

Analisis Pengaruh Substitusi Limbah *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan Komposit Sementitious

M. Rizal Fahmi¹, Hanum Wardah Anggraeni², dan Wiwik Dwi Pratiwi^{3*}

¹ Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

² Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

³ Program Studi Magister Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur.

Email: rizal.fahmi@ppns.ac.id¹, hanum.wardah@student.ppns.ac.id², wiwik.pratiwi@ppns.ac.id^{3*}

Abstrak

Tingginya pembangunan konstruksi beriringan dengan tingginya penggunaan semen. Proses produksi semen menimbulkan permasalahan lingkungan, salah satunya emisi karbon yang tinggi sehingga diperlukan material alternatif untuk mengurangi penggunaannya. *Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki sifat *pozzolan* yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam pembentukan senyawa yang memiliki sifat mengikat sehingga dapat menjadi salah satu material alternatif untuk mengurangi penggunaan material semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* terhadap nilai kuat tekan komposit sementitious berpenguat *fiberglass* dengan memanfaatkan limbah pasir *sandblasting* menggunakan metode eksperimen dengan variasi substitusi *fly ash* pada penelitian ini adalah 0% dan 20%. Pengujian kuat tekan dilakukan saat komposit sementitious berumur 28 hari. Hasil dari pengujian kuat tekan 0% dan 20%, didapatkan nilai kuat tekan $19,70 \pm 1,04$ MPa dan $30,27 \pm 0,86$ MPa. Sehingga dari hasil pengujian tekan dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan nilai kuat tekan tertinggi diperoleh variasi substitusi *fly ash* 20% yang menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar $30,27 \pm 0,86$ MPa.

Kata kunci: *Fiberglass, Limbah, Sandblasting, Semen*

Abstract

The high construction development goes hand in hand with the high use of cement. The cement production process causes environmental problems, one of which is high carbon emissions, so alternative materials are needed to reduce their use. *Fly ash* is a waste product of coal combustion that has *pozzolan* properties that can react with calcium hydroxide in the formation of compounds that have binding properties so that it can be one of the alternative materials to reduce the use of cement materials. This study aims to determine the effect of *fly ash* substitution on the compressive strength value of *fiberglass-reinforced cementitious composites* by utilizing *sandblasting sand waste* using an experimental method with the variation of *fly ash* substitution in this study being 0% and 20%. Compressive strength testing is performed when the cementitious composite is 28 days old. The compressive strength test results for 0% and 20% *fly ash* substitution yielded values of 19.70 ± 1.04 MPa and 30.27 ± 0.86 MPa. These results indicate that the highest compressive strength was achieved with a 20% *fly ash* substitution, resulting in an average compressive strength of 30.27 ± 0.86 MPa.

Keywords: *Cement, Fiberglass, Sandblasting, waste.*

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, perkembangan di bidang konstruksi saat ini semakin pesat karena selaras dengan bertambahnya populasi manusia berdasarkan Badan Pusat Statistik Indonesia jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2023 sebanyak 278,696 juta jiwa. Terjadi peningkatan sebesar 1,06% dari tahun 2022 dan terjadi peningkatan setiap tahunnya. Peningkatan populasi manusia beriringan dengan peningkatan kebutuhan material konstruksi salah satunya adalah beton. Selain beton, terdapat material lain yaitu komposit sementitus dengan kelebihan yaitu memiliki kombinasi sifat material yang berbeda seperti nilai kuat tekan yang tinggi namun elastis. Komposit sementitus adalah gabungan dari campuran semen dan bahan tambahan lainnya seperti serat, agregat atau bahan pengisi. Dengan adanya perkembangan teknologi menjadikan komposit sementitus saat ini memiliki prinsip utama yaitu menciptakan komposit sementitus dengan kekuatan yang tinggi, praktis dan ramah lingkungan.

Semen yang merupakan salah satu bahan utama dari pembuatan komposit sementitus yang berguna sebagai perekat dari material-material lainnya agar menjadi kesatuan yang kuat. Namun Menurut penelitian (Lehne & Preston, 2018) setiap tahun lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi, yang berkontribusi hingga 8% dari emisi karbon dioksida (CO₂) secara global yang akan berdampak pada kerusakan lingkungan seperti pemanasan global. Jika dilihat dari berbagai dampak yang ditimbulkan oleh proses produksi semen, sudah saatnya perlu dilakukan perubahan akan ketergantungan pada semen. Oleh karena itu, diperlukan material yang dapat mengurangi penggunaan bahan utama pada pembuatan cementitious composite. Salah satu material yang dapat menggantikan semen yaitu abu terbang (*fly ash*).

Fly ash atau juga bisa disebut dengan serbuk terbang merupakan residu serbuk halus dari sisa pembakaran baru bara (Setiawati, 2018). Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (KEMENPERIN) jumlah FABA (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) di Indonesia akan terus bertambah. Pada tahun 2021 diperkirakan limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari PLTU mencapai 12 juta ton sehingga perlu dimanfaatkan agar tidak menimbulkan pencemaran. *Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif untuk mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan komposit sementitus. *Fly ash* memiliki sifat pozzolan yang merupakan bahan yang mengandung silika atau mengandung silika dan alumina. Abu terbang tersebut bereaksi secara kimia dengan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂) pada temperatur biasa sehingga membentuk sifat cementitious (mengikat).

Pada saat bereaksi dengan air dapat menjadikan senyawa yang meningkatkan kekuatan beton (Luan, 2020). Penelitian ini akan mengidentifikasi pengaruh substitusi *fly ash* dengan penambahan serat *fiberglass* dan pemanfaatan pasir limbah *sandblasting* terhadap nilai kuat tekan. Tujuannya untuk melihat variasi substitusi *fly ash* yang paling optimum pada campuran komposit sementitus.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimental Eksperimen yang dilakukan adalah menguji variasi substitusi *fly ash* untuk mengetahui pengaruh terhadap nilai kuat tekan komposit sementitus. Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa langkah yaitu

2.1 Karakterisasi Material

Karakterisasi material bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan komposisi kimia yang terkandung dalam *fly ash* dan semen PCC dengan pengujian XRD dan XRF. Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) bertujuan untuk mengetahui komposisi dan intensitas mineral utama penyusun suatu material. Analisis XRF bertujuan untuk mengetahui prosentase komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung pada suatu material. Hasil uji XRD ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji XRD *Fly Ash*

Nama Kristal	Formula Kimia	Nilai %
<i>Quartz</i>	SiO ₂	26,96
<i>Magnetite</i>	FeO ₄	14,41
<i>Mullite 3:2</i>	(Al ₂ O ₃) ₃ (SiO ₂) ₂	9,46
<i>Hematite</i>	Fe ₂ O ₃	4,70
<i>Hkl_Phase</i>	-	30,38

Tabel 1. Menunjukkan hasil analisis karakteristik *fly ash* dengan metode XRD menunjukkan bahwa kadar terbesar *Quartz* sebesar 26,96%, *Magnetite* 14,41%, *Mullite* 9,46% serta terdapat kandungan *hkl Phase amorf fly ash* sebesar 30,38%. *Hkl Phase* secara kimiawi dapat memberikan pengaruh terhadap reaktivitas dari *fly ash*. Kandungan *amorf* dalam

fly ash menjadi penentu reaktivitasnya terhadap aktivasi alkali, semakin tinggi proporsi fase *amorf*, semakin tinggi kemampuan reaktifnya. (Fernandes-jimenez dkk., 2006 didalam Dwi Pratiwi, 2019).

Tabel 2. Hasil Uji XRF *Fly Ash*

Jenis Pengujian	Formula Kimia	Hasil Uji %
<i>Silicon Dioxide</i>	SiO ₂	47,51
<i>Aluminium Oxide</i>	Al ₂ O ₃	19,27
<i>Ferric Oxide</i>	Fe ₂ O ₃	18,46
<i>Calcium Oxide</i>	CaO	8,89
<i>Magnesium oxide</i>	MgO	3,77
<i>Sulfur Trioxide</i>	SO ₃	0,77

Tabel 2 menunjukkan bahwa *fly ash* PLTU Tanjung Awar-Awar memiliki kandungan kadar oksida paling dominan SiO₂ (*Silicon Dioxide*) + Al₂O₃ (*Aluminium Oxide*) + Fe₂O₃ (*Ferric Oxide*) sebesar 85,24% (>50%), CaO (*Calcium Oxide*) sebesar 8,89% (≤18%), SO₃ (*Sulfur Trioxide*) sebesar 0,77% (<5%). Sehingga sampel *fly ash* yang digunakan tergolong *fly ash* tipe F (*Pozolanik fly ash*) sesuai dengan ketentuan (ASTM C618-19)

Tabel 3. Hasil Uji XRD Semen PCC

Nama Kristal	Formula Kimia	Nilai %
<i>Calcite</i>	CaCO ₃	26,46
<i>Tricalcium silicate <M1></i>	Ca ₃ SiO ₅	16,41
<i>Calcium silicate beta</i>	Ca ₂ SiO ₄	12,74
<i>Andesine An50</i>	(Rb _{0,811} Al _{0,062})(Al _{0,997} Si _{3,003} O ₈)	9,13
<i>Tricalcium silicate <M3></i>	Ca ₃ SiO ₅	6,99

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian XRD Semen PCC memiliki kandungan *Calcite* (CaCO₃) memiliki persentase terbesar yakni 26,46%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *Calcite* adalah fase kristal dominan dalam semen PCC. Terdapat Senyawa Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H) bersifat reaktif jika bertemu air sehingga dapat mengikat agregat kasar, agregat halus dan material lainnya untuk membentuk massa padat dan keras (Adi Putra et al., 2020). *Tricalcium silicate <M1>* dan *Tricalcium silicate <M3>* (Ca₃SiO₅) memiliki persentase yakni 16,41% dan 6,99% sehingga jumlah dari *Tricalcium silicate* 23,4%.

Tabel 4. Hasil Uji XRF Semen PCC

Jenis Pengujian	Formula Kimia	Hasil Uji %
<i>Calcium Oxide</i>	CaO	56,24
<i>Silicon Dioxide</i>	SiO ₂	17,33
<i>Aluminium Oxide</i>	Al ₂ O ₃	4,73
<i>Ferric Oxide</i>	Fe ₂ O ₃	3,31
<i>Magnesium oxide</i>	MgO	1,98
<i>Sulfur Trioxide</i>	SO ₃	1,74

Berdasarkan ketentuan SNI 7064:2014 yang menyatakan bahwa syarat kimia untuk semen PCC pada kandungan SO₃ (*Sulfur Trioxide*) tidak melebihi 4%. Tabel 4.4 menunjukkan bahwa semen PCC memiliki kandungan SO₃ (*Sulfur Trioxide*) sebesar 1,76% yang lebih rendah dari ketentuan yaitu 4%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Semen PCC pada penelitian ini memenuhi ketentuan SNI 7064:2014.

Pasir Limbah Sandblasting dilakukan dengan analisis gradasi pasir untuk menentukan distribusi atau gradasi pasir sesuai dengan standar ASTM C136. Pasir yang digunakan berasal dari Pasir Limbah *Sandblasting* PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia, Bangkalan, Jawa Timur. Hasil analisis gradasi pasir ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Gradasi Pasir Limbah *Sandblasting*

Pasir Limbah <i>Sandblasting</i>					
Ukuran Mata Ayakan		Tertinggal			Lolos Ayakan %
No	mm	Berat (gram)	Tertahan %	Tertahan Kumulatif %	
8	2,300	0,00	0,00	0,00	100,00
16	1,150	18,20	3,81	3,81	96,19
30	0,630	54,60	11,44	15,25	84,75
50	0,300	92,60	19,40	34,65	65,35
100	0,150	214,30	44,90	79,55	20,45
200	0,075	61,10	12,80	92,35	7,65
Pan		36,50	7,65		0,00
Jumlah		477,30	100,00	225,62	374,38
Modulus Kehalusan				2,26	

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan pasir yang telah dianalisis didapatkan nilai modulus kehalusan 2,26 sesuai dengan standar ASTM C136, yaitu limbah pasir *sandblasting* lolos ayakan No. 8 dengan ukuran 2,36 mm.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 *Mix Design*

Penentuan kebutuhan komposisi komposit sementitus dalam pembuatan spesimen uji tekan dapat dilakukan dengan perhitungan perbandingan volume. Kebutuhan material yang dihitung adalah *fly ash*, semen PCC, pasir limbah *sandblasting*, *fiberglass*, *limestone*, *superplasticizer* dan air. Berikut adalah ukuran cetakan spesimen agar dapat menghitung kebutuhan material spesimen sesuai dengan standar (ASTM C39, 2001). Komposisi campuran komposit sementitus terdapat pada tabel 6.

$$\begin{aligned} \text{Diameter cetakan } (2r) &= 75 \text{ mm} \\ \text{Tinggi cetakan } (t) &= 150 \text{ mm} \\ \text{Volume cetakan } (\pi \times r^2 \times t) &= 662343,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 6. Komposisi Spesimen Uji Tekan

Sampel	Semen	FA	<i>Sandblasting</i>	<i>Fiberglass</i>
CCFA0	636,05	0,00	1141,29	0,72
CCFA20	504,90	131,14	1157,97	0,73

Komposisi *limestone*, air, *superplasticizer* bernilai sama pada tiap variasinya. Komposisi *limestone* sebesar 19,67 gram, air sebesar 196,72 gram dan *superplasticizer* sebesar 13,11 gram. Spesimen uji tekan dibuat dengan 4 variasi dengan 3 replikasi untuk mendapatkan nilai uji tekan yang akurat.

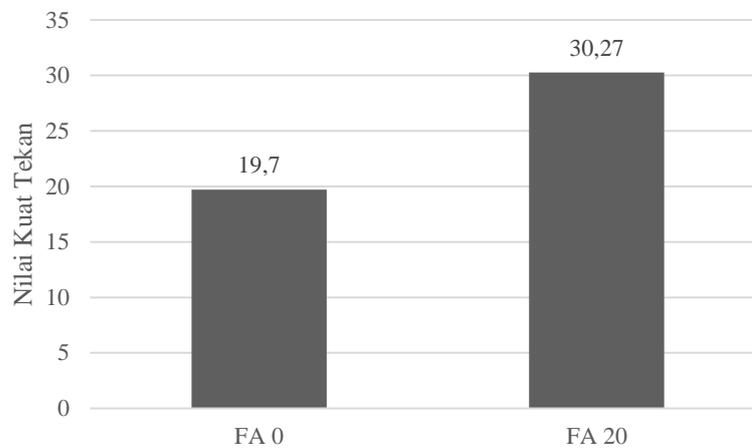
3.2 Hasil Uji Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari komposit sementitus berpenguat *fiberglass* yang dihasilkan sehingga dapat diketahui variasi substitusi *fly ash* dengan kekuatan tertinggi. Pengujian Kuat tekan dilakukan sesuai dengan (ASTM C39, 2001). Pada umur 28 hari dilakukan uji tekan pada spesimen setelah melewati proses curing. Dari pengujian tekan diperoleh data besar gaya pembebanan maksimal yang diterima oleh benda uji kemudian data tersebut diolah untuk memperoleh nilai kuat tekan. Hasil pengujian kuat tekan komposit sementitus pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Tekan Komposit Sementitius

No.	Variasi Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1.		19,48	
2.	CCFA0	18,80	19,70 ±1,04
3.		20,83	
4.		31,25	
5.		29,89	
6.	CCFA20	29,67	30,27 ±0,86

Gambar 1. Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan



Hasil dari pengujian tekan komposit sementitius berpenguat *fiberglass* pada umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan $19,70 \pm 1,04$ MPa untuk beton tanpa substitusi *fly ash*, sedangkan beton dengan substitusi *fly ash* 20% didapatkan nilai kuat tekan $30,27 \pm 0,86$ MPa. Sehingga dari hasil pengujian tekan dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan nilai kuat tekan tertinggi diperoleh variasi substitusi *fly ash* 20% yang menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar $30,27 \pm 0,86$ MPa. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada komposit sementitius pada substitusi 20% dengan peningkatan sebesar 53,6% dari variasi tanpa *fly ash*. Reaksi dari hidrasi semen diperkuat dengan reaksi *fly ash* dengan sifat *pozzolan* dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton (Havy Fathony, dkk, 2021).

Gambar 1. menunjukkan grafik dari nilai kuat tekan dengan persentase substitusi *fly ash*. Substitusi *fly ash* sebesar 20% memberikan peningkatan kuat tekan yang optimal. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* pada persentase tertentu dapat mempengaruhi nilai kuat tekan. Substitusi *fly ash* sebagai *pozzolan* yang memiliki unsur aktif SiO_2 (*Silicon Dioxide*) lalu bereaksi dengan Ca(OH)_2 (*Calcium Hydroxide*) untuk membentuk lebih banyak C-S-H (*Calcium Silicate Hydrate*) sehingga dapat meningkatkan kekuatan pada beton (Isnadia N., dkk., 2018).

Hal ini diperkuat berdasarkan hasil penelian yang telah dilakukan (Herman F, dkk. 2018) yang menunjukkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata pada beton dengan kadar *fly ash* 0%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% secara berurutan adalah 24,93 MPa, 31,10 Mpa, 26,25 MPa, 22,32 MPa, 27,03 MPa dan 27,35 MPa. Kekuatan tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan kadar *fly ash* 20% dengan nilai rata-rata sebesar 31,10 MPa, yang meningkat sebesar 6,17 MPa (24,75%) dibandingkan dengan kekuatan tekan beton normal yang sebesar 24,93 MPa dan terjadi penurunan nilai kuat tekan pada kadar *fly ash* lebih dari 20%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan nilai kuat tekan komposit sementitius pada substitusi *fly ash* 0% dan 20% adalah $19,70 \pm 1,04$ MPa dan $30,27 \pm 0,86$ MPa. Pada penelitian ini nilai kuat tekan tertinggi dari semua variasi substitusi yang telah diuji adalah substitusi *fly ash* sebesar 20% dengan nilai kuat tekan 31,25 MPa, 29,89 MPa dan 29,67

MPa dengan nilai rata-rata 30,27 MPa. Sehingga dengan adanya substitusi *fly ash* sebanyak 20% memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai kuat tekan pada komposit sementitus pada penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak lepas dari kontribusi berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua jurusan teknik permesinan kapal, ketua prodi teknik desain dan manufaktur, Dosen Pembimbing, rekan penelitian yang membantu peneliti dan dana DIPA PPNS tahun 2024 yang telah memberikan dukungan finansial sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik. Dukungan dari semua pihak tersebut sangat berharga bagi terselesaikannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Adi Putra, W., Olivia, M., & Saputra, E. (2020). Ketahanan Beton Semen *Portland Composite Cement* (PCC) di Lingkungan Gambut Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Teknik*, 14(1), 27–34. <https://doi.org/10.31849/teknik.v14i1.3882>
- Purwono, N. A. S., Sulistyawati, R., Wicaksono, A. C., Utomo, W. W. (2020). Analisa Pengaruh Penambahan dan Substitusi Agregat *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir. *Jurnal Rekayasa*, 10(01), 56–71.
- ASTM C39. (2001). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1 - ASTM C39/C39M - Standard. Annual Book of ASTM Standards*, 1–7.
- ASTM C136. (2011). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards, 04(571)*, 5–9.
- Dwi Pratiwi, W. (2019). Hubungan Morfologi, Ukuran Partikel dan Keamorfan *Fly Ash* dengan Kuat Tekan Pasta *High-Volume Fly Ash (HVFA) Cement*. *Seminar MASTER 2019*, 93–98. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/SeminarMASTER>
- Fathony, H., Dwi Pratiwi, W., Setiani, V., Sutrisno, W., Wulandari, K. D. (2021). Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Limbah *Sandblasting* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton HVFA. *Analysis*, 1–12.
- Herman F, D. (2018). Analisa Pengaruh Pemakaian *Fly Ash* Sebagai Sementisius Pada Beton Mutu Sedang Terhadap Kuat Tekan Beton. *Sondir*, 1, 18–26. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir/article/view/2575>
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making concrete change innovation in low-carbon cement and concrete, The Royal Institute of International Affairs, Chatham House Report Series*. 138. <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
- Luan, T. F. (2020). Pengaruh Pemakaian *Fly Ash* sebagai *Cementitious* pada Beton, Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. *E-Journal Penelitian Beton*.
- Setiawati, M. (2018). *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 1–8.
- Suraneni, P., Burris, L., Shearer, C. R., & Hooton, R. D. (2021). *ASTM C618 fly ash specification: Comparison with other specifications, shortcomings, and solutions. ACI Materials Journal*, 118(1), 157–167. <https://doi.org/10.14359/51725994>