

## Studi Mikrostruktur Mortar Geopolimer Abu Sawit dengan Variasi Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ terhadap NaOH

Wari Dony<sup>1</sup>, Amsori M Das<sup>2\*</sup>.

Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi  
Corresponding email: amsori.m.das@unbari.ac.id

### ABSTRACT

*In the context development of building materials geopolymer concrete is an environmentally technology. The goal of the study identifies and examines geopolymer concrete becoming alternative to portland cement (PC) as a construction material section is utilized as one of the local plantation industry waste such as oil palm ash. Polymerization process performed the oil palm ash as precursor that contains high silicate calcium with  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  and NaOH as alkali activator. Mix design is carried out by ratio of alkali activator 2,0, 1,5 and 1,0 at a concentration of NaOH 8, 10, 12, 14 and 16 M at temperature 90°C for 24 hours. The method used is the separate mixtures with extra water and mixed methods directly without extra water. The result show that the higher concentration of NaOH solution, the compressive strength is increased at level of 12,4 Mpa=8,4 M for the mortar with extra water and 20,2 Mpa= 16 M without extra water at ratio of 1,5 alkaline activators. The ratio mixture of alkali activator 1,0 and 2,0 would produce a low compressive strength. Microstructure result shows that matrix is formed more solid at each increase in the concentration of Na OH solution. The ratio of Alkali activator 1,5 causing precursors and alkaline activators to react homogeneously so that the formed geopolymer matrix becomes more solid*

### Keywords :

Geopolymer Mortar, Oil Palm Ash, Construction Material

### PENDAHULUAN

Bahan bangunan beton konvensional adalah merupakan komposisi atau campuran semen Portland, air, agregat halus dan agregat kasar. Namun akhir-akhir ini dunia diresahkan dengan isu pemanasan global dari emisi gas rumah kaca berupa karbon dioksida. *International energy authority, world energy outlook* mencatat pada tahun 1995, semen Portland telah menyumbang 7% dari keseluruhan karbon dioksida dengan total 23,8 milyar ton per tahun. Beton geopolimer adalah sejenis beton yang 100% tidak menggunakan semen Portland. Beton geopolimer terbentuk dari reaksi polimerisasi bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional (Davidovits, 1999). Pada proses pembentukan matriks reaksi polimerisasi membutuhkan aktivator untuk bereaksi sedangkan reaksi hidrasi membutuhkan air untuk bereaksi. Alkali aktivator yang umum digunakan untuk membuat geopolimer adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Permasalahan limbah, di Provinsi Jambi tercatat pada tahun 2015 ini memiliki lahan perkebunan kelapa sawit yang sudah digunakan sebanyak 593.433 hektar pada tahun 2013 sebesar 1.555.697 ton per tahun (Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi, 2015). Limbah padat kelapa sawit yang terdiri dari cangkang dan serabut berjumlah 190 kg setiap satu ton tandan buah sawit (TBS), jika tidak dimanfaatkan menjadi sumber kerusakan lingkungan. Sejauh ini limbah sawit hanya digunakan sebagai bahan bakar boiler oleh pabrik kelapa sawit. Komposisi kimia abu sawit

memiliki jumlah kadar  $\text{SiO}_2 = 40,60\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,71\%$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 15,74\%$ , bila dijumlahkan = 60,05% (Yahya, 2015).

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil kuat tekan mortar geopolimer. Faktor tersebut yaitu jenis *precursor* yang dipakai, konsentrasi larutan NaOH, rasio larutan alkali aktivator, rasio agregat halus terhadap *precursor* serta waktu dan suhu perawatan (*curing*). Faktor tersebut juga mempengaruhi mikrostruktur yang terjadi pada mortar. Hasil tinjauan mikrostruktur berupa keberadaan pori, retak, partikel *precursor* yang tidak bereaksi serta kepadatan matriks.

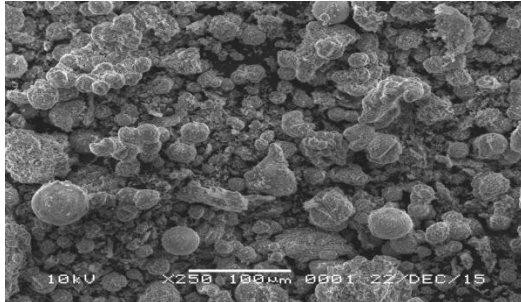
Saat ini belum ditemukan komposisi campuran mortar geopolimer (*mix design*) yang dapat menghasilkan kuat tekan optimal (Dony, W., et al., 2018). Permasalahan ini menjadi latar belakang kajian mikrostruktur mortar geopolimer abu sawit dengan variasi rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH.

### BAHAN DAN PENELITIAN

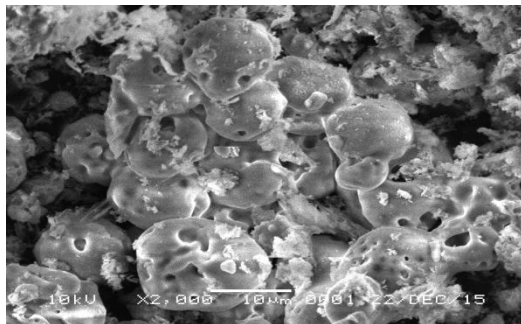
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah abu sawit sebagai limbah perusahaan perkebunan kelapa sawit PT. Petaling Mandra Guna Provinsi Jambi sebagai *precursor*,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , larutan NaOH dengan konsentrasi 8, 10, 12, 14 dan 16 M, air, *superplasticizer* dan agregat halus.

Hasil SEM yang disajikan pada Gambar 1. memperlihatkan butiran abu sawit lebih banyak berbentuk hampir seperti bola (*spherical*) walaupun ada juga beberapa partikel yang berbentuk tidak beraturan dengan ukuran butiran bervariasi. Kondisi ini menandakan bahwa

terhadap campuran mortar memiliki kelecakan (*workability*) yang cukup baik. Hasil SEM pada Gambar 2. terlihat bahwa butiran abu sawit mempunyai pori, kondisi ini berpengaruh pada penyerapan air dan larutan oleh partikel abu sawit.

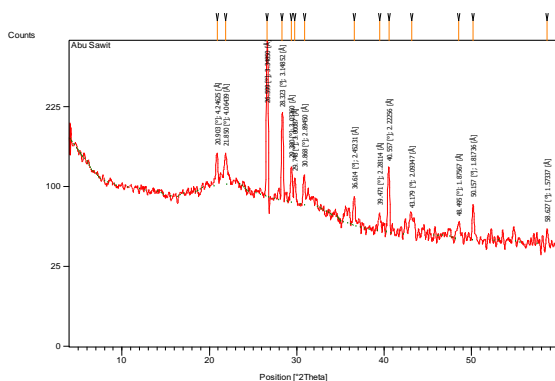


Gambar 1. SEM abu sawit perbesaran 250x



Gambar 2. SEM abu sawit perbesaran 2000x

Pada Gambar 3. diperlihatkan hasil uji XRD yang menunjukkan kondisi fasa amorf, kondisi ini dilihat dari bukit-bukit atau gundukan (*hump*). Selain itu juga terlihat puncak dengan nilai counts tinggi yang menunjukkan adanya kondisi fasa kristalin. Kondisi fasa kristalin tertinggi ditunjukkan pada position [ $2\theta$ ]  $26,599^\circ$  dengan nilai counts 269,74. Hasil XRF pada Tabel 1. menunjukkan komposisi kimia abu sawit memiliki kandungan senyawa oksida  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  masing-masing sebesar 55,94%, 1,85% dan 1,530. Apabila kategori kandungan senyawa oksida abu sawit ini disesuaikan dengan kelas fly ash yaitu pada kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) = 59,32% > 50% sebagai salah satu kriteria kelas C pada fly ash.



Gambar 3. Hasil XRD abu sawit

Tabel 1. Hasil XRF abu sawit

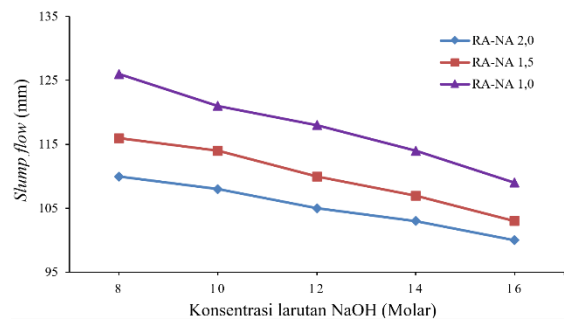
Oksida	Jumlah (%)
$\text{SiO}_2$	55,940
$\text{TiO}_2$	0,140
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,850
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,530
$\text{MnO}$	0,090
$\text{CaO}$	8,100
$\text{MgO}$	8,110
$\text{Na}_2\text{O}$	0,160
$\text{K}_2\text{O}$	8,750
$\text{P}_2\text{O}_5$	5,600
$\text{SO}_3$	1,770
LOI	5,130
$\text{ZnO}$	0,020
$\text{CuO}$	0,050
$\text{SrO}$	0,030
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,010
Cl	2,680
Si	26,150
Al	0,980

Komposisi campuran pada penelitian ini dengan variasi rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH}$  = 1,0, 1,5 dan 2,0. Kemudian rasio aktivator terhadap *precursor* = 0,417 dan rasio agregat halus terhadap *precursor* = 2,0 sebagai variabel tetap.

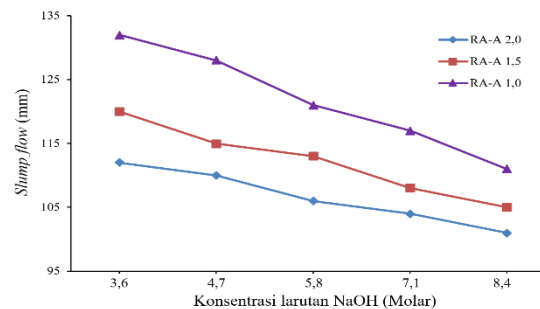
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Slump Flow

Penelitian slump flow dilakukan berdasarkan ASTM C 1437 dengan flow table.



Gambar 4. Slump flow campuran tanpa tambahan air terhadap konsentrasi larutan NaOH



Gambar 5. Slump flow campuran dengan tambahan air terhadap konsentrasi larutan NaOH

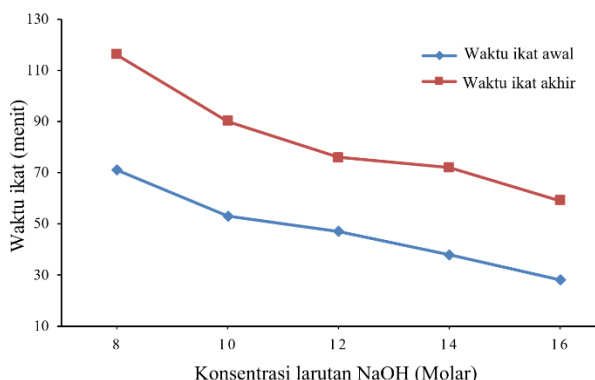
Gambar 4. menunjukkan diameter slump flow mortar tanpa tambahan air yaitu RA-NA 2,0, RA-NA 1,5 dan RA-NA 1,0. Hasil slump flow RA-NA 2,0 dengan interval antara 100 – 110 mm, untuk slump flow RA-NA 1,5 dengan interval

antara 103 – 116 mm dan RA-NA 1,0 dengan interval slump flow antara 109 – 126 mm

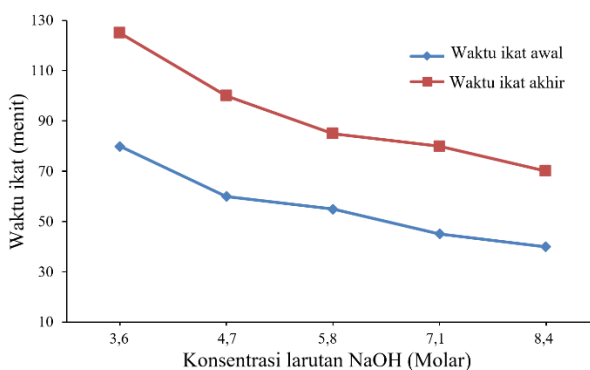
Gambar 5. memperlihatkan diameter slump flow mortar geopolimer segar dengan tambahan air yaitu RA-A 2,0, RA-A 1,5 dan RA-A 1,0. Hasil slump flow RA-A 2,0 menunjukkan diameter antara 101 – 112 mm, untuk RA-A 1,5 dengan diameter antara 105 – 120 mm dan untuk RA-A 1,0 dengan diameter antara 111 - 132 mm. Gambar 4 dan 5. memberikan gambaran mengenai *workability* campuran mortar geopolimer baik tanpa tambahan air maupun dengan tambahan air, namun *workability* yang baik harus mengacu pada ASTM 1437.

### Waktu Ikat

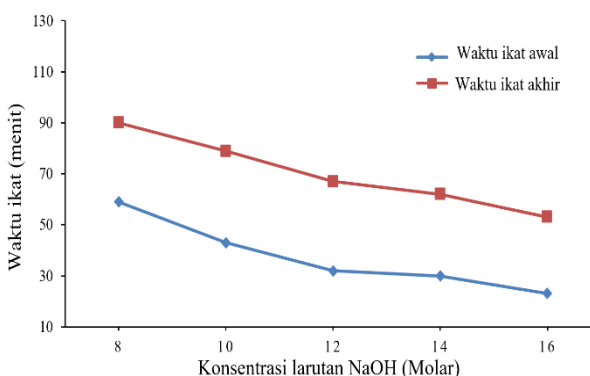
Pengujian waktu ikat dilakukan mengacu pada ASTM C 191 dan penelitian terdahulu.



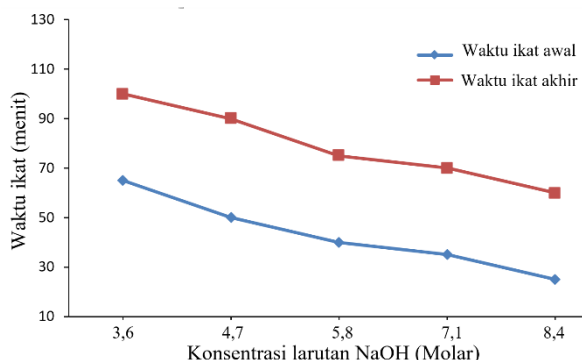
Gambar 6. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$  tanpa tambahan air



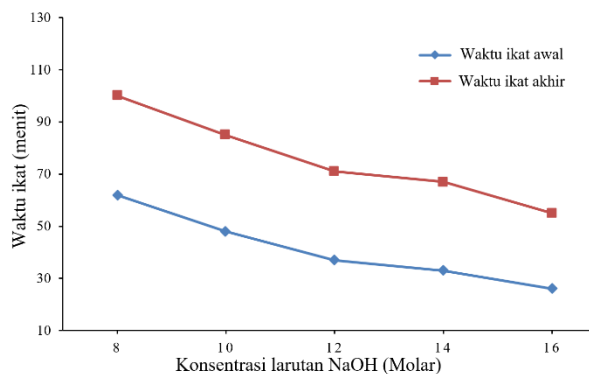
Gambar 7. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$  dengan tambahan air



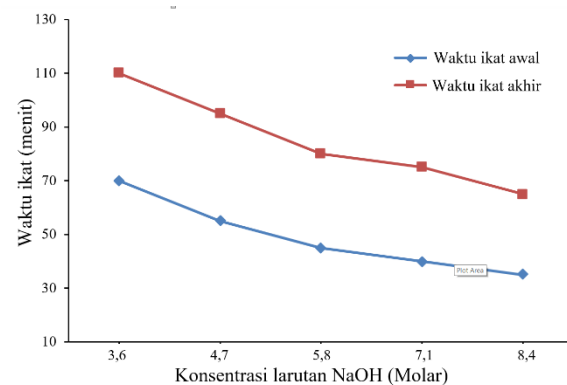
Gambar 8. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,5$  tanpa tambahan air



Gambar 9. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,5$  dengan tambahan air



Gambar 10. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 2,0$  tanpa tambahan air



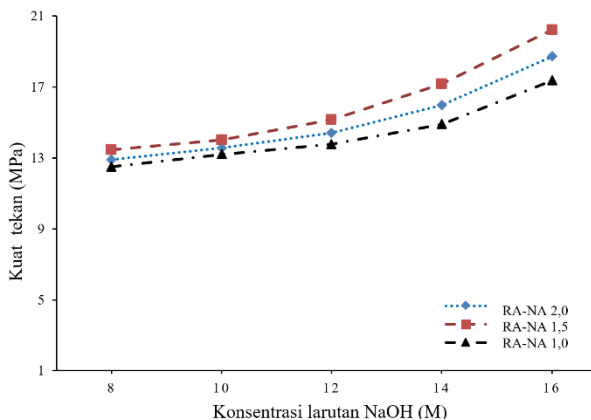
Gambar 11. Waktu ikat rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 2,0$  dengan tambahan air

Pengujian waktu ikat dilakukan pada temperatur curing  $90^\circ\text{C}$  (Chanh, et al., 2008). Curing dengan temperatur bertujuan untuk meningkatkan laju reaksi kimia campuran mortar segar (Hardjito, et al., 2008). Gambar 6 – 11 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan  $\text{NaOH}$  mempercepat waktu ikat awal dan akhir campuran mortar. Waktu ikat pada rasio alkali aktivator 1,5 tanpa tambahan air dan dengan tambahan air lebih cepat terjadi dibandingkan rasio 2,0 dan 1,0. Penambahan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  mempercepat waktu ikat campuran mortar seperti pada rasio 1,5 (Zejak, et al., 2013). Namun penambahan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang berlebih justru menghambat larutan  $\text{NaOH}$  untuk

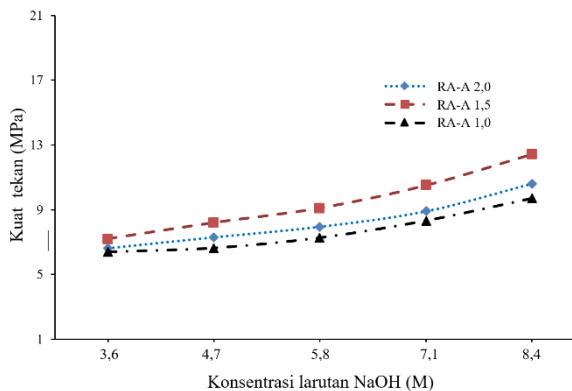
mereaksikan *precursor*, sehingga memperlambat waktu ikat awal dan akhir seperti pada rasio 2,0 (Lee, et al., 2002). Penggunaan *superplasticizer* sebagai pengganti tambahan air memberikan pengaruh percepatan waktu ikat awal dan akhir pada proses geopolimerisasi.

### Kuat Tekan

Penelitian kuat tekan mortar dilakukan berdasarkan umur perawatan (*curing*) seperti 3, 7, 14 dan 28 hari.

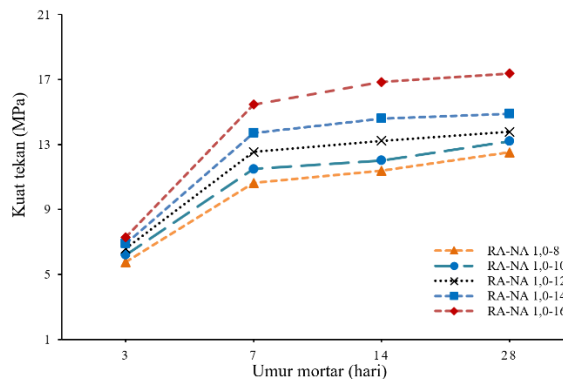


Gambar 12. Kuat tekan terhadap konsentrasi larutan NaOH tanpa tambahan air

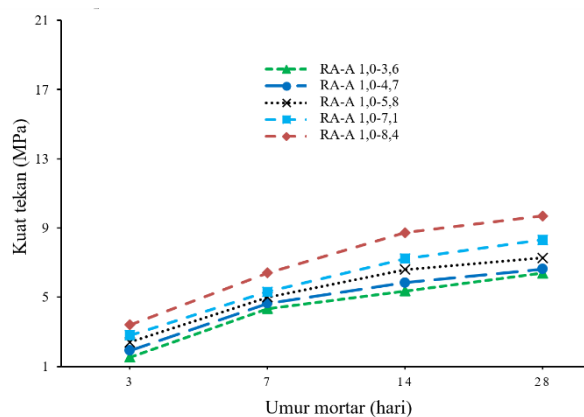


Gambar 13. Kuat tekan terhadap konsentrasi larutan NaOH tanpa tambahan air

Gambar 12 dan 13 menunjukkan kuat tekan umur 28 hari dimana penambahan air pada campuran mortar geopolimer menyebabkan turunnya konsentrasi larutan NaOH sehingga partikel *precursor* sulit bereaksi, yang mempengaruhi hasil kuat tekan. Penambahan *superplasticizer* sebagai pengganti tambahan air dapat mempertahankan nilai konsentrasi larutan NaOH sehingga berpengaruh pada peningkatan hasil kuat tekan. Campuran mortar geopolimer pada RA-NA 1,5 dengan konsentrasi larutan NaOH 16 M bereaksi homogen dengan partikel *precursor*, sehingga mengarah kepada kuat tekan maksimum = 20,2 MPa.

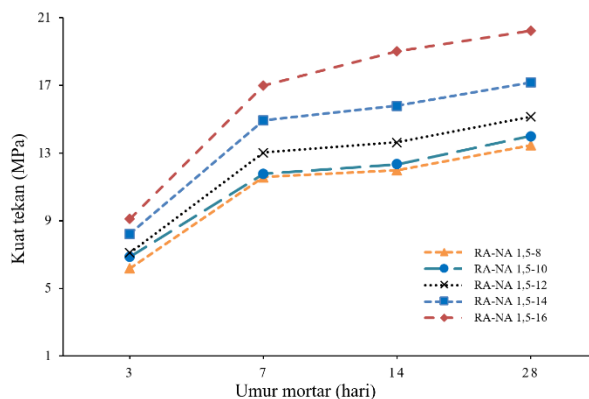


Gambar 14. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$  tanpa tambahan air

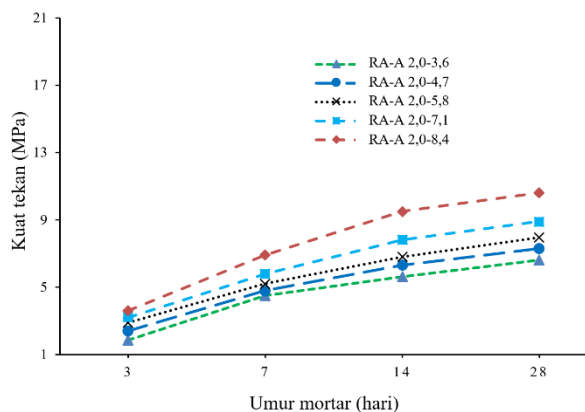


Gambar 15. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$  dengan tambahan air

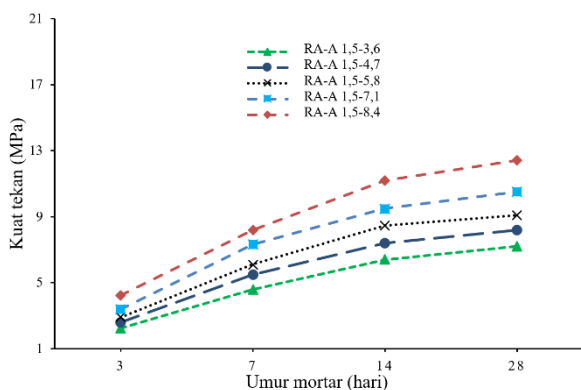
Gambar 14 memperlihatkan pengujian kuat tekan mortar dengan bahan tambah *superplasticizer* dengan hasil maksimum umur 28 hari yaitu RA-NA 1,0-16 = 17,4 MPa. Berdasarkan ASTM C 270 mortar geopolimer RA-NA 1,0-16 termasuk dalam kategori mortar tipe M dengan kuat tekan minimum = 17,2 MPa. Hasil analisis kuat tekan menunjukkan terjadi peningkatan pada setiap kenaikan konsentrasi larutan NaOH. Gambar 15 memperlihatkan pengujian kuat tekan dengan tambahan air rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$ . Penambahan air pada campuran mortar untuk memperbaiki *workability* menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi larutan NaOH menjadi 3,6, 4,7, 5,8, 7,1 dan 8,4 M, akibatnya hasil kuat tekan menurun. Hasil kuat tekan maksimum umur 28 hari pada rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap  $\text{NaOH} = 1,0$  dengan konsentrasi larutan NaOH 8,4 M adalah sebesar 9,7 MPa lebih kecil dari hasil kuat tekan tanpa tambahan air, sehingga termasuk dalam kategori mortar tipe N



Gambar 16. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 1,5 tanpa tambahan air



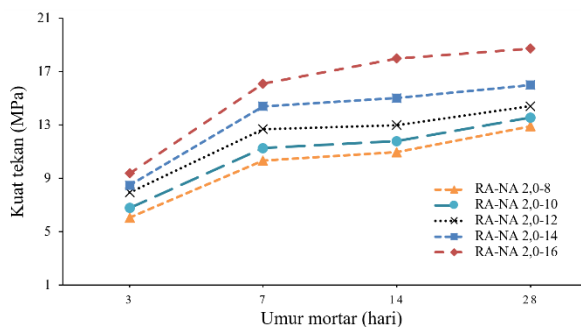
Gambar 19. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 2,0 dengan tambahan air



Gambar 17. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 1,5 dengan tambahan air

Gambar 16 menunjukkan kuat tekan maksimum umur 28 hari konsentrasi larutan NaOH 16 M = 20,2 MPa. Berdasarkan ASTM C 270 mortar geopolimer rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH sebesar 1,5 tanpa tambahan air termasuk dalam kategori mortar tipe M dengan kuat tekan minimum sebesar 17,2 MPa.

Gambar 17. memperlihatkan kuat tekan maksimum dengan tambahan air pada rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH sebesar 1,5 pada umur 28 hari dengan konsentrasi NaOH 8,4 M sebesar 12,4 MPa. Berdasarkan ASTM C 270 kategori mortar adalah tipe S dengan kuat tekan minimum sebesar 12,4 MPa.



Gambar 18. Kuat tekan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 2,0 tanpa tambahan air

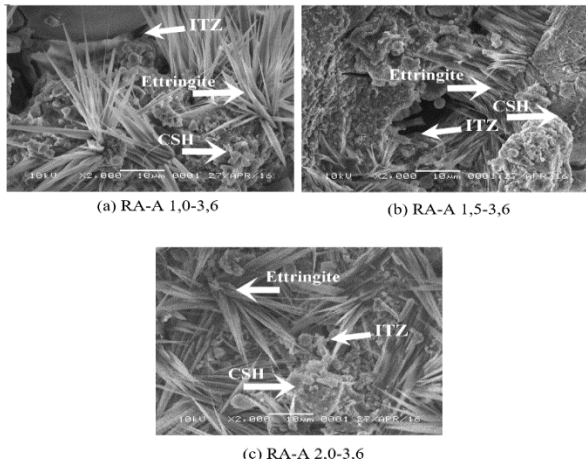
Gambar 18 pada pengujian kuat tekan mortar geopolimer tanpa tambahan air rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 2,0 pada konsentrasi larutan NaOH 16 M umur 28 hari sebesar 18,7 MPa. Kategori mortar tipe M dengan kuat tekan minimum sebesar 17,2 MPa.

Gambar 19 dengan tambahan air pada rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 2,0 dengan konsentrasi larutan NaOH 8,4 M umur 28 hari sebesar 10,6 MPa dengan kategori mortar tipe N.

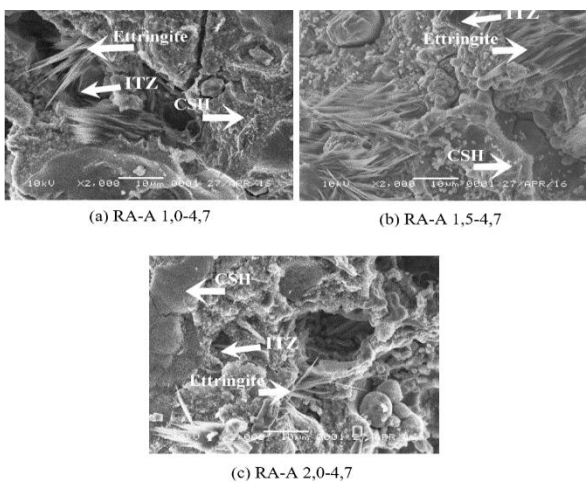
Hasil SEM abu sawit menunjukkan bentuk umum seperti bola (*spherical*) dengan ukuran partikel yang kecil, sehingga mudah dikerjakan dan memungkinkan penggunaan *super plasticizer* sebagai pengganti tambahan air. Hasil XRF abu sawit menunjukkan kadar  $\text{SiO}_2$  dan CaO yang tinggi, masing-masing 55,94% dan 8,10% menjadikan abu sawit termasuk dalam sistem geopolimer tipe pengikatan silika-kalsium (Si + Ca) dimana dibutuhkan larutan alkali yang rendah dengan kalsium silikat hidrat (CSH) sebagai produk utama (Yahya, Z., 2015).

### Mikrostruktur Mortar Geopolimer

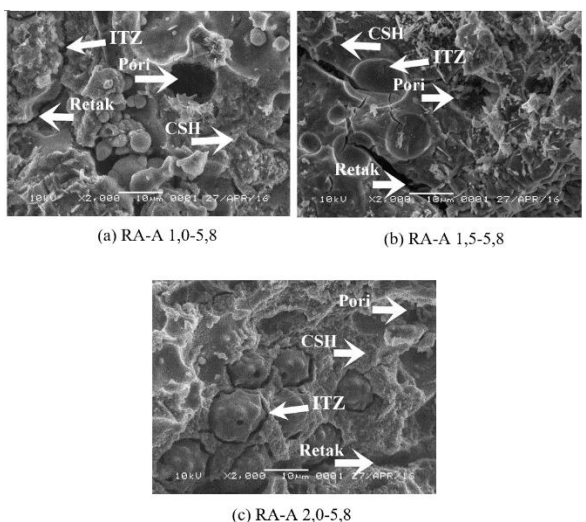
Analisis mikrostruktur berupa analisis morfologi mortar geopolimer abu sawit dengan tambahan air pada pecahan sampel uji kuat tekan maksimum umur 28 hari. Analisis mikrostruktur mortar geopolimer menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH (RA-A) sebesar 1,0, 1,5 dan 2,0 disajikan berdasarkan konsentrasi larutan NaOH.



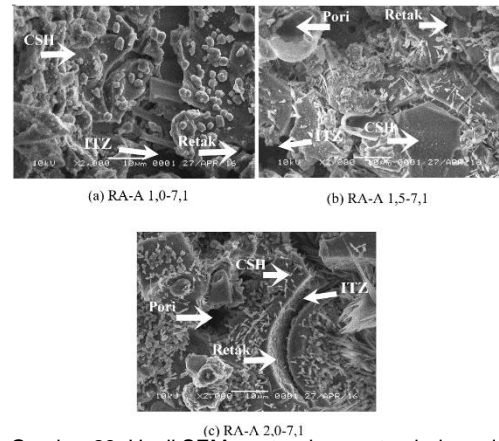
Gambar 20. Hasil SEM mortar dengan tambahan air konsentrasi NaOH 3,6 M



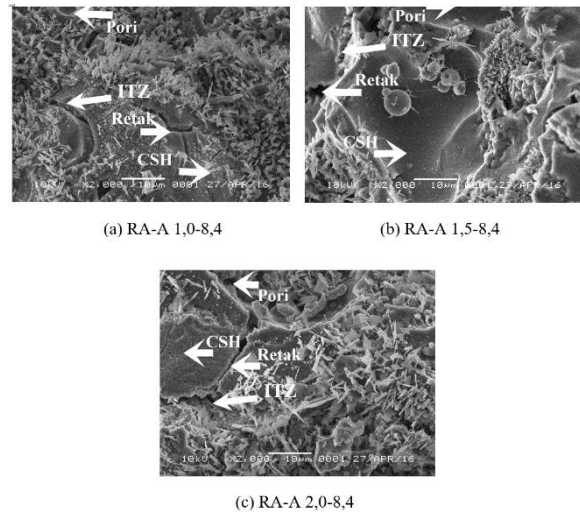
Gambar 21. Hasil SEM mortar dengan tambahan air konsentrasi NaOH 4,7 M



Gambar 22. Hasil SEM mortar dengan tambahan air konsentrasi NaOH 5,8 M



Gambar 23. Hasil SEM mortar dengan tambahan air konsentrasi NaOH 7,1 M



Gambar 24. Hasil SEM mortar dengan tambahan air konsentrasi NaOH 8,4 M

Berdasarkan pengamatan Gambar 21 – 24 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan NaOH yang diberikan menyebabkan peningkatan kepadatan matriks geopolimer yang terbentuk dan reaksi *precursor* dengan alkali aktivator menjadi semakin homogen. Penambahan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang sebanding dengan NaOH menyebabkan percepatan proses geopolimerisasi tidak maksimum, sementara penambahan yang berlebih menyebabkan terhambatnya reaksi aktivator terhadap partikel *precursor*. Nilai rasio alkali aktivator semua *mix design* dengan menggunakan tambahan air yaitu 1,0, 1,5 dan 2,0 memberikan hasil kuat tekan yang berbeda. Hasil kuat tekan maksimum terjadi RA-A 1,5 sebesar 12,4 MPa. Hasil kuat tekan RA-A 2,0 sebesar 9,4 MPa, lebih tinggi dibandingkan RA-A 1,0 sebesar 8,7 MPa. Semua hasil maksimum setiap rasio diperoleh pada konsentrasi larutan NaOH tertinggi sebesar 8,4 M.

## SIMPULAN

Berdasarkan uraian dan penjelasan pada bab setidaknya, mulai proses pembuatan mortar geopolimer dengan *precursor* abu sawit sampai pengujiannya dan menganalisis, maka dapat ditarik kesimpulan.

1. Analisis hasil uji SEM dan XRD terhadap *precursor* abu sawit menunjukkan bahwa bentuk partikel abu sawit terlihat hampir bulat dengan kondisi fasa *amorf* dan fasa kristalin. Berdasarkan hasil XRF abu sawit menunjukkan rasio unsur Si/Al > 3, sehingga ikatan yang terbentuk tidak termasuk dalam tiga tipe ikatan polimerisasi.
2. Komposisi campuran maksimum didapat pada rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH 1,5 dengan konsentrasi larutan NaOH 16 M diperoleh kuat tekan sebesar 20,2 MPa, sedangkan pada komposisi rasio 1,0 = 17,4 MPa dan komposisi rasio 2,0 = 18,7 MPa.
3. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH, maka *workability* campuran semakin rendah dan semakin cepat waktu settingnya serta hasil kuat tekan mortar geopolimer semakin tinggi.
4. Rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 1,5 menyebabkan percepatan reaksi polimerisasi dibandingkan rasio = 1,0. Namun kadar  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang berlebihan justru menjadi penghambat percepatan proses geopolimerisasi seperti yang terjadi pada rasio = 2,0.
5. Analisis mikrostruktur mortar geopolimer dengan SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang diberikan pada rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap NaOH = 1,5, maka semakin solid matriks geopolimer yang terbentuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 33 / C 33M - 03 (2003). The Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM international, West Conshohocken, PA.
- ASTM C 117 - 03 (2003). The Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. ASTM international, West Conshohocken, PA.
- ASTM C 128 - 03 (2003). The Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. ASTM international, West Conshohocken, PA.
- ASTM C 109 / C109 - 07 (2008). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar ASTM Annual Books. USA:ASTM
- ASTM C 270 - 07 (2007). The Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.

ASTM international, West Conshohocken, PA.

ASTM C 778 - 02 (2003). Standard Specification for standard sand. ASTM international, West Conshohocken, PA.

ASTM C 1437 - 07 (2008). The Standard Test Method for Flow of Hydraulic-Cement Mortar. ASTM international, West Conshohocken, PA.

ASTM C 191 - 08 (2008). The Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. ASTM international, West Conshohocken, PA.

ACI 226. 3R - 87 (1996). Use of Fly ash in Concrete. Report by ACI Committee 226.

BPSJ (2013). Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi, 2015

Chanh, N., V., Bui, D., T., Dang, V., T., 2008. Recent Research Geopolymer Concrete. The 3<sup>rd</sup> ACF International Conference-ACF / VCA. A.18, 235-241.

Davidovits, J., 1999. Chemistry of Geopolymeric Systems. Terminology Geopolymere '99 International Conference, Saint-Quentin, France, pp. 9-22.

Dony, W., Saloma., Astira, F.I., (2018) Oil Palm Ash-based Geopolymer Mortar With Variation  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  AIP Conference Proceedings 2030,020104(2018); doi:10.1063/1.5066745

Hardjito, D., Chua, C., C., Carrie, H., L., I., 2008. Strength and Setting Time of Low Calcium Fly ash-based Geopolymer Mortar. Journal CCSE, Modern Applied Science. Vol. 2, No. 4, 3-11.

Lee, W.K.W.; van Deventer, J.S.J. The effects of inorganic salt contamination on the strength and durability of geopolymers. Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp. 2002, 211, 115-126.

Yahya, Z., et al., 2015. Effect of Solids-to-Liquids,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ -to-NaOH and curing Temperature on the Palm Oil Boiler Ash (Si+Ca) Geopolymerisation System. Journal Materials, 2228-2242.