



JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

1. **KAJIAN PENAMBAHAN FLY ASH DAN SEMEN PADA URUGAN PILIHAN UNTUK LAPISAN BASE PERKERASAN JALAN**
(Ana Fitria, Mulizar, Yuhanis Yunus)
2. **STUDI KINERJA FUNGSI KEKUATAN DAN REMBESAN ASPAL PORUS DENGAN PENAMBAHAN FLY ASH**
(Dara Savira, Zairipan Jaya, Supardin)
3. **ANALISIS PENJADWALAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE CRITICAL PATH METHOD (CPM) (STUDI KASUS: PROYEK PENINGKATAN JALAN JANTHO-BATAS ACEH JAYA)**
(Hidayat Mustafi, Zulfikar Makam, Munardy)
4. **PENGARUH PENAMBAHAN STYROFOAM TERHADAP MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)**
(Irsandi Al Ambia, Syarwan, Sulaiman Ar)
5. **PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH FLY ASH SEBAGAI STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN METODE PEMADATAN MODIFIED TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG**
(Muhammad Rizkyansyah Siregar, Gusrizal, Hanif)
6. **PENGARUH PENGGUNAAN KOMBINASI FLY ASH DAN PALM OIL FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR PASTA GEOPOLIMER**
(Nurul Hayati, Amir Fauzi, Syamsul Bahri)
7. **TINJAUAN GEOMETRIK JALAN RAYA BENER MERIAH-ACEH UTARA STA 22+550 S.D. STA 22+950**
(Ricke Dharma, Syaifuddin, Fauzi A Gani)
8. **ANALISIS PROSES DAN BIAYA PRODUKSI ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) PADA AMP PT. ALHAS JAYA GROUP**
(Ridhaul Hidayat, Chairil Anwar, Iponsyah Putra)
9. **ANALISIS KAPASITAS TERMINAL PENUMPANG BANDAR UDARA INTERNASIONAL SULTAN ISKANDAR MUDA**
(Sinta Fazilla, Andrian Kaifan, Teuku Riyadsyah)
10. **PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN RENCANA ANGGARAN PELAKSANAAN PADA PROYEK JALAN**
(Zachlul Akmal, Bakhtiar, Mirza Fahmi)

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

Penasehat

Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe

Penanggung Jawab

Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Lhokseumawe

Ketua Redaksi

Muhammad Reza, M.Eng.

Sekretaris Redaksi

Erna Yusnianti, S.Si., M.Si.

Dewan Editor:

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Dr. Ir. Mochammad Afifuddin, M.Eng. | (Universitas Syiah Kuala) |
| Dr. Ir. Samsul Bahri, M.Si. | (Politeknik Negeri Lhokseumawe) |
| Dr. Ir. Yuhanis Yunus, M.T. | (Politeknik Negeri Lhokseumawe) |
| Ir. Munardy, M.T. | (Politeknik Negeri Lhokseumawe) |
| Muliadi, S.T., M.T. | (Universitas Negeri Malikussaleh) |
| Syarwan, S.T., M.T. | (Politeknik Negeri Lhokseumawe) |
| Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng. | (Universitas Negeri Malikussaleh) |

Penyunting Pelaksana

Ibrahim, S.T., M.T.

Pelaksana Tata Usaha

Hasanuddin, A.Md.

Penerbit

Politeknik Negeri Lhokseumawe

Alamat:

Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh–Medan Km 280,3 Buketrata
Lhokseumawe 24301 P.O. Box 90
Website: sipil.pnl.ac.id, email: pjj@pnl.ac.id

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Dewan Redaksi | i |
| Daftar Isi | ii |
| Pengantar Redaksi | iii |
| 1. KAJIAN PENAMBAHAN FLY ASH DAN SEMEN PADA URUGAN PILIHAN UNTUK LAPISAN BASE PERKERASAN JALAN (Ana Fitria, Mulizar, Yuhanis Yunus)..... | 1-7 |
| 2. STUDI KINERJA FUNGSI KEKUATAN DAN REMBESAN ASPAL PORUS DENGAN PENAMBAHAN FLY ASH (Dara Savira, Zairipan Jaya, Supardin) | 8-16 |
| 3. ANALISIS PENJADWALAN PROYEK MENGGUNAKAN METODE CRITICAL PATH METHOD (CPM) (STUDI KASUS: PROYEK PENINGKATAN JALAN JANTHO-BATAS ACEH JAYA) (Hidayat Mustafi, Zulfikar Makam, Munardy) | 17-20 |
| 4. PENGARUH PENAMBAHAN STYROFOAM TERHADAP MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) (Irsandi Al Ambia, Syarwan, Sulaiman Ar) | 21-28 |
| 5. PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH FLY ASH SEBAGAI STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN METODE PEMADATAN MODIFIED TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG (Muhammad Rizkyansyah Siregar, Gusrizal, Hanif) | 29-34 |
| 6. PENGARUH PENGGUNAAN KOMBINASI FLY ASH DAN PALM OIL FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR PASTA GEOPOLIMER (Nurul Hayati, Amir Fauzi, Syamsul Bahri) | 35-44 |
| 7. TINJAUAN GEOMETRIK JALAN RAYA BENER MERIAH-ACEH UTARA STA 22+550 S.D. STA 22+950 (Ricke Dharma, Syaifuddin, Fauzi A Gani) | 45-49 |
| 8. ANALISIS PROSES DAN BIAYA PRODUKSI ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) PADA AMP PT. ALHAS JAYA GROUP (Ridhaul Hidayat, Chairil Anwar, Iponsyah Putra) | 50-55 |
| 9. ANALISIS KAPASITAS TERMINAL PENUMPANG BANDAR UDARA INTERNASIONAL SULTAN ISKANDAR MUDA (Sinta Fazilla, Andrian Kaifan, Teuku Riyadsyah) | 56-63 |
| 10. PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN RENCANA ANGGARAN PELAKSANAAN PADA PROYEK JALAN (Zachlul Akmal, Bakhtiar, Mirza Fahmi)..... | 64-68 |
| Petunjuk Penulisan Artikel Ilmiah | 69 |

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

PENGANTAR REDAKSI

Assalamualaikum wr wb.

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Jurnal Sipil Sains Terapan Volume 05 Nomor 02 Edisi September 2022 dapat diterbitkan. Jurnal Sipil Sains Terapan ini merupakan jurnal hasil Skripsi dari Mahasiswa Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Jurnal Sipil Sains Terapan ini terbit secara berkala dengan frekuensi terbitan sebanyak 2 (dua) kali dalam setahun. Pada Volume 05 Nomor 02 Edisi September 2022 ini terdapat 10 (sepuluh) artikel. Artikel-artikel yang tergabung di dalam Jurnal Sipil Sains Terapan ini meninjau dari sisi teknik maupun manajemen dalam perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penerbitan Jurnal Sipil Sains Terapan ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan terhadap Jurnal Sipil Sains Terapan pada edisi-edisi yang berikutnya untuk memperkaya keilmuan terkait perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi

PENGARUH PENGGUNAAN KOMBINASI FLY ASH DAN PALM OIL FUEL ASH TERHADAP KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR PASTA GEOPOLIMER

Nurul Hayati¹, Amir Fauzi², Syamsul Bahri³

¹ Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: nurullhayati41@gmail.com

² Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: amirfauzi@pnl.ac.id

³ Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: syamsulbahri@pnl.ac.id

ABSTRAK

Fly ash dan *palm oil fuel ash* merupakan material pozzolan yang memiliki kandungan kimia utama dalam *geopolimer*. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa material berbahan FAPS dan POFA kaya akan kandungan Si. Namun, material berbahan FAPS memiliki kandungan Al dan Ca yang tinggi. Sedangkan material berbahan POFA memiliki kandungan Al dan Ca yang rendah. Penelitian ini mengkaji material berbahan kombinasi FAPS dan POFA sebagai bahan dasar *geopolimer*. Material berbahan POFA dan FAPS yang digunakan adalah 70% dan 30%. Larutan basa dihasilkan dari kombinasi larutan Na_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan 3,0; 3,5; 4,0, dimana larutan NaOH dibuat dengan konsentrasi 10M. Rasio larutan alkali untuk binder adalah 0,65; 0,70; 0,75; dan 0,80. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *workability* optimum terdapat pada pasta *geopolimer* dengan perbandingan larutan basa dan pengikat sebesar 0,80 serta perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 4,0. *Setting time* optimum pada pasta *geopolimer* dengan perbandingan larutan basa terhadap pengikat sebesar 0,70 dan perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 3,0. Kuat tekan optimum terdapat pada pasta *geopolimer* dengan perbandingan larutan basa dan pengikat sebesar 0,65 dan perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 4,0.

Kata Kunci FTIR, XRD, SEM, *Workability*, *Setting Time*, Absorpsi

I. PENDAHULUAN

Ordinary portland cement (OPC) banyak digunakan sebagai bahan pengikat dalam konstruksi beton. Produksi OPC telah menyebabkan polusi pada lingkungan dalam produksinya mengeluarkan emisi gas CO_2 yang besar karena untuk memproduksi 1 ton semen dihasilkan juga gas CO_2 kurang lebih 1 ton, secara global menghasilkan 5% - 8% emisi gas terhadap pemanasan global yaitu sebesar 65% (Solikin, 2021). Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan OPC dapat diganti dengan *geopolimer*, beberapa limbah industri dijadikan sebagai alternatif pengganti semen dengan penggunaan teknologi ramah lingkungan (*green technology*) yang dikenal sebagai *geopolimer* tidak menggunakan semen, *geopolimer* dibentuk dengan unsur utama penyusun yaitu material *pozzolanic* dan larutan alkali

Pozzolanic yang paling dikenal untuk menggantikan semen adalah fly ash (FA) dan palm oil fuel ash (POFA), FA merupakan material limbah yang dihasilkan pembakaran batu bara yang berasal dari industri Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU). Sedangkan POFA merupakan hasil dari limbah pembakaran cangkang sawit dari ketel (*boiler*) dari pabrik *Crude Palm Oil Factory*. Menurut Fauzi, dkk (2017) menyebutkan material limbah FA mempunyai kandungan Si, Fe, dan Al adalah 61,71%, yang menyimpulkan FA berada di kelas C. Sedangkan material limbah POFA memiliki kandungan SiO_2 yaitu mencapai 59,3 % yang dikategorikan kelas C (Mulizar, dkk., 2020), kedua material ini mampu memberikan ikatan yang kuat pada *geopolimer*. Larutan Alkali yang banyak digunakan adalah

natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidrosida (NaOH), kombinasi larutan ini membantu terjadinya reaksi kimia dengan alumina (Al) dan silika (Si) yang terdapat pada FA dan POFA (Fauzi, dkk.,2019).

Struktur mikro pasta geopolimer adalah melihat hubungan antar partikel diasumsikan dari penelitian yang homogen untuk mengetahui kualitas material yang digunakan untuk keperluan *mix design*. Tujuan penelitian ini akan mengobservasi perubahan mikrostruktur yang mengkombinasikan pasta FA dan POFA. penelitian dilakukan dengan 4 tahapan, tahap pertama karakteristik material dan mikrostruktur pasta *geopolimer*, tahap kedua pengujian pasta *geopolimer* segar yaitu *workability* dan *setting time*, tahap ketiga pengujian kuat tekan pasta *geopolimer* dan tahap keempat yaitu pengujian absorpsi pasta *geopolimer*.

II. METODOLOGI

Material dasar yang digunakan FAPS dalam pembuatan pasta geopolimer. FAPS yang digunakan berasal dari pembakaran batu bara yang berasal dari industri Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu, dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batubara dan POFA dalam Pembuatan pasta geopolimer. yang digunakan berasal dari limbah pembakaran cangkang sawit yang timbul dari sisa pembakaran ketel (boiler). Menurut Mulizar, dkk (2020) POFA yang berasal dari pabrik *Crude Palm Oil Factory* PT.Syaukath sejahtera, Kabupaten Bireun. Larutan Alkali Aktivator yang digunakan pada penelitian ini adalah Sodium Silika (Na_2SiO_3) berbentuk gell dipilih sebagai larutan alkali dan Sodium Hidrosida (NaOH) 10 M berbentuk butiran yang dilarutkan dengan aquades. Rasio larutan alkali terhadap kombinasi material berbahan dasar FAPS dan POFA adalah 0.65;0.70;0.75;0.80 dan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH yang digunakan adalah 3.0;3.5;4.0. Cetakan yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm.

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 karakteristik pasta yang terdiri dari pengujian *workability*, *setting time*, kuat tekan dan absorpsi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

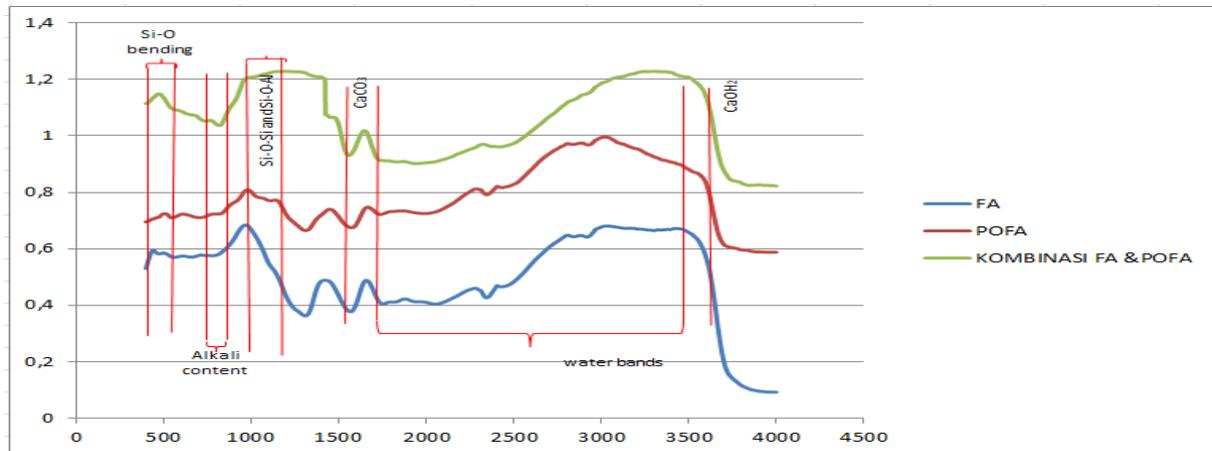
A. Pengujian Karakteristik Material dan Mikrostruktur Pasta

1. Pengujian *Fourier Transform Infrared*

Hasil identifikasi ikatan kimia pada pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA ditunjukkan pada Gambar 1. Puncak pita pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA yang berada pada 3700 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan proses reaksi kandungan kimia Ca dengan air yang ada pada larutan alkalin. Puncak pita 1800 cm^{-1} - 3500 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan water bands yang mengalami peregangan dan pembengkokan pada pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA.

Selanjutnya, puncak pita pada $1550\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar FA, POFA, dan kombinasi FAPS dan POFA mengandung $\text{Ca}(\text{CO})_3$ yang dapat mengalami proses karbonasi selama proses reaksi kimia. Puncak pita pada gelombang 1300 cm^{-1} – 1000 cm^{-1} mengindikasikan bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA memiliki ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al dalam kristal kuarsa dan mullit. Puncak pita gelombang pada 950 cm^{-1} - 600 cm^{-1} mengindikasikan bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar FA, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA memiliki kandungan alkali yang berfungsi menambah kereaktifan larutan NaOH pada larutan alkalin. Pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA memiliki puncak lebih tajam dibandingkan pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS dan POFA. Ini menunjukkan bahwa kandungan alkali pada pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi

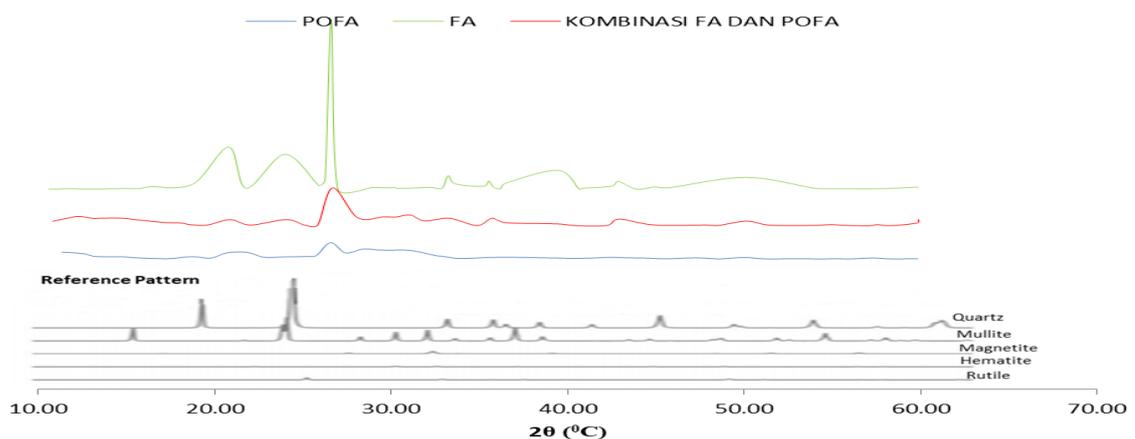
FAPS dan POFA lebih tinggi dibandingkan pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS dan POFA. Terakhir, puncak pita band pada 600 cm^{-1} - 450 cm^{-1} mengindikasikan pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA memiliki pembengkokan Si-O.



Gambar 1. Grafik FTIR dari pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA

2. Pengujian X-Ray Diffraction

Hasil analisa XRD yang dilakukan pada pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA dapat dilihat pada Gambar 2. Spektrum XRD pada kisaran $15\text{-}30\ 2\theta^\circ$ menunjukkan bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS, POFA dan kombinasi FAPS dan POFA memiliki mineral utama *geopolimer* seperti kuarsa (SiO_2) dan mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ atau $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) yang memiliki sistem *geopolimer* dalam larutan alkali diaktifkan *geopolimer*. Menurut Fauzi, dkk (2019) menyatakan spektrum XRD menunjukkan mineral utama material 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)



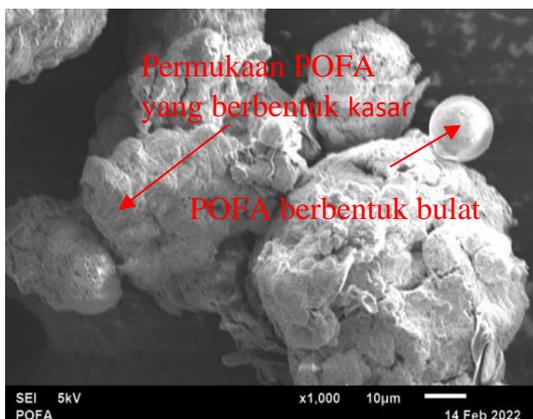
Gambar 2. Hasil Grafik XRD pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA

Hasil analisa XRD yang dilakukan pada butiran dan pasta *geopolimer* FAPS dapat dilihat pada Gambar 2. Spektrum XRD pada kisaran $15\text{-}30\ 2\theta^\circ$ menunjukkan bahwa butiran dan pasta *geopolimer* FAPS memiliki mineral utama *geopolimer* seperti kuarsa (SiO_2) dan mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ atau $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 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

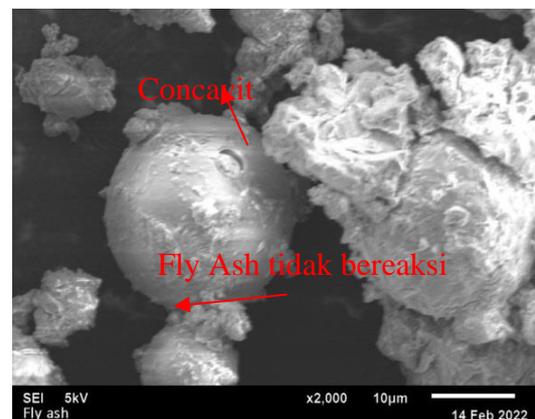
tekan, kekakuan dan sifat termal. Adanya beberapa puncak tajam pada gambar menunjukkan fase kristal sebagai pengisi yang tidak aktif dalam sintesis *geopolimer*. Selain itu, zeolit merupakan reaksi sekunder pengikat *geopolimer* yang diidentifikasi sebagai alkalin aluminosilikat. Reaksi ini berasal dari 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

Gambar 3 menunjukkan morfologi pasta *geopolimer* berbahan dasar POFA. Terlihat bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar POFA memiliki gel yang dihasilkan oleh reaksi larutan alkalin dan POFA. Gel ini diyakini mampu mengikat material lain seperti pasir dan agregat. Beberapa partikel POFA terlihat ada yang tidak bereaksi dan terlepas dari gel yang terbentuk meskipun partikel POFA tersebut terselimuti oleh larutan alkalin. Ini mengindikasikan bahwa reaksi antara larutan alkalin dengan material POFA menghasilkan ikatan yang lemah. Hal ini dikaitkan oleh lambatnya reaksi yang terjadi diantara larutan alkalin dan material POFA disebabkan kandungan Ca yang rendah sehingga serat-serat yang terlihat pada gel masih memungkinkan untuk terus bereaksi. Lebih lanjut, *morphologi* pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS dapat dilihat pada Gambar 4 tererlihat bahwa ikatan gel Si-O-Si dan Si-O-Al berada dipermukaan pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS. Ini dikaitkan dengan karakteristik partikel FAPS yang licin yang tidak menyerap larutan alkalin namun lebih pada pembentukan reaksi *geopolimer* yang sempurna antara larutan alkalin dan material FAPS dalam waktu yang singkat. Meskipun demikian, terlihat juga adanya partikel FAPS yang tidak bereaksi dengan sempurna. Partikel FAPS ini ada yang terlepas dari ikatan *geopolimer* dan ada juga yang mengisi *concavity* yang terbentuk dari pelepasan O selama reaksi larutan alkalin dan material FAPS. Partikel FAPS yang mengisi sebagai *concavity* akan berfungsi sebagai filler pada permukaan reaksi sehingga ikatan gel Si-O-Si dan gel Si-O-Al menjadi lebih padat dengan kuat tekan yang tinggi.



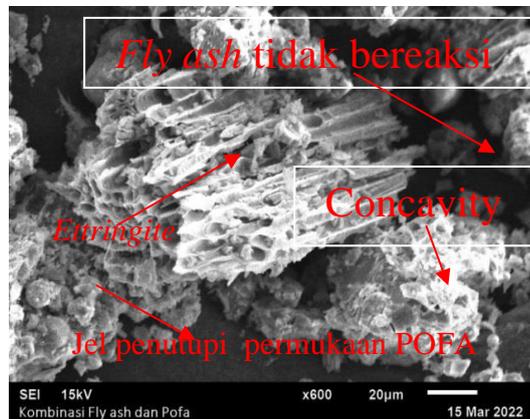
Gambar 3 Morphologi Pasta Geopolimer POFA



Gambar 4 Morphologi Pasta Geopolimer FAPS

Gambar 5 merupakan gambaran morfologi pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA. Gambar menunjukkan terdapat *concavity* pada gel, partikel FAPS dan POFA baik yang tidak bereaksi yang terlepas dari ikatan gel maupun yang mengisi *concavity*, gel Si-O-Si dan Si-O-Al serta *ettringite* yang biasa terdapat pada reaksi pozzolanik. *Ettringite* mengakibatkan pengembangan dari perilaku pasta *geopolimer* yang jika tidak dapat dikontrol, pasta tersebut akan pecah. Selain itu, gel yang terbentuk pada pasta *geopolimer* ini menunjukkan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan gel pada pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS. Namun, masih lebih banyak dibandingkan dengan gel

pada pasta *geopolimer* berbahan dasar POFA. Ini mengindikasikan bahwa kuat tekan pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi material FAPS dan POFA lebih rendah dibandingkan pasta *geopolimer* berbahan dasar FAPS dan lebih tinggi dibandingkan pasta *geopolimer* berbahan dasar POFA.

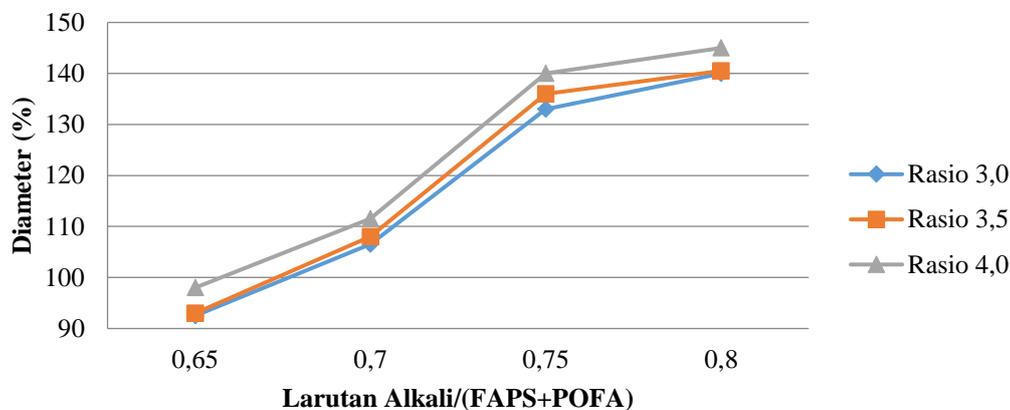


Gambar 5. Morphologi pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA

B. Rheology dan Sifat Mekanis Pasta

1. Workability

Workability pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA, kombinasi kedua material ini merupakan permukaan yang licin menyebabkan penyerapan larutan alkali tidak terjadi dengan waktu cepat. Selain itu larutan alkali juga penting dalam peningkatan *workability* Penggunaan NaOH 10 M dan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH menyebabkan terjadinya perubahan pada *workability* pasta *geopolimer* segar.

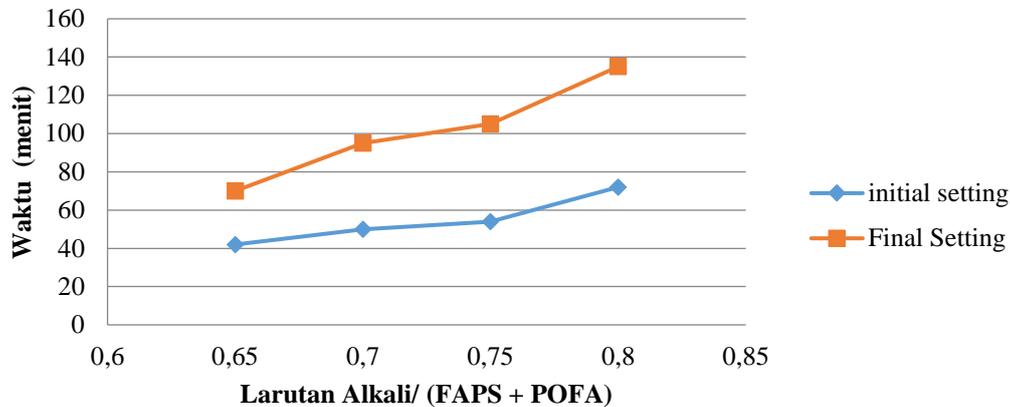


Gambar 6 *Workability* LA/ (FAPS+POFA)

Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian *workability* pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA dengan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,0; 3,5; 4,0. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *workability* yang diakibatkan oleh kenaikan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material FAPS dan POFA. Ini dikaitkan dengan kenaikan volume larutan alkalin yang meningkatkan cairan kekentalan campuran pasta *geopolimer*. Selain itu, kenaikan *workability* juga disebabkan oleh kenaikan rasio Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH. Hal ini dikaitkan dengan kenaikan volume Na_2SiO_3 dalam campuran pasta *geopolimer* yang menambah kekentalan dan kereaktifan dari campuran tersebut yang menyebabkan kemudahan pengaplikasian.

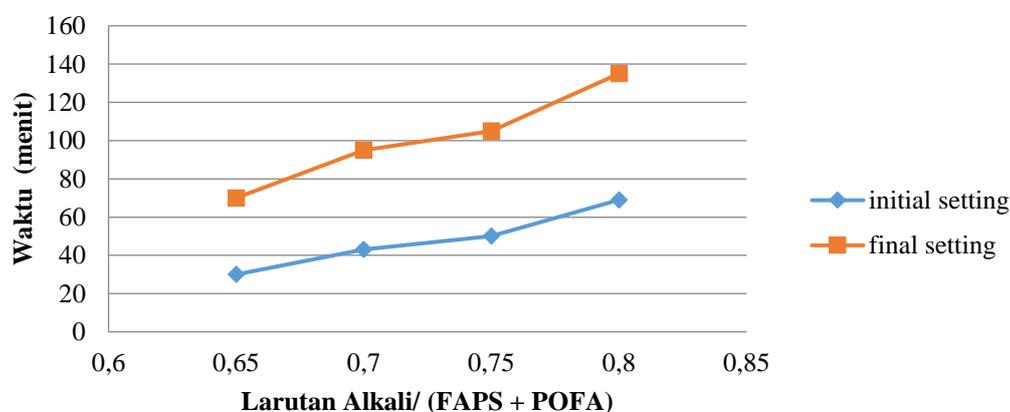
2. Setting Time

Pengujian *Setting time* dilakukan untuk menentukan waktu pengikatan larutan alkali dalam campuran *geopolimer* segar dari kondisi fluid ke kondisi plastis (*initial setting*) dan dilanjutkan ke kondisi statis atau keras (*final setting*). Pengujian setting time pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi POFA dan FAPS dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 dibawah ini.

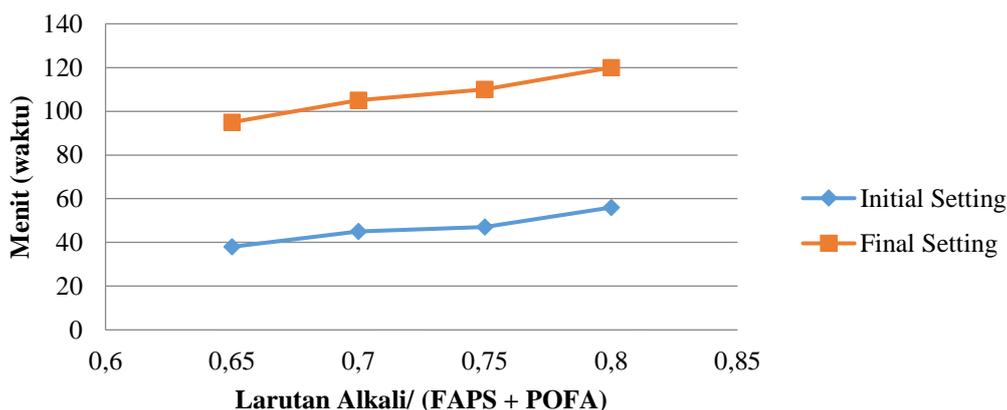


Gambar 7 *Setting Time* Pasta Geopolimer rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 3.0

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian *setting time* pasta geopolimer dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 3.0. Gambar 7 menunjukkan *setting time* yang terjadi pada geopolimer berbahan FAPS rata-rata sebesar 55-100 menit atau 1 jam lebih. Grafik ini menunjukkan bahwa rasio LA/FAPS 0.65 sampai 0.80 mengalami kenaikan *initial* dan *final setting time*. Kenaikan ini terjadi disebabkan peningkatan volume larutan alkali dalam larutan yang memperlama waktu setting time. Hal ini seiring dengan hasil workability sebelumnya yang mana kenaikan larutan alkali terhadap kombinasi material POFA dan FAPS menaikkan workability dan menaikkan waktu setting. Hasil ini juga ditunjukkan pada Gambar 8 menunjukkan *setting time* yang terjadi pada geopolimer berbahan FAPS rata-rata sebesar 40-110 menit atau 1 jam lebih dan Gambar 9 menunjukkan *setting time* yang terjadi pada geopolimer berbahan FAPS rata-rata sebesar 45-120 menit atau 1 jam lebih yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 3.5 dan 4,0.



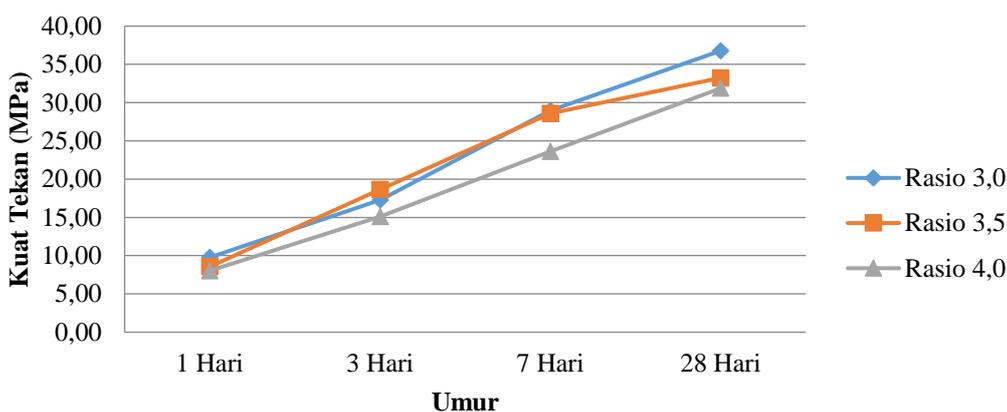
Gambar 8. *Setting Time* pasta geopolimer Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 3,5



Gambar 9. Setting Time pasta geopolimer Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 4,0

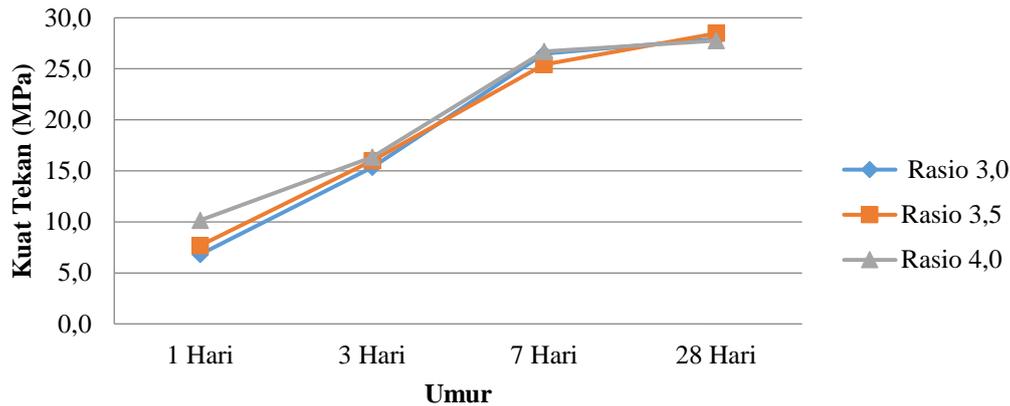
3. Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi POFA dan FAPS pada rasio larutan alkali terhadap kombinasi material POFA dan FAPS 0,65; 0,70; 0,75; 0,80 dapat dilihat pada gambar 10, 11, 12, dan 13.



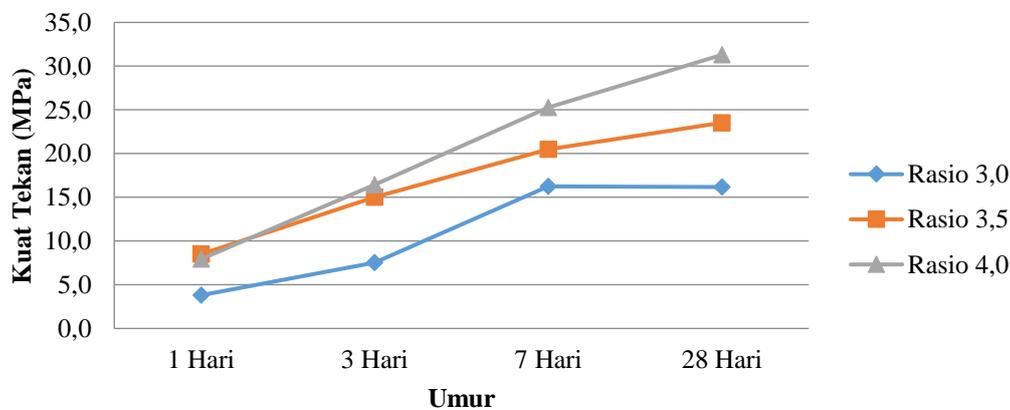
Gambar 10. Kuat Tekan LA/(FAPS+POFA) 0,65

Gambar 10 menunjukkan kuat tekan optimum pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA dengan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material FAPS dan POFA 0,65 sebesar 36,8 MPa yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH 3,0. Adapun kuat tekan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 4,0 sebesar 31,88 MPa dan kuat tekan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,5 sebesar 33,24 Mpa. Ini mengindikasikan bahwa meskipun peningkatan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH menaikkan workability namun kuat tekan mengalami penurunan. Tingginya rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ akan meningkatkan jumlah kandungan NaSiO_3 pada larutan alkali yang berkontribusi terhadap peningkatan nilai kuat tekan geopolimer yang terjadi (Fauzi,dkk., 2021).



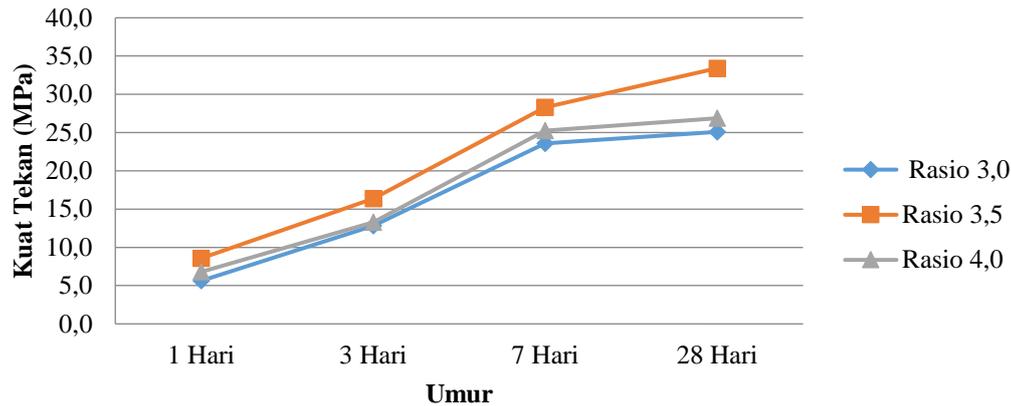
Gambar 11 Kuat Tekan LA/ (FAPS+POFA) 0,70.

Gambar 11 menunjukkan kuat tekan optimum pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA dengan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material FAPS dan POFA 0,70 sebesar 28,47 MPa yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,5. Adapun kuat tekan yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 4,0 sebesar 27,76 MPa dan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,0 kuat tekan minimum yaitu 27,94 Mpa. Hasil mengindikasikan bahwa kuat tekan optimum terjadi pada rasio larutan Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3.5 memiliki kekentalan yang sempurna selama reaksi terjadi dibandingkan dengan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,0 dan 4,0. Meskipun kenaikan viskositas terjadi namun peningkatan viskositas dapat diimbangi dengan kenaikan volume larutan alkalin pada campuran pasta geopolimer.



Gambar 12 Kuat Tekan LA/ (FAPS+POFA) 0,75

Gambar 12 menunjukkan kuat tekan optimum pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA dengan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material FAPS dan POFA (data dapat dilihat pada Lampiran 4.7-4.9 Kuat tekan pasta geopolimer berbahan kombinasi FAPS dan POFA halaman 81) 0,75 sebesar 31,29 MPa. Kuat tekan yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 4,0. Kuat tekan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,0 sebesar 16,2 MPa dan kuat tekan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,5 sebesar 23,53 Mpa. Ini menunjukkan bahwa rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 4.0 memberikan kuat tekan optimum. Hal ini mengindikasikan hal yang sama dengan gambar 11 bahwa kenaikan viskositas dibarengi dengan penambahan volume larutan alkalin dalam pasta geopolimer.

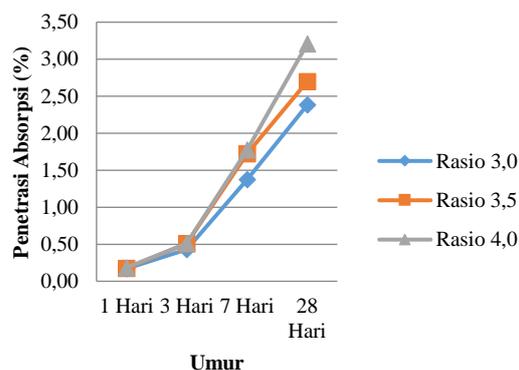


Gambar 13 Kuat Tekan LA/ (FAPS+POFA) 0,80

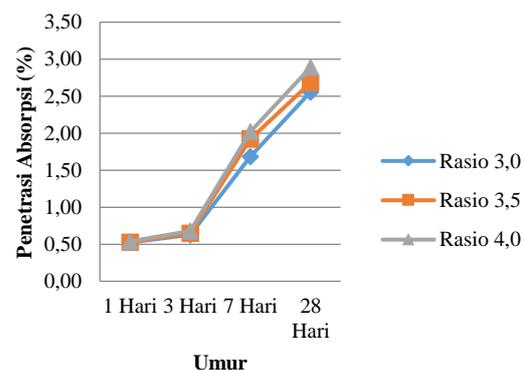
Gambar 13 menunjukkan kuat tekan optimum pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA dengan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material FAPS dan 0,80 sebesar 33,41 MPa yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,5. Adapun kuat tekan yang terjadi pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 3,0 sebesar 25,1 MPa dan kuat tekan pada rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH 4,0 sebesar 26,87 Mpa. Pada kondisi ini, kuat tekan optimum kembali pada rasio Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH 3.5. Ini 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. Absorpsi

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:

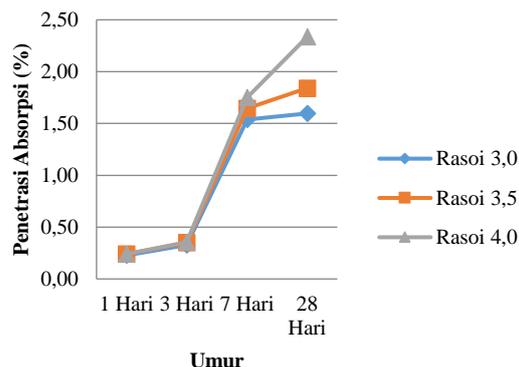


Gambar 14 Absorpsi LA/(FAPS+POFA) 0,65

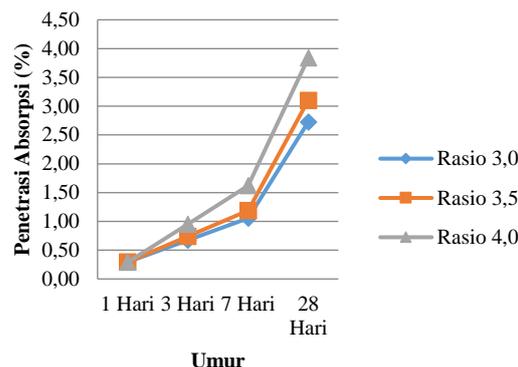


Gambar 15 Absorpsi LA/(FAPS+POFA) 0,70

Seluruh Gambar menunjukkan bahwa absorpsi tertinggi terjadi pada pasta geopolimer berbahan dasar kombinasi POFA dan FAPS dengan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 4.0. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan volume Na_2SiO_3 pada larutan pasta geopolimer meningkatkan kekentalan namun memberikan jumlah pori yang lebih banyak. Pori-pori tersebut terbentuk akibat kekentalan yang tinggi selama reaksi terjadi dan mengalami setting yang lebih cepat sehingga reaksi cepat terhenti. Selain itu, kenaikan rasio larutan alkalin terhadap kombinasi material POFA dan FAPS menyebabkan waktu setting yang lebih lama yang meninggalkan pori-pori pada pasta geopolimer.



Gambar 16 Absorpsi LA/(FAPS+POFA) 0,75



Gambar 17 Absorpsi LA/(FAPS+POFA) 0,80

IV. SIMPULAN

Analisa XRD menunjukkan bahwa pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA 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. Pasta *geopolimer* berbahan dasar kombinasi FAPS dan POFA 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 kombinasi POFA dan 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 kombinasi FAPS dan POFA.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, A., Fazliah, Mahyar, H., Mulizar, & Syukri. (2019). Penerapan Teknologi Geopolimer Berbasis Limbah Fly Ash Dalam Konstruksi Non Struktural. *Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 32–36.
- Fauzi, A., Keliat, A. M., Majuar, E., Hajani, C. N., Mahyar, H., & Fahmi, M. (2021). Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *5*(1), 71–76.
- 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 geopolimer mortar properties. *Key Engineering Materials*, 733 KEM, 85-88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.733.85>
- Mulizar, Fazliah, Iskandar, Aiyub, & Fauzi, A. (2020). Effect of POFA as a replacement material on fly ash based geopolimer mortar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 854(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/854/1/012012>
- Solikin, M. (2021). Analisis Pemakaian Kombinasi Fly Ash Tipe F Dan Slag 1: 1 Pada Beton Geopolimer Dengan Na_2SiO_3 Dan NaOH Sebagai Alkali Aktivator: Sebuah Kajian Literatur. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 13–20. <https://journals.ums.ac.id/index.php/DTS/article/view/15274>

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

PETUNJUK PENULISAN ARTIKEL

1. Artikel merupakan hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil baik dari Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe maupun Perguruan Tinggi lainnya.
2. Artikel diketik menggunakan komputer dalam format *Microsoft Word* pada kertas berukuran A4 dengan jarak baris 1 (satu) dan jenis huruf *Times New Roman* 12 pt. Panjang keseluruhan artikel minimum 5 halaman dan maksimum 10 halaman termasuk Abstrak, Tabel, Gambar dan Daftar Pustaka.
3. Artikel ditulis dengan menggunakan Bahasa Indonesia yang baik dan benar sesuai ejaan yang disempurnakan dengan memperhatikan kaidah-kaidah ilmiah yang telah dibakukan. Apabila menggunakan istilah-istilah asing, hendaknya ditulis dengan menggunakan huruf miring.
4. Artikel ditulis dengan urutan sebagai berikut:
 - a. Judul
 - b. Nama Penulis
 - c. Abstrak
 - d. Kata Kunci
 - e. Pendahuluan
 - f. Metodologi
 - g. Hasil dan Pembahasan
 - h. Simpulan
 - i. Daftar Pustaka
5. Artikel dikirim dalam bentuk *softcopy* ke alamat email: pjj@pnl.ac.id paling lambat 2 (dua) bulan sebelum waktu terbit.
6. Redaksi berhak merubah/memperbaiki tata bahasa dari artikel yang akan dimuat tanpa merubah isinya.
7. Artikel yang dikirim menjadi hak milik Redaksi. Artikel yang layak untuk diterbitkan karena keterbatasan ruang sehingga belum dapat diterbitkan, akan dipertimbangkan untuk penerbitan selanjutnya atau dapat ditarik kembali oleh penulisnya.
8. Artikel yang masuk ke Redaksi akan diperiksa oleh Dewan Editor tentang keabsahannya, kajian substansi dan kualitas dari artikel.
9. Artikel belum pernah dan tidak sedang diusulkan untuk dipublikasikan pada media ilmiah lainnya.

**JUDUL DITULIS DI TENGAH DENGAN HURUF KAPITAL
DAN TEBAL, GUNAKAN JENIS HURUF TIMES NEW ROMAN
UKURAN 14 PT**

Mahasiswa¹, Pembimbing Utama², Pembimbing Pendamping³

(Nama penulis ditulis di tengah tanpa gelar akademik dengan menggunakan jenis huruf tebal
Times New Roman ukuran 12 pt)

¹ Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: mahasiswa@pnl.ac.id

² Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: pembimbing.utama@pnl.ac.id

³ Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: pembimbing.pendamping@pnl.ac.id

ABSTRAK

Abstrak ditulis dengan menggunakan jenis paragraf *justify* (rata penulisan pada bagian kanan dan kiri) dengan indentasi 1,5 cm. Huruf *Times New Roman* ukuran 10 pt, spasi 1 dan tidak lebih dari 350 kata.

Kata kunci: kata kunci pertama, kata kunci kedua, maksimal 5 kata kunci

I. PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan membahas terkait latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan dari perencanaan/penelitian yang dilakukan. Pada bagian ini juga dimasukkan tinjauan pustaka secara ringkas.

II. METODOLOGI

Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang metode yang digunakan dalam perencanaan/penelitian yang dilakukan. Gunakan langkah-langkah pengerjaan dengan sistematis sehingga pemahaman terkait metode yang digunakan dapat dipahami dengan lebih mudah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian hendaknya dituliskan secara singkat, padat dan jelas. Hasil lebih baik disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menarik dan mudah untuk dipahami. Pembahasan terkait hasil hendaknya menguraikan arti pentingnya hasil perencanaan/penelitian yang dilakukan.

A. Format Penulisan

Penulisan pada kertas dengan ukuran A4 yaitu 29,7 cm (11,69 inchi) panjang dan 21,0 cm (8,27 inchi) lebar. Batas margin yang digunakan adalah 2,54 cm (1 inchi) untuk setiap sisi kertas.

Penulisan bagian isi dari artikel menggunakan jenis huruf *Times New Roman* dengan ukuran 12 pt. Paragraf disusun secara teratur dengan jenis paragraf *justify* (rata penulisan pada bagian kanan dan kiri).

B. Jumlah Halaman

Jumlah halaman bagi setiap artikel yang dimasukkan ke Jurnal Sipil Sains Terapan harus memenuhi ketentuan minimal 5 halaman dan maksimal 10 halaman.

C. Penulisan Heading

Heading adalah tingkatan ataupun level dalam penulisan. Fungsinya hampir sama dengan Bab, Sub-Bab dan Sub Sub-Bab. Sebaiknya tidak menggunakan *heading* yang lebih dari 3 (tiga) tingkatan.

1. Heading level 1

Heading untuk level 1 ditulis rata kiri dengan menggunakan penomoran Romawi (contoh: I, II, III, dst.) dengan menggunakan jenis huruf tebal *Times New Roman* ukuran 12 pt. Huruf pertama pada setiap awal kata ditulis dengan menggunakan huruf kapital kecuali bagi kata hubung (contoh: di, ke, dari, pada, daripada, untuk, dengan atau). Khusus untuk Daftar Pustaka tidak diberikan penomoran.

2. Heading level 2

Heading untuk level 2 ditulis rata kiri dengan penomoran menggunakan huruf abjad (contoh: A, B, C, dst.) dengan menggunakan jenis huruf miring *Times New Roman* ukuran 12 pt. Huruf pertama pada setiap awal kata ditulis dengan menggunakan huruf kapital kecuali bagi kata hubung seperti pada bagian III.C.1.

3. Heading level 3

Heading untuk level 3 ditulis rata kiri dengan adanya indentasi 1 cm (0,39 inchi). Penulisan menggunakan angka (contoh: 1, 2, 3, dst.) dengan menggunakan jenis huruf *Times New Roman* ukuran 12 pt. Hanya huruf pertama pada kata pertama saja yang ditulis dengan menggunakan huruf kapital.

D. Tabel dan Gambar

Tabel dan gambar harus terletak di tengah (*centered*). Tabel dan gambar diperbolehkan menggunakan warna yang menarik sehingga lebih mudah untuk dipahami. Khusus untuk gambar yang berupa grafik warna hitam putih, gunakan jenis garis yang berbeda (contoh: garis utuh, garis putus-putus, garis titik-titik, dsb.).

Keterangan untuk gambar terletak di tengah bawah dari gambar tersebut, sedangkan untuk tabel terletak di tengah atas dari tabel tersebut. Penulisan judul tabel dan gambar tersebut menggunakan jenis huruf *Times New Roman* dengan ukuran 10 pt. Penulisan label untuk tabel dan gambar diikuti dengan tanda titik dan hanya huruf pertama pada kata pertama saja yang menggunakan huruf kapital. (contoh: Tabel 1. Keterangan tabel; Gambar 1. Keterangan gambar).

E. Persamaan

Persamaan ditulis dengan menggunakan *Microsoft Equation Editor* atau *MathType add-on*. Jangan *copy paste* persamaan dari file lain yang berbentuk pdf. atau jpg. Penomoran persamaan ditulis rata kanan dengan angka di dalam tanda kurung.

F. Referensi

Setiap dokumen/pustaka yang disitasi pada Jurnal Sipil Sains Terapan ini harus dituliskan di bagian referensi. Jumlah pustaka yang disitasi minimal 5 buah, dengan 80% berupa acuan primer. Acuan primer yang dimaksud adalah artikel jurnal, *book chapter*, paten, paper seminar/prosiding. Adapun yang dimaksud dengan acuan sekunder adalah buku teks dan *handbook*.

IV. SIMPULAN

Simpulan berisi tentang poin-poin utama artikel. Simpulan hendaknya tidak mengulangi yang sudah dituliskan di bagian Abstrak, akan tetapi membahas hasil-hasil yang penting, penerapan maupun pengembangan dari perencanaan/penelitian yang dilakukan. Bagian ini hendaknya juga dapat menunjukkan apakah tujuan dari perencanaan/penelitian dapat tercapai. Kesimpulan ditulis dalam bentuk paragraf uraian, hindari penggunaan *bulleted list*.

DAFTAR PUSTAKA

Nama Penulis, Anggota. (Tahun). *Judul dari Rujukan yang Digunakan*. Jenis Rujukan. Penerbit. Tempat Terbit.

(Ditulis dengan urutan secara alfabetis berdasarkan nama belakang penulis).

Alamat Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh–Medan Km. 280,3 Buketrata
Lhokseumawe, 24301. P.O. Box 90
Website: sipil.pnl.ac.id, email: pjj@pnl.ac.id

