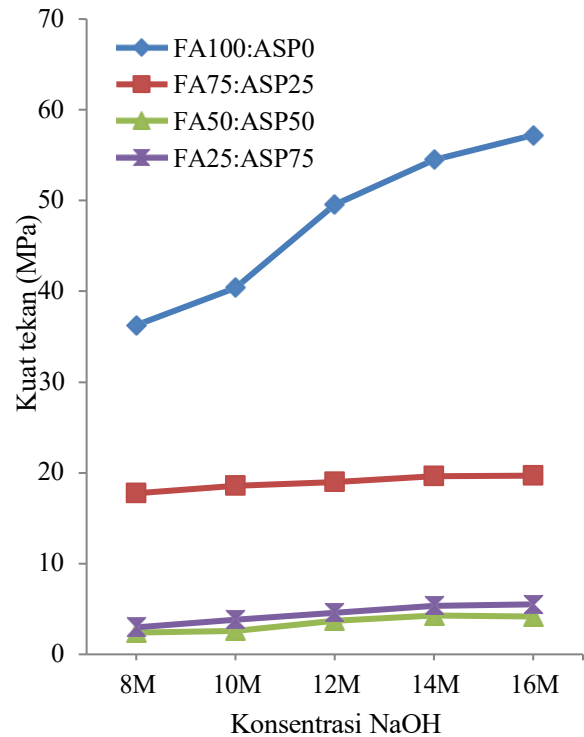
3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan 28 Hari

Berdasarkan Tabel 4 kuat tekan tertinggi dihasilkan pada sampel MG1-16M umur mortar 28 hari yang merupakan perbandingan FA 100 : ASP 0 sebesar 57,213 MPa dengan persentase perubahan sebesar 20,943%. Pada sample MG3-8M yang merupakan perbandingan FA 50 : ASP 50 ini memiliki kuat tekan minimum sebesar 2,399 MPa dengan persentase perubahan sebesar 0,000% pada umur mortar 28 hari.

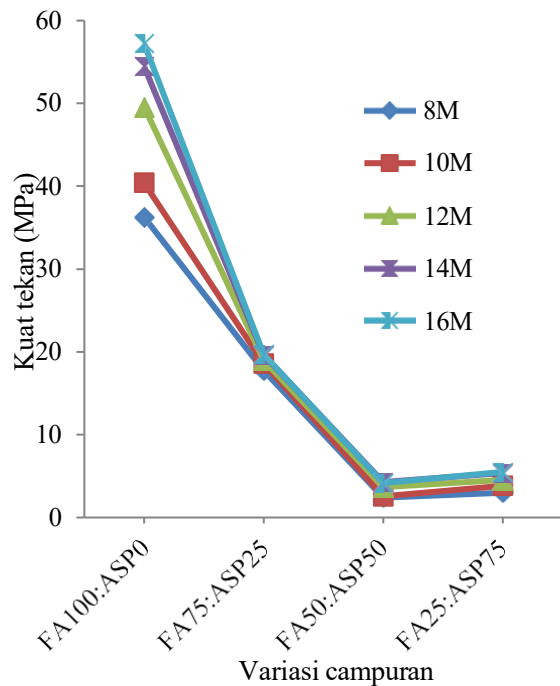
Tabel 4. Persentase perubahan kuat tekan umur 28 hari terhadap kandungan *fly ash* dan abu sekam padi

Mix (%)	NaOH	Kuat Tekan (MPa)	Persentase Perubahan (%)
FA100:ASP0	8M	36,270	0,000
	10M	40,388	4,118
	12M	49,573	13,303
	14M	54,464	18,194
	16M	57,213	20,943
FA75:ASP25	8M	17,747	0,000
	10M	18,589	0,842
	12M	18,973	1,226
	14M	19,635	1,888
	16M	19,688	1,941
FA50:ASP50	8M	2,399	0,000
	10M	2,560	0,161
	12M	3,669	1,270

FA25:ASP75	14M	4,279	1,880
	16M	4,159	1,760
	8M	2,971	0,000
	10M	3,802	0,885
	12M	4,556	1,639
	14M	5,361	2,444
	16M	5,511	2,594



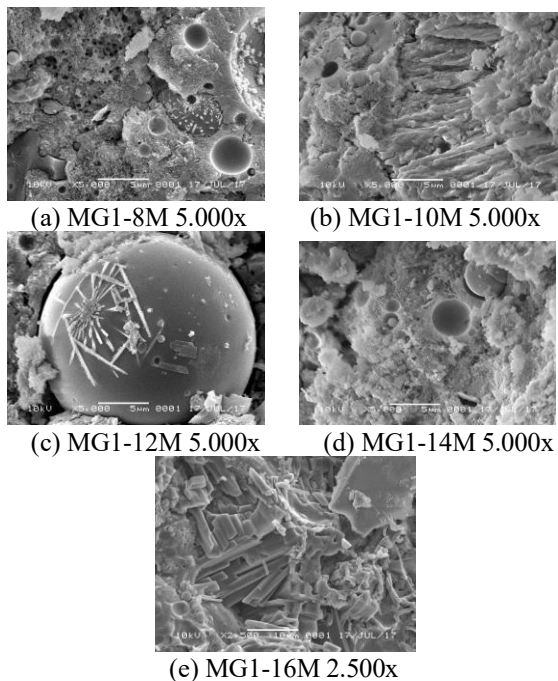
Gambar 5. Hasil pengujian kuat tekan mortar 28 hari terhadap konsentrasi NaOH



Gambar 6. Hasil pengujian kuat tekan mortar 28 hari terhadap variasi campuran.

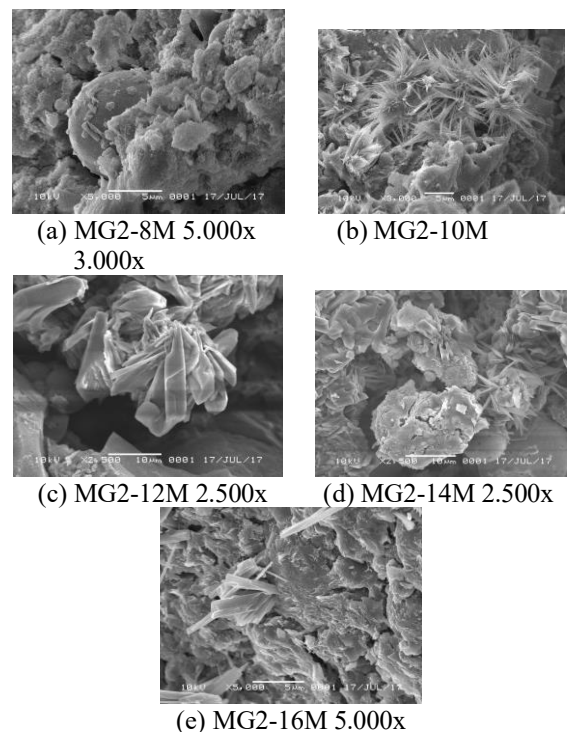
3.3. Hasil Pengujian Mikrostruktur Mortar Geopolimer

Pada hasil penelitian ini membahas mengenai hasil dari pengujian mikrostruktur mortar geopolimer. Data yang digunakan merupakan data dari pengujian kuat tekan berumur 28 hari, dimana sampel mortar geopolimer ini lolos pengujian kuat tekan tertinggi kemudian dilakukan pengujian SEM.



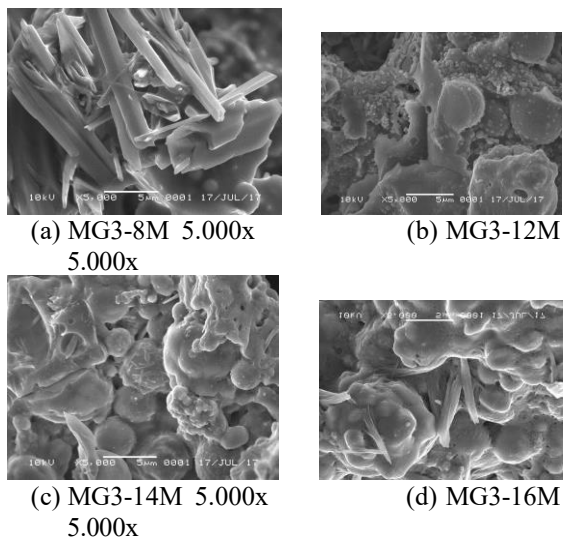
Gambar 7. Hasil pengujian SEM pada sampel MG1-8M-16M variasi FA100-ASP0

Pada Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa hasil dari Gambar 7 (a) dapat dijelaskan bahwa, *ettringite* mulai muncul di perbesaran $5\mu\text{m}$ dengan ukuran relatif kecil dan halus. Terdapat butiran *fly ash* dan banyak mikro pori disampingnya. Pada Gambar 7 (b) di perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ dapat dilihat bahwa struktur CSH menyelimuti seluruh permukaan, terdapat satu butir *fly ash* di sudut kiri atas dan dua buah mikro pori di sudut kiri atas, tengah bawah dan kanan bawah. Pada Gambar 7 (c) bahwa sudah terlihat jelas pada perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ struktur *ettringite* telah terbentuk namun belum begitu kompleks, *ettringite* ini menempel pada butiran *fly ash* serta terdapat struktur CSH dan CH juga menempel di butiran *fly ash*. Pada Gambar 7 (d) bahwa dapat dilihat pada perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ struktur CSH menyelimuti seluruh permukaan, terdapat pori bekas lepasan dari *fly ash*, terdapat beberapa *fly ash* yang menyebar di sudut kanan atas dan sudut kiri atas namun ukurannya relatif kecil. Pada Gambar 7 (e) sudut terlihat jelas struktur CH menyebar di permukaan dan terdapat struktur CSH yang menempel di pecahan mortar serta terdapat *ettringite* yang menempel di butiran *fly ash* juga pecahan mortar dengan ukuran yang relatif kecil.



Gambar 8. Hasil pengujian SEM pada sampel MG2-8M-16M variasi FA75-ASP25

Pada Gambar 8 (a) dapat dilihat pada perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ ini bahwa struktur CSH menyelimuti butiran *fly ash* dan struktur CH yang menempel di butiran *fly ash*, serta terdapat sedikit mikro pori di permukaan. Pada Gambar 8 (b) dengan perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ terdapat *ettringite* yang menyebar diseluruh permukaan, terdapat struktur CH di bawah permukaan, terdapat butiran *fly ash* disudut kiri atas dan terdapat mikro pori di sudut kanan atas dan bawah. Pada Gambar 8 (c) dengan perbesaran tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ terdapat gumpalan struktur CH yang saling mengikat dan mikro pori di sudut kiri atas, tengah, bawah serta sudut kanan atas juga tengah. Struktur CSH sudah mulai sedikit terlihat seperti pada Gambar 7 (b). Pada Gambar 8 (d) dengan perbesaran tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ ini terdapat struktur CH yang tersebar mengelilingi permukaan, terdapat pula *ettringite* yang tersebar di sudut kanan bawah dan menempel di butiran *fly ash* sudut kanan bawah. Terdapat pula butiran ASP yang terlihat jelas menempel di pecahan *fly ash* sudut tengah bawah dan terdapat mikro *crack* di sudut tengah bawah. Pada Gambar 8 (e) dengan perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ ini terdapat struktur CH yang semakin kompleks tersebar di sekeliling permukaan dan terdapat mikro pori disetiap sudut permukaan dengan jumlah yang relatif sedikit.

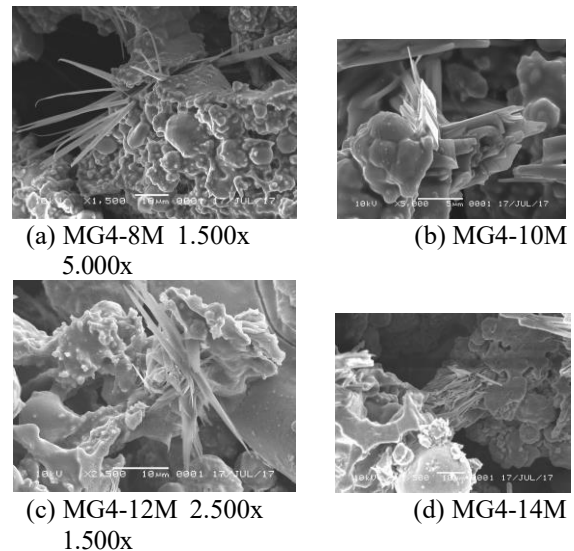


Gambar 9. Hasil pengujian SEM pada sampel MG3-8M-16M variasi FA50-ASP50

Pada Gambar 9 (a) terlihat struktur CH yang kompleks mengikat satu sama lainnya, terdapat butiran *fly ash* disudut kanan bawah pada perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$. Pada Gambar 9 (b) merupakan hasil uji SEM secara general dengan perbesaran tidak lebih dari $50\mu\text{m}$ terdapat struktur CH yang menyebar di permukaan, terdapat mikro pori di sudut kiri atas dan bawah, terdapat struktur CSH menyelimuti permukaan di sudut kiri bawah,

permukaan, terdapat struktur CH ditengah permukaan

dan terdapat butiran *fly ash* menempel di struktur CH. Pada Gambar 9 (c) merupakan hasil uji SEM secara general dengan perbesaran tidak lebih dari $50\mu\text{m}$ terdapat struktur CH, mikro pori, butiran *fly ash* dan serpihan mortar akibat kuat tekan. Pada Gambar 9 (d) dengan perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ terdapat *ettringite* yang menempel di permukaan struktur CSH dan terdapat mikro pori di berbagai sudut.



Gambar 10. Hasil pengujian SEM pada sampel MG4-8M-16M variasi FA25-ASP75

Pada Gambar 10 (a) merupakan hasil uji SEM dengan perbesaran tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ terdapat jelas terlihat *ettringite* dalam ukuran yang relatif besar dan panjang menempel di struktur CSH, terdapat mikro *crack* didekat *ettringite* dan terdapat pori disekitar *ettringite* dan struktur CSH. Terdapat struktur CH di bagian sudut kanan atas yang menempel di struktur CSH. Pada Gambar 10 (b) merupakan hasil uji SEM dengan perbesaran tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ terdapat *ettringite* yang menempel di struktur CH dan CSH, dan terdapat pori di sekitar permukaan. Pada Gambar 10 (c) merupakan hasil uji SEM yang memiliki perbesaran tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ terdapat *ettringite* yang menempel di struktur CSH, terdapat struktur CSH yang menyebar diseluruh permukaan. Terdapat mikro *crack* dibagian sudut kanan atas, dan terdapat pori di permukaan. Pada Gambar 10 (d) merupakan hasil uji SEM dengan perbesaran yang tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ terdapat struktur CSH dibelakang dan disudut kanan atas, terdapat butiran *fly ash*

didepan permukaan, dan terdapat pori dipermukaan. Pada Gambar 10 (e) merupakan hasil uji SEM dengan perbesaran tidak lebih dari $10\mu\text{m}$ terdapat *ettringite* yang menempel di permukaan struktur CSH serta terdapat makro *crack* di sudut kiri atas, struktur CH telah menyatu dengan struktur CSH dan *ettringite*.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian yang berjudul Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Mikrostruktur Mortar Geopolimer dengan Precursor Fly Ash dan Abu Sekam Padi ini memiliki kesimpulan. Maka, dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk mengetahui komposisi optimum campuran mortar geopolimer dengan *precursor fly ash* dan abu sekam padi menggunakan variasi molaritas larutan NaOH sebesar 8M, 10M, 12M, 14M, dan 16M serta perbandingan antara $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ sebesar 2,5 yang memiliki kuat tekan tinggi adalah dengan menggunakan perbandingan variasi komposisi campuran antara *fly ash* dan abu sekam padi sebesar 100:0 dan 75:25 berdasarkan ASTM C109. Dari perbandingan 100:0 pada saat umur mortar 28 hari dapat menghasilkan kuat tekan sebesar 36,270 MPa untuk variasi molaritas 8M, 40,388 MPa untuk variasi molaritas 10M, 49,573 MPa untuk variasi molaritas 12M, 54,464 MPa untuk variasi molaritas 14M, dan 57,213 MPa untuk variasi molaritas 16M. Dari perbandingan 75:25 pada saat umur mortar 28 hari dapat menghasilkan kuat tekan sebesar 17,747 MPa untuk variasi molaritas 8M, 18,589 MPa untuk variasi molaritas 10M, 18,973 MPa untuk variasi molaritas 12M, 19,635 MPa untuk variasi molaritas 14M, dan 19,688 MPa untuk variasi molaritas 16M.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan NaOH terhadap mikrostruktur mortar geopolimer adalah semakin tinggi molaritas dari larutan NaOH maka semakin kompleks hasil dari pembentukan struktur CSH dan CH dalam mortar geopolimer sehingga membentuk komponen yang homogen dan memiliki kuat tekan yang tinggi.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* dan abu sekam padi sebagai *precursor* terhadap mikrostruktur mortar geopolimer adalah semakin banyak pembentukan *ettringite* maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan oleh mortar geopolimer.

REFERENCES

Asri Mulyadi, H. Mega Yunanda, Pengki Suanto, Yulius et al. 2021. "Analisis Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Pengisi Dalam Campuran Mutu Beton K.250." *Jurnal Teknik Sipil UNPAL* 11(2).

Asri Mulyadi, Asrullah, Wahyu Handoyono Hidayat Surya Darma, and Rusdian Hertanto. 2023. "Analisis Pengaruh Variasi Penggunaan Abu Ampas Tebu Dan Latex Sebagai Bahan Pembuatan Mortar Polimer." *Jurnal Teknik Sipil UNPAL* 13(2).

ASTM C 33-03, Standard Specification For Concrete Agregate, *Annual Books of ASTM Standards, USA: Association of Standard Testing Materials*, 2003.

ASTM C 618-86, Standard Specification of Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolon for Use in Concrete, *Annual Books of ASTM Standards, USA: Association of Standard Testing Materials*.

B, Satpute Manesh., R, Wakchaure Madhukar., and V, Patankar Subhash. 2012. Effect of duration and Temperature of Curing on Compressive Strength of Geopolymer Concrete. *International Journal of Engineering and Technology*.

Bakri, A. M. Mustafa Al., Kamarudin, H., Bnhussain, M., Rafiza, A. R., and Zarina, Y. 2012. Effect of $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratios and NaOH Molarities on Compressive Strength of Fly-Ash-Based Geopolymer. *ACI Materials Journal*.

Chen, Liang., Wang, Zaiqin., Wang, Yuanyi., and Feng, Jing. 2016. Preparation and Properties of Alkali Activator Metakaolin- Based Geopolymer. *MDPI Materials Journal*.

Davidovits, J., 2000. Properties Of Geopolimer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concrete*.

Davidovits, J., 2000. Chemistry of Geopolymeric System, Terminology. *Geopolymer "99 International Conference, France*.

Giaccio, G., Sensale, G. R. de., and Zebrino, R. 2007. Failure Mechanism of Normal and High-Strength Concrete with Rice-Husk Ash. *Cement and Concrete Coposites*.

Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumanjouw, D.M.J., and Rangan, B.V. 2005. Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Australian Journal of Structural Engineering*.

- Kishanrao, Prof. More Pratap. 2013. Design of Geopolymer Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*.
- Krishnan, L., Karthikeyan, S., Nathiya, S., and Suganya, K. 2014. Geopolymer Concrete an Eco-Friendly Construction Material. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- Kumar, S.G., Aleem, M.I.A., and Dinesh, S. 2015. Application of Geopolymer Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*.
- Laskar, Islam A., and Bhattacharjee, R. 2013. Effect of Plasticizer and Superplasticizer on Rheology of Fly-Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*.
- Lloyd, N.A., and Rangan, B.V. 2010. Geopolymer Concrete with Fly Ash. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials*.
- Ruzkon, Sumrerng., and Chindaprasist, P. 2014. Strength and Porosity of Bagasse Ash-based Geopolymer Mortar. *Journal of Applied Sciences*.
- Saloma, Hanafiah, and Pratiwi, Kartika Ilma. 2016. Effect NaOH Concentration on Bagasse Ash Based Geopolymerization. *EDP Sciences*.
- Sreevidya, V., Anuradha, R., and Venkatasubramani, R. 2012. Strength Study on Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Asian Journal of Chemistry*.
- Subekti, S., 2010. Ketahanan Kuat Tekan Pasta Geopolimer Molaritas 8 Mol dan 12 Mol Terhadap Agresifitas NaCl. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Tabassum, R.K., and Khadwal, K. 2015. A Brief Review on Geopolymer Concrete. *International Journal of Advanced Research in Education Technology (IJARET)*.
- Trejo, David., and Prasittisopin, L. 2015. Chemical Transformation of Rice Husk Ash Morphology. *ACI Materials Journal*.