

Penerapan Teknologi Geopolimer Berbasis Limbah *Fly Ash* Dalam Konstruksi Non Struktural

Amir Fauzi¹, Fazliah², Herri Mahyar³, Mulizar⁴, Syukri⁵

^{1,3,4,5}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

²Geopolymer and Green Technology Research Center, PNL
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA
fliah360@gmail.com

Abstrak— Panel dekorasi adalah salah satu material produk konstruksi yang tidak termasuk komponen struktur yang digunakan sebagai seni untuk keindahan dalam bangunan. Secara umum, panel dekorasi yang ada di pasaran disiapkan dengan campuran semen dan serat kaca yang menyebabkan kenaikan biaya produksi. Penelitian ini menyelidiki produk panel dekorasi menggunakan teknologi geopolimer yang memanfaatkan limbah material industri (*fly ash* nagan raya) sebagai material dasar. Namun, larutan alkali diperlukan untuk bereaksi terhadap kandungan kimia Si, Al, dan Ca yang ada dalam *fly ash* nagan raya untuk membentuk gel dalam binder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material *fly ash* kaya akan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan CaO masing-masing sekitar 37,16%, 17,61%, dan 8,72%. Analisis XRD menunjukkan bahwa material *fly ash* terdiri dari kuarsa, mullit, dan hematit. Analisis SEM menunjukkan bahwa partikel abu terbang memiliki permukaan yang berbentuk bola, amorf dan berkabut. Permukaan kabut di partikel *fly ash* menyebabkan hilangnya kemampuan kerja. Selanjutnya, kandungan kimia CaO berada dalam kandungan kalsium sedang yang memberikan waktu pengaturan 4,5 hingga 6 jam, sedangkan kandungan kimia SiO_3 dan Al_2O_3 bereaksi dengan larutan alkali untuk menghasilkan gel Si-O-Si dan Si-O-Al yang berkontribusi terhadap kuat tekan yaitu sebesar 23 MPa pada 28 hari.

Kata kunci—Panel dekorasi, geopolimer, *fly ash* Nagan Raya, SEM, XRD.

Abstract— The decorative panel is a material product in the non-structural construction that is used as the art to beauty in the building. Generally, the decorative panel found in the market was prepared by mixing cement and glass fiber that caused an increase in production cost. This study investigated the decorative panel product using the technology of geopolymer that utilized the waste material of industry (*fly ash* nagan raya) as a base material. However, the alkaline solution was required to react to the chemical content of Si, Al, and Ca that is in the *fly ash* nagan raya to form the gel in the binder. The results show that the material of *fly ash* was rich in the content of SiO_2 , Al_2O_3 , and CaO about 37.16%, 17.61%, and 8.72%, respectively. The analysis of XRD showed that the material of *fly ash* consisted of quartz, mullite, and hematite. The analysis of SEM showed that the particle of *fly ash* has the surface of a sphere, amorphous and misty. The surface of misty in the particle of *fly ash* caused the loss of workability. Furthermore, the chemical content of CaO was in the moderate calcium content that provided the setting time of 4.5 to 6 hours, whereas the chemical content of SiO_3 and Al_2O_3 reacted with an alkaline solution to generate the gel of Si-O-Si and Si-O-Al that contribute to the compressive strength about 23 MPa at 28 days.

Keywords— Decoration panel, geopolymer, *fly ash* Nagan Raya, SEM, XRD.

I. PENDAHULUAN

Geopolimer mortar adalah bahan polimer anorganik yang didasarkan pada kandungan aluminosilikat dan kalsium (Ca). Pengikat pada geopolimer diproduksi dari senyawa pozzolanic dengan larutan alkali aktivator yang terdiri dari natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Pengikat ini diaktifkan dengan basa bersifat ramah lingkungan, di mana produksinya menghabiskan sedikit energi. Limbah industri yang dapat digunakan untuk material geopolimer haruslah mengandung silika (Si), aluminium (Al) dan Ca.

Fly ash adalah limbah yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air [1]. Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari silika dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, sulfur, dalam jumlah yang kecil.

Panel dekorasi merupakan salah satu bagian dari konstruksi yang fungsinya bukan merupakan bagian dari komponen struktur tapi lebih kepada keindahan dan seni (minimalis) dari konstruksi [2]. Produk panel dekorasi memiliki peluang untuk didesain dengan varian pilihan motif yang saat ini banyak diminati untuk bermacam keperluan. Di antaranya

adalah untuk bangunan hotel, rumah, tempat ibadah, perkantoran, dan lain-lain. Panel dekorasi berbahan dasar semen dan *glassfiber* adalah yang umum digunakan dalam dunia usaha [3]. Semen yang bercampur dengan air akan mengikat pasir untuk membentuk corak desain yang diharapkan namun tidak cukup kuat untuk mengikat pasir pada posisi yang memiliki ketebalan yang rendah dan sambungan, sehingga diperlukan *glassfiber* untuk menopang ikatan tersebut.

Alkali aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini dikarenakan silika merupakan asam kuat maka ia juga akan bereaksi dengan basa kuat.

Aktivator alkali yang digunakan adalah natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH), kombinasi larutan ini membantu terjadinya reaksi kimia dengan alumina (Al) dan silika (Si) yang terdapat pada *fly ash* (abu terbang). Larutan NaOH memberikan sifat fluida dalam campuran geopolimer segar sementara larutan Na_2SiO_3 memberikan sifat viskositas (kekentalan). Larutan alkali menentukan kelayakan *workability* dalam campuran geopolimer segar.

Air bersih atau *Aquades* digunakan untuk melarutkan pellet NaOH. Selain itu juga digunakan untuk meningkatkan *workability* dari larutan alkali (sodium hidroksida dan sodium silikat). Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah

Aquades yang telah disediakan di laboratorium beton jurusan teknik sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Agregat halus (pasir) dibutuhkan sebagai bahan pembuatan mortar yang memiliki peran untuk memberikan kemampuan kerja dan *finishing* yang baik. Pasir dengan modulus kehalusan (FM) sekitar 3,0 dianggap pasir kasar yang memungkinkan untuk menghasilkan *workability* yang baik dan kuat tekan tinggi. Untuk kuat tekan 70 MPa (10.000 psi) atau lebih besar, FM harus berkisar 2,8 hingga 3,2 sementara FM dengan kisaran 2,5 dan 2,7 akan menghasilkan kuat tekan yang rendah dan campuran yang lekat [4].

Agregat halus atau biasa disebut pasir adalah agregat yang ukuran butirnya sebagian besar terletak antara 0,074 - 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, dan partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton.

Dalam penelitian ini, produk yang dapat dihasilkan dengan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan dasar yaitu pembuatan panel dekorasi. Panel dekorasi merupakan salah satu bagian dari konstruksi yang fungsinya bukan termasuk komponen struktur tapi lebih kepada keindahan dan seni (minimalis) dari konstruksi. Panel dekorasi berbahan dasar semen dan *glassfiber* adalah yang umum digunakan dalam dunia usaha. Semen yang bercampur dengan air akan mengikat pasir untuk membentuk corak desain yang diharapkan namun tidak cukup kuat untuk mengikat pasir pada posisi yang memiliki ketebalan yang rendah dan sambungan, sehingga diperlukan *glassfiber* untuk menopang ikatan tersebut. Dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dengan menggunakan metode campuran *geopolymer*.

Adapun maksud dan tujuan dilakukan riset ini adalah mengidentifikasi karakteristik material *fly ash* dan memperoleh komposisi campuran *fly ash* supaya mendapatkan kuat tekan optimum untuk pembuatan panel dekorasi.

Pengujian *x-ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui jumlah presentase kandungan kimia yang ada pada material. *X-ray Fluorescenc* menunjukkan sifat dominan dari material pada umumnya, posisi 20-30 mengidentifikasi apakah material tersebut bisa dijadikan sebagai material yang bersifat semen (cementitions). Pada geopolimer, presentase material yang diharapkan dalam jumlah yang besar adalah silika, alumina dan kalsium. Ini dikarenakan silika dan alumina berkonsentrasi pada kuat tekan benda uji, sedangkan berkontribusi terhadap *setting time* [5].

Pengujian *x-ray diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan amorf dalam material, yang mana data yang dihasilkan dalam bentuk grafik akan mengacu kepada grafik yang ada dalam data base material. Dalam pengujian XRD, peak yang terbesar yang terlihat pada grafik [5].

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan struktur permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 µm dari permukaan [6].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik kimia dan fisik material, reologi campuran geopolimer segar,

dan sifat mekanik mortar geopolimer. Material geopolimer diamati berdasarkan pada komposisi kimianya, identifikasi sifat kristal, identifikasi jenis ikatan, dan gambar permukaan. Rheologi campuran geopolimer segar dievaluasi berdasarkan *setting time* dan *workability*. Sifat mekanik mortar geopolimer diidentifikasi melalui kuat tekan.

Penyelidikan ini akan mengevaluasi struktur partikel dari material geopolimer yang akan dianalisis dengan menggunakan alat x-ray diffraction (XRD) untuk mengidentifikasi partikel dalam wujud kristal ataupun amorf, fourier transform infrared (FTIR) untuk mengidentifikasi jenis gel ikatan yang terbentuk, dan scanning elektron mikroskop (SEM) untuk mengidentifikasi bentuk dan permukaan partikel dari material. Perencanaan *mix design* dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fly ash dalam pembuatan panel dekorasi.

Material yang digunakan untuk membuat panel dekorasi geopolimer adalah *fly ash* sebagai material pengikat, natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃) sebagai alkali aktivator yang digunakan sebagai larutan, pasir sebagai material pengikat, air bersih atau *Aquades* digunakan untuk melarutkan pellet NaOH. Selain itu juga digunakan untuk meningkatkan *workability* dari larutan alkali (sodium hidroksida dan sodium silikat).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material

1.) *X-ray Fluorescence* (XRF): Spesifikasi standar ASTM C618 menjelaskan bahwa *fly ash* mengandung kombinasi dari fase gelas dan kristal dengan tiga kandungan kimia utama SiO₂ (25% sampai 60%), Al₂O₃ (10 hingga 30%), dan Fe₂O₃ (5 hingga 25%) yang mengkategorikan *fly ash* menjadi kelas C dan kelas F. Sedangkan, Asosiasi Standar Kanada Asosiasi (CSA) mengklasifikasikan tiga spesifikasi *fly ash* berdasarkan konten Ca. Yaitu tipe Ca rendah (<8% CaO), tipe Ca sedang (8-20% CaO) dan tipe Ca tinggi CH (> 20% CaO). Kalsium tipe F rendah dan Ca tinggi CH dari abu terbang dalam standar CSA memiliki sifat kimia yang mirip dengan *fly ash* kelas F dan *fly ash* kelas C dalam standar ASTM. Sedangkan, sifat kimia CI kalsium jenis moderat *fly ash* dalam standar CSA mirip dengan *fly ash* kelas C atau *fly ash* kelas F dalam standar ASTM. Komposisi kimia *fly ash* tipe F dapat dilihat pada Tabel 1.

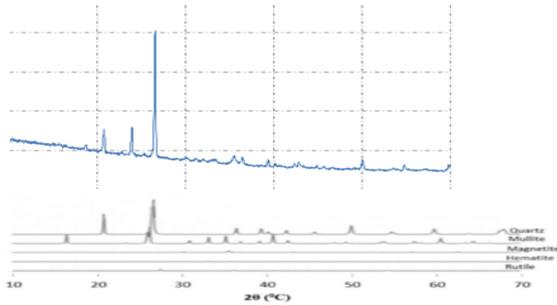
TABEL I
HASIL UJI XRF FLY ASH

No	Senyawa	%
1	SiO ₂	37,16
2	Al ₂ O ₃	17,61
3	Fe ₂ O ₃	18,79
4	CaO	8,72
5	Na ₂ O	0,468
6	K ₂ O	0,788
7	TiO ₂	0,747
8	MgO	6,43
9	P ₂ O ₅	0,139
10	SO ₃	1,96
11	H ₂ O	-
12	Loi	-

Hasil analisis uji XRF *fly ash* tergolong kelas F. *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yaitu 8,72 % yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara.

Kadar pozzolan yang terkandung didalamnya: (SiO₂ (37%) + Al₂O₃ (17,61%) + Fe₂O₃ (18,79)) lebih dari 70%.

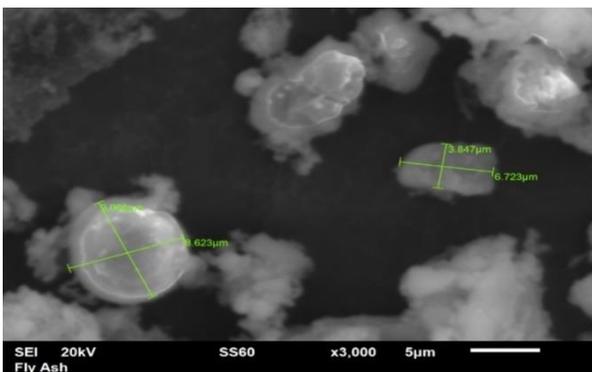
2.) *X-ray diffraction (XRD)*: Gambar 2 menunjukkan spektrum XRD *fly ash* akan merujuk ke puncak dispersi yang sama dengan pola referensi yang tercatat pada data base yang digunakan untuk mengidentifikasi konstituen mineral utama dari material dalam bentuk kristaline atau amorf. Spektrum XRD menunjukkan bahwa mineral utama bahan *fly ash* terdiri dari kuarsa (SiO₂), mullit (3Al₂O₃ 2SiO₂ atau 2Al₂O₃SiO₂) dan hematit (Fe₂O₃).



Gambar 1. Grafik XRD dari material FA

3.) *Scanning Electron Microscopy*:

Bentuk partikel dan elemen utama *fly ash* diamati dengan alat *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Gambar 3 menunjukkan gambar bentuk dan permukaan partikel *fly ash*. Gambar tersebut menunjukkan *fly ash* memiliki bentuk seperti bola amorf, ramping, dan berakut. Karakteristik partikel *fly ash* ini memiliki kontribusi dalam proses geopolimer. Misalnya, bentuk partikel *fly ash* seperti bola amorf yang berfungsi sebagai pengisi yang baik dalam lubang yang dibentuk oleh gel Si-O-Si dan Si-O-Al. Sedangkan permukaan *fly ash* yang berakut menyebabkan partikel akan menyerap larutan alkali dari campuran yang ada, sehingga menurunkan *workability*.



Gambar 2. Permukaan dan identifikasi kimia *fly ash*

B. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pasir Krueng Manee, Kabupaten Aceh Utara dengan ukuran < 4.75 mm. Hasil observasi dari pengujian sifat fisis adalah sebagai berikut :

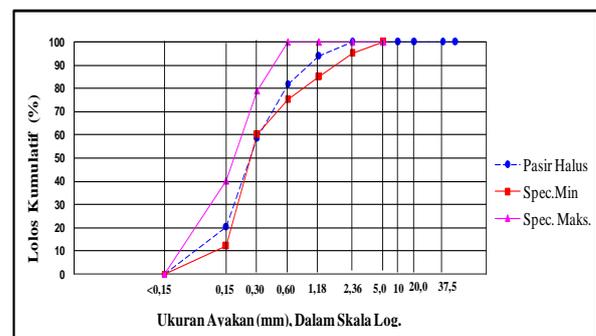
TABEL II
HASIL PENGUJIAN SIFAT FISIS AGREGAT HALUS

No.	Jenis Pengujian	Hasil analisa rata-rata	Standar ASTM	Satuan	ASTM
1	<i>Fine modulus</i>	2,46	2.3 – 3.1	-	ASTM C33-01
2	<i>Absorption</i>	3,101	Max 12 %	%	ASTM C.128-15
3	Kandungan air	01.42	Max 10 %	%	ASTM C.566-13
4	Kadar lumpur	02.02	5%	%	ASTM C.117-13
5	Kadar organik	Kuning muda	Standart color chart organic impurities	-	ASTM C.40-92

Dari Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat halus semuanya memenuhi ketentuan yang disyaratkan ASTM C 33-01. Hasil pemeriksaan terhadap analisa saringan pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL III
ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Ukuran (mm)	Tertahan		Kumulatif		SPEK. BS 882-92 ZONA-3 (Agak Hls)	
	Berat (gr)	Persen (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)	Min	Maks
5,00	0,0	0,00	0,00	100,00	95	100
2,36	30,6	6,13	6,13	93,87	85	100
1,18	60,7	12,13	18,26	81,74	75	100
0,60	115,6	23,12	41,38	58,62	60	79
0,30	193,1	38,62	80,00	20,00	12	40
0,075	100,0	20,00	100,0	0,00	0	0
Jumlah FM	500,0	6	245,7			
			2,46			



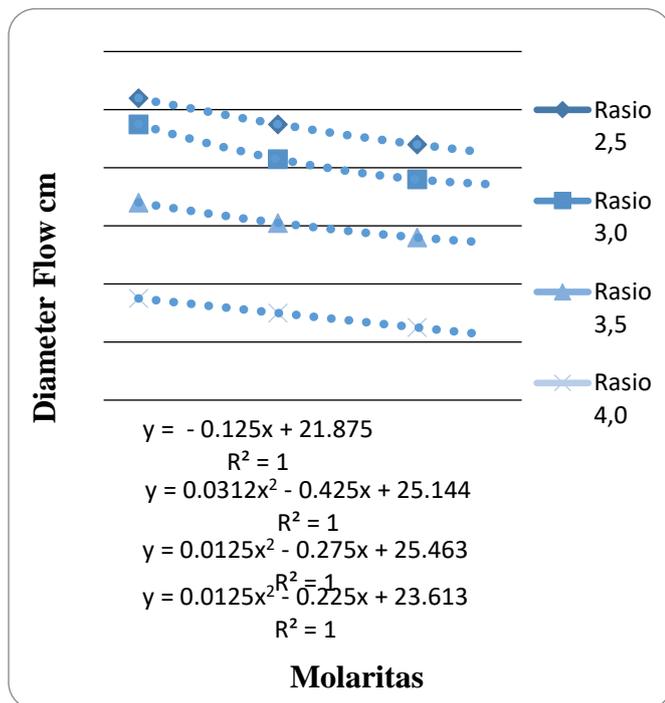
Gambar 3. Kurva gradasi agregat halus

Tabel 3 menunjukkan hasil analisa saringan agregat halus pasir yang masuk dalam zona 3 yaitu dengan kondisi pasir sedikit halus. Dengan memperoleh data modulus kehalusan agregat halus 2.46 yang telah memenuhi persyaratan ASTM C33-01.

C. Workability

Workability campuran geopolimer segar sangat dipengaruhi oleh permukaan partikel dari material. Permukaan FA yang berkarat menyebabkan penyerapan larutan alkali oleh permukaan partikel FA. Ini berarti bahwa material FA akan menurunkan workability mempertahankan kemampuan kerja dalam campuran segar. Selain itu, larutan alkali juga memainkan peran penting dalam peningkatan workability. Hal ini disebabkan pelumasan larutan alkali yang memberikan viskositas (kekentalan) dalam campuran geopolimer segar.

Lebih lanjut, larutan alkali lebih kental dibandingkan dengan air. Yang mana akan memberikan sifat lebih kohesif dan lengket dalam campuran geopolimer segar dibandingkan dengan campuran konvensional. Viskositas larutan alkali dihasilkan dengan konsentrasi larutan NaOH dan rasio $Na_2SiO_3/NaOH$. Larutan NaOH dengan konsentrasi tinggi memberikan laju disolusi tinggi yang meningkatkan viskositas larutan basa. Sedangkan, rasio tinggi $Na_2SiO_3/NaOH$ berkontribusi terhadap sifat viskos yang lebih segar pada campuran geopolimer segar. Sehingga, kedua parameter ini menyebabkan pengurangan workability dalam campuran geopolimer segar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Workability geopolimer mortar berbahan FA

D. Setting Time

Optimalisasi konsentrasi NaOH dengan rasio $Na_2SiO_3/NaOH$ pada setting time diperlukan untuk memahami proses geopolimer dari keadaan plastis ke keadaan statis (mengeras). Final setting time dari campuran geopolimer segar tergantung pada kandungan Ca dari material dan larutan basa dalam campuran geopolimer segar. Diketahui bahwa konsentrasi larutan NaOH yang tinggi dan rasio larutan

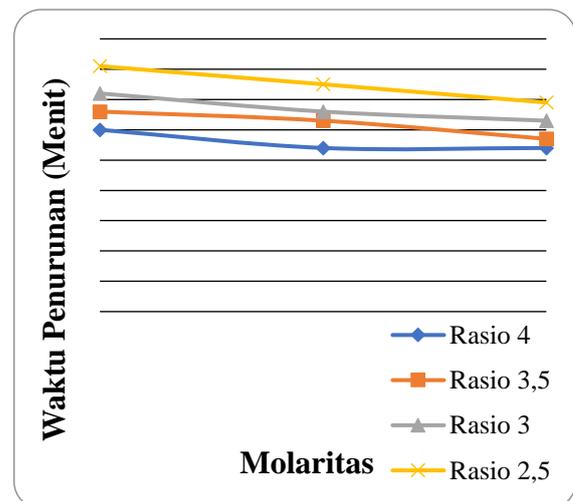
$Na_2SiO_3/NaOH$ menyebabkan penurunan setting time pada geopolimer. Hal ini dikaitkan pada konsentrasi tinggi larutan NaOH yang meningkatkan disolusi dalam larutan alkali. Peningkatan laju disolusi mempercepat setting time mortar geopolimer segar.

Lebih lanjut, rasio tinggi larutan $Na_2SiO_3/NaOH$ menyebabkan campuran geopolimer segar lebih kental sehingga akan menjadi kaku dan mengeras dalam waktu singkat. Efek konsentrasi NaOH dan rasio $Na_2SiO_3/NaOH$ pada setting time ditampilkan pada Tabel 4. Terlihat bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dan rasio $Na_2SiO_3/NaOH$ dalam campuran geopolimer segar menyebabkan penurunan final setting time.

TABEL IV
SETTING TIME MORTAR GEOPOLIMER FA

Rasio	Molar	Waktu
4		300
3,5	8	330
3		360
2,5		405
4		270
3,5	10	315
3		330
2,5		375
4		270
3,5	12	285
3		315
2,5		345

Gambar 5 menunjukkan bahwa kenaikan persentase material FA pada geopolimer menaikkan setting time. Hal ini dikarenakan penggunaan material FA secara bertahap akan menurunkan kandungan Ca menjadi low content. Analisa ini sesuai dengan yang telah diselidiki oleh peneliti sebelumnya.

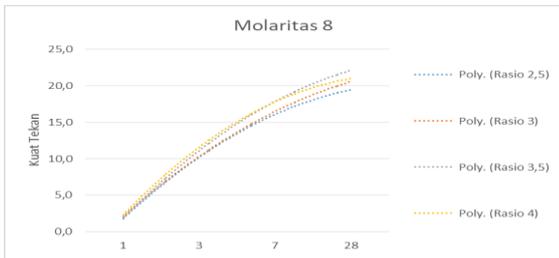


Gambar 5. Setting time mortar geopolimer FA

E. Kuat Tekan

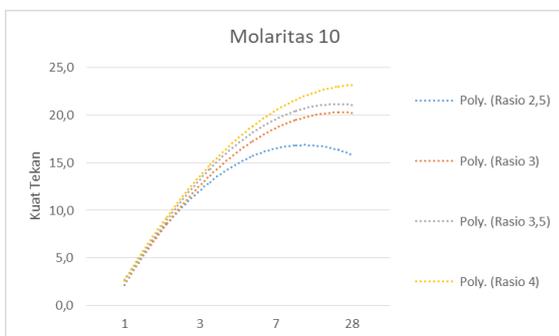
Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini digunakan benda uji kubus beton mortar geopolimer berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Hasil kuat tekan yang didapat adalah berdasarkan benda uji tersebut. Berikut hasil pengujian kuat tekan dari beton mortar geopolimer.

Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer molaritas 8 dengan rasio 4, rasio 3,5, rasio 3 dan rasio 4 ditunjukkan pada Gambar 6. Diperoleh nilai kuat tekan maksimum pada rasio 3,5 sebesar 21,6 Mpa umur 28 hari. Nilai kuat tekan minimum didapatkan pada rasio 2,5 sebesar 19,2 Mpa umur 28 hari.



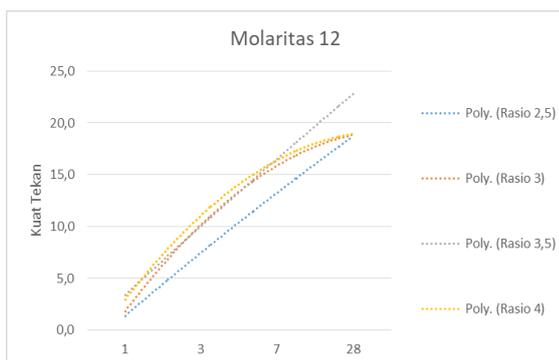
Gambar 6. Grafik hasil uji kuat tekan molaritas 8

Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer molaritas 10 dengan rasio 4, rasio 3,5, rasio 3 dan rasio 4 ditunjukkan pada Gambar 7. Diperoleh nilai kuat tekan maksimum pada rasio 4 sebesar 23,0 Mpa umur 28 hari. Nilai kuat tekan minimum didapatkan pada rasio 2,5 sebesar 16,1 Mpa umur 28 hari.



Gambar 7. Grafik hasil uji kuat tekan molaritas 10

Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer molaritas 12 dengan rasio 4, rasio 3,5, rasio 3 dan rasio 4 ditunjukkan pada Gambar 8. Diperoleh nilai kuat tekan maksimum pada rasio 3,5 sebesar 22,6 Mpa umur 28 hari. Nilai kuat tekan minimum didapatkan pada rasio 2,5 sebesar 18,2 Mpa umur 28 hari.



Gambar 8. Grafik hasil uji kuat tekan molaritas 12

menunjukkan bahwa mineral utama material *fly ash* terdiri dari kuarsa (SiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ atau $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) dan hematit (Fe_2O_3) dan pada analisa SEM menunjukkan bentuk permukaan partikel *fly ash* terdiri dari bentuk partikel bola amorf, ramping kaca, dan berkarut. Permukaan *fly ash* yang berkarut menyebabkan penyerapan larutan alkali oleh permukaan partikel *fly ash*, sehingga terjadi penurunan *workability* pada geopolimer segar.

Konsentrasi larutan NaOH yang tinggi dan rasio larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ tinggi akan mempercepat *setting time* mortar geopolimer segar. Pengujian sifat mekanik berupa uji kuat tekan didapatkan hasil kuat tekan optimum mortar geopolimer pada rasio 4 dengan molaritas 10 sebesar 23,0 Mpa digunakan sebagai komposisi campuran untuk pembuatan panel dekorasi.

REFERENSI

- [1] Nurmala Ika Dewi. 2010. *Pengaruh Faktor Air Binder Dan Kadar Aktivator Terhadap Setting Time Fly Ash Based Geopolymer*. Universitas Sebelas Maret.
- [2] Halim, stephanus. 2018. *Ornamen dekoratif interior dan eksterior bangunan*. (Diakses pada tanggal 25 April 2019).
- [3] Sora. 2013. *Kubah Grc Makin Diminati*. (Diakses pada tanggal 25 April 2019).
- [4] Kosmatka, S.H., B. Kerkhoff, and W.C. Panarese. 2003. "Design and control of concrete mixtures". *PCA*.
- [5] Fauzi A. 2018. *Investigation Of Sidoarjo Mud As An Addition In Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Universiti Teknologi PETRONAS.
- [6] Cahyana, A., and Marzuki, A. 2014. *Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) pada Kaca TZN Yang Dikristalkan Sebagian*. *Prosiding Mathematics and Sciences Forum 2014*, 23-26.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada riset ini, dapat disimpulkan bahwa pada analisa uji XRF menunjukkan bahwa material *fly ash* memiliki kandungan senyawa kimia SiO_2 dan Al_2O_3 yang tinggi yaitu sebesar 37,16 dan 17,61, serta CaO yang rendah sebesar 8,72 yang mengindikasikan *fly ash* tergolong dalam kelas F. Sedangkan pada spektrum XRD