

## PERBANDINGAN PENGARUH TINGKAT KEHALUSAN POFA DAN FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Siti Aja Aulia<sup>1</sup>, Syamsul Bahri<sup>\*2</sup>, Sulaiman AR<sup>3</sup>, Syaifuddin<sup>2</sup>, dan Gusrizal<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan  
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jalan Banda Aceh – Medan Km. 280,3 Buketrata, Lhokseumawe, 24301 P.O. Box 90

\*e-mail: syamsul\_bahri@pnl.ac.id

### Abstract

*Palm Oil Fuel Ash (POFA) and fly ash (FA) are wastes in the palm oil industry and the electric generating power plant. This study aims to compare the effect of the fineness of POFA and FA on the compressive strength of those mortars. These wastes are grounded and later are substituted for cement in mortar mixtures. POFA and FA were each made into a mortar with a percentage of 20% of the cement used. Before being used, each waste was first grinding 1000 cycles, 2000 cycles, 3000 cycles using a Los Angeles machine and also used POFA and FA 100% passing sieve #No.16 and 100% passing sieve #No.200. Furthermore, each waste is made of 50 mm x 50 mm x 50 mm cube specimens and will be tested for compressive strength at age of 1, 3, 7, and 28 days and also being tested for their porosity. The results showed that FA passed sieve #No.16 has better compressive strength than others. It means FA didn't need to grind to achieve a compressive strength of mortar of about 58.22 MPa and its porosity was 10.98%. The compressive strength of the mortar exceeds the control mortar by 36.68 MPa in 28 days. So it can be concluded that the mortar with passing sieve #No.16 of FA can reduce the porosity of the mortar so that it improves the compressive strength of the mortar.*

**Keywords :** Fly ash, compressive strength, mortar, palm oil fuel ash, pozzolan.

### PENDAHULUAN

Limbah *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dan *Fly Ash* (FA) merupakan sisa akhir dari suatu proses produksi minyak kelapa sawit dan pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). PT. Syaukath Sejahtera diperkirakan mengolah kelapa sawit segar sebesar 128 ribu ton/tahun. Limbah padat yang dihasilkan yaitu sekitar 35-40% dari jumlah tandan buah segar yang diolah [1]. Sehingga diperkirakan limbah padat yang dihasilkan dari PT. Syaukath Sejahtera sebesar 45 ribu ton/tahun. Pabrik minyak kelapa sawit mengekstrak kelapa sawit dari serat kelapa sawit dan menghasilkan Palm Oil Residu. Kemudian limbah tersebut di bakar di

boiler untuk menghasilkan energi listrik di lingkungan perusahaan tersebut. Hasil pembakaran tersebut dinamakan Palm Oil Fuel Ash (POFA). POFA berpotensi menjadi bahan substitusi semen [2]. Selanjutnya, PLTU memerlukan sumber daya batu bara yang tidak sedikit. PLTU Pangkalan Susu memerlukan pasokan batu bara sebesar 2,16 juta metrik ton/tahun. Batu bara yang digunakan menghasilkan limbah abu *fly ash* (FA) sebesar 10% dari penyerapan batu bara [3].

POFA dan FA akan terus bertambah sejalan dengan pengolahan kelapa sawit dan pembakaran batu bara. Sementara itu, pengolahan kedua jenis limbah yang menumpuk ini perlu untuk dipikirkan penggunaannya agar timbunan limbah akan

terus berkurang dan menjadi salah satu upaya penyelamatan lingkungan. Kedua limbah ini memiliki tekstur yang halus dan ringan, sehingga sangat mudah menjadi faktor pencemaran udara pada lingkungan pabrik.

Timbunan POFA dan FA yang menumpuk dan dibiarkan di tempat terbuka membentuk gumpalan yang mengeras. Agar lebih reaktif terhadap produk hidrasi semen, gumpalan-gumpalan ini harus memiliki ukuran partikel yang menyerupai semen. Pemakaian FA sebesar 20-30% terhadap berat semen maka akan menambah kuat tekan mortar [4].

Penelitian ini menggunakan FA sebesar 20% dari berat semen yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh yang terbaik antara variasi kehalusan POFA dan FA terhadap kuat tekan maksimum pada mortar. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui porositas pada mortar melalui *water absorption* mortar setelah uji kuat tekan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Material

Material campuran mortar yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, POFA, FA, semen, agregat halus, dan air. POFA mengandung 64,36% SiO<sub>2</sub>, 4,36% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,41% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7,92% CaO, 4,58% MgO, 0,04% SO<sub>3</sub>, 5,57% K<sub>2</sub>O, 0,87% TiO<sub>2</sub>, 0,1% MnO, 3,64% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan 0,59% H<sub>2</sub>O [5]. Penelitian ini menggunakan POFA yang telah tertimbun lama di PT. Syaikh Sejahtera. Hasil uji berat jenis POFA pada penelitian ini yaitu 2,35. Selain POFA, penelitian ini juga menggunakan FA yang berasal dari timbunan FA di PLTU Pangkalan Susu. Berdasarkan XRF (*X-Ray Fluorescence*) FA PLTU Pangkalan Susu mengandung 34,81% SiO<sub>2</sub>, 25,39% CaO, 14,92% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 16,49% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 4,92% MgO [5]. Kandungan kimia pada FA tersebut diklasifikasikan sebagai FA kelas C karena jumlah SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih besar dari 50% [5]. Hasil uji berat jenis FA pada penelitian ini adalah 2,16 t/m<sup>3</sup>.

Sebelum digunakan pada campuran mortar, POFA dan FA terlebih dahulu digiling menggunakan Mesin Los Angeles masing-masing sebanyak 1000 putaran, 2000 putaran, dan 3000 putaran. Proses penggilingan mengikuti *standard* ASTM C-131 [6] dengan total beban berupa batang besi dan bola besi sebesar 14,82 Kg. Selain itu penelitian ini juga menggunakan POFA dan FA tanpa digiling 100% lolos #No.200 (MPL-200 dan MFL-200) dan lolos #No.16 100% (MPL-16 dan MFL-16). Sehingga penelitian ini ada lima tingkat kehalusan POFA dan FA pada mortar 50 mm x 50 mm x 50 mm.

Semen yang digunakan pada penelitian ini berjenis semen portland tipe I (*Ordinary Portland Cement*) merk Semen Padang dengan komposisi senyawa kimia terdiri atas 55% C<sub>3</sub>S, 19% C<sub>2</sub>S, 10% C<sub>3</sub>A, 7% C<sub>4</sub>AF, 2,8% MgO, 2,9% SO<sub>3</sub> [7]. Pengujian berat jenis semen berdasarkan prosedur SNI 2531:2015 [8] dan diperoleh berat jenis semen sebesar 3,15 t/m<sup>3</sup>.

Penelitian ini menggunakan agregat halus berasal dari Krueng Tingkeum. Untuk menghilangkan kotoran pada agregat halus, agregat tersebut terlebih dahulu di saring dengan menggunakan saringan No.4 (4,75 mm) selanjutnya dicuci menggunakan air mengalir dan dijemur di bawah sinar matahari.

### Komposisi Campuran

Metoda untuk *mix design* mortar menggunakan *mix design* DoE dan *Absolute Method*. Campuran mortar ini nantinya dipersiapkan untuk campuran beton dengan kuat tekan yang optimum. Perbandingan kerikil yang digunakan pada beton nantinya adalah 4 pasir : 6 kerikil dengan faktor air binder 0,4 dan binder 400 kg/m<sup>3</sup>. Penelitian ini mempersiapkan campuran mortar yang mempunyai kekuatan yang optimum.

Persentase kadar POFA dan FA yang digunakan adalah masing-masing sebesar 20% dari berat semen yang digunakan. Limbah tersebut selanjutnya dimasukkan pada campuran mortar. Penamaan benda uji dilakukan sebagai berikut: mortar kontrol diberi kode MK, mortar yang POFA nya digiling 1000 putaran diberi nama MP-1000, dst. Mortar yang FA nya digiling 1000 putaran diberi nama MF-1000, dst. Sedangkan pada mortar yang POFA dan FA nya 100% lolos ayakan #16 diberi kode MPL-16 dan MFL-16. Mortar yang POFA dan FA nya 100% lolos ayakan #200 diberi kode MPL-200 dan MFL-200. Komposisi campuran mortar POFA dan FA ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi campuran mortar POFA untuk 1 m<sup>3</sup>

Jenis Mortar	Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Air (Kg)	POFA 20% (Kg)
MK	400	714	205	0
MPL-16	320	714	205	80
MP-1000	320	714	205	80
MP-2000	320	714	205	80
MP-3000	320	714	205	80
MPL-200	320	714	205	80

Tabel 2. Komposisi campuran mortar FA untuk 1 m<sup>3</sup>

Jenis Mortar	Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Air (Kg)	Fly Ash 20% (Kg)
MFL-16	320	714	205	80
MF-1000	320	714	205	80
MF-2000	320	714	205	80
MF-3000	320	714	205	80
MFL-200	320	714	205	80

### Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian berupa kubus berdimensi 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan total 60 benda uji mortar POFA dan 60 benda uji mortar FA. Benda uji tersebut masing-masing diuji

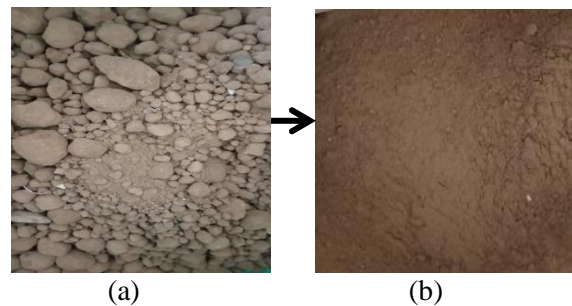
kuat tekan pada umur mortar 1, 3, 7 dan 28 hari.

### Pengujian Sifat Fisis

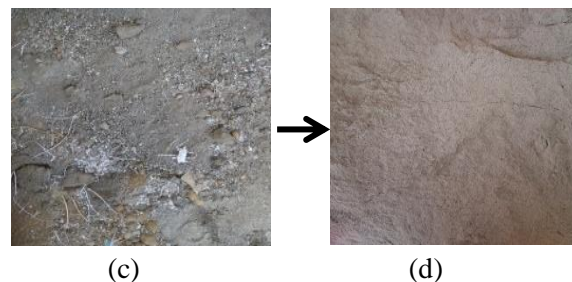
#### Pengujian persentase POFA dan FA lolos #No.200 setelah digiling

Gambar 1 dan Gambar 2 menampilkan perbedaan kehalusan FA dan POFA sebelum digiling dan setelah digiling. Untuk mengetahui persentase kehalusan dari POFA dan FA, pengujian persentase POFA dan FA dilakukan berdasarkan persentase dari lolos ayakan #No.200 (75µm). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kehalusan POFA dan FA yang lolos ayakan #No.200 dari POFA dan FA yang digiling menggunakan mesin Los Angeles dan 100% lolos ayakan #No.16 dan 100% lolos ayakan #No.200. Persentase kehalusan POFA dan FA dihitung menggunakan persamaan (1)

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Lolos \#No.200}}{\text{Berat sample yang diuji}} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 1. Perbedaan kehalusan FA sebelum digiling (a) dan setelah digiling (b)



Gambar 2. Perbedaan fisis kehalusan POFA sebelum digiling (c) dan setelah digiling (d)

**Particel size distribution (PSD) POFA dan FA**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel setiap kategori POFA dan FA. Pengujian ini menggunakan alat *particle size analyzer* di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

**Pengujian Sifat Mekanis**

Pengujian sifat mekanis dilakukan saat mortar telah mengeras. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan pada penelitian ini adalah kuat tekan mortar dan porositas mortar melalui *water absorbtion* mortar.

**Kuat tekan mortar**

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan berdasarkan SNI 06-6825-2002 [9] menggunakan mesin kuat tekan melalui persamaan (2).

$$f_c = \frac{P}{A} \tag{2}$$

Keterangan :

- $f_c$  = Kuat tekan mortar (N/mm<sup>2</sup>)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas permukaan bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

**Porositas mortar**

Pengujian porositas mortar dilakukan untuk mencari volume dari ruang kosong di antara material pada mortar yang telah mengeras. Pengujian ini dilakukan setelah pengujian kuat tekan mortar. Pecahan permukaan mortar yang telah diuji kuat tekan akan dibersihkan menggunakan kuas dan direndam di dalam air akuades selama 24 jam. Selanjutnya dioven selama 24 jam. Proses ini akan memperoleh persentase penyerapan air pada mortar.

Berdasarkan ASTM C 642-90 [10] untuk mencari porositas dapat digunakan persamaan (3).

$$n = \frac{C-A}{A} \times 100\% \tag{3}$$

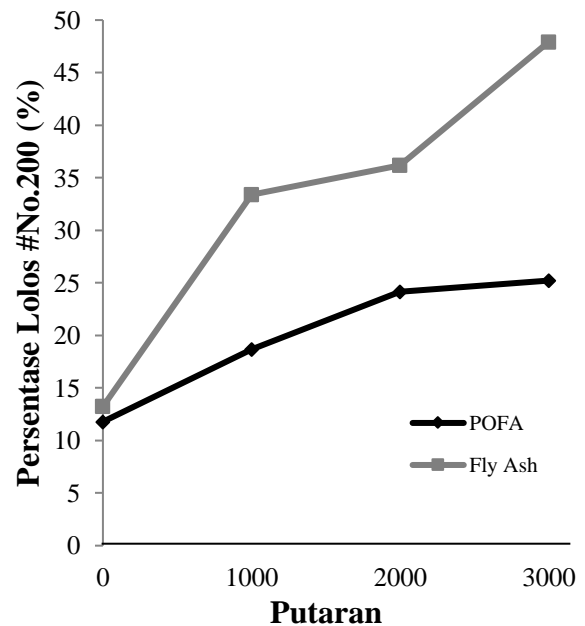
Keterangan :

- n = Porositas benda uji (%)
- A = Benda uji kering oven (gr)
- C = Berat benda uji SSD (gr)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Penggunaan POFA dan FA Terhadap Kehalusan**

**Persentase POFA dan FA giling lolos ayakan #No.200.**



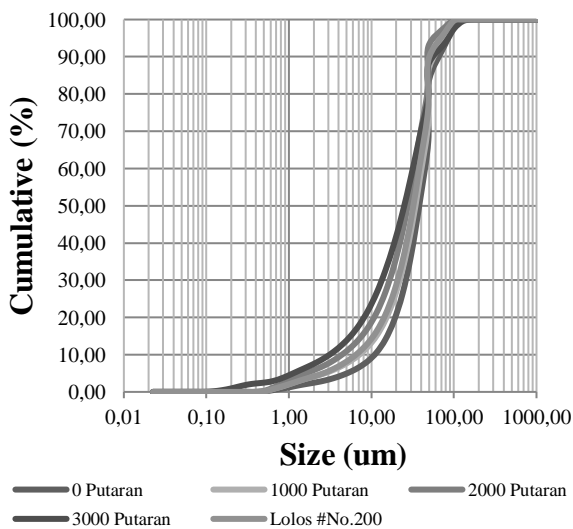
Gambar 3. Persentase POFA dan FA giling lolos ayakan #No.200

Gambar 3 menunjukkan bahwa POFA yang digiling sebanyak 2000 dan 3000 putaran tidak mengalami kenaikan persentase lolos ayakan #No.200 yang signifikan. POFA 2000 putaran memiliki persentase lolos ayakan #No. 200 sebesar 24,16% dan POFA 3000 putaran sebesar 25,22%. Namun FA yang digiling 2000 putaran dan 3000 putaran mengalami kenaikan persentase lolos ayakan #No. 200 yang signifikan. FA 2000 putaran memiliki persentase lolos ayakan #No.200 sebesar 36,17% dan FA 3000 putaran sebesar 48,00%.

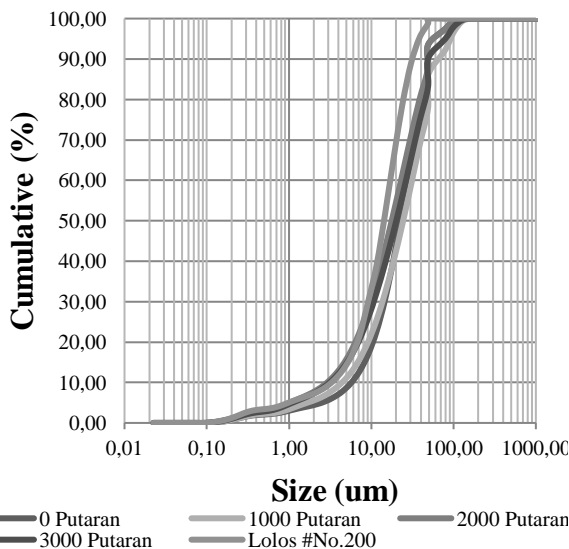
47,92%. Maka dari itu, semakin banyak jumlah putaran pada penggilingan POFA dan FA akan semakin banyak material tersebut lolos ayakan #No. 200 (halus).

**Particel size distribution (PSD) POFA dan FA**

Gambar 4 menunjukkan bahwa POFA yang digiling 3000 putaran memiliki persentase ukuran partikel lebih tinggi dari keempat kategori POFA lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel POFA yang digiling 3000 putaran lebih halus dibandingkan dengan kategori POFA lainnya.

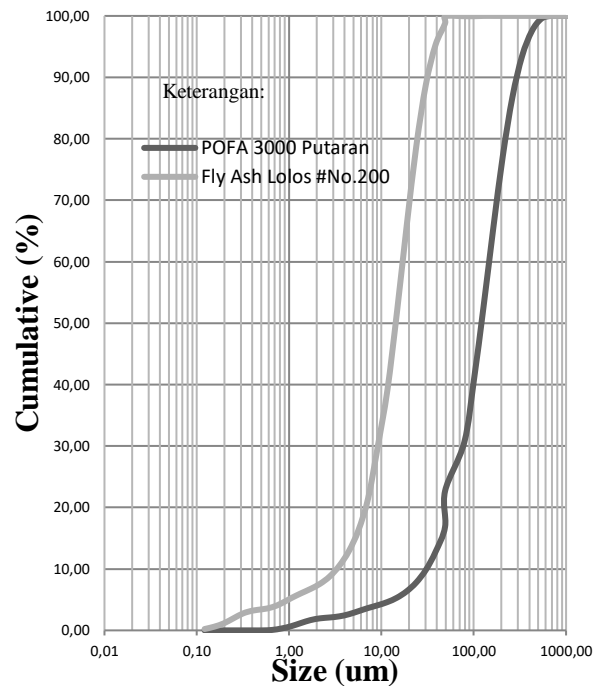


Gambar 4. Particle size distribution POFA



Gambar 5. Particle size distribution FA

Gambar 5 menunjukkan bahwa FA lolos ayakan #No.200 memiliki persentase distribusi ukuran partikel yang lebih halus dari kategori FA lainnya.



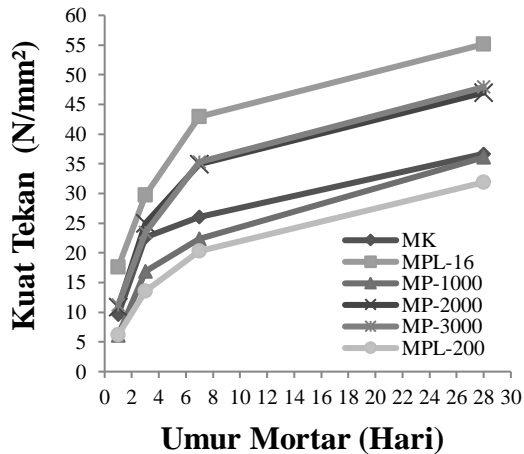
Gambar 6. Persentase distribusi ukuran partikel terhalus pada POFA dan FA

Gambar 6 menunjukkan bahwa FA lolos ayakan #No.200 dengan tingkat kehalusan yang sangat tinggi.

**Pengaruh Penggunaan POFA dan FA Terhadap Kuat Tekan**

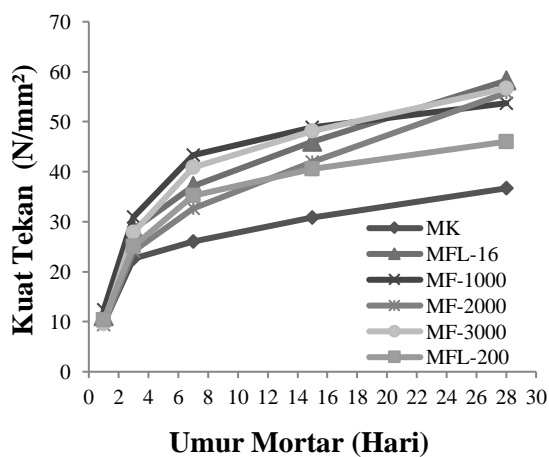
Pengujian kuat tekan mortar yang diuji pada umur mortar 1, 3, 7 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan mortar POFA disajikan pada Gambar 7 dan mortar FA pada Gambar 8.





Gambar 7. Kuat tekan mortar POFA

Gambar 7 menunjukkan bahwa Persentase POFA yang digunakan sebesar 20% dari berat semen yang digunakan dapat menghasilkan kuat tekan mortar tertinggi 55,13 MPa pada umur mortar 28 hari. Kuat tekan mortar tertinggi ini dihasilkan dari kategori POFA 100% lolos #No.16. Hasil kuat tekan mortar POFA lolos #No.16 lebih tinggi daripada mortar kontrol mencapai kuat tekan 36,68 MPa pada umur 28 hari.



Gambar 8. Kuat tekan mortar FA

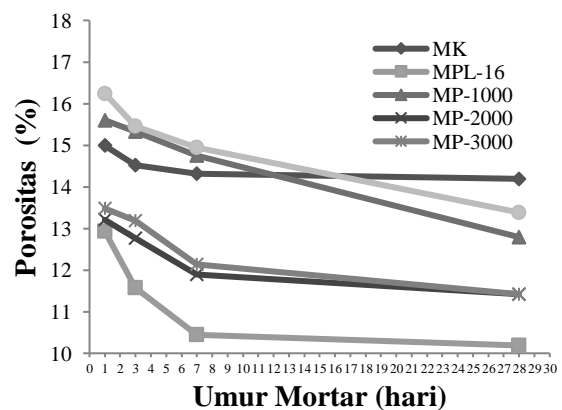
Gambar 8 menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi mortar FA terdapat pada mortar MFL-16. Mortar ini menghasilkan kuat tekan sebesar 58,22 MPa pada umur 28 hari lebih tinggi dari 5 jenis mortar lainnya. Hasil kuat tekan mortar ini menyatakan bahwa tidak diperlukan penggilingan pada FA yang telah

menggumpal karena dengan penggilingan dapat meningkatkan *surface area* sehingga memerlukan banyak *binder* dan dapat meningkatkan *water absorbtion* mengakibatkan berkurangnya kuat tekan mortar.

Perlakuan yang sama juga dilakukan oleh Mehdipour dan Khayat [11] untuk mengetahui efek *particle size distribution* dan *surface are* dari jenis *binder* yang berbeda kategori. Pada penelitiannya menyebutkan bahwa PSD mempengaruhi *surface area* dari ukuran granular yang dilapisi dengan pasta semen. *Surface are* yang lebih tinggi dari ukuran granular dapat menghasilkan pengurangan ketebalan sehingga menyebabkan kemampuan kerja yang lebih rendah.

### Pengaruh Penggunaan POFA dan FA terhadap Porositas

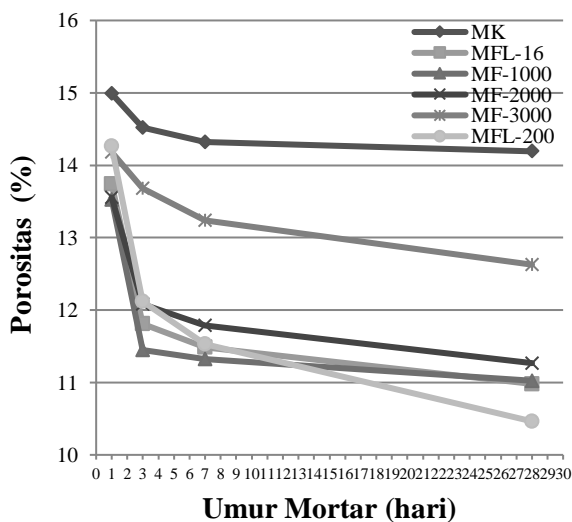
Mortar yang telah pecah diuji porositas melalui penyerapan air. Gambar 9 menunjukkan bahwa porositas terendah diperoleh dari mortar POFA 100% lolos ayakan #No.16 (MPL-16) pada umur 28 hari dan kuat tekan sebesar 10,19%. Persentase ini menyatakan bahwa ruang pori material pada mortar cukup kecil sehingga mengakibatkan kuat tekan mortar POFA mencapai 55,13 MPa.



Gambar 9. Porositas mortar POFA

Gambar 10 menunjukkan bahwa mortar 100% lolos #No.200 (MPL-200)

merupakan mortar yang memiliki porositas terendah setelah mortar telah uji kuat tekan umur 28 hari sebesar 10,46%. Meskipun MFL-16 memiliki porositas yang lebih besar dari MFL-200 namun pada kenyataannya kekuatan mortar MFL-16 lebih baik dari kuat tekan MFL-200. Hal ini mungkin batas perbedaan porositas tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan pada kuat tekannya. Meskipun demikian penelitian yang dilakukan oleh Chen dan Zhou [12] menyebutkan bahwa kuat tekan mortar semen tidak konstan tapi tergantung pada porositasnya. Kuat tekannya menurun dengan meningkatnya nilai porositas mortar.



Gambar 10. Porositas mortar FA

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan.

Penggilingan bahan baku POFA dan FA menjadi lebih halus tidak memberi dampak pada kenaikan kuat tekan mortar. Mortar yang menggunakan POFA dan FA yang hanya lolos ayakan #No.16 menunjukkan kuat tekannya lebih baik dari POFA dan FA yang telah mengalami proses penggilingan.

Porositas pada mortar POFA dan FA menunjukkan perilaku yang sama yaitu POFA dan FA yang tidak dilakukan proses

menunjukkan porositas yang rendah pada umur mortar 28 hari.

Hubungan porositas dan kuat tekan menunjukkan semakin kecil pori semakin besar nilai kuat tekan mortar tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. Syaokath Sejahtera dan PLTU Pangkalan Susu yang telah memberikan POFA dan FA untuk penelitian ini dan mahasiswa/i sebagai pelaksana penelitian ini: Fenny Nadila Putri, Mukhtaruddin, Muhamamd Aqro Reza, Muhammad Nizar Ali. Juga kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Syukur Hidayat, ST yang telah membantu kelancaran penelitian di Laboratorium Bahan Politeknik Negeri Lhokseumawe.

## REFERENSI

- [1] Farandia, R.Y. 2014. *Kinerja Beton High Volume POFA*. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains, Vol. 1, pp. 1-12.
- [2] Putri, W.R, dkk. 2021. *Kuat Tekan Beton POFA (Palm Oil Fuel Ash) Dengan Bahan Tambah Silica Fuem*. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Fakultas Teknik, Vol. 8, No. 1, pp. 1-8.
- [3] Setiawati, M., Imanuddin, M. 2018. *Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton*. Prosiding Semnastek, Vol. 5, pp. 295-302.
- [4] Sebayang, S., dan Mardiansah. 2018. *Pengaruh Penggantian Abu Terbang (Fly Ash) Pada Sebagian Semen Portland Komposit Terhadap Kuat Tekan Mortar*. Jurnal Mahasiswa Teknik, Vol. 1, No. 1, pp. 69-72.
- [5] Rozi, M.F., dkk. 2020. *Analisis Sifat Mekanik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash PLTU Pangkalan Susu*. Jurnal Syntax Admiration, Vol. 1, No. 5, pp. 567-579.

- [6] *Standard Test Method For Resistanceto Degradation of Small-Size Coarse Agregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* ASTM C131.
- [7] Ikhwan, M., dkk. 2017. *Pengaruh Penambahan Aditif Kalsium Klorida (CaCl<sub>2</sub>) Dari Limbah Kulit Telur Terhadap Reaksi Pengerasan Semen.* Jurnal Teknik Kimia, Vol. 23, No. 1, pp. 48–56.
- [8] *Metode Uji Densitas Semen Hidraulis.* SNI 2531:2015.
- [9] *Metode Pengujian Kekuatan Tekan mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.* SNI 03-6825-2002.
- [10] *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.* ASTM C642.
- [11] Mehdipour, I., dan Khayat, K.H. 2017. *Effect Of Particle-Size Distribution And Specific Surface Area Of Different Binder Systems On Packing Density And Flow Characteristics Of Cement Paste.* Cement and Concrete Composite, Vol. 78, pp. 120-131.
- [12] Chen, X., dkk. 2013. *Influence of Porosity on Compressive and Tensile Strength of Cement Mortar.* Construction and Building Materials, Vol. 40, pp. 869–874.