

## Studi Kuat Lentur Penggunaan *Fly Ash* sebagai Substitusi Semen pada Papan Semen dengan Penguat Serat Kaca

Rossa Aureliana Indriani<sup>1</sup>, Adhi Setiawan<sup>1\*</sup>, dan Wiwik Dwi Pratiwi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

\*E-mail: [adhi.setiawan@ppns.ac.id](mailto:adhi.setiawan@ppns.ac.id)

### Abstrak

*Fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara pada unit *boiler*. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran XIV, *fly ash* yang berasal dari PLTU merupakan limbah non B3 terdaftar yang memiliki persyaratan teknis pengelolaan. Jumlah produksi *fly ash* per tahunnya secara global mencapai lebih dari 1 juta ton, oleh karena itu pada penelitian ini memanfaatkan *fly ash* dengan volume tinggi atau *High Volume Fly Ash* (HVFA) untuk mengurangi jumlah *fly ash*. Penelitian ini bertujuan melakukan pengujian kuat lentur yang mengacu pada SNI 8299-2017 dengan persyaratan minimal 100 kg/cm<sup>2</sup>. Penelitian ini memanfaatkan semen dan HVFA menjadi papan GRC yaitu papan semen yang mengandung serat kaca dengan menggunakan metode eksperimen dengan merencanakan variasi substitusi *fly ash* terhadap *binder* sebesar 0%, 45%, 55%, dan 75%, rasio *water/binder* 0,3, perbandingan *binder* dan *filler* sebesar 1 : 1,5, dan serat kaca sebesar 0,3%. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kuat lentur umur 28 hari pada variasi 0%, 45%, 55%, dan 75% secara berurutan sebesar 46,54 kg/cm<sup>2</sup>, 94,53 kg/cm<sup>2</sup>, 87,92 kg/cm<sup>2</sup>, dan 40,35 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil tersebut, nilai kuat lentur optimum yang mendekati persyaratan SNI yaitu variasi 45%.

**Keywords:** *Fly Ash*, Semen, Papan Semen, Serat Kaca, Kuat Lentur

### 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi yang semakin canggih, hal ini turut mempengaruhi perkembangan infrastruktur. Salah satu material yang memiliki peran terhadap konstruksi adalah semen, namun selama proses pembuatannya, semen menghasilkan sekitar 7% gas karbon dioksida (Shubbar dkk., 2019). Gas tersebut menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, salah satunya pemanasan global, oleh karena itu mulai mencari material substitusi semen dengan memanfaatkan limbah industri yaitu *fly ash* (Mahmood dkk., 2018). *Fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara maupun industri lainnya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran XIV, *fly ash* yang berasal dari PLTU merupakan limbah non B3 terdaftar yang memiliki persyaratan teknis pengelolaan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pemanfaatan, penimbunan, perpindahan lintas batas, penanggulangan pencemaran lingkungan hidup dan/atau kerusakan lingkungan hidup dan pemulihan fungsi lingkungan hidup, serta pelaporan limbah non B3.

Jumlah produksi *fly ash* per tahunnya secara global mencapai lebih dari 1 juta ton (Aydin dkk., 2017). Jumlah *fly ash* inilah yang memunculkan gagasan dengan memanfaatkan *fly ash* dengan volume tinggi atau *high volume fly ash* (HVFA). Penggunaan HVFA memiliki peran dalam meningkatkan ketahanan dan kekuatan dalam jangka waktu yang lama (Alaoui, 2021). Semen dan *fly ash* dapat dimanfaatkan menjadi produk, salah satunya papan GRC yaitu papan semen yang mengandung serat kaca (*glass fiber*). Serat kaca memiliki peran dalam meningkatkan nilai kuat lentur (Jain dkk., 2012). Serat kaca juga memiliki peran dalam meningkatkan kuat tarik, ketangguhan, dan daya dukung beban setelah terjadi keretakan (Kizilkanat dkk., 2015).

Pada penelitian Barbuta dkk. (2017), meneliti pengaruh variasi *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat lentur. Dalam penelitiannya, variasi *fly ash* yang digunakan yaitu 10%, 15%, 20%, 30%, dan 40%, serta *glass fiber* sebesar 0,25%. Hasil yang didapatkan dalam penelitiannya yakni nilai kuat lentur paling optimum terdapat pada persentase 20% dengan nilai sebesar 2,16 MPa. Pada penelitian Jain

dkk, (2012), meneliti pengaruh variasi *glass fiber* terhadap kuat lentur. Variasi *glass fiber* yang digunakan sebesar 0%, 0,5%, 0,7%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5%. Hasil yang didapatkan dalam penelitiannya yakni nilai kuat lentur paling optimum terdapat pada variasi 1,5% dengan nilai sebesar 5,3 MPa.

Tujuan penelitian ini membahas tentang pengaruh *fly ash* sebagai substitusi semen pada papan semen dengan penguat serat kaca terhadap nilai kuat lentur yang mengacu pada pada SNI 8299-2017. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengurangi jumlah timbunan *fly ash* yang dapat mencemari lingkungan dan memberikan nilai tambah.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi timbangan analitis (ketelitian 0,1 gram, kapasitas 6 kg, berbahan logam), ayakan pasir berukuran 2,4 mm, mesin pengaduk (kecepatan 0-800 rpm, daya 1220 Watt, 230 Volt / 50 Hz), cetakan benda uji berukuran 30 cm x 10 cm x 2 cm (berbahan akrilik), sendok perata, kain bekas (berbahan katun), dan mesin uji kuat lentur (beban maksimal 100 kN, akurasi beban  $\pm 1\%$ ). Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi *fly ash* kelas F dari salah satu industri PLTU di Jawa Timur dengan hasil SiO<sub>2</sub> sebesar 42,27%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 20,83%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 17,75%, dan CaO sebesar 13,58%, semen OPC, CaCO<sub>3</sub> (jenis *precipitated-calcium carbonate*), pasir Lumajang lolos ayakan 2,4 mm, air demineralisasi, serta serat kaca (berupa helai cincang berukuran 12 mm).

### 2.2 Variasi Mix Design

Variasi *mix design* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variasi substitusi *fly ash* terhadap *binder* sebesar 0%, 45%, 55%, dan 75%, perbandingan *binder* dan *filler* sebesar 1:1,5, rasio *water/binder* sebesar 0,3, dan serat kaca sebesar 0,3%. Variasi *mix design* tertera pada **Tabel 1**.

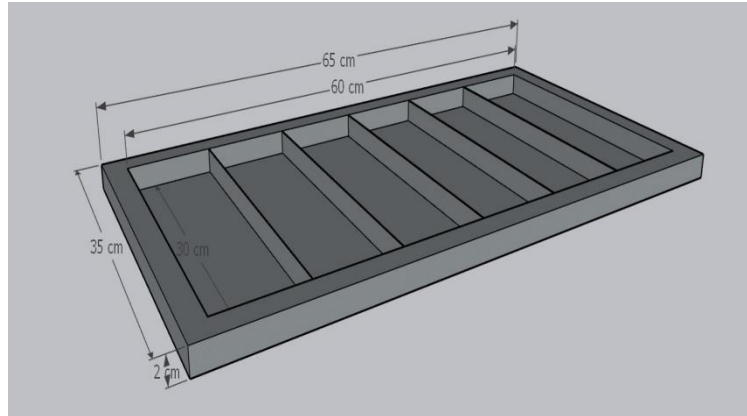
**Tabel 1.** Variasi *Mix Design*

No.	Kode Benda Uji	Komposisi <i>Fly Ash</i> Terhadap <i>Binder</i>	Komposisi Campuran					
			<i>Binder</i>			<i>Filler</i>	w/b	Serat Kaca (%)
			Semen (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Pasir (%)		
1	A28	0%	40	0	0	60	0.3	0.3
2	B28	45%	20	18	2	60	0.3	0.3
3	C28	55%	16	22	2	60	0.3	0.3
4	D28	75%	8	30	2	60	0.3	0.3

### 2.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Gedung ITS Manyar. Tahapan pembuatan benda uji meliputi :

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan;
2. Mencampurkan semen, *fly ash*, pasir, CaCO<sub>3</sub>, dan air yang sudah ditimbang sesuai dengan *mix design* ke dalam mesin pengaduk, lalu mengaduk hingga merata;
3. Mempersiapkan cetakan benda uji dan mengolesi cetakan dengan oli untuk mempermudah saat melepas benda uji yang telah mengeras. Cetakan benda uji tertera pada **Gambar 1**;
4. Memasukkan adonan yang telah diaduk ke dalam cetakan dan menambahkan serat kaca saat proses mencetak benda uji. Proses pembuatan benda uji tertera pada **Gambar 2**;
5. Menyimpan pada suhu  $21,1 \pm 5^{\circ}\text{C}$  pada 24 jam pertama, kemudian melepas benda uji dari cetakan. Benda uji tertera pada **Gambar 3**;
6. Memberi label sesuai komposisi pada benda uji, kemudian menyimpan benda uji untuk dilakukan proses perawatan (*curing*).



**Gambar 1.** Cetakan Benda Uji



**Gambar 2.** Proses Pembuatan Benda Uji



**Gambar 3.** Benda Uji

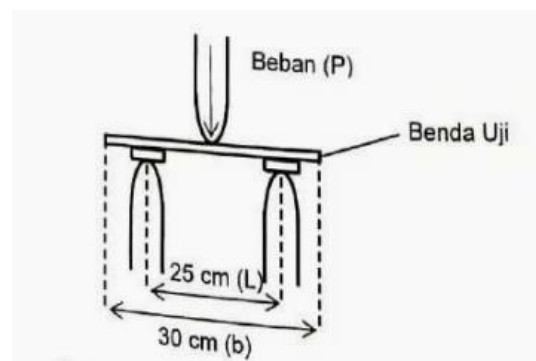
#### **2.4 Perawatan Benda Uji (Curing)**

Proses perawatan benda uji dilakukan bertujuan untuk menjaga kelembaban atau suhu benda uji. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara menutup benda uji menggunakan kain basah dan menyimpannya pada suhu  $21,1 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Pada penelitian ini proses *curing* dilakukan selama 28 hari dengan mengacu pada ASTM C495.

## 2.5 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan setelah proses *curing* telah selesai yaitu pada saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian kuat lentur pada penelitian ini mengacu pada SNI 8299-2017. Tahapan pengujian kuat lentur meliputi :

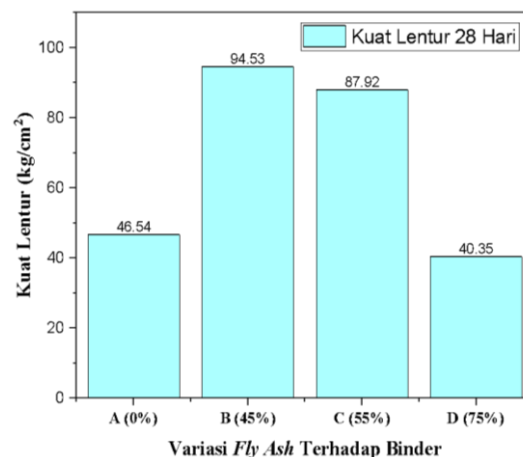
1. Mempersiapkan benda uji yang berukuran 30 cm x 10 cm x 2 cm yang akan dilakukan pengujian kuat lentur;
2. Memasukkan benda uji ke dalam mesin uji kuat lentur dan memulai proses pengujian;
3. Mencatat beban patah saat mencapai angka maksimum yang ditunjukkan pada saat jarum penunjuk sudah tidak bergerak lagi dan mencatat beban patah sebagai P;
4. Mengukur tebal benda uji dan mencatat sebagai h;
5. Pengujian kuat lentur tertera pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Pengujian Kuat Lentur

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat lentur pada benda uji umur 28 hari dilakukan di Laboratorium Beton Material Maju dan Komputasi Mekanik ITS Sukolilo. Masing-masing variasi dilakukan pengujian sebanyak 3 benda uji. Hasil uji kuat lentur tertera pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Hasil Uji Kuat Lentur Umur 28 Hari

Pada **Gambar 5**, didapatkan nilai kuat lentur rata-rata untuk masing-masing variasi substitusi *fly ash* terhadap *binder* 0%, 45%, 55%, dan 75% secara berurutan sebesar 46,54 kg/cm<sup>2</sup>, 94,53 kg/cm<sup>2</sup>, 87,92 kg/cm<sup>2</sup>, dan 40,35 kg/cm<sup>2</sup>. Pada hasil tersebut, dapat dilihat bahwa nilai kuat lentur tertinggi pada variasi substitusi *fly ash* terhadap *binder* yaitu 45%, dan dari keempat variasi tersebut belum memenuhi standar minimal nilai kuat lentur pada SNI 8299-2017 sebesar 100 kg/cm<sup>2</sup>, namun variasi 45% memiliki nilai

yang paling mendekati nilai kuat lentur standar SNI dan memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan variasi tanpa *fly ash*.

Hasil kuat lentur seiring bertambahnya jumlah *fly ash* yang digunakan, maka nilai kuat lentur juga semakin menurun. Faktor yang menjadi penyebab menurunnya nilai kuat lentur adalah terjadinya penguapan air seiring berjalannya waktu perawatan benda uji yang mengakibatkan penyusutan volume, sehingga menurunkan kekuatan benda uji, selain itu faktor lainnya yaitu terjadinya proses perlambatan reaksi hidrasi (Putri dkk., 2022).

Pada penelitian Jain dkk. (2012), meneliti variasi substitusi serat kaca terhadap pasir sebesar 0%, 0,5%, 0,7%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5% yang digunakan memiliki pengaruh dalam meningkatkan kuat lentur. Hasil penelitiannya menggunakan kadar serat kaca dengan variasi 0%, 0,5%, 0,7%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5% menghasilkan kuat lentur secara berurutan sebesar 4,1 MPa, 4,5 MPa, 4,8 MPa, 5 MPa, 5,2 MPa, dan 5,3 MPa. Pada penelitiannya menggunakan semen, kerikil, dan pasir, tanpa *fly ash*, apabila dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan, hasil penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih baik, walaupun menggunakan kadar serat kaca yang lebih sedikit, selain itu pada penelitian ini menggunakan kalsium karbonat yang terkandung dalam *binder*, hal ini memiliki pengaruh terhadap meningkatkan nilai kuat lentur, karena kalsium karbonat dapat meningkatkan reaksi hidrasi semen yang dapat membentuk C-S-H yang berperan dalam meningkatkan kekuatan (Pratiwi dkk., 2020).

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu hasil kuat lentur seiring bertambahnya jumlah *fly ash* yang digunakan, maka nilai kuat lentur juga semakin menurun, dan nilai kuat lentur tertinggi pada penelitian ini terdapat variasi substitusi *fly ash* terhadap *binder* yaitu 45%, selain itu variasi 45% memiliki nilai yang paling mendekati nilai kuat lentur standar SNI dan memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan variasi tanpa *fly ash*.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Kepada seluruh staf dan karyawan Laboratorium Material dan Struktur Gedung, serta Laboratorium Beton Material Maju dan Komputasi Mekanik Institut Teknologi Sepuluh November yang telah memberikan ilmu, bimbingan, waktu, dan tempat dalam menyelesaikan penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi pembaca.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Alaoui, A. H., Bazzar, K., & Hafiane, F. Z. (2021). The Early Age Strength Improvement of The High Volume Fly Ash Mortar. *Civil Engineering Journal*, Vol.7, No.8, pp.1378.
- Annual Books of ASTM Standards. (2012). *Standard Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete*. ASTM C495 - 12. ASTM International. West Conshohocken. PA.
- Aydin, E., & Balkis, A. P. (2017). Preliminary Study on The Durability Properties of High-Volume Fly Ash Mortar Composites. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol.45, No.6, pp.2030-2031.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Papan Semen Rata non Asbestos*. SNI 8299 - 2017. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Barbuta, M., Burlacu, A., Scutarasu, S., Serbanoiu, A.A., & Bucur, R. (2017). Combined Effect of Fly Ash and Fiber on Properties of Cement Concrete. *Procedia Engineering* 181, pp.282.
- Jain, G., Murthy, Y. I., & Sharda, A. (2012). Performance of Glass Fiber Concrete. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol.1, pp.246.
- Kizilkanat, A. B., Kabay, N., Akyuncu, V., Chowdhury, S., & Akca, A. H. (2015). Mechanical Properties and Fracture Behavior of Basalt and Glass Fiber Reinforced Concrete: An Experimental Study. *Construction and Building Material*, pp.218.

- Mahmood, E. A. S., Basher, M. A., & Agha, A. Z. S. (2018). Effecte of Fly Ash as a Sustainable Material on Lightweight Foam Concrete Mixes. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, Vol.22, No.2, pp.109, 116, 120.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Pratiwi, W. D., Ekaputri, J. J., Triwulan, & Fansuri, H. (2020). Combination of Precipitated-Calcium Carbonate Substitution and Dilute-Alkali Fly Ash Treatment in a Very High Volume Fly Ash Cement Paste. *Construction and Building Material*, pp.2, 6-7.
- Putri, F. N., Bahri, S., & Irwansyah, A. (2022). Pengaruh Penggunaan Persentase Fly Ash dan Perawatan Terhadap Kuat Lentur Mortar. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol.6, No.1, pp.96.
- Shubbar, A. A., Alhawesah H., Hasyim K., Alshaer A., Alkizwini, R. S., & Sadique M. (2019). Investigating the Influence of Cement Replacement by High Volume of GGBS and PFA on the Mechanical Performance of Cement Mortar. *International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies*.