

Pengaruh Penggunaan Persentase *Fly Ash* dan Perawatan terhadap Kuat Lentur Mortar

Fenny Nadilla Putri¹, Syamsul Bahri², Abdullah Irwansyah³

^{1,2,3} Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹fnadillaputri@gmail.com

²syamsul_bahri@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

³abd_irwansyah@pnl.ac.id

Abstrak— Limbah dari pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu berupa *fly ash* yang pada umumnya banyak dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri sehingga dapat menimbulkan polusi bagi lingkungan sekitar. Informasi penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* pada kondisi yang telah tertimbun di lapangan masih sangat minim. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase substitusi *fly ash* serta perawatan yang menghasilkan kuat lentur mortar tertinggi serta pengaruh persentase substitusi *fly ash* dan perawatan terhadap porositas mortar. Faktor Air Semen (FAS) yang digunakan adalah 0,5 dengan binder 400 kg/m³. Penelitian ini menggunakan *fly ash* lolos saringan #8 dengan persentase substitusi *fly ash* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat semen. Benda uji pada penelitian adalah balok berukuran 30 mm x 30 mm x 130 mm yang diuji kuat lentur pada umur mortar 1, 3, 7, 28, dan 56 hari. Benda uji dilakukan perawatan dengan cara perawatan kering udara (*air curing*) dan direndam di dalam bak air (*water curing*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fly ash* dengan substitusi 20% dengan perawatan direndam (*water curing*) menghasilkan kuat lentur tertinggi sebesar 14,95 MPa pada umur 56 hari dan *fly ash* dengan substitusi 0% dengan perawatan kering udara (*air curing*) menghasilkan kuat lentur tertinggi sebesar 13,18 MPa pada umur 56 hari. Mortar dengan substitusi *fly ash* sebesar 20% (FA-20) dengan metode perawatan direndam (*water curing*) menghasilkan porositas yang kecil. Hal ini menunjukkan pori-pori yang berada di dalam mortar terisi oleh *calcium silicate hydrate* (CSH) akibat proses hidrasi semen dengan air.

Kata kunci— mortar, *fly ash*, kuat lentur, perawatan, porositas.

Abstract— Waste from coal combustion at the Pangkalan Susu Electric Generating Power Plant is in the form of fly ash which is generally dumped in landfills or simply piled up in industrial areas so that it can cause pollution to the surrounding environment. Research information on the use of fly ash in conditions that have been buried in the field is still very minimal. This study aims to determine the effect of the percentage of fly ash and the treatment that produces the highest flexural strength of the mortar and the effect of the percentage of fly ash and treatment on the porosity of the mortar. The Water Cement Factor (FAS) used was 0.5 with a binder of 400 kg/m³. This study used fly ash passed the #8 sieve with fly ash of 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% of the cement weight. The test object in this study was a beam measuring 30 mm x 30 mm x 130 mm which was tested for flexural strength at mortar ages of 1, 3, 7, 28, and 56 days. The specimens were treated by means of air dry treatment (*water curing*) and immersed in a water bath (*water curing*). The results showed that fly ash with 20% substitution with water curing produced the highest flexural strength of 14.95 MPa at the age of 56 days and fly ash with 0% substitution with air dry treatment (*air curing*) produced the highest flexural strength of 13.18 MPa at 56 days old. Mortar with fly ash of 20% (FA-20) with water curing resulted in small porosity. This shows that the pores in the mortar are filled with calcium silicate hydrate (CSH) due to the hydration process of cement with water.

Keywords— mortar, *fly ash*, flexural strength, curing, porosity.

I. PENDAHULUAN

Limbah hasil dari pembakaran batubara di PLTU Pangkalan Susu berupa *fly ash* yang pada umumnya banyak dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri sehingga dapat menimbulkan polusi bagi lingkungan sekitar. Diperkirakan produksi limbah batubara Indonesia berkisar antara 10 juta – 15 juta ton per tahun. Tiap satu ton pembakaran batubara akan menghasilkan sekitar 15% - 17% *fly ash* [1]. Perlu adanya solusi untuk pemanfaatan limbah batubara untuk meningkatkan kemajuan teknologi dan ekonomi. Salah satu penanganan limbah ini adalah dengan memanfaatkannya sebagai campuran pada beton atau mortar karena *fly ash* memiliki sifat *cementitious* [2].

Penggunaan persentase *fly ash* sebesar 4% merupakan persentase yang optimal pada umur 7 hari dengan kuat lentur sebesar 3,18 MPa serta kuat lentur yang dihasilkan ini terus meningkat seiring bertambahnya usia mortar [3]. Naganathan dan Linda [4] menyatakan bahwa *fly ash* juga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kinerja mortar berdasarkan gradasi atau kehalusan *fly ash* dan dari penelitian dengan substitusi semen sebesar 10%, 20%, 30% dan 40% memiliki

kemampuan untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi penyerapan pada mortar.

Banyak penelitian yang meneliti tentang *fly ash* yang berasal dari *fly ash silo* dengan kondisi *fly ash* yang belum bergumpal, sehingga informasi penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* pada kondisi yang telah tertimbun di lapangan masih minim. *Fly ash* pada kondisi yang telah tertimbun harus digiling karena *fly ash* telah bergumpal dan mengeras. *Fly ash* yang berbutir halus akan lebih mudah bereaksi [5].

Penelitian ini menggunakan *fly ash* dari PLTU Pangkalan Susu yang sudah tertimbun sehingga terjadi penggumpalan. Penelitian menggunakan persentase *fly ash* yang lolos saringan #8 sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dari berat semen pada mortar dengan FAS 0,5 dan binder 400 kg/m³. Penelitian ini menguji kuat lentur pada balok berukuran 30 mm x 30 mm x 130 mm yang diuji pada umur mortar 1 hari, 3 hari, 7 hari, 28 hari, dan 56 hari serta dalam kondisi perawatan (*curing*) benda uji direndam dan tidak direndam.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode secara eksperimental di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Objek pengamatan dalam penelitian ini adalah pengaruh perawatan dan penggunaan persentase *fly ash* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat semen terhadap kuat lentur mortar.

A. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen, *fly ash*, agregat halus, dan air. Semen yang digunakan yaitu semen OPC tipe 1 merk semen Padang kemasan 50 kg/sak. *Fly ash* yang digunakan *fly ash* yang sudah tertimbun di tempat pembuangan abu (*ash disposal*) tipe C yang didatangkan langsung dari PLTU Pangkalan Susu. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir alami yang berasal dari Krueng Tingkeum kecamatan Kutablang kabupaten Bireuen dengan ukuran butiran lolos saringan #4 (4,75 mm) serta sesuai dengan SNI 03-1968-1990. Air yang digunakan pada penelitian ini yaitu aquades yang diproduksi oleh PT. Brataco dengan berat 20 liter untuk proses pencampuran pada mortar dan air sumur yang berasal dari laboratorium bahan teknik sipil untuk proses perendaman benda uji.

B. Rancangan Pengujian

Rancangan pengujian pada penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu dari persiapan dan pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian kuat lentur dan porositas mortar. Pemeriksaan analisa saringan agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Pemeriksaan kadar air agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1971:2011. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C.128. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besarnya komposisi volume agregat halus dalam adukan mortar (SNI 03-1969-1990). Pengujian *Particle Size Distribution* (PSD) *fly ash* menggunakan mesin *Particle Size Analyzer* di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil.

C. Perancangan Mortar

Tabel 1. Komposisi campuran mortar per m³

Kode	Jenis Mortar	Berat Material (Kg)				Air
		Semen	Pasir	Agregat Kasar	<i>Fly Ash</i>	
FA-0	Kontrol (<i>FA</i> 0%)	400	714	1071	0	205
FA-10	<i>Fly Ash</i> 10%	360	714	1071	40	205
FA-20	<i>Fly Ash</i> 20%	320	714	1071	80	205
FA-30	<i>Fly Ash</i> 30%	280	714	1071	120	205
FA-40	<i>Fly Ash</i> 40%	240	714	1071	160	205
FA-50	<i>Fly Ash</i> 50%	200	714	1071	200	205
FA-60	<i>Fly Ash</i> 60%	160	714	1071	240	205
FA-70	<i>Fly Ash</i> 70%	120	714	1071	280	205

Tabel 1 menunjukkan komposisi campuran mortar per m³. Perancangan mortar menggunakan metode *Department of Environment* (DoE) dan *Absolute Method*. Komposisi

campuran menggunakan persentase *fly ash* sebesar 0% (sebagai kontrol), 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat semen serta agregat kasar tidak digunakan pada campuran mortar. Benda uji dibuat berupa balok dengan ukuran 30 mm x 30 mm x 130 mm. Diuji kuat lentur pada umur mortar 1, 3, 7, 28, dan 56 hari dengan kondisi dirawat (*water curing*) dan tidak dirawat (*air curing*).

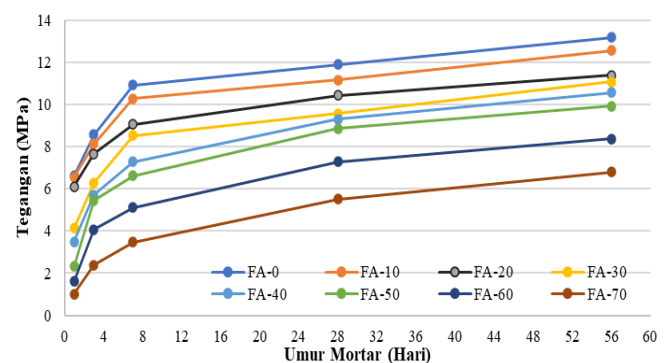
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sifat Fisis Material

Hasil pengujian sifat fisis agregat halus memenuhi ketentuan yang disyaratkan SNI dan ASTM. Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus yang berasal dari sungai Krueng Tingkeum berdasarkan SNI 03-1968-1990 termasuk ke dalam zona 2 (sedang) yang berbutir pasir agak kasar dengan *fine modulus* sebesar 2,74. Penggunaan pasir berbutir agak kasar dalam pencampuran pembuatan mortar menghasilkan nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan pasir berbutir halus [6]. Selanjutnya, hasil pengujian kadar air pada agregat halus diperoleh sebesar 0,70% dan memenuhi standar ASTM C.566-13. Kadar air agregat berpengaruh pada penggunaan air saat proses pencampuran pembuatan mortar [7].

B. Pengaruh Persentase Fly Ash dan Perawatan terhadap Kuat Lentur Mortar

1) Pengaruh persentase *fly ash* dan perawatan kering udara terhadap kuat lentur mortar



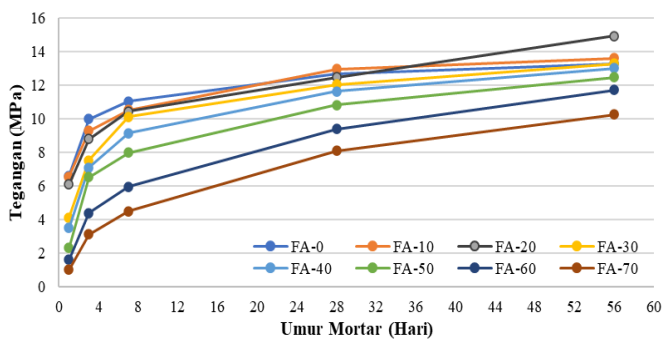
Gambar 1. Perkembangan kuat lentur mortar dengan perawatan kering udara

Gambar 1 menunjukkan peningkatan hasil kuat lentur mortar dengan perawatan kering udara (*air curing*) pada umur mortar 1 hari sampai 56 hari di setiap *mix* mortar. Pada umur mortar 1 hari, mortar yang menggunakan substitusi *fly ash* 0% (FA-0) menghasilkan nilai kuat lentur tertinggi sebesar 6,62 MPa. Kemudian meningkat 29,55% pada umur mortar 3 hari menjadi 8,57 MPa. Pada umur 7 hari, mortar FA-0 mengalami peningkatan sebesar 27,40% dari umur mortar 3 hari, Senyawa trikalsium silikat (C₃S) berhidrasi dengan cepat pada proses awal hidrasi semen portland yang menghasilkan senyawa baru berupa kalsium silikat hidrat (CSH) sebagai pengikat yang menghasilkan kekuatan dan kalsium hidroksida (CH) sebagai pengisi rongga pada semen keras. Proses ini berlangsung selama satu minggu pertama proses hidrasi. Mortar dengan substitusi *fly ash* 0% (FA-0) meningkat sebesar 8,90% dari umur mortar 7 hari sehingga mortar FA-0 menjadi mortar dengan kuat lentur tertinggi pada umur 28 hari. Pada

umur mortar 56 hari, mortar FA-0 mengalami peningkatan sebesar 10,78% dari umur mortar 28 hari.

Mortar FA-0 menjadi mortar dengan nilai kuat lentur tertinggi pada umur 1, 3, 7, 28, dan 56 hari dibandingkan dengan mortar dengan substitusi *fly ash* 10% - 70%. Ini dapat disebabkan karena perilaku *fly ash* dalam reaksi hidrasi berjalan lambat dan terjadinya evaporasi pada mortar akibat perawatan kering udara (*air curing*) sehingga berkurangnya peningkatan kekuatan. Penguapan ini menghilangkan air pori, sehingga mengakibatkan adanya tegangan kapiler yang menyebabkan dinding-dinding kapiler tertarik dan volume menyusut [8]. Dan juga mungkin karena sifat pozzolanik dari *fly ash* yang memperlambat proses pengikatan semen Portland [9].

2) Pengaruh persentase *fly ash* dan perawatan direndam terhadap kuat lentur mortar



Gambar 2. Perkembangan kuat lentur mortar dengan perawatan direndam (*water-curing*)

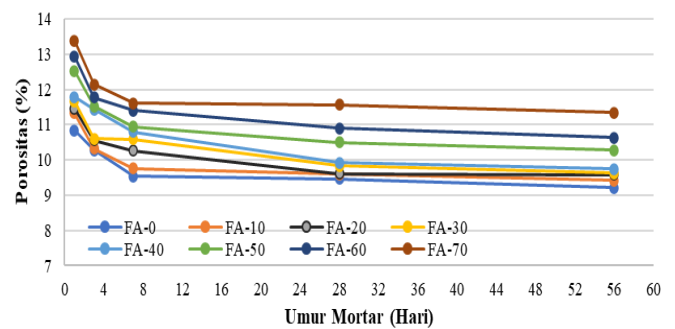
Gambar 2 menunjukkan peningkatan hasil pengujian kuat lentur mortar dengan perawatan direndam (*water-curing*) pada umur mortar 1 hari sampai 56 hari di setiap *mix* mortar. Pada umur mortar 3 hari, mortar FA-0 dengan substitusi *fly ash* 0% meningkat tinggi sebesar 50,84% dan menghasilkan nilai kuat lentur tertinggi sebesar 9,98 MPa dibandingkan mortar umur 1 hari. Hal ini disebabkan karena kapur bebas hasil reaksi semen dan air akan bereaksi dengan *fly ash* membentuk senyawa *tobermorite* [10]. Pada umur 7 hari, mortar FA-0 mengalami peningkatan sebesar 10,62% dari umur mortar 3 hari, Pada umur 28 hari, mortar dengan substitusi *fly ash* 10% (FA-10) mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 23,21% dari umur mortar 7 hari dan lebih tinggi 2,31% dari mortar FA-0. Sehingga mortar FA-10 menjadi mortar dengan kuat lentur tertinggi pada umur mortar 28 hari. Substitusi 10% *fly ash* dari berat semen dapat menurunkan jumlah air pada saat hidrasi semen sehingga pori pada mortar lebih kecil dan dapat meningkatkan kuat lentur. Pada umur mortar 56 hari, mortar dengan substitusi *fly ash* 20% (FA-20) mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 19,78% dari umur mortar 28 hari dan lebih tinggi dari mortar FA-0 dan FA-10.

Mortar FA-20 dengan substitusi 20% *fly ash* menjadi mortar dengan kuat lentur tertinggi pada umur 56 hari. Mortar FA-20 mengalami peningkatan kuat lentur seiring bertambahnya umur mortar. Hal ini disebabkan reaksi antara senyawa $Ca(OH)_2$ yang merupakan proses hidrasi dengan senyawa *silica* yang ada pada *fly ash* berlangsung lambat sehingga terbentuknya *calcium silikat hidrat* (CSH) yang memberikan kekuatan tambahan pada mortar seiring bertambahnya umur mortar [11]. Namun semakin banyak penggunaan persentase *fly ash* pada campuran mortar juga

dapat mengurangi kuat lentur mortar. Berkurangnya kekuatan disebabkan karena reaksi *pozzolanik* yang terjadi lebih sedikit [12]. Menurut Kusuma, dkk. (2010) penggunaan 30% *fly ash* mengakibatkan kelebihan kadar SiO_2 tidak dapat bereaksi lagi dengan kapur sehingga kekuatan menurun karena tidak terbentuknya kapur hidrolis, kandungan zat organik yang tinggi dapat menyebabkan tidak sempurnanya proses hidrasi pada mortar.

C. Pengaruh Persentase Fly Ash dan Perawatan terhadap Porositas Mortar

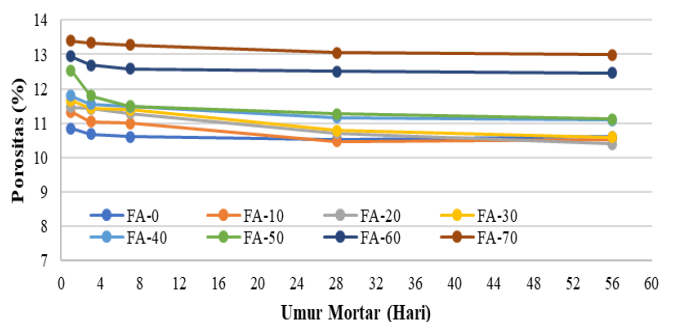
1) Pengaruh persentase *fly ash* dan perawatan kering udara terhadap porositas mortar



Gambar 3. Porositas mortar perawatan kering udara (*air-curing*)

Gambar 3 menunjukkan penurunan hasil porositas mortar dengan perawatan kering (*air curing*) pada umur mortar 1 hari, sampai 56 hari di setiap *mix* mortar. Hasil menunjukkan bahwa persentase porositas tertinggi diperoleh oleh mortar FA-40, FA-50, FA-60 dan FA-70. Peningkatan kadar penggunaan persentase *fly ash* dalam campuran mortar dapat meningkatkan persentase porositas dan menurunkan kekuatan mortar. Mortar FA-0 menghasilkan persentase porositas terendah dan kuat lentur tertinggi dibandingkan 7 jenis mortar lainnya. Butiran *fly ash* yang halus membuat mortar lebih padat karena rongga antara butiran agregat telah terisi oleh *fly ash*, sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada [13].

2) Pengaruh persentase *fly ash* dan perawatan direndam terhadap porositas mortar



Gambar 4. Porositas mortar perawatan direndam (*water-curing*)

Gambar 4 menunjukkan penurunan hasil porositas mortar dengan perawatan direndam (*water-curing*) pada umur mortar 1 hari sampai 56 hari di setiap *mix* mortar. Hasil menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* sebesar 30% sampai 70% dari berat semen dalam campuran mortar dapat meningkatkan

Persentase porositas yang menyebabkan besarnya ukuran pori dalam mortar. Mortar dengan substitusi *fly ash* sebesar 20% menghasilkan persentase porositas paling rendah pada umur mortar 56 hari. Semakin tinggi nilai kuat lentur yang dihasilkan maka semakin kecil nilai porositas mortar yang dihasilkan, hal ini menunjukkan bahwa pori-pori yang berada didalam mortar terisi oleh gel *calcium silicate hydrate* (CSH) akibat dari proses hidrasi semen dengan air [14].

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan. Pengaruh variasi persentase *fly ash* terhadap kuat lentur menghasilkan nilai kuat lentur optimum pada mortar FA-20 (substitusi 20% *fly ash*) dalam kondisi perawatan direndam (*water-curing*) pada umur 56 hari sebesar 14,95 MPa. Pengaruh perawatan (*curing*) terhadap kuat lentur mortar diperoleh nilai kuat lentur tertinggi adalah dengan cara perawatan direndam (*water-curing*). Hal ini disebabkan karena proses hidrasi berjalan dengan baik pada rendaman air biasa dan juga proses hidrasi tetap bereaksi dengan terjaganya kelembaban mortar dalam rendaman air biasa.

Pengaruh variasi persentase *fly ash* dan perawatan (*curing*) terhadap porositas menghasilkan nilai porositas yang kecil pada mortar dengan substitusi *fly ash* sebesar 20% (FA-20) dengan metode perawatan direndam (*water curing*). Hal ini menunjukkan pori-pori yang berada di dalam mortar terisi oleh *calcium silicate hydrate* (CSH) akibat proses hidrasi semen dengan air.

REFERENSI

[1] Safitri, E., & Djumari. 2009. "Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) pada Produksi Paving Block". *Media Teknik Sipil*. 36(9).

[2] Arshad, M. T., Ahmad, S., Khitab, A., & Hanif, A. 2021. "Synergistic Use of Fly Ash and Silica Fume to Produce High-Strength Self-Compacting Cementitious Composites". *Crystals*. 11(8).

[3] Fauzi, M., & Lestari, D. A. 2020. "Analisis Kuat Lentur Campuran Beton Menggunakan Limbah B3 Sebagai Bahan Adiktif". *Pilar Jurnal Teknik Sipil*. 15(2).

[4] Naganathan, S., & Linda, T. 2013. "Effect of Fly Ash Fineness on the Performance of Cement Mortar". *Jordan: Journal of Civil Engineering*. 7(3), 326-331.

[5] Prayogi, S. 2021. "Pengaruh Kehalusan Fly Ash sebagai Bahan Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan dan Durabilitas Beton High Volume Fly Ash Mutu Tinggi". *Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UMS*.

[6] Fattah, A., & Nabi, A. 2017. "Pengaruh Zona Pasir terhadap Kuat Tekan Beton Normal". *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*. 1, (2), 107-112.

[7] Tomayahu, Y. 2016. "Analisa Agregat terhadap Kuat Tekan Beton pada Pembangunan Jalan Isimu-paguyaman Metode Paving Rigid". *RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 4(2), 128-138.

[8] Aditiya, M. T. M. 2012. *Pengaruh Kadar Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Susut Kering dan Autogenous pada High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

[9] Amalia, A., & Riyadi, M. 2019. "Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor". *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 59.

[10] Maryoto, A. 2008. "Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar". *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 10(2), 103-114.

[11] Kusuma, I. J., Kurniawandy, A., & Djauhari, Z. 2010. "Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Substitusi Semen pada Beton Mutu Normal". *Jurnal Teknik Sipil*. 12.

[12] Bahri, S., Mahmud, H. B., & Shafiqh, P. 2008. "Effect of Utilizing Unground and Ground Normal and Black Rice Husk Ash on the Mechanical and Durability Properties of High-Strength Concrete". *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 43(2), 1-12.

[13] Mehta, P. K. 2004. "High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development". *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*. 3-14.

[14] Febrianto, I. 2011. *Tinjauan Kuat Lentur Dan Porositas Beton dengan Zeolit sebagai Bahan tambah Dibanding Zeolit sebagai Pengganti Semen pada campuran Beton*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.