

# Pengaruh Penambahan *Fly ash* Pada *Cementitious composite* Dengan Pasir Limbah *Sandblasting* dan Serat Sabut Kelapa

Widya Emilia Primaningtyas<sup>1</sup>, Inshiro Auliyasari<sup>2</sup>, Wiwik Dwi Pratiwi<sup>3\*</sup>, dan Ristanti Akseptori<sup>4</sup>

<sup>1\*2</sup> Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>4</sup> Program Studi Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: widyaemilia@ppns.ac.id<sup>1</sup>, inshiroauliyasari@student.ppns.ac.id<sup>2</sup>, wiwik.pratiwi@ppns.ac.id<sup>3</sup>

## Abstrak

Pemanfaatan limbah industri seperti *fly ash* dan pasir limbah *sandblasting* sebagai bahan tambahan material pada beton telah berkembang beberapa tahun terakhir. *Cementitious composite* merupakan material komposit semen yang terdiri dari campuran bahan seperti semen, agregat, dan serat yang dihubungkan untuk meningkatkan kekuatan dan kinerja secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, digunakan metode eksperimen dengan melakukan pembuatan *cementitious composite* yang memanfaatkan limbah pasir *sandblasting* sebagai agregat halus dan serat sabut kelapa sebagai tambahan penguat. Penelitian ini melihat pengaruh *fly ash* sebagai substitusi semen yang dibandingkan dengan tanpa substitusi *fly ash*. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *fly ash* sebesar 20% dapat meningkatkan nilai kuat tekan *cementitious composite*.

**Kata kunci:** *Cementitious composite*, *Fly ash*, Pasir Limbah *Sandblasting*, Kuat Tekan

## Abstract

The utilization of industrial wastes such as *fly ash* and *sandblasting waste sand* as material additives in concrete has been growing in recent years. *Cementitious composite* is a *cementitious composite material* consisting of a mixture of materials such as cement, aggregates, and fibers that are connected to improve overall strength and performance. In this study, an experimental method was used by making a *cementitious composite* that utilizes *sandblasting sand waste* as fine aggregate and coconut fiber as additional reinforcement. This study looked at the effect of *fly ash* as a substitute for cement compared with no *fly ash* substitution. The results showed that the *cementitious composite* composition with *fly ash* substitution of 20% produced a compressive strength of 21,42 Mpa at the age of 28 days.

**Keywords:** *Cementitious composite*, *Fly ash*, *Sandblasting Waste*, *Compressive Strength*

<sup>1\*</sup> [wiwik.pratiwi@ppns.ac.id](mailto:wiwik.pratiwi@ppns.ac.id)

## 1. Pendahuluan

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan, lebih dari 60% proyek konstruksi di Indonesia menggunakan beton. Perkembangannya mulai digunakan sebagai material untuk furniture outdoor karena tahan cuaca, mudah didapat, dan ekonomis. Beton dipilih karena dirasa lebih tahan terhadap cuaca, bahan mudah didapat dan harga ekonomis. Dalam 30 tahun terakhir, teknologi beton telah mengalami kemajuan signifikan, ditemukannya material jenis komposit semen baru (Zych, 2014)

*Cementitious composite*, material komposit semen yang diperkuat serat, menunjukkan keuletan dan ketangguhan tinggi (Zych, 2014). Material ini banyak digunakan dalam industri konstruksi untuk berbagai aplikasi termasuk struktur bangunan, panel dinding, dan elemen struktur lainnya. Salah satu keunggulan utama komposit semen adalah kemampuannya untuk menggabungkan sifat-sifat berbeda dari bahan yang digunakan dalam komposit semen. Misalnya, menambahkan serat ke dalam komposisi dapat meningkatkan ketahanan retak dan kekuatan lentur. Selain itu, komposit semen sering digunakan untuk mengurangi berat struktur dan meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang keras (Zhou et al., 2023). Semen adalah bahan utama yang digunakan saat membuat komposit *cementitious*. Menurut situs lokadata, kapasitas produksi semen Indonesia telah melampaui permintaan selama sepuluh tahun terakhir, mencapai 115 juta ton per tahun pada 2020. Permintaan saat ini diperkirakan meningkat 3% menjadi 72 juta ton per tahun. Selama produksi semen, debu dan gas beracun diproduksi. *Nitrogen oksida* dan *sulfur oksida* tidak dapat direduksi bahkan dengan teknologi filter canggih. Di seluruh dunia, industri semen mengeluarkan 3 miliar ton gas rumah kaca, mewakili sekitar 9% emisi CO<sub>2</sub> (Sulasma et al., 2022). Karena efek berbahaya yang dihasilkan dari produksi semen, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari cara lain untuk menggunakan atau menambahkan bahan tambah sebagai bahan untuk membentuk campuran *cementitious*.

Saat ini, batu bara banyak digunakan dalam industri dikarenakan harga yang terjangkau. Meskipun batu bara menguntungkan sebagai sumber energi pengganti bahan bakar fosil, penggunaan batu bara juga dapat menimbulkan masalah. Salah satu masalah utamanya adalah limbah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara, yang mencakup sekitar 2–10% dari total abu yang dihasilkan. Saat ini, pengelolaan limbah abu batu bara terbatas pada penimbunan di lokasi pabrik (Setiawati, 2018). *Fly ash* merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), mengandung partikel abu halus yang dapat mencemari udara jika tidak diolah dengan benar. Saat ini, penanganan *fly ash* masih terbatas dan biasanya hanya ditimbun di area yang kurang berkembang. *Fly ash* memiliki kandungan silika yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembentuk *cementitious composite*. Penggunaan *fly ash* dalam *cementitious composite* memberikan dampak positif bagi lingkungan (Setiawati, 2018). *Pozzolan* terbuat dari silika dan aluminat reaktif. Jika ditambahkan ke campuran semen dalam keadaan halus (lolos saringan 0,21 mm), akan menjadi seperti semen karena proses hidraulik, aktifitas *pozzolanik*, atau keduanya. *Slag vulkanik* dari abu gunung berapi dan pasir silika adalah bahan yang pernah digunakan untuk membuat *pozzolan*. *Pozzolan* alam inihanya mengandung sedikit *amorphous silica glass* daripada *pozzolan* buatan, dan mengandung kristal silika, yaitu mineral yang sedikit atau bahkan tidak dapat bereaksi dengan kalsium dalam semen (Tikalsky et al., 2001). Penggunaan *pozzolan* dari *fly ash* ini dapat mengurangi penggunaan pasir silika dan abu vulkanik yang berasal dari alam. Ini membuat lebih ramah lingkungan dengan mengubah limbah menjadi sumber manfaat (Wijaya et al., 2021).

Untuk mengurangi dominasi penggunaan *fly ash* dan meminimalkan ketidakstabilan sifatnya, bahan tambahan seperti limbah *sandblasting* dari produk samping industri sering kali digunakan (Triyanti, 2018). Saat ini, limbah *sandblasting* dari industri fabrikasi baja dan galangan kapal semakin banyak dan menumpuk. Untuk mengurangi volume limbah tersebut, perlu adanya pemanfaatan agar limbah ini dapat diolah dan digunakan. Pasir dari limbah *sandblasting* dapat dimanfaatkan dalam campuran beton sebagai bagian dari pengolahan limbah (Sugiartiningsih et al., 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Abdillah, dkk (2020) dengan menggunakan pasir limbah *sandblasting* sebagai substitusi pada beton dapat menghasilkan kuat tekan sebesar 31,62 MPa dengan substitusi pasir limbah *sandblasting* 100%. Hal ini membuktikan adanya penambahan pasir limbah *sandblasting* dapat meningkatkan kuat tekan. Sifat fisik limbah *sandblasting* yang sangat halus dapat mengisi pori-pori *cementitious composite* dan meningkatkan kuat tekannya. (Abdillah & Muhabbah, 2020). Pada penelitian yang dilakukan oleh Sugiartiningsih, dkk (2022) dengan pemanfaatan pasir limbah *sandblasting* sebagai substitusi agregat halus dengan variasi substitusi 0% dan 100%. Beton dengan campuran limbah 100% memiliki kuat tekan optimum pada umur 28 hari sebesar 37,3 MPa. Pada pengujian TCLP, pasir limbah *sandblasting* telah memenuhi baku mutu TCLP dengan nilai sebesar 0,0067 mg/L sehingga layak digunakan sebagai material bangunan. (Sugiartiningsih et al., 2022)

Serat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan tekan pada komposit semen. Efektivitas serat dalam meningkatkan kapasitas penyerapan energi bergantung pada sifat *bond-slip* yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti fraksi volume, orientasi, bentuk, dan panjang serat (El-Abbasy, 2023). Serat sabut kelapa dapat digunakan sebagai tambahan dalam pembuatan *cementitious composite*. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Arham dan Surianti menunjukkan bahwa kekuatan beton serat meningkat dengan penambahan serat sabut 0,50% menjadi 272,14 kgf.cm<sup>2</sup>, meningkat 29,55%

dibandingkan *cementitious composite* normal tanpa penambahan serat (Surianti & Arham, 2017). Pada penelitian yang dilakukan Gunawan dkk (2021) serat sabut kelapa digunakan sebagai penguat beton SCC dengan panjang serat 3cm. Serat sabut kelapa dilakukan pengolahan dengan cara direbus selama 2 jam. Hasilnya dengan penggunaan serat sabut kelapa sebesar 0,5% memiliki nilai kuat tekan paling tinggi yang meningkat 5,75% dari beton SCC biasa. (Gunawan et al., 2021)

Penelitian ini mengidentifikasi bagaimana pengaruh komposisi campuran terhadap kuat tekan. Komposisi yang akan digunakan adalah *fly ash* dengan substitusi 20% sebagai material pengganti atau bahan tambah dan penggunaan pasir limbah *sandblasting* sebagai agregat halus serta serat sabut kelapa sebagai tambahan penguat pada campuran.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Karakterisasi Material

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan beberapa variasi komposisi untuk mix design. Pada penelitian ini terdapat beberapa bahan yang digunakan diantaranya *fly ash*, pasir limbah *sandblasting*, semen PCC,  $\text{CaCO}_3$  (kalsium), serat sabut kelapa dan superplasticizer.

Karakterisasi material adalah proses pengujian dan analisis sifat-sifat material untuk mengetahui karakteristiknya. Analisis XRF adalah contoh analisis karakterisasi material yang didasarkan pada perilaku atom yang terkena radiasi. Interaksi atom dengan sinar-X dapat menyebabkan fenomena yang dipengaruhi oleh intensitas sinar-X yang kuat. Analisis XRD adalah contoh analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola difraksi cahaya yang terjadi ketika berkas cahaya mengenai material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya (Setiabudi et al., 2012). Pada penelitian ini dilakukan analisis XRD dan XRF pada material semen PCC dan *fly ash*.

Tabel 1 Hasil Pengujian XRF *Fly ash*

| Parameter                                   | Unit | Result |
|---|------|--------|
| Silicon Dioxide ( $\text{SiO}_2$ )          | %    | 47,51  |
| Aluminium Oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | %    | 19,27  |
| Ferric Oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )    | %    | 18,46  |
| Calcium Oxide (CaO)                         | %    | 8,89   |
| Sulfur Trioxide ( $\text{SO}_3$ )           | %    | 0,77   |

*Fly ash* digunakan sebagai substitusi semen pada pembuatan *cementitious composite* karena *fly ash* memiliki sifat pozzolanik (Suarnita, 2011). Reaksi pozzolanik pada *fly ash* adalah proses kimia yang terjadi antara bahan-bahan dalam *fly ash* dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang dihasilkan dari hidrasi semen. Proses ini meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton. (Wijaya et al., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Setiawati (2018) tentang penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah, dapat meningkatkan kuat tekan seiring dengan bertambahnya proporsi *fly ash* (Setiawati, 2018). Bumrongjaroen dalam Wijaya (2021) mengatakan bahwa komposisi kimia dalam *fly ash* mempengaruhi reaksinya dengan semen. Setelah pencampuran, analisis komposisi kimia semen dengan XRF dilakukan. Hasil menunjukkan bahwa kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam semen meningkat seiring dengan jumlah *fly ash* yang ditambahkan. Pada sampel tanpa penambahan *fly ash* (0%), kandungan  $\text{SiO}_2$  adalah 21,20%, dan naik seiring dengan jumlah *fly ash* yang ditambahkan hingga 25,95%. Kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam semen sangat berpengaruh pada kekuatan tekan mortar karena  $\text{SiO}_2$  adalah bahan utama dalam mortar (Wijaya et al., 2021).

Dari hasil pengujian xrf pada tabel 1 dapat diidentifikasi pada *fly ash* yang digunakan tergolong tipe F. Kualifikasi *fly ash* tipe F ditentukan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh ASTM C618. *Fly ash* yang digunakan memiliki kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 85,24% dimana lebih tinggi dari standar ASTM yaitu 50%. Kandungan CaO sebesar 8,89% dimana lebih rendah dari standar ASTM yaitu 18%. Kandungan  $\text{SO}_3$  sebesar 0,77% dimana lebih rendah dari standar yaitu 5,0% dan presentase hilang pijar lebih rendah dari standar yaitu 6%. Semua nilai tersebut memenuhi standar yang ditetapkan oleh ASTM C618 untuk klasifikasi *fly ash* tipe F (Suraneni et al., 2021).

Tabel 2 Hasil Pengujian XRD *Fly ash*

| Name of Crystal         | Chemical Formula   | Result (%) |
|-------------------------|--|------------|
| Quartz                  | $\text{SiO}_2$   | 26,96      |
| Magnetite               | $\text{Fe}_3\text{O}_4$  | 14,41      |
| Mullite 3:2             | $(\text{Al}_2\text{O}_3)_3(\text{SiO}_2)$                            | 9,46       |
| Hematite                | $\text{Fe}_2\text{O}_3$  | 4,70       |
| Brownmillerite (Si, Mg) | $\text{Ca}_2\text{Fe}_{1,2}\text{Mg}_{0,4}\text{Si}_{0,4}\text{O}_5$ | 3,66       |
| Diopside                | $\text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6$  | 3,29       |
| Hkl_phase               |  | 30,38      |

Pratiwi (2020) dalam penelitiannya melakukan pengujian XRD *fly ash* A, B, dan C dimana dari ketiga *fly ash* tersebut mempunyai puncak dan puncak-puncak tertentu pada diagram  $2\theta$  yang berarti *fly ash* tersusun atas bahan-bahan yang amorf dan kristal. Silica dan alumina terikat dalam *fly ash* sebagai quartz, mullite, atau bagian amorf. Karena fase amorf lebih reaktif daripada fase kristal, banyaknya silika dan alumina terlarut tidak ditentukan oleh kadar oksida silika dan alumina total. Posisi puncak yang dihasilkan adalah fase kristal quartz, mullite dan hematite. *Fly ash* A, B, dan C dengan masing-masing memiliki keamorfan 65,81%, 75,02% dan 57,07%. *Fly ash* B merupakan *fly ash* yang berpotensi menyumbang kekuatan dikarenakan memiliki kadar amorf terbesar. *Fly ash* dapat dikatakan semakin reaktif apabila derajat keamorfan semakin tinggi dikarenakan reaksi pozzolanic *fly ash* ditentukan oleh kadar amorf *fly ash*. (Pratiwi, 2019). Hasil pengujian XRD *Fly ash* pada Tabel 2. menunjukkan bahwa fase kristal yang paling dominan adalah *Quartz* sebesar 26,96%, *Magnetite* sebesar 14,41% dan dengan *Hkl phase* sejumlah 30,38%.

Tabel 3 Hasil Uji XRF Semen PCC

| No | Parameter   | Satuan | Hasil |
|----|---|--------|-------|
| 1  | Silicon Dioxide (SiO <sub>2</sub> )               | %      | 17,33 |
| 2  | Aluminium Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | %      | 4,73  |
| 3  | Ferric Oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )    | %      | 3,31  |
| 4  | Calcium Oxide (CaO)                               | %      | 56,24 |
| 5  | Magnesium Oxide (MgO)                             | %      | 1,98  |
| 6  | Sulfur Trioxide (SO <sub>3</sub> )                | %      | 1,74  |
| 7  | Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)                  | %      | 0,72  |
| 8  | Potassium Oxide (K <sub>2</sub> O)                | %      | 0,64  |
| 9  | Mangan (II) Oxide (MnO)                           | %      | 0,06  |
| 10 | Copper (II) Oxide (CuO)                           | %      | 0,03  |
| 11 | Chlorida (Cl)                                     | %      | 0,09  |
| 12 | Zirconium Dioxide (ZrO <sub>2</sub> )             | %      | 0,01  |
| 13 | Strontium Oxide (SrO)                             | %      | 0,03  |

Semen PCC digunakan karena termasuk material ramah lingkungan yang masuk daftar produk Hijau dari Green Listing Indonesia dikeluarkan oleh Green Building Council Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Yanita dkk (2020), beton yang menggunakan semen PCC dan semen PC dapat mencapai kuat tekan (fc') rencana. Kuat tekan yang didapatkan dengan semen PCC mencapai 25,15 MPa lebih besar dari kuat tekan rencana 25 MPa (Yanita, 2020). Semen PCC yang digunakan pada penelitian ini merupakan Semen PCC merek Semen Gresik. Hasil pengujian XRF Semen PCC pada Tabel 3. dapat diketahui bahwa komposisi dominan dengan nilai presentase tinggi pada CaO sebesar 56,24% dan SiO<sub>2</sub> sebesar 17,33%. Kandungan SO<sub>3</sub> sebesar 1,74% (< 4%) telah memenuhi persyaratan sifat kimia semen PCC yang tertera pada SNI 7064:2014.

Tabel 4 Hasil Uji XRD Semen PCC

| Nama Kristal    | Formula Kimia   | Nilai (%) |
|-----------------|---|-----------|
| Dolomite        | CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>   | 26,46     |
| C3S <M1>        | Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>  | 16,41     |
| C2S_beta        | Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>  | 12,74     |
| Actinolite      | Na <sub>0,8</sub> Ca <sub>1,73</sub> Mg <sub>1,88</sub> Mn <sub>0,16</sub><br>Fe <sub>2,72</sub> Fe <sub>0,32</sub> Al <sub>0,32</sub> Si <sub>7,68</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> | 9,13      |
| C3S <M3>        | Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>  | 6,99      |
| Portlandite     | Ca(OH) <sub>2</sub>   | 3,00      |
| Quartz          | SiO <sub>2</sub>  | 0,97      |
| Amorphous_Phase |   | 0,40      |

Hasil pengujian XRD Semen PCC pada Tabel 4. Dapat disimpulkan bahwa nilai paling tinggi ada pada fase kristalin *dolomite* (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) sebesar 24,46% yang mana semen ini lebih banyak mengandung batu kapur. Dominasi presentase tinggi pada *Tricalcium Silicat* (C3S) dan *Dicalcium Silicat* (C2S) yang dihasilkan akan membuat sifat basa kuat (pH 12,5). Hal ini menyebabkan semen menjadi sensitif terhadap asam dan mencegah korosi pada baja (Widojoko, 2010). Pradana dkk (2016) dalam penelitiannya membandingkan beton dengan campuran semen OPC, semen OPC+10%POFA dan semen PCC dalam proses curing di air biasa dan lingkungan gambut. Pada air biasa beton dengan semen OPC sebesar 37,35 MPa memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada semen PCC. Sedangkan pada lingkungan gambut campuran dengan semen PCC memiliki nilai kuat tekan paling tinggi yaitu 35,44 MPa dibanding semen OPC. Pada semen OPC mengalami penurunan dikarenakan reaksi antara asam dan pasta semen (Ca(OH)<sub>2</sub>). Pelepasan partikel beton menyebabkan kuat tekan beton menurun. (Pradana et al., 2016)

## 2.2 Analisis Gradasi Pasir Limbah Sandblasting

Penggunaan pasir limbah *sandblasting* sebagai agregat halus karena pasir limbah *sandblasting* memiliki senyawa silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi, sehingga diharapkan dapat mendapatkan kuat tekan yang melebihi dari beton normal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abdillah dan Muhabbah (2020) bahwa pasir limbah *sandblasting* dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus. Pada campuran 100% pasir limbah *sandblasting* menghasilkan kuat tekan maksimal 31,61 pada umur 28 hari (Abdillah & Muhabbah, 2020).

Tabel 5 Hasil Analisis Gradasi Pasir Limbah *Sandblasting*

| Ukuran Ayakan<br>(mm) | Tertahan    |        |        | Lolos  |
|-----------------------|-------------|--------|--------|--------|
|                       | Gram        | %      | S%     | S%     |
| 2,300                 | 0,00        | 0,00   | 0,00   | 100,00 |
| 1,150                 | 18,20       | 3,81   | 3,81   | 96,19  |
| 0,630                 | 54,60       | 11,44  | 15,25  | 84,75  |
| 0,300                 | 92,60       | 19,40  | 34,65  | 65,35  |
| 0,150                 | 214,30      | 44,90  | 79,55  | 20,45  |
| 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     | <b>2,26</b> |        |        |        |

Berdasarkan hasil Analisa gradasi pasir limbah *sandblasting* pada Tabel 5. hasil tersebut termasuk dalam kategori agregat halus berdasarkan distribusi ukuran partikelnya. Namun, modulus kehalusannya (2,26) sedikit di bawah rentang standar ASTM C33. Meski demikian, material ini hampir memenuhi standar yang ditetapkan untuk agregat halus, dan mungkin masih dapat digunakan tergantung pada persyaratan spesifik proyek dan hasil pengujian tambahan (Putra et al., 2014).

## 2.3 Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa dengan NaOH

Menggabungkan serat tanaman, terutama serat kelapa, dapat mengurangi efek bahan bangunan berbasis semen terhadap lingkungan. Serat kelapa murah, mudah diperoleh, dapat didaur ulang, dan memiliki kepadatan rendah. Mereka bertindak seperti orang yang stres. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa komposit semen dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanis dengan meningkatkan peregangan serat kelapa. Namun, untuk menggunakannya, diperlukan pemahaman yang lebih baik tentang sifat fisik dan kimia serat. Tujuan penelitian eksploratif ini adalah untuk membandingkan kinerja fisik dan mekanis matriks semen yang diperkuat dengan jaringan tekstil serat kokos dan serat kelapa. Penelitian ini menggunakan penelitian sebelumnya yang tersedia sebagai referensi. (Martinelli et al., 2023)

Penelitian yang dilakukan oleh Purwanto, dkk (2021) dengan komposisi campuran semen, pasir, batu pecah da air dengan variasi serat 0%, 0,15%, 0,30% dan 0,45% menghasilkan campuran variasi 0,15% serabut kelapa mencapai 21,11 MPa, sedangkan campuran variasi 0,30% 20,83 MPa dan 0,45% 19,89 MPa masing-masing mengakibatkan penurunan kuat tekan beton normal menjadi 22,24 MPa. Penelitian ini tidak menggunakan perlakuan alkali pada serat sabut kelapa. Semakin banyak variasi serabut kelapa yang digunakan, semakin banyak air semen yang diserap. (Purwanto et al., 2021)

Perlakuan alkali adalah metode kimia yang paling sering digunakan untuk memodifikasi serat alami. Tujuan utama dari proses alkalisasi ini adalah mengubah ikatan hidrogen dalam struktur serat untuk meningkatkan kekasaran permukaan serat. Selain itu, alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan komponen serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka, seperti hemiselulosa, lignin, dan pektin (Maryanti et al., 2011). Pada penelitian yang dilakukan oleh Fandy, dkk (2013), perlakuan alkali dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kadar optimum yang digunakan untuk serat sabut kelapa adalah 0,5%. Proses perlakuan alkalisasi pada serat sabut kelapa dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap karakteristik dan kekuatan pada serat tersebut. Serat yang dilakukan perlakuan alkali dengan NaOH pada konsentrasi 1 M menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 37,5% dan kuat tarik *cementitious composite* sebesar 13%. Serat yang dialkalisasi dengan NaOH pada konsentrasi 1,25 M menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 33% dan kuat tarik *cementitious composite* sebesar 18%. (Fandy et al., 2013).

Menurut Ramli et al., penggabungan serat kelapa meningkatkan sifat daya tahan. Untuk berbagai waktu, kekuatan dan daya tahan komposit beton dengan serat kelapa diuji dalam berbagai kondisi agresif, seperti paparan air laut dan udara. Ada beberapa tes daya tahan yang dilakukan, termasuk kedalaman karbonasi, permeabilitas intrinsik, dan penetrasi klorida. Selain itu, struktur mikro dan mineralogi dipelajari dengan menggunakan pemindaian mikroskop elektron dan difraksi sinar-X. Hasil menunjukkan dengan jelas bahwa kuat

tekan meningkat 13% dan kekuatan lentur meningkat 9% karena penambahan serabut kelapa. (Ramli et al., 2013)

Pada penelitian ini kadar serat sabut kelapa digunakan sebesar 0,5% dari volume total binder. Panjang serat ditentukan sebesar 8 mm dikarenakan untuk meminimalisir adanya rongga ketika mortar dimasukkan pada cetakan. Proses perlakuan alkali ini dapat dilakukan dengan mencampur NaOH dan air sehingga menjadi larutan NaOH dan perendaman dilakukan selama 2 jam.

## 2.4 Metode

Perencanaan campuran *cementitious composite* dilakukan untuk mendapatkan mutu yang sesuai dengan yang direncanakan. Pada penelitian ini, binder yang digunakan adalah semen *Portland Composite* (PCC), *fly ash* dan  $\text{CaCO}_3$ . Agregat halus menggunakan pasir limbah *sandblasting* dengan tambahan penguat serat sabut kelapa dengan panjang  $\pm 8\text{mm}$ . Adapun variasi komposisi yang akan digunakan sebagai acuan penelitian yang mengacu pada ACI 239-19 2019. Pembuatan benda uji mengacu pada ASTM C-39 yaitu silinder berukuran 75 x 150 mm.

Tabel 6. Komposisi Campuran *Cementitious composite*

| Kode | Fly ash | Pasir Limbah Sandblasting | Superplasticizer | Air | Serat Sabut Kelapa |
|------|---------|---------------------------|------------------|-----|--------------------|
| A1   | 0%      | 100%                      | 2%               | 0,3 | 0,5%               |
| A2   | 20%     | 100%                      | 2%               | 0,3 | 0,5%               |

Pembuatan spesimen uji *cementitious composite* diawali dengan memastikan pasir harus dipastikan lolos dalam saringan 2,3 mm. Setelah semen melalui proses pengayakan, dapat dilakukan pencampuran dengan binder (Semen, *Fly ash* dan  $\text{CaCO}_3$ ). Saat binder dan agregat sudah tercampur, kemudian dimasukkan air dan superplasticizer secara bertahap. Serat dimasukkan ketika bahan sudah terbentuk menjadi pasta. Pasta *cementitious composite* dimasukkan pada cetakan uji tekan. Spesimen tersebut ditunggu selama 1 hari setelah proses pengecoran, lalu spesimen dapat dilepaskan dari cetakan dan melalui proses curing. Proses curing dilakukan untuk menjaga kelembapan spesimen, proses ini dilakukan selama 28 hari. Setelah waktu yang sudah terpenuhi, dapat dilakukan pengujian tekan (toleransi waktu  $\pm 6$  jam). (ASTM International, 2001)



Figure 1 Spesimen *Cementitious composite*

Pengujian tekan dilakukan setelah spesimen melalui masa curing selama 28 hari. Kuat tekan sebuah material adalah kekuatan tekannya yang maksimal per satuan luasnya. Koefisien air-semen (koefisien air-semen =  $w/c$ ), jenis dan jenis agregat, jenis campuran, kemampuan kerja, pengerasan, dan umur beton semua memengaruhi kuat tekannya, yang biasanya berkisar antara 20 dan 40 MPa. Rasio air-semen, atau koefisien air-semen, sangat berpengaruh, dengan jumlah air yang lebih rendah sebanding dengan kuat tekannya. Sifat beton dan jenis agregat yang digunakan memengaruhi kekuatan tekannya. Semakin keras agregat yang digunakan, semakin tinggi kuat tekannya. Selain itu, ketika partikel agregat disusun dengan baik dan tidak rata, interaksi antar agregat meningkat, menghasilkan beton padat dengan kuat tekan yang tinggi. (A, 2018)

Pada uji tekan ini terdapat 2 komposisi dengan replikasi 3 spesimen. Dilakukan uji kekuatan tekan untuk mengetahui perlakuan terhadap sifat mekanik pada material. Pengujian tekan ini mengacu pada ASTM C 39. Kuat tekan *cementitious composite* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana :

- $f'_c$  = Kuat tekan *cementitious composite* (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas bidang tekan benda uji (mm<sup>2</sup>)

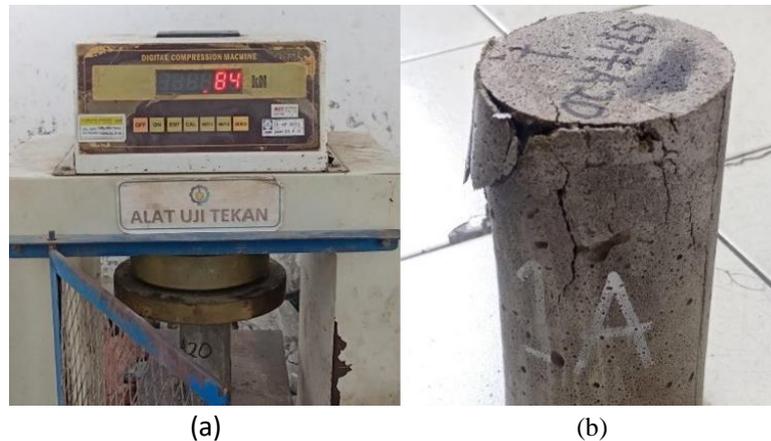


Figure 2 (a) Pengujian Tekan Spesimen. (b) Kondisi Spesimen Setelah Pengujian

### 3. Hasil dan Diskusi

Pengujian tekan dilakukan untuk mendapatkan beban tekan maksimum yang dapat ditahan oleh *cementitious composite*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat usia 28 hari yang mengacu pada ASTM C39. Pengujian kuat tekan *Cementitious composite* dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Gedung (LMSG), Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian dilakukan terhadap 3 *Cementitious composite* silinder diameter 75 mm dan tinggi 150 mm. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Pada Umur 28 Hari

| Fly ash<br>(% Vt) | Nilai Kuat Tekan    |                               |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|
|                   | Kuat Tekan<br>(MPa) | Kuat Tekan Rata-Rata<br>(MPa) |
| 0                 | 19,25               | 19,70                         |
|                   | 19,7                |                               |
|                   | 20,16               |                               |
| 20                | 20,38               | 21,29                         |
|                   | 21,06               |                               |
|                   | 22,42               |                               |

Berdasarkan pada tabel 7. hasil pengujian tekan *cementitious composite* pada umur 28 hari, campuran tanpa *fly ash* 0% menghasilkan nilai kuat tekan terendah sebesar 19,25 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi pada campuran 0% *Fly ash* mencapai 20,16 MPa dan rata-rata dari replikasi 3 spesimen mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 19,70 MPa. Sementara itu, untuk campuran dengan 20% *fly ash*, hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tekan terendah pada nilai 20,36 MPa dan tertinggi pada 22,42 MPa. Nilai rata-rata kuat tekan untuk campuran ini adalah 21,29 MPa. Adanya substitusi *fly ash* sebesar 20% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 8,07%.

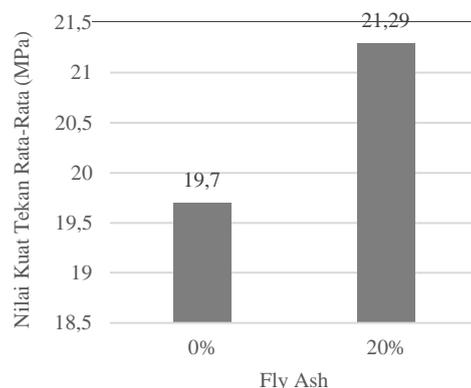


Figure 3 Pengaruh *Fly ash* Terhadap Kuat Tekan *Cementitious composite*

Gambar 1. Menunjukkan peningkatan signifikan dalam kuat tekan komposit semen dengan penambahan *fly ash*. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dapat berperan sebagai bahan penguat dalam campuran semen. Penambahan *fly ash* sebesar 20% meningkatkan kekuatan material komposit, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai kuat tekan rata-rata. Kedua nilai kuat tekan ini telah memenuhi standart SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton structural untuk bangunan Gedung. Nilai kuat tekan minimum pada SNI untuk beton normal sebesar 17 MPa. Nilai kuat tekan *cementitious composite* dengan dan tanpa campuran *fly ash* sudah memenuhi standart. Substitusi *fly ash* sebesar 20% dapat meningkatkan kuat tekan beton dalam jangka panjang karena reaksi pozzolanik yang terjadi lebih lambat dibandingkan dengan hidrasi semen.

Kenaikan nilai kuat tekan pada *cementitious composite* ini dikarenakan *fly ash* mengandung senyawa silika dan alumina yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan selama hidrasi semen, membentuk senyawa tambahan seperti kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang meningkatkan kekuatan (Wang, 2021). Semakin banyak *fly ash* yang ditambahkan, semakin kuat tekan. Ini disebabkan oleh fakta bahwa senyawa  $\text{SiO}_2$  dari *fly ash* bereaksi dengan CaO pada semen untuk membentuk senyawa C<sub>2</sub>S dan C<sub>3</sub>S. Saat semen dicampur dengan air, akan terjadi reaksi hidrasi, atau pengikatan terhadap molekul H<sub>2</sub>O. Senyawa C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S pada semen akan bereaksi dengan air untuk membuat kalsium silicate hydrate (C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> atau C-S-H), yang merupakan senyawa utama yang memberikan tekanan yang kuat pada semen setelah mengering. Namun, reaksi ini akan menghasilkan kalsium silicate bebas jika terjadi pada kondisi yang tidak ideal (Wijaya et al., 2021).

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wijaya dkk (2021) bahwa penambahan *fly ash* dalam campuran semen dapat menambah komponen oksida semen  $\text{SiO}_2$  sehingga dapat memebanyak jumlah senyawa C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dimana komponen tersebut adalah komponen utama semen. Penambahan *fly ash* juga memperbaiki kualitas semen sehingga menaikkan kuat tekan dan mengurangi keretakan atau ekspansi semen. Wijaya dkk juga menjelaskan bahwa penambahan *fly ash* sebesar 5% kadar *free lime* menurun 1,51%. Hal ini terjadi karena keberadaan silika alumina yang berasal dari *fly ash* dan bereaksi dengan kalsium oksida sehingga mengurangi kadar *free lime*. *Fly ash* memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang menyebabkan reaksi saling mengikat dengan CaO dan membentuk C<sub>3</sub>S, sehingga keberadaan Ca(OH)<sub>2</sub> semakin sedikit karena CaO bebas berkurang (Wang, 2021). Adanya C<sub>3</sub>S pada *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan mortar (Wijaya et al., 2021).

#### 4. Kesimpulan

Penambahan *fly ash* mempengaruhi nilai kuat tekan pada *cementitious composite*. Komposisi campuran tanpa adanya *fly ash* memiliki nilai kuat tekan terendah sebesar 19,25 MPa. Penambahan *fly ash* sebesar 20% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 8,07% dengan nilai kuat tekan maksimal 22,42 MPa. Nilai kuat tekan ini juga dapat dipengaruhi oleh penambahan serat sabut kelapa sebagai penguat dan penggunaan pasir limbah *sandblasting* sebagai agregat halus.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai penuh oleh pendanaan DIPA PPNS 2024, dan didukung oleh Laboratorium Beton, Material Maju, dan Komputasi Mekanik Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

#### Daftar Pustaka

A, A. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standar Sni 7656-2012 Dan Astm C 136-06. *Rang Teknik Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.31869/Rtj.V1i2.760>

- Abdillah, N., & Muhabbah, Z. (2020). Pemanfaatan Limbah *Sandblasting* Pasir Silika Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Beton. *Jurnal Unitek*, 12(1), 10–16. <https://doi.org/10.52072/Unitek.V12i1.44>
- Astm International. (2001). Standard Test Method For Compressive Strength Of Cylindrical Concrete Specimens 1 - Astm C39/C39m - Standard. *Annual Book Of Astm Standards*, 04.02(July), 1–7.
- El-Abbasy, A. A. (2023). Tensile, Flexural, Impact Strength, And Fracture Properties Of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete – A Comprehensive Review. *Construction And Building Materials*, 408(August). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133621>
- Fandy, Anita, Handoko, Fandy, Anita, & Handoko. (2013). Pengaruh Pemanfaatan Serat Sabut Kelapa Dengan Perlakuan Alkali Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 1–8.
- Gunawan, T. A., Moreno, M., & Sugiharto, H. (2021). *Pengaruh Perlakuan Serat Sabut Kelapa Terhadap Karakteristik Dan Kekuatan Coconut Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete*. 185–191.
- Martinelli, F. R. B., Ribeiro, F. R. C., Marvila, M. T., Monteiro, S. N., Filho, F. Da C. G., & Azevedo, A. R. G. De. (2023). A Review Of The Use Of Coconut Fiber In Cement Composites. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 5). Mdpi. <https://doi.org/10.3390/Polym15051309>
- Maryanti, B., Sonief, A. A., & Wahyudi, S. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 123–129.
- Pradana, T., Olivia, M., & Sitompul, I. R. (2016). Kuat Tekan Dan Porositas Beton Semen Opc, Pcc, Dan Opc Pofa Di Lingkungan Gambut. *Jom Fteknik*, 3(2), 8.
- Pratiwi, W. D. (2019). Hubungan Morfologi , Ukuran Partikel Dan Keamorfian *Fly ash* Dengan Kuat Tekan Pasta. *Seminar Nasional Master 2019. Maritim, Sains Dan Teknologi Terapan*, 92–98. <https://journal.ppps.ac.id/index.php/seminarmaster/article/view/1316/946>
- Purwanto, P., Rahmawati, D., & Sutarno, S. (2021). Pengaruh Penggunaan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. *Teknika*, 16(2), 49. <https://doi.org/10.26623/Teknika.V16i2.4224>
- Putra, S. D., Setyanto, N. W., & Efranto, R. Y. (2014). Pemanfaatan Silica Fume Limbah *Sandblasting* Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Batako Pejal Dengan Taguchi Quality Engineering (Studi Kasus: Pt X Pasuruan). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*, 2(2), P438-447. <http://jrmsi.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jrmsi/article/view/106>
- Ramli, M., Kwan, W. H., & Abas, N. F. (2013). Strength And Durability Of Coconut-Fiber-Reinforced Concrete In Aggressive Environments. *Construction And Building Materials*, 38, 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.002>
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia. In *Upi Press* (Vol. 1).
- Setiawati, M. (2018). *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 1–8.
- Suarnita, I. Wayan. (2011). Kuat Tekan Beton Dengan Aditif *Fly ash* Ex. Pltu Mpanau Tavaeli. *Jurnal Smartek*, 9(1), 1–10.
- Sugartiningasih, S., Setiawan, A., & Sutrisno, W. (2022). Pemanfaatan Pasir Silika Limbah *Sandblasting* Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Strucrtal Lightweight Foamed Concrete (Slfc). *Conference Proceeding On Waste Treatment Technology*, 5(1), 50–54.
- Sulamsi, S., Hasanbasri, M., & Rustamaji. (2022). Identifikasi Dampak Industri Semen Yang Merugikan Masyarakat. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Sainstek (Snpbs) Ke-Vii 2022*, 280–289.
- 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>
- Surianti, S., & Arham, A. (2017). Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*, 6(1), 57–64. <https://doi.org/10.55340/Jmi.V6i1.588>

- Tikalsky, P. J., Cook, J. E., Dewey, G. R., Dunstan, E. R., Jordan, E. S., Klieger, P., & Werner, O. R. (2001). *Use Of Raw Or Processed Natural Pozzolans.Pdf*. 1–24.
- Triyanti, A. R. (2018). Studi Pemanfaatan *Fly ash* Dan Limbah *Sandblasting* (Silica Fume) Pada Binder Geopolimer. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 132. <https://Repository.Its.Ac.Id/2975/>
- Wang, X. Y. (2021). Evaluation Of The Properties Of Cement–Calcined Hwangtoh Clay–Limestone Ternary Blends Using A Kinetic Hydration Model. *Construction And Building Materials*, 303(August), 124596. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124596>
- Widjojoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil Ubl*, 1(1), 52–59.
- Wijaya, R. A., Wijayanti, S., & Astuti, Y. (2021). *Fly ash* Limbah Pembakaran Batubara Sebagai Zat Mineral Tambahan (Additive) Untuk Perbaikan Kualitas Dan Kuat Tekan Semen. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 127–134.
- Yanita, R. (2020). Semen Pcc Sebagai Material Green Construction Dan Kinerja Beton Yang Dihasilkan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 19(1), 13–18.
- Zhou, Y., Guo, W., Zheng, S., Xing, F., Guo, M., & Zhu, Z. (2023). Development Of Sustainable Engineered *Cementitious composites* By Incorporating Local Recycled Fine Aggregate. *Polymers*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/polym15122701>
- Zych, T. (2014). *New Generation Cementitious composites With Fibres – Properties And Application Fibrokompozyty Cementowe Nowej Generacji – Właściwości I Zastosowania*. 8-A.