

Analisa Studi Pasta Geopolimer dengan Menggunakan Fly Ash PLTU Pangkalan Susu untuk Mengatasi Retak pada Beton

Amir Fauzi¹, Yossa Hasanah Putri², Syukri³, Iskandar⁴, Herri Mahyar⁵, Iponsyah Putra⁶

^{1,6}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹amirfauzi@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

²yossahasanahputri1@gmail.com

³syukri@pnl.ac.id

⁴iskandar_ts@pnl.ac.id

⁵herrimahyar@pnl.ac.id

⁶iponputra@gmail.com

Abstrak— Material dasar pada pasta geopolimer berasal dari limbah industri yang mengandung unsur-unsur *pozzolanic* yang memiliki sifat sama dengan senyawa semen. *Fly ash* yang berasal dari PLTU Pangkalan Susu merupakan limbah dari pembakaran batu bara yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik pada PLTU. Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya, *fly ash* PLTU Pangkalan Susu tergolong kepada *fly ash* kelas C dengan kandungan 34,81% SiO₂, 25,39% CaO, 14,92% Al₂O₃, 16,49% Fe₂O₃ dan 4,92% MgO serta total senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah 66,22%. Penelitian ini menggunakan 3 variasi rasio Na₂SiO₃/NaOH sebesar 3,0;3,5 dan 4,0 serta variasi rasio larutan alkalin terhadap *fly ash* Pangkalan Susu sebesar 0,45; 0,50; 0,55 dan 0,60. Analisa XRD menunjukkan bahwa pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi butiran FAPS memiliki elemen quartz (Si) dan mullite (Al) yang tinggi sehingga dapat membentuk ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al pada pasta seperti terlihat pada analisa FTIR. Hal ini diperkuat dengan analisa SEM yang menunjukkan bahwa gel yang terbentuk terdiri dari ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al. Hasil menunjukkan bahwa pasta geopolimer berbahan dasar FAPS memiliki karakteristik *workability* yang meningkat dan *setting time* yang lebih lama seiring dengan penambahan larutan alkalin pada campuran dan peningkatan rasio larutan NaOH terhadap Na₂SiO₃ pada larutan alkalin. Pasta geopolimer berbahan dasar FAPS memiliki kuat tekan yang tinggi seiring dengan meningkatnya rasio NaOH terhadap Na₂SiO₃ namun pada rasio yang lebih tinggi kuat tekan menurun. Selain itu, kuat tekan juga meningkat dengan penggunaan larutan alkalin yang rendah pada campuran pasta geopolimer berbahan dasar FAPS.

Kata kunci—FTIR, XRD, SEM, *workability*, *setting time*, kuat tekan, absorpsi.

Abstract— The base material of geopolimer is the secondary production of an industry containing pozzolanic material. Fly ash is the secondary production of coal combustion in the power plantation of Pangkalan Susu that generates electrical power. The previous results showed that fly ash Pangkalan Susu was class C fly ash with the content of SiO₂ of 34.81%, CaO of 25.39%, Al₂O₃ of 14.92%, Fe₂O₃ of 16.49%, and MgO of 4.92%, respectively. The total of SiO₂, Al₂O₃, and Fe₂O₃ was 66.22%. This study investigated geopolimer paste with the ratio of Na₂SiO₃ to NaOH of 3.0, 3.5, and 4.0. In addition, this study also used the ratio of alkaline solution and fly ash Pangkalan Susu of 0.45, 0.50, 0.55, and 0.60, respectively. The results showed that the FAPS-based geopolimer paste was rich in the content of quartz (Si) and mullite (Al) that contributed to forming the gel of Si-O-Si and Si-O-Al. The ratio decrease of Na₂SiO₃ to NaOH in the alkaline solution increased the *workability* and *setting time*. In addition, the increase of alkaline solution to FAPS also increased the *workability* and the *setting time*. The ratio decreased of the alkaline solution to FAPS increased the compressive strength. Furthermore, the ratio increase of Na₂SiO₃ to NaOH also increased the compressive strength. However, the ratio of Na₂SiO₃ to NaOH reduced the compressive strength.

Keywords—FTIR, XRD, SEM, *workability*, *setting time*, compressive strength, absorption.

I. PENDAHULUAN

Semen merupakan material utama yang digunakan pada pembuatan konstruksi gedung yang menjadikan semen sebagai material komoditi yang strategis di pasaran [1]. Produksi semen diketahui memiliki dampak buruk pada lingkungan. Hal ini terjadi karena setiap penggunaan 1 ton semen Portland menghasilkan 1 ton gas CO₂ yang bisa merusak lapisan atmosfer [2]. Kondisi ini merupakan dampak yang sangat buruk bagi lingkungan, sehingga diperlukan penanganan yang serius untuk mencegah bertambahnya pelepasan gas CO₂ pada lapisan atmosfer [3]. Saat ini, salah satu upaya pengurangan penggunaan semen Portland yaitu dengan penggunaan teknologi geopolimer (ramah lingkungan). Hal ini dikaitkan dengan penggunaan material dasar dari material pozzolan yang dihasilkan dari produk sampingan industri maupun dari alam. Material pozzolan ini diketahui kaya akan kandungan silika, alumina, dan kalsium yang jika bereaksi dengan larutan alkalin dapat memproduksi pengikat pada beton. Salah satu material pozzolan yang sering digunakan sebagai material dasar geopolimer adalah *fly ash* (abu terbang). Material ini berasal dari hasil sampingan pembakaran batu

bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang bersifat limbah yang memiliki kandungan kimia Si dan Al yang seimbang dalam pembentukan ikatan gel Si-O-Al pada pasta geopolimer. Sifat geopolimer dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti *alkaline activator*, temperatur, waktu perawatan, dan perbandingan *alkaline activator* dengan bahan dasar geopolimer [4]. Diketahui bahwa larutan natrium hidroksida (NaOH) berkontribusi untuk memperoleh campuran segar, sedangkan larutan natrium silikat (Na₂SiO₃) berperan dalam memperoleh viskositas. Karena karakteristik yang berlawanan ini, ada kebutuhan untuk menyelidiki efek dari dua solusi dalam hal rasio Larutan Alkalin (LA) untuk *Fly Ash* (FA) pada sifat pasta geopolimer [5]. *Fly ash* adalah material yang berasal dari limbah sisa pembakaran batu bara pada PLTU. Selama pembakaran, kotoran mineral batu bara (seperti tanah liat, *feldspar*, kuarsa, dan serpih) melebur dalam suspensi dan dibuang dari ruang pembakaran oleh gas buang. Dalam prosesnya, bahan yang menyatu di udara mendingin dan membeku menjadi partikel kaca berbentuk bola yang disebut *fly ash* [6].

Penelitian ini akan menggunakan material *fly ash* sebagai material dasar pasta geopolimer dengan mengaplikasikan sebagai *alternative water proof* pada *crack* beton.

Selama ini, *sika waterproof* dan *aquagard* dikenal dapat menangani keretakan pada beton. Seperti umum diketahui bahwa yang paling utama penyebab dari keretakan adalah faktor air semen yang mana semakin banyak air yang dikandung semakin besar susut saat beton telah kering. Hal ini disebabkan oleh faktor hidrasi yang terjadi selama reaksi semen. Penggunaan pasta geopolimer dipertimbangkan dapat mengurangi faktor hidrasi. Hal ini disebabkan, pasta geopolimer bukanlah hasil reaksi yang menggunakan air. Melainkan menggunakan larutan alkalin sebagai pengikatnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan untuk membuat pasta geopolimer adalah material yang berasal dari limbah pembakaran batu bara (*fly ash*) yang dijadikan sebagai alternatif pengganti semen pada pasta geopolimer. Material *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Pangkalan Susu, Langkat, Sumatera Utara. Pada tabel 1 disajikan komposisi kimia dari berbagai *fly ash* [7].

Tabel 1 Fly Ash Standar ASTM C618 (1993)

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F	N	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70	70	50
SO ₃ , maks %	4	5	5
Moisture Content, Maks %	3	3	3
Loss of Ignation, maks %	10	6	6
Alkali, Na ₂ O, maks %	1,5	1,5	1,5

Sumber: Standar ASTM C618 (1993)

Sedangkan material lainnya merupakan campuran larutan natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃) dengan rasio 1:3,0, 1:3,5, 1:4,0 molaritas NaOH sebesar 10M. Rasio larutan alkalin terhadap FA yang digunakan 0,45; 0,50; 0,55; 0,60 sebagai aktivator alkali yang digunakan secara bersama-sama dengan material utama sebagai pengikat.

Penyelidikan ini akan mengevaluasi karakteristik material dan mikrostruktur pasta dengan menggunakan alat *X-Ray diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Serta pengujian *rheology* dan sifat mekanis pasta yang terdiri dari pengujian *workability*, *setting time*, kuat tekan dan penyerapan air.

Standar pengujian setting time adalah SNI-03-6827-2002 tentang metode pengujian waktu ikat menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil. Waktu ikat awal akan ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu dimana penetrasi jarum vicat mencapai nilai 25 mm [8]

Pengujian kuat tekan pasta dilakukan berdasarkan SNI 06-6825-2002 [9] menggunakan mesin kuat tekan melalui persamaan (1)

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Keterangan :

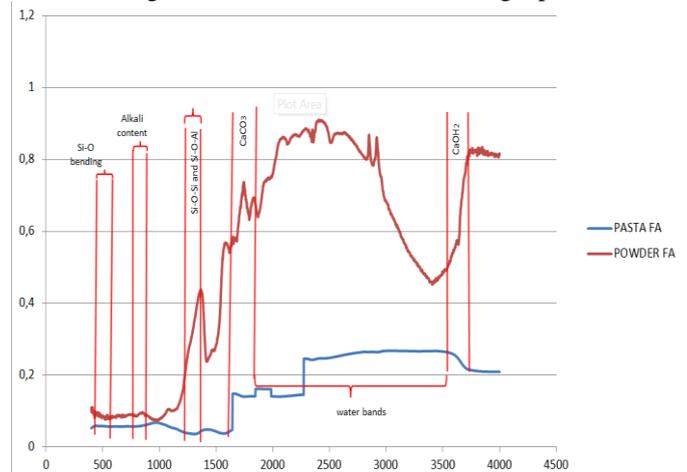
- f'c = Kuat tekan mortar (N/mm²)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas permukaan bidang tekan (mm²)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Material dan Mikrostruktur Pasta

1. Pengujian *Fourier Transform Infrared*

Hasil identifikasi ikatan kimia pada butiran dan pasta geopolimer FAPS ditunjukkan pada gambar 4.1. Puncak pita butir dan pasta geopolimer FAPS 3000 cm⁻¹ dan powder FAPS yang berada pada 2500 cm⁻¹ mengindikasikan keberadaan Ca(OH)₂ yang merupakan proses reaksi kandungan kimia Ca dengan air yang ada pada larutan alkalin. Puncak pita 1900 cm⁻¹ - 3500 cm⁻¹ mengindikasikan keberadaan water bands yang mengalami peregangan dan pembengkokan pada butiran dan pasta geopolimer FAPS. Terlihat bahwa puncak pita butiran FAPS lebih tajam dari pada pasta geopolimer FAPS, Ini menunjukkan bahwa pasta geopolimer berbahan dasar FAPS memiliki lebih sedikit kandungan air dibandingkan butiran FAPS. Hal ini dikaitkan dengan jumlah larutan activator yang digunakan untuk bereaksi dengan material FAPS dalam reaksi geopolimer.

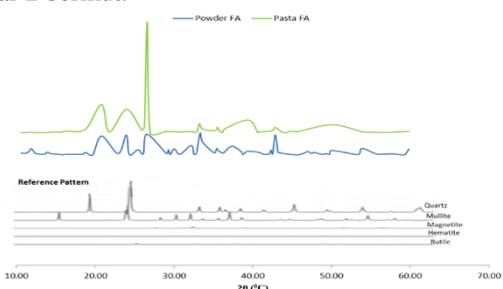


Gambar 1 Grafik FTIR dari butiran dan pasta geopolimer FAPS

Puncak pita pada 1550-1900 cm⁻¹ mengindikasikan bahwa butiran dan pasta geopolimer FAPS memiliki kandungan kimia Ca(CO)₃ yang dapat mengalami proses karbonasi selama proses reaksi kimia terjadi. Puncak pita pada gelombang 1250 cm⁻¹ – 1400 cm⁻¹ mengindikasikan bahwa butiran dan pasta geopolimer FAPS memiliki ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al dalam kristal kuarsa dan mullit. Ikatan gel ini mengindikasikan terjadinya reaksi geopolimer pada material FAPS pada saat bereaksi dengan larutan alkalin. Puncak pita gelombang pada 800 cm⁻¹- 950 cm⁻¹ mengindikasikan bahwa butiran dan pasta geopolimer FAPS memiliki kandungan alkali yang berfungsi menambah kereaktifan larutan NaOH pada larutan alkalin. Kemudian, puncak pita band pada 450 cm⁻¹ - 600 cm⁻¹ mengindikasikan butiran FAPS dan pasta geopolimer memiliki pembengkokan Si-O yang berkontribusi terhadap penambahan ikatan geopolimer.

2. Pengujian *X-Ray Diffraction*

Identifikasi kristal butir FA dan pasta *fly ash* pangkalan susu diselidiki oleh analisis XRD seperti yang terlihat pada gambar 2 berikut.



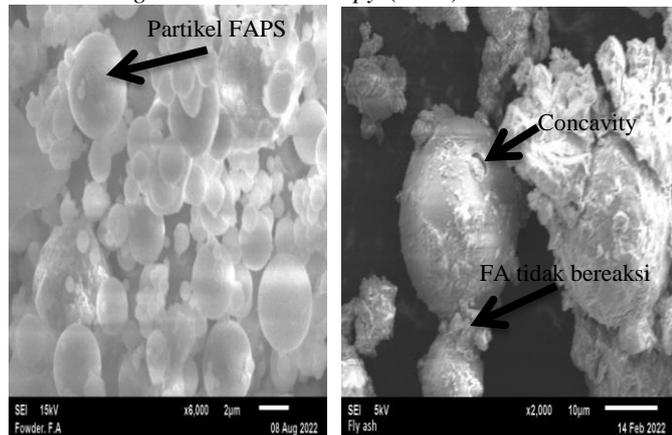
Gambar 2 Hasil Grafik XRD butiran FA dan pasta geopolimer FAPS

Hasil analisa XRD yang dilakukan pada butiran dan pasta *geopolimer* FAPS dapat dilihat pada gambar 4.2. Spektrum XRD pada kisaran 15-30 2θ° menunjukkan bahwa butiran dan pasta *geopolimer* FAPS memiliki mineral utama *geopolimer* seperti kuarsa (SiO₂) dan mullit (3Al₂O₃.2SiO₂ atau 2Al₂O₃.SiO₂) yang memiliki sistem *geopolimer* dalam larutan alkalin pada reaksi *geopolimer*. Hal ini menjelaskan bahwa terjadinya reaksi antara alkalin natrium dengan material dasar *geopolimer* yang membentuk gel natrium aluminosilikat. Susunan ini berkontribusi pada sifat mekanis dan daya tahan pasta *geopolimer* seperti kuat tekan, kekakuan dan sifat termal.

Adanya beberapa puncak tajam pada gambar menunjukkan fase kristal sebagai pengisi yang tidak aktif dalam sintesis *geopolimer*. Selain itu, zeolit merupakan reaksi sekunder pengikat *geopolimer* yang diidentifikasi sebagai alkalin aluminosilikat. Reaksi ini berasal dari partikel dasar material yang tidak bereaksi dengan produk reaksi, *zeolit* yang berbeda dan total kristal yang tersisa (kuarsa(Si)+ mullit(Fe)+ magnetit(Al)+hematit dan rutil) yang bersamaan terbentuk gel dalam pengikat *geopolimer*.

3. Pengujian Scanning Electron Microscopy

Bentuk partikel dan elemen utama *fly ash* diamati dengan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar 3a butir FAPS

Gambar 3b Pasta Geopolimer FAPS

Gambar 3 Permukaan dan Identifikasi Kimia butir *fly ash* dan Pasta *fly ash*

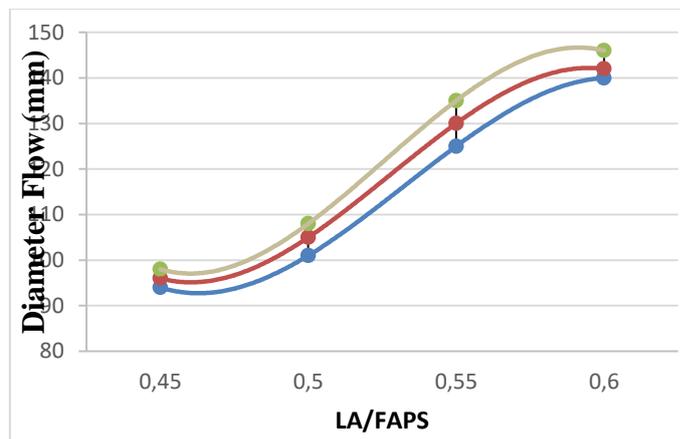
Gambar 3a menunjukkan gambar bentuk dan permukaan partikel *fly ash*. Partikel FAPS memiliki bentuk bulat dengan permukaan seperti bola kaca. Permukaan ini memiliki keunggulan terhadap *workability* yang terjadi pada pasta *geopolimer*. Permukaan FAPS seperti bola kaca diyakini tidak menyerap larutan alkalin dalam waktu yang singkat. Sehingga kebutuhan larutan alkalin dalam pasta *geopolimer* dapat dikontrol dalam jumlah yang seperlunya yang akhirnya akan berkontribusi kepada rendahnya biaya produksi. Pada Gambar 3b terlihat bahwa pasta *geopolimer* memiliki kepadatan permukaan yang disebabkan oleh pembentukan gel Si-O-Si dan gel Si-O-Al. Kepadatan ini terbentuk dari banyaknya gel yang terjadi selama reaksi yang terbentuk. Kandungan Si dan Al yang tinggi berkontribusi terhadap kenaikan gel yang sudah tentu akan menaikkan kuat tekan pasta *geopolimer* yang terjadi. Bentuk partikel FAPS bulat seperti bola diyakini memiliki manfaat tersendiri. Dari banyaknya partikel FAPS yang bereaksi dengan larutan alkalin, ada sebagian dari partikel tersebut yang tidak bereaksi. Hal ini disebabkan, jumlah partikel yang bereaksi telah memiliki kontak dengan larutan alkalin. Sehingga, partikel FAPS yang tidak bereaksi akan berfungsi sebagai *filler* (pengisi) pada *concavity* dari gel yang terbentuk. *Concavity* sendiri terjadi akibat terlepasnya

sebagian kandungan O selama proses reaksi *geopolimer*. Partikel FAPS yang mengisi *concavity* diyakini akan menambah kepadatan gel yang terbentuk sehingga menambah kuat tekan *geopolimer* yang terjadi.

B. Rheology dan Sifat Mekanis Pasta

1. Workability

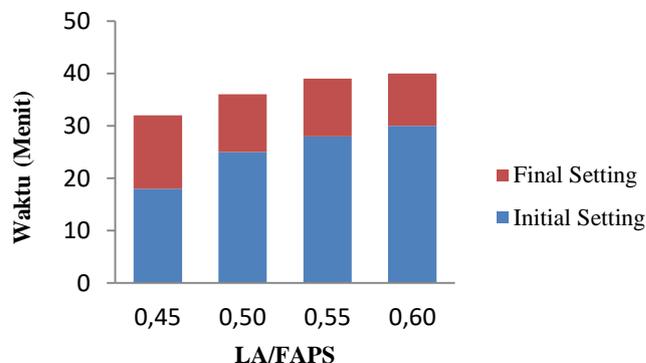
Workability merupakan aliran campuran *geopolimer* segar yang diuji untuk menganalisa kelayakan aliran saat digunakan pada aplikasi yang sesungguhnya. Seperti yang telah dibahas pada analisa SEM yang menunjukkan permukaan FAPS yang licin seperti kaca. Permukaan ini menandakan bahwa penyerapan larutan alkalin (LA) tidak terjadi dalam waktu yang singkat. Sehingga, *workability* yang terjadi dapat dipertahankan selama reaksi *geopolimer*. Namun, penggunaan rasio larutan alkalin terhadap FAPS dari 0,45 M menjadi 0,60 M menyebabkan terjadinya perubahan *workability* pada pasta *geopolimer* segar seperti terlihat pada gambar 4. Kenaikan rasio larutan alkalin terhadap FAPS berkontribusi terhadap kenaikan *workability*. Hal ini dikaitkan dengan penambahan larutan alkalin pada pasta *geopolimer* yang berkontribusi pada penambahan aliran.



Gambar 4 *Workability* Geopolimer Pasta Molaritas 10 dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH

2. Setting Time

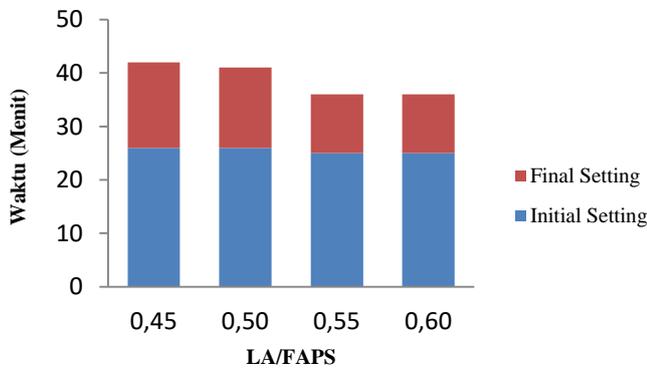
Diketahui bahwa rasio larutan alkalin terhadap FAPS yang tinggi menyebabkan campuran pasta *geopolimer* lebih flow sehingga akan memperlama durasi reaksi yang terjadi.



Gambar 5 *Setting Time* Pasta Geopolimer rasio Na₂SiO₃/NaOH 3.0

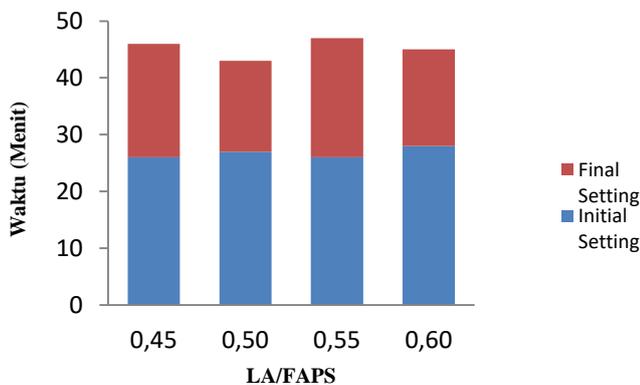
Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian *setting time* pasta *geopolimer* dengan rasio Na₂SiO₃/NaOH sebesar 3.0. Gambar 4.6 menunjukkan *setting time* yang terjadi pada *geopolimer*

berbahan FAPS rata-rata sebesar 32-40 menit atau kurang dari 1 jam. Grafik ini menunjukkan bahwa rasio LA/FAPS 0.45 sampai 0.60 mengalami kenaikan *initial* dan *final setting time*. Hal ini dikaitkan dengan kenaikan rasio larutan alkalin terhadap FAPS yang memiliki viskositas tinggi akan mengurangi viskositas yang terjadi sehingga pasta segar terlihat lebih mencair.



Gambar 6 Setting Time Pasta Geopolimer rasio Na₂SiO₃/NaOH 3.5

Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian *setting time* pasta geopolimer dengan rasio LA sebesar 4.0. Gambar 6 menunjukkan setting time yang terjadi pada geopolimer berbahan FAPS rata-rata sebesar 36-42 menit atau kurang dari 1 jam. Grafik terlihat bahwa *initial setting time* yang terjadi lebih lama dibandingkan dengan *final setting time*. Gambar juga menunjukkan bahwa *initial setting time* yang terjadi pada LA/FAPS dari 0.45 sampai 0.60 tidak mengalami perubahan yang signifikan. Namun, *final setting time* yang terjadi mengalami penurunan. Meskipun demikian, setting time yang terjadi masih dikategorikan *short setting time*.



Gambar 7 Setting Time Pasta Geopolimer rasio Na₂SiO₃/NaOH 4.0

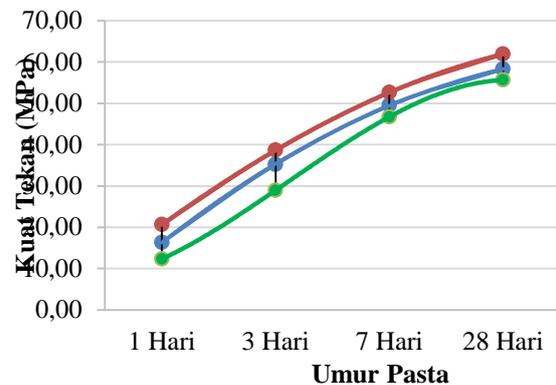
Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian *setting time* pasta geopolimer dengan rasio LA sebesar 4.0. Gambar 7 menunjukkan setting time yang terjadi pada geopolimer berbahan FAPS rata-rata sebesar 43-46 menit atau kurang dari 1 jam yang mana rata-rata waktu *initial setting time* lebih tinggi di dibandingkan dengan waktu *final setting time*. Ini dihubungkan dengan reaksi yang terjadi pada akhir lebih cepat di dibandingkan dengan reaksi di awal. Selain itu, kandungan kalsium (Ca) yang tinggi pada FAPS juga menyebabkan terjadinya percepatan reaksi yang terjadi pada campuran geopolimer.

Optimalisasi konsentrasi NaOH dengan rasio Na₂SiO₃/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 Na₂SiO₃/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* pasta geopolimer segar. Rasio tinggi larutan Na₂SiO₃/NaOH menyebabkan campuran geopolimer segar lebih kental sehingga akan menjadi kaku dan mengeras dalam waktu singkat [9].

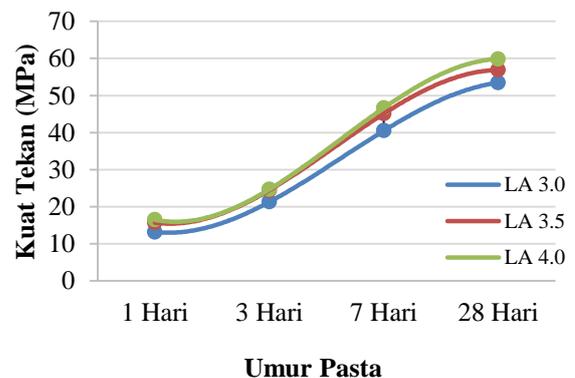
3. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini menggunakan benda uji kubus pasta dengan ukuran 50mm x 50mm x 50mm. Prosedur pelaksanaan kuat uji tekan pasta geopolimer mengacu kepada prosedur kuat tekan mortar OPC. Namun, pasta geopolimer tidak mengalami perendaman sebelum pengujian. Hal ini dikarenakan sifat reaksi geopolimer yang bukan berasal dari proses hidrasi. Berikut hasil pengujian kuat tekan dari pasta geopolimer.

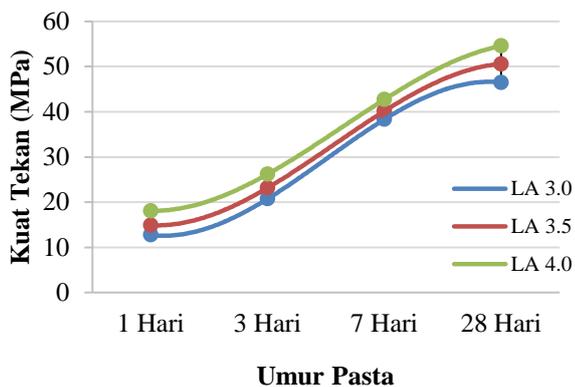


Gambar 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Geopolimer rasio Na₂SiO₃/NaOH

Gambar 8 menunjukkan Hasil mengindikasikan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada rasio larutan Na₂SiO₃ terhadap NaOH 3.5 memiliki viskositas yang sempurna selama reaksi terjadi dibandingkan dengan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH 3,0 dan 4,0. Meskipun kenaikan viskositas terjadi namun peningkatan viskositas dapat diimbangi dengan kenaikan volum larutan alkalin pada campuran pasta geopolimer.

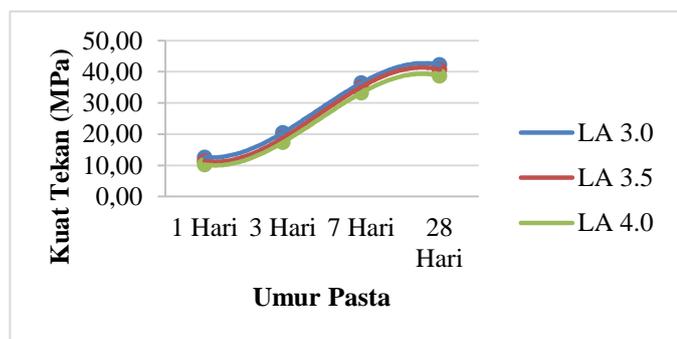


Gambar 9a Kuat Tekan rasio LA/FAPS 0.50



Gambar 9b Kuat Tekan rasio LA/FAPS 0.55
 Gambar 9 Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan variasi LA/FAPS

Dari gambar 9a dan gambar 9b menunjukkan Trend kenaikan kuat tekan ini dikaitkan dengan semakin tingginya rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ (LA) menaikkan jumlah Na_2SiO_3 yang digunakan dalam larutan alkalin yang mendukung terhadap penambahan ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al dalam ikatan kimia geopolimer. Lebih lanjut, kandungan Ca yang tinggi diyakini ikut berperan serta dalam mempercepat laju reaksi sehingga meningkatkan kuat tekan pada pasta geopolimer.

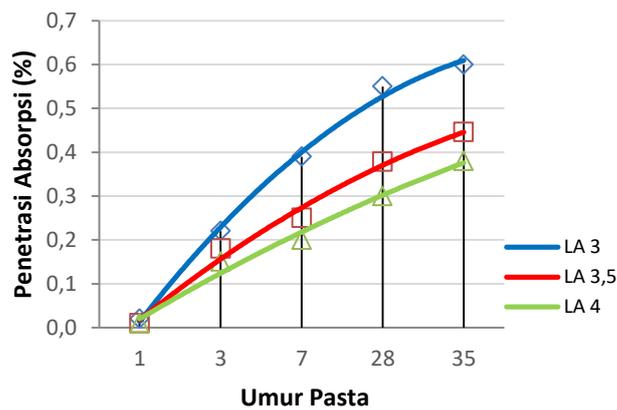


Gambar 10 Kuat Tekan Pasta Geopolimer dengan rasio LA/FAPS 0.60

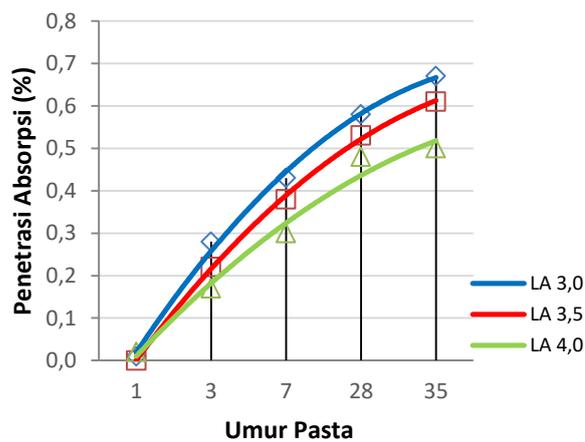
Gambar 4.10 mengindikasikan bahwa meskipun peningkatan viskositas telah dibarengi dengan peningkatan volume larutan alkalin pada campuran pasta geopolimer, namun pada peningkatan lebih lanjut, reaksi geopolimer akan terganggu.

4. Penyerapan Air

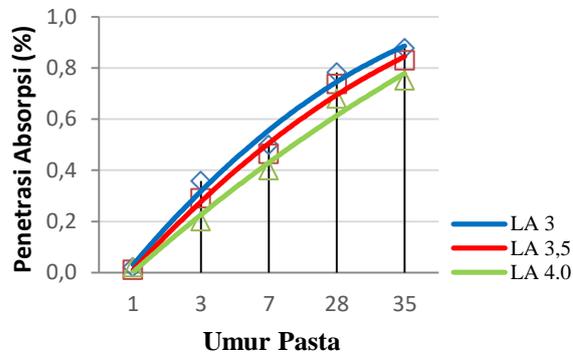
Pengujian ini dilakukan pada pasta geopolimer berbentuk kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentas daya serap air dari pasta geopolimer. Berikut hasil pengujian penyerapan air pada pasta geopolimer :



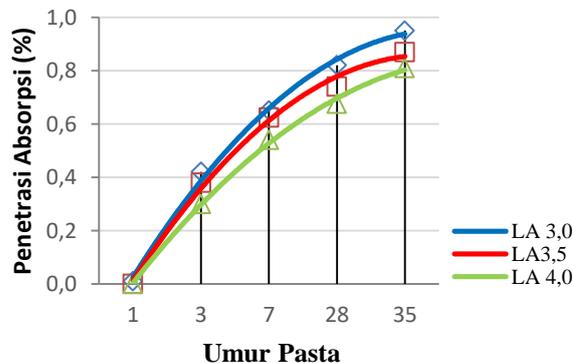
Gambar 11a LA/FAPS 0.45



Gambar 11b LA/FAPS 0.50



Gambar 11c LA/FAPS 0.55



Gambar 11d LA/FAPS 0.60

Gambar 11 Penyerapan Air Pasta Geopolimer

Dari gambar 11a – gambar 11d mengindikasikan bahwa peningkatan rasio LA pada pasta geopolimer meningkatkan viskositas namun memberi jumlah pori yang lebih sedikit. Pori-pori tersebut terbentuk selama reaksi terjadi peningkatan kekentalan yang tinggi. Dengan *setting time* yang cepat sehingga reaksi terhenti dan menimbulkan pori pada pasta geopolimer. Sehingga menyebabkan persentase penyerapan air meningkat.

IV. KESIMPULAN

Analisa mikrostruktur menunjukkan data XRD yang mengindikasikan butiran FAPS memiliki elemen *quartz* (Si) dan *mullite* (Al) yang tinggi sehingga dapat membentuk ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al pada butiran seperti terlihat pada analisa FTIR. Hal ini diperkuat dengan analisa SEM yang menunjukkan bahwa gel yang terbentuk terdiri dari ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al. Pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS memiliki karakteristik *workability* yang meningkat dan *setting time* yang lebih lama seiring dengan penambahan larutan alkalin pada campuran dan peningkatan rasio larutan NaOH terhadap Na_2SiO_3 pada larutan alkalin. Pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS memiliki kuat tekan yang tinggi seiring dengan meningkatnya rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 namun pada rasio yang lebih tinggi kuat tekan menurun. Selain itu, kuat tekan juga meningkat dengan penggunaan larutan alkalin yang rendah pada campuran pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS.

REFERENSI

- [1] Purnawan, I., & Prabowo, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 86. <https://doi.org/10.22146/jrekpro.31136>
- [2] Firdaus dan Ishak, Y. 2017. “Kontribusi Serat Sintesis pada Peningkatan Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer”. Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Tarumanegara.
- [3] Aman, A. A., dkk. 2016. “Paving Blok Geopolimer dari Fly Ash Limbah Pabrik”. Pekanbaru: Prosiding Seminar Nasional “Pelestarian Lingkungan dan Mitigasi Bencana”. Vol. 1, No. 1.
- [4] Rusadi, A. I., dkk. 2018. “Pengaruh Modulus Aktivator ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Dengan Perawatan Suhu Ruang”. *Jurnal Jom FTEKNIK*. Vol. 5, Edisi 2.
- [5] Fauzi, A., Nuruddin, M. F., Malkawi, A. B., Abdullah, M. M. A. B., & Mohammed, B. S. (2017). Effect of alkaline solution to fly ash ratio on geopolymer mortar properties. *Key Engineering Materials*, 733 KEM(March), 85–88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.733.85>
- [6] Fajri. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Tali Rafia Terhadap Sifat Mekanis. *PORTAL Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 73–80.
- [7] ASTM C618. 1993. “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”. West conchohocken, United State of America: ASTM International.
- [8] Standar pengujian setting time adalah SNI-03-6827-2002 tentang metode pengujian waktu ikat menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil. Waktu ikat awal akan ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu dimana penetrasi jarum vicat mencapai nilai 25 mm.
- [9] *Metode Pengujian Kekuatan Tekan mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. SNI 03-6825-2002.
- [10] Fauzi, A., dkk. (2019). “Perencanaan Teknologi Geopolimer Berbasis Limbah Fly Ash Dalam Kkontruksi Non Structural”. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. Vol. 03, No. 1.