

# Pemanfaatan *Fly Ash* PLTU Nagan Raya untuk Pembuatan Mortar Geopolimer Serat

Fajri<sup>1,2</sup>, Bakhtiar A. Wahab<sup>1\*</sup>, Kurniati<sup>1</sup>, Sulaiman, YH<sup>1</sup>, Dara Syafira<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> *Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*

<sup>2</sup> *Geopolymer and Green Technology Research Center, Aceh, Indonesia*

<sup>3</sup> *Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*

*Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>1</sup>[fajri@pnl.ac.id](mailto:fajri@pnl.ac.id)

<sup>2\*</sup>[bakhtiar.pnl@pnl.ac.id](mailto:bakhtiar.pnl@pnl.ac.id)(*penulis korespondensi*)

<sup>3</sup>[kurniati@pnl.ac.id](mailto:kurniati@pnl.ac.id)

<sup>4</sup>[sulaimanyh@pnl.ac.id](mailto:sulaimanyh@pnl.ac.id)

**Abstrak**— Keberadaan PLTU Nagan Raya di propinsi Aceh diharapkan dapat meningkatkan perekonomian masyarakat Aceh. Namun dampak dari limbah yang dihasilkan industri tersebut juga merugikan bagi lingkungan sekitar. Limbah ini berasal dari sisa pembakaran batu bara, yang berbentuk serbuk halus dengan ukuran berkisar antar 0,5 $\mu$ m - 300 $\mu$ m, disebut dengan *fly ash*. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan *fly ash*, salah satunya adalah sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan beton, karena didalam *fly ash* terkandung material yang bersifat pozzolanik. *Fly ash* Nagan Raya memiliki karakteristik yang spesifik, sehingga memerlukan penelitian yang lebih mendalam agar dapat dimanfaatkan maksimal di dalam industri beton. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan *fly ash* PLTU Nagan Raya dalam pembuatan mortar geopolimer serat untuk produk ornamen. Variasi serat yang ditambahkan adalah 0,4%, 0,8%, 1,2%, dan 1,6% dari berat *fly ash*, dengan panjang serat 2 cm. Metode pencampuran serat dilakukan dengan cara disebar langsung dalam proses pengadukan mortar. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRF dan XRD untuk *fly ash*, pengujian *flow table* dan *setting time* mortar, serta pengujian sifat mekanis mortar geopolimer berupa uji kuat tekan dan kuat lentur pada umur mortar 1, 3, 7 dan 28 hari. Benda uji digunakan berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm dan benda uji balok ukuran 3 x 3 x 11 cm. Hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan kekuatan lentur dan tekan mortar geopolimer. Kekuatan tekan maksimum, sebesar 17,45 MPa, terjadi pada kandungan serat 1,2% dan kekuatan lentur maksimum, sebesar 9,27 MPa, terjadi pada kandungan serat 0,8%.

**Kata kunci**—Geopolimer,*fly ash*,PLTU Nagan Raya,sifat mekanis,ornamen.

**Abstract**— The existence of PLTU Nagan Raya in Aceh province is expected to improve the economy of the Acehnese people. However, the impact of the industrial waste is also detrimental to the surrounding environment. This waste comes from the residue of burning coal, which is in the form of fine powder with sizes ranging from 0.5 $\mu$ m - 300 $\mu$ m, called fly ash. Various studies have been conducted to utilize fly ash, one of which is as a substitute for cement in the manufacture of concret. Nagan Raya fly ash has specific characteristics to depth research, to use it in the concrete industry. The purpose of this study was to utilize the fly ash of PLTU Nagan Raya in the manufacture of fiber geopolymer mortar for ornamental products. Variations of fiber were 0.4%, 0.8%, 1.2%, and 1.6% by weight of fly ash, with length of 2cm. The fiber mixing by direct dispersing in the mortar mixing process. The tests carried out were XRF and XRD tests for the fly ash, testing of flow tables and setting time mortars, and testing the mechanical properties of geopolymer concrete, compressive and flexural strength tests at mortar ages 1, 3, 7 and 28 days. The dimension of specimen are 5x5x5cm cube and a 3x3x11cm block. The test results showed an increase in the flexural strength and compressive strength of the geopolymer mortar with fiber. The compressive strength, 17,4MPa, occurs at 1,2% fiber content and the maximum flexural strength is 9,27MPa, occurs at 0,8% fiber content.

**Keywords**— Geopolymer,*fly ash*,PLTU Nagan Raya,fiber,mechanical properties,ornament.

## I. PENDAHULUAN

Mortar geopolimer merupakan mortar ramah lingkungan karena tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat, namun menggunakan material lain yang mengandung silika dan alumina. Salah satu material yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*), yang merupakan limbah pembakaran batu bara [1]. Penggunaan mortar geopolimer memiliki keuntungan, yaitu mengurangi produksi semen dan memanfaatkan limbah industri [2]. Dalam pembuatan mortar geopolimer digunakan alkali aktivator berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dengan perbandingan tertentu. Sodium silikat berfungsi mempercepat reaksi polimerisasi dan sodium hidroksida berfungsi mereaksikan unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash*, sehingga dapat menghasilkan ikatan yang kuat [3]. Penelitian mortar geopolimer menggunakan *fly ash* dari PLTU Nagan Raya, telah dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Bahkan bekerja sama dengan PLTU Nagan Raya disambut

baik oleh PLN Persero UIK Sumbagut, yang mendorong penelitian ini terus dilanjutkan agar limbah *fly ash* yang menumpuk di pabrik PLTU segera dapat dimanfaatkan maksimal. Produk utama yang telah dihasilkan dari penelitian mortar geopolimer ini adalah ornamen geopolimer. Tetapi masih ada kekurangan yang perlu dilakukan perbaikan, salah satunya adalah kuat lentur ornamen geopolimer yang masih kurang, sehingga ornamen bersifat getas dan mudah patah [4]. Dalam penelitian ini akan dilakukan perbaikan sifat mekanis, berupa kuat lentur dan kuat tekan ornamen geopolimer dengan penambahan serat alami berupa serat pelepah pisang. Serat pelepah pisang berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan dapat memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanis, densitas dan daktilitas beton [5], [6], [7]. Penambahan serat alami pelepah pisang pada penelitian ini diharapkan dapat memperbaiki sifat mekanis mortar geopolimer, karena serat tersebut memiliki kuat tarik yang besar, tahan terhadap air asin dan memiliki tingkat ketahanan (*durability*) yang baik [8], [9]. Hasil akhir yang diharapkan

adalah mortar geopolimer dari *fly ash* PLTU Nagan Raya dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam pembuatan ornamen geopolimer yang kuat dan ekonomis. Material yang dibutuhkan untuk pembuatan mortar geopolimer dengan penambahan serat alami pelepah pisang seperti diperlihatkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Material pembentuk mortar geopolimer serat

II. METODOLOGI PENELITIAN

Material dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Nagan Raya, sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silika (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) diperoleh dari toko bahan kimia, pasir halus berasal dari Krueng Tingkem, Aceh Utara, air aquades dan serat pelepah pisang yang diolah dari pelepah pisang kering. Pelepah pisang dipotong dengan ukuran panjang 2 cm. Peralatan yang digunakan adalah peralatan yang tersedia di Laboratrium Jurusan Teknik Kimia dan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, seperti *concretemixer*, mesin uji tekan, mesin uji lentur, peralatan uji XRD dan XRF serta alat bantu. Dilakukan analisa agregat halus berupa uji sifat fisis agregat dan pembuatan alkali aktivator dengan molaritas 12 M. Alkali aktivator yang digunakan berupa NaOH dan NaSiO dengan perbandingan 1:3. Analisa *fly ash* dilakukan melalui uji XRF dan XRD. *Mix design* campuran terdiri dari beberapa komposisi bahan material pasir, *fly ash*, agregat halus dan serat pelepah pisang, dengan kebutuhan material seperti tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2. Benda uji yang akan dipakai adalah mortar berbentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm untuk uji kuat tekan dan balok ukuran 3 x 3 x 11 cm untuk pengujian kuat lentur. Serat di campurkan ke dalam mortar dengan cara di campur langsung dalam adukan *fly ash* dan pasir dan diaduk rata, sebelum ditambahkan larutan alkali aktivator. Setelah itu baru ditambahkan larutan alkali aktivator sedikit demi sedikit sambil diaduk dan kemudian dituang dalam cetakan. Cetakan dilepas setelah 24 jam atau satu hari. Pengujian *workability* dan *setting time* dilakukan saat mortar masih basah dengan menggunakan alat *flow table* dan jarum vicat. Pengujian sifat mekanis dilakukan setelah mortar berumur 1, 3, 7 dan 28 hari.

TABEL 1  
MIX DESIGN DAN KEBUTUHAN BAHAN UJI KUAT LENTUR  
Balok 30x30x110 mm

Benda Uji	Persentase Serat (%)	Berat Serat (gr)	Berat Fly Ash (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat NaOH (gr)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> /NaOH (gr)
GML-0.0	0	0	833.33	1666.66	261.9	654.76
GML-0.4	0,4	3.33	833.33	1666.66	261.9	654.76
GML-0.8	0,8	6.66	833.33	1666.66	261.9	654.76
GML-1,2	1,2	9.99	833.33	1666.66	261.9	654.76
GML-1,6	1,6	13.33	833.33	1666.66	261.9	654.76

TABEL 2  
MIX DESIGN DAN KEBUTUHAN BAHAN UJI KUAT TEKAN

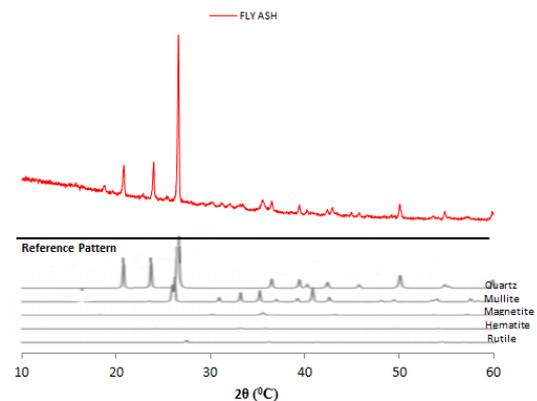
Benda Uji Kubus 50x50x50 mm						
Benda Uji	Persentase Serat (%)	Berat Serat (gr)	Berat Fly Ash (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat NaOH (gr)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> /NaOH (gr)
GMT-0.0	0	0	900	1800	282.86	707.14
GMT-0.4	0,4	3,6	900	1800	282.86	707.14
GMT-0,8	0,8	7,2	900	1800	282.86	707.14
GMT-1,2	1,2	10,8	900	1800	282.86	707.14
GMT-1,6	1,6	14,4	900	1800	282.86	707.14

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang diperoleh berupa hasil pengujian microstruktur *fly ash*, yaitu XRF dan XRD, hasil pengujian karakteristik mortar basah berupa *workability* dan *setting time* serta hasil pengujian sifat mekanis mortar berupa uji kuat lentur dan kuat tarik

A. Pengujian Microstruktur Fly Ash

Pengujian microstruktur suatu material bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia dan sifat material tersebut. Berdasarkan hasil uji X-ray diffraction (XRD) material *fly ash* PLTU Nagan Raya menunjukkan hasil bahwa Spektrum XRD menunjukkan, mineral utama bahan *fly ash* terdiri dari kuarsa (SiO<sub>2</sub>), mullit (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2SiO<sub>2</sub> atau 2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub>) dan hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Grafik XRD pada Gambar 2. menunjukkan puncak dispension ada pada 20°- 30°, dimana posisi tersebut mengidentifikasikan bahwa material tersebut termasuk dalam kelas kristaline dan amorf.



Gambar2. Grafik Spektrum XRD

Pengujian XRD memberikan hasil komposisi kimia material *fly ash* PLTU Nagan Raya. Hasil yang diperoleh menunjukkan *fly ash* Nagan Raya masuk katagori *fly ash* kelas F dan layak digunakan sebagai pengganti semen dengan melalui beberapa treatment. Tabel 3 berikut memberikan hasil pengujian XRD dan perbandingan dengan komposisi kimia semen portland.

TABEL 3  
HASIL PENGUJIAN XRD FLY ASH NAGAN RAYA DAN PERBANDINGAN DENGAN SEMEN

Senyawa Kimia	Kelas F	Kelas C	Semen	Fly ash Nagan Raya
SiO <sub>2</sub>	54.90	39.90	22.60	32.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.80	16.70	4.30	18.77

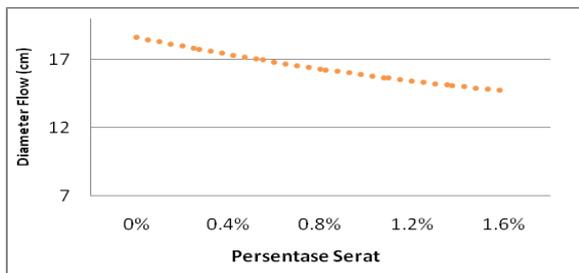
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.90	5.80	2.40	12.49
CaO	8.70	24.30	64.40	20.08
MgO	1.80	4.60	2.10	8.46
SO <sub>3</sub>	0.60	3.30	2.30	3.38
NaO & K <sub>2</sub> O	0.60	1.30	0.60	0.78
LOI	0.7	4.1	1.3	3.94

TABEL 4  
KUAT TEKAN MORTAR

variasi serat (%)	Kuat Tekan (MPa)			
	1 Hari	3 Hari	7 Hari	28 Hari
0	1.23	4.00	6.63	8.25
0.4	1.17	9.20	12.77	15.39
0.8	2.90	10.77	14.27	16.73
1.2	2.90	10.77	14.27	17.45
1.6	1.33	6.97	9.97	11.15

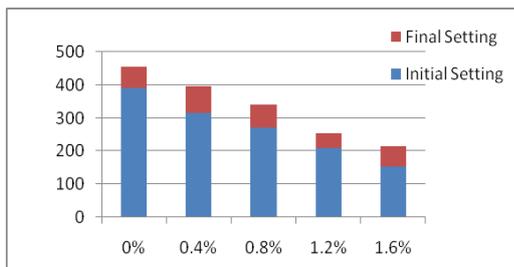
**B. Pengujian Karakteristik Mortar Basah**

Hasil pengujian *workability* menunjukkan adanya penurunan nilai *workability* seiring dengan penambahan persentase serat. Pada alat uji flow table terdapat perbedaan signifikan bentuk aliran mortar geopolimer tanpa serat dengan mortar geopolimer berserat pelepah pisang. Bentuk permukaan serat pelapah pisang yang kasar dan jenis serat yang mudah menyerap air, menyebabkan adukan mortar geopolimer dengan serat lebih kental dan sulit membentuk aliran bulat sempurna. Hal ini terjadi karena larutan alkali aktivator sebagian diserap oleh serat. Gambar 3 berikut menampilkan grafik hasil pengujian *workability* dari berbagai variasi serat.



Gambar 3. Grafik pengujian *workability*

Pada pengujian waktu pengikat (*setting time*), ditinjau dengan adanya pengurangan waktu yang terjadi pada mortar dengan variasi campuran serat 0% sampai dengan 1,6%, maka nilai *setting time* juga menurun. Hal ini sesuai dengan hasil *workability*, dimana penurunan *workability* akan menurunkan *setting time*, begitu juga sebaliknya pada mortar geopolimer dengan penambahan serat, karena semakin banyak serat kadar air akan semakin berkurang. Hasil *setting time* ditampilkan oleh Gambar 4 berikut.

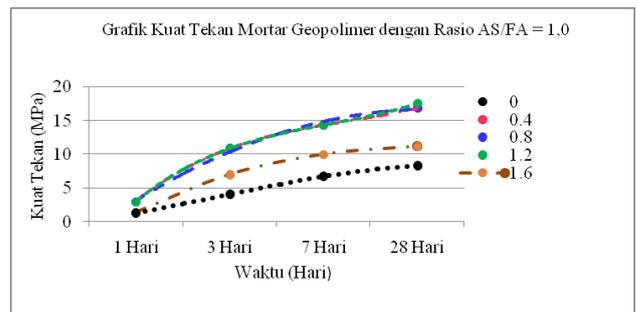


Gambar 4. Hasil pengujian *setting time* mortar

**C. Pengujian Sifat Mekanis Mortar**

Berikut pada Tabel 4 ditampilkan hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer yang telah dilakukan pada hari ke 1, 3, 7 dan ke 28.

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa mortar geopolimer dengan penambahan serat dapat menaikkan kuat tekannya. Variasi penambahan serat 1.2 % adalah persentase serat optimum, dimana hasil kuat tekan yang terjadi maksimum sebesar 17,45 MPa pada umur 28 hari. Namun bila persentase serat ditambahkan lagi, nilai kuat tekan kembali menurun. Untuk lebih jelas perbandingan nilai kuat tekan masing-masing variasi ditampilkan pada Gambar 5 berikut.

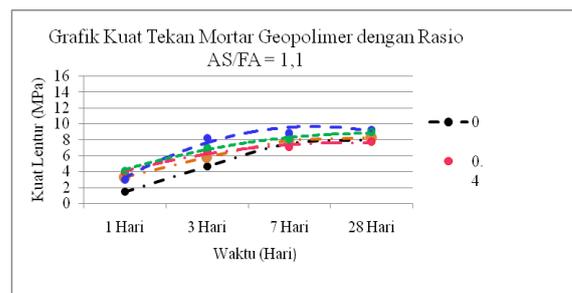


Gambar 5. Grafik kuat tekan mortar

Hasil pengujian kuat lentur mortar geopolimer tanpa serat dan mortar geopolimer dengan serat pelapah pisang ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 6 berikut ini.

TABEL 5  
KUAT LENTUR MORTAR

variasi serat (%)	Kuat Tekan (MPa)			
	1 Hari	3 Hari	7 Hari	28 Hari
0	1.43	2.97	7.47	8.47
0.4	3.90	6.50	7.07	7.68
0.8	2.97	8.27	8.87	9.27
1.2	4.10	7.00	8.03	8.93
1.6	3.30	5.80	7.97	8.27



Gambar 6. Grafik kuat lentur mortar

Dari tabel dan grafik di atas terlihat bahwa penambahan serat pelapah pisang sangat memberikan nilai positif terhadap peningkatan kuat lentur mortar geopolimer berbasis *fly ash* Nagan Raya tersebut. Pada penambahan serat 0,4%, nilai kuat lentur awalnya menurun dibandingkan dengan mortar

geopolimer tanpa serat. Tetapi penambahan serat 0,8% menaikkan nilai kuat lentur lebih tinggi dibanding dengan geopolimer tanpa serat dan nilai serat 0,8% menjadi nilai optimum, dimana kekuatan lentur menjadi 9,27 MPa. Nilai optimum ini berbeda dengan nilai optimum serat pada uji kuat tekan, dimana nilai optimum serat berada pada nilai 1,2%. Sehingga disarankan untuk nilai optimum kandungan serat dalam pembuat mortar geopolimer serat pada pengujian ini adalah 0,8%. Pada nilai ini, kuat lentur merupakan kuat lentur maksimum dan kuat tekan tetap lebih tinggi dibandingkan geopolimer non serat.

Kenaikan nilai sifat mekanis mortar geopolimer berbasis *fly ash* Nagan Raya ini, terutama dipengaruhi oleh sifat serat pelepah pisang yang memiliki karakteristik relatif lebih lentur dan kuat. Serat pelepah pisang juga memiliki lekatan yang kuat dengan matrik mortar akibat permukaan seratnya yang kasar dan menyerap cairan. Lekatan ini menyebabkan retakan yang terjadi saat pengujian kuat tekan dan kuat lentur tidak mudah lepas. Sehingga mortar lebih bersifat daktail.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan serat pelepah pisang dapat memperbaiki sifat mekanis mortar geopolimer berbasis *fly ash* Nagan Raya. Kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan serat 1,2%, meningkat sebesar 11,5% dibanding mortar tanpa serat. Kuat lentur maksimum terjadi pada penambahan serat 0,8%, terjadi peningkatan sebesar 9,4% dibanding mortar tanpa serat.
2. Serat pelepah pisang dapat mengurangi retakan yang terjadi pada benda uji karena sifat serat yang mengikat, sehingga mortar geopolimer lebih bersifat daktail saat diaplikasikan dalam pembuatan ornamen geopolimer

#### REFERENSI

- [1] J. Davidovits, "Geopolymer chemistry and properties," *1st Eur. Conf. Soft Miner. Compiègne, Fr.*, vol. 1, pp. 25–48, 1998.
- [2] A. Fauzi, M. F. Nuruddin, A. B. Malkawi, and M. M. A. B. Abdullah, "Study of Fly Ash Characterization as a Cementitious Material," *Procedia Eng.*, vol. 148, pp. 487–493, 2016.
- [3] H. M. Owaid, R. B. Hamid, and M. R. Taha, "A review of sustainable supplementary cementitious materials as an alternative to all-portland cement mortar and concrete," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 6, no. 9, pp. 287–303, Sep-2012.
- [4] A. Fauzi, Fazliah, H. Mahyar, Mulizar, and Syukri, "Penerapan Teknologi Geopolimer Berbasis Limbah Fly Ash Dalam Konstruksi Non Struktural," *Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 32–36, 2019.
- [5] N. Venkateshwaran and A. Elayaperumal, "Banana fiber reinforced polymer composites - A review," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, no. 15, pp. 2387–2396, Aug-2010.
- [6] S. Hani and . R., "Pengaruh Campuran Serat Pisang Terhadap Beton," *Educ. Build.*, vol. 4, no. 1, Jun. 2018.
- [7] R. Randa and A. Mahyudin, "Pengaruh Persentase Serat Pelepah Pisang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Semen-Foam agent," *J. Fis. Unand*, vol. 8, no. 1, pp. 46–51, Jan. 2019.
- [8] "Pemanfaatan Serat Pohon Pisang Dalam Sintesis Geopolimer Abu Layang Batubara," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [9] N. G. Jústiz-Smith, G. J. Virgo, and V. E. Buchanan, "Potential of Jamaican banana, coconut coir and bagasse fibres as composite materials," *Mater. Charact.*, vol. 59, no. 9, pp. 1273–1278, Sep. 2008.