

## Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer

Muhammad Firas Mualim, Erma Desimaliana\* & Ratih Dewi Shima

Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PHH Mustofa No. 23, Bandung – 40 124, Indonesia

Email: [ermadesmaliana@itenas.ac.id](mailto:ermadesmaliana@itenas.ac.id)

Dikirim: 24 Juni 2025

Direvisi: 28 Juli 2025

Diterima: 29 Juli 2025

### ABSTRAK

Penggunaan semen dalam pembuatan mortar konvensional berpotensi menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, terutama emisi gas rumah kaca CO<sub>2</sub>. Hal tersebut dapat diatasi dengan pembuatan mortar geopolimer, yang material penyusunnya terdiri dari *fly ash* (FA) dan abu ampas tebu (AAT) sehingga menjadi lebih ramah lingkungan. Kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada kedua material ini bersifat pozzolanik dalam pembentukan reaksi geopolimerisasi dengan larutan alkali aktivator (AA). Larutan AA dengan rasio 1 NaOH : 2 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Inovasi penggunaan AAT pada mortar geopolimer diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan dan memperlambat *setting time*. Metode penelitian ini berupa eksperimental di laboratorium dengan 3 variasi *mixed-design mortar* geopolimer yaitu 100%FA:0%AAT, 85%FA:15%AAT, dan 70%FA:30%AAT. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji *setting time* serta uji kuat tekan mortar geopolimer pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan AAT mampu meningkatkan nilai kuat tekan mortar geopolimer sebesar 1,88% pada variasi 2; sedangkan pada uji *setting time* terjadi perlambatan seiring dengan bertambahnya AAT yang digunakan dalam campuran mortar geopolimer. Hal ini menunjukkan bahwa AAT dapat direkomendasikan sebagai substitusi FA sebesar 15% pada campuran mortar geopolimer karena mampu melebihi kuat tekan rencana mortar tipe M sebesar 41,68 MPa sehingga dapat diaplikasikan pada dinding dekat tanah, adukan pipa air kotor/dinding penahan tahanan/untuk jalan.

**Kata kunci:** abu ampas tebu, *fly ash*, mortar geopolimer

### 1. PENDAHULUAN

Di dunia konstruksi penggunaan semen berpotensi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan seperti emisi gas rumah kaca CO<sub>2</sub>. Untuk mengurangi penggunaan semen, maka diperlukan material alternatif yang ramah lingkungan seperti geopolimer. Geopolimer memanfaatkan material yang mengandung SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seperti *fly ash* (limbah pembakaran batu bara), abu sekam padi, abu tempurung kelapa (Anisa et al. 2024; Sihombing et al. 2019), abu serabut kelapa, abu kelapa sawit, dan material vulkanik. Material lainnya seperti limbah kaca (Angelika et al. 2023; Sandika et al. 2025), limbah karbit (Hidayattulloh and Desimaliana 2025; Rombe et al. 2023), limbah pecahan keramik (Hendarto et al. 2023), limbah marmer (Desimaliana et al. 2024), limbah bata ringan (Pratama and Desimaliana 2024) dan serbuk cangkang kerang (Desimaliana, et al. 2025) juga dapat digunakan sebagai material penyusun geopolimer.

Mortar disusun dari beberapa material meliputi semen Portland, agregat halus dan air (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Mortar berfungsi untuk menambah lekatan pada bagian konstruksi tertentu lainnya, serta ketahanan ikatan dengan beberapa penyusun suatu konstruksi. Mortar memiliki kelebihan lain yaitu harga yang relatif murah, sangat mudah dikerjakan dan dapat dibentuk sesuai dengan yang dibutuhkan. Oleh karena itu, mortar banyak digunakan dalam berbagai konstruksi pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, ataupun jalan raya. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh ikatan yang terjadi antara pasta semen terhadap partikel agregat halus (ASTM International, 2010), serta perbandingan antara material penyusun yang satu dengan yang lainnya. Mortar berukuran kubus kecil dengan dimensi sisi 5×5×5 cm. Spesifikasi mortar dibagi menjadi 4 (empat) tipe yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Mortar geopolimer merupakan mortar dengan material pengikat (binder) yang sepenuhnya tidak menggunakan semen sama sekali, tetapi menggunakan *fly ash* (FA) sebagai pengganti karena kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang sangat tinggi (Musyafa et al. 2023). FA yang digunakan dalam campuran mortar geopolimer, akan diaktifkan reaksi polimerisasinya dengan larutan alkali aktivator (AA) berupa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH sebagai katalisatornya. Mortar geopolimer memiliki kelebihan antara lain tahan terhadap serangan asam sulfat, reaksi alkali silika, api; rangkai dan susut yang kecil; serta berkurangnya polusi udara. Di samping itu, mortar geopolimer juga memiliki kekurangan antara yaitu belum ada perhitungan *mix-design* yang pasti (Wenda et al. 2018). Mortar geopolimer memiliki kelebihan hemat energi dan ramah lingkungan, karena proses

geopolimerisasi hanya memerlukan pemanasan di suhu yang relatif rendah dan energi yang lebih kecil dibandingkan pembuatan semen Portland. FA merupakan salah satu residu dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Berdasarkan ASTM International (2012), FA terbagi menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu tipe C, N, dan F. FA tipe C memiliki kandungan kimia berupa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimal 50% dan kandungan CaO lebih dari 10%; kemudian kandungan yang terdapat pada FA tipe N adalah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimal 70% dan kandungan CaO lebih dari 10%; serta untuk FA tipe F memiliki kandungan berupa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimal 70% dan kandungan CaO kurang dari 10%. Berdasarkan kandungan yang dimilikinya, maka FA tipe F cocok untuk dibuat mortar geopolimer karena mengandung  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tinggi serta CaO rendah, sehingga mampu bereaksi baik dengan larutan AA untuk membentuk ikatan polimerisasi (Setiawati et al. 2022).

Tabel 1. Spesifikasi mortar

| Tipe Mortar | Kuat Tekan Minimum (MPa) | Aplikasi                                                                     |
|-------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| M           | 17,2 (tinggi)            | Dinding dekat tanah, adukan pipa air kotor/dinding penahan tahan/untuk jalan |
| S           | 12,4 (sedang)            | Untuk daya rekat tinggi dan adanya gaya samping                              |
| N           | 5,2 (rendah)             | Pasangan dinding yang tidak menahan beban dan tidak ada syarat kekuatan      |
| O           | 2,5 (rendah)             | Konstruksi dinding yang tidak menahan beban berat dan pengaruh cuaca ringan  |

Sumber: (ASTM International, 2010; Badan Standardisasi Nasional, 2012)

Ampas tebu merupakan limbah buangan dari proses penggilingan tanaman tebu (*Saccharum officinarum* Linn) setelah diekstrak niranya pada industri pemurnian gula, mulai dieksplorasi sebagai material dasar dalam industri kecil dan kerajinan (Anisya et al. 2020). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik bahwa produksi tebu di Indonesia mencapai 2,41 juta ton pada tahun 2022, angka tersebut meningkat sebesar 2,45% dari tahun 2021 dari jumlah produksi tebu hanya sebesar 2,35 juta ton. Hasil sampingan berupa limbah padat sisa dari proses penggilingan batang tebu berupa ampas tebu atau *bagasse*. Ampas tebu seringkali dimanfaatkan sebagai bahan bakar pemanasan *boiler* untuk penghasil uap panas pada industri gula (Karimah and Wahyudi 2016; Mahmud et al. 2023; Anggrainy et al. 2024). Meskipun limbah, ampas tebu memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai industri karena ampas tebu terdiri dari beberapa serat yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Anisya et al. 2020). Penambahan abu ampas tebu (AAT) sebesar 10% menunjukkan peningkatan *initial setting*, peningkatan kuat tekan pada umur beton lebih lanjut dengan substitusi 25% – 30% abu ampas tebu terhadap semen Portland (Warsito and Rahmawati, 2020; Karimah and Wahyudi, 2016), serta lebih tahan terhadap lingkungan agresif pada campuran mortar beton. Hal ini dikarenakan abu ampas tebu memiliki kandungan unsur  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sehingga dapat berperan sebagai material *pozzolan* (Warsito and Rahmawati 2020; Mahmud et al. 2023; Rombe et al. 2023; Anggrainy et al. 2024) dan juga *admixture* (Anisa et al., 2024; Pratama dan Chairina, 2023; Saputra et al., 2019) dalam campuran mortar geopolimer. Unsur  $\text{SiO}_2$  sebesar 80,81% yang terkandung dalam abu ampas tebu didapatkan melalui proses pembakaran tungku pabrik gula pada suhu 600–700°C (Mathofani et al, 2023).  $\text{SiO}_2$  umumnya memiliki kemampuan ikatan yang tinggi maka berpotensi sebagai bahan tambah dalam campuran beton.

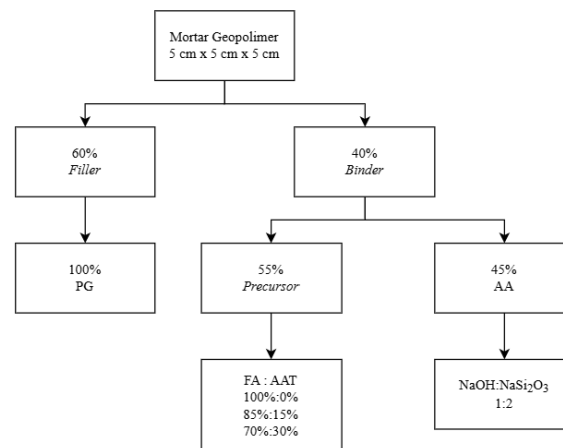
Pada skala internasional, penelitian pertama tentang pemanfaatan AAT sebagai substitusi fly ash yang memiliki komposisi tertentu dipelopori oleh Thoudam dan Thokchom (2019). Pengujian yang dilakukan terhadap beton pada penelitian tersebut berupa kerapatan massa, kuat tekan, porositas, dan daya serap. Pada penelitian tersebut *fly ash* digantikan oleh AAT dengan kombinasi 0%, 5%, dan 10%, berturut-turut menghasilkan kuat tekan sebesar 24 MPa; 22 MPa; dan 20 MPa (Thoudam and Thokchom 2019). Proses curing menggunakan metode oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Penelitian Thoudam dan Thokchom (2019) menggunakan larutan AA dengan rasio NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang tidak dijelaskan secara mendetail. Larutan AA tersebut didiamkan satu hari pada suhu ruangan sebelum dicampurkan dengan campuran beton segar. Namun pada penelitian Thoudam dan Thokchom (2019) tidak menyertakan hasil kuat tekan di atas 7 hari, selain itu campuran beton juga diperkuat dengan menggunakan aluminum oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari batuan bauksit untuk mengatasi asam dan proses korosif akibat reaksi alkali. Tidak disebutkan jumlah bubuk alumina yang digunakan pada campuran beton tersebut. Selain itu, penelitian ini tidak mengamati waktu ikat beton.

Saputra (2024) sudah melakukan penelitian mengenai substitusi AAT terhadap FA dengan kadar 0%; 5%; 10%; dan 15% yang menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer berturut-turut sebesar 8,6 MPa; 9,2 MPa; 9,4 MPa dan 10,4 MPa pada umur 28 hari; serta *final setting time* 135 menit. Penelitian Saputra (2024) menggunakan larutan AA dengan rasio 1 NaOH : 2,5  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tetapi tidak menjelaskan tipe *fly ash*, konsentrasi molaritas, serta metode perawatan yang digunakannya. Dari penelitian terdahulu ini, ide mengenai penggunaan limbah AAT sebagai substitusi FA pada mortar geopolimer bermula. Pada umumnya rasio AAT yang digunakan

berada pada rentang 0% hingga 20%, sedangkan pada penelitian ini rasio substitusi AAT yang dilakukan hingga mencapai 30%. Hal ini dilakukan bertujuan untuk menemukan batas optimum kekuatan tekan mortar geopolimer, serta korelasinya dengan waktu ikat. Selain itu, metode perawatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *membrane*. Oleh karena itu, dengan adanya penggunaan limbah AAT sebagai material substitusi sebagian FA, maka diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer dan memperlambat waktu ikatnya.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung. *Mixed-design* yang digunakan pada penelitian kali ini berdasarkan *trial and error*, menggunakan variasi AAT yang disubstitusikan terhadap FA sebesar 0%, 15% hingga 30%. Hal ini merujuk pada penelitian Mathofani (2023) menunjukkan nilai kuat tekan beton geopolimer yang optimum pada umur 28 hari sebesar 38,78 MPa dengan kadar substitusi AAT 15% terhadap FA. Komposisi AA terdiri dari larutan NaOH dengan konsentrasi 12M (Setiawati et al. 2022) serta larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan rasio 1:2. Komposisi *mixed-design* mortar geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 1**. AAT yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Tengah. Sementara itu, material penyusun campuran mortar geopolimer lainnya yaitu *filler* (agregat halus) berupa Pasir Galunggung (PG), *binder* berupa FA tipe F didapatkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Patiton. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan dengan umur mortar 7, 14, dan 28 hari menggunakan benda uji berbentuk kubus  $5 \times 5 \times 5$  cm sesuai dengan SNI 03-6825-2002, kemudian untuk alat yang digunakan yaitu CTM (Compression Testing Machine). Total benda uji mortar geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 2**.



**Gambar 1.** *Mixed-design* mortar geopolimer

**Tabel 2.** Total benda uji mortar geopolimer

| Kode Sampel | Rasio [%] |     | Umur Pengujian [hari] |    |    | Total Benda Uji [buah] |
|-------------|-----------|-----|-----------------------|----|----|------------------------|
|             | FA        | AAT | 7                     | 14 | 28 |                        |
| 1           | 100       | 0   | 3                     | 3  | 3  | 9                      |
| 2           | 85        | 15  | 3                     | 3  | 3  | 9                      |
| 3           | 70        | 30  | 3                     | 3  | 3  | 9                      |
| Total       |           |     |                       |    |    | 27                     |

Metode perawatan benda uji yang diaplikasikan yaitu metode *membrane*. Metode *membrane* yaitu ketika benda uji mortar geopolimer telah dikeluarkan dari cetakan, benda uji tersebut kemudian dibungkus ke dalam plastik *membrane*. Tujuan dari metode perawatan *membrane* ini yaitu untuk mengurangi proses penguapan air yang terjadi pada mortar geopolimer sehingga proses pengerasan terjadi secara maksimal, serta menghasilkan benda uji dengan mutu yang optimal (Khoiriyah dan Maisytoh, 2016). Metode perawatan dengan melapisi *membrane* pada mortar geopolimer dapat menjadi pilihan agar kandungan air tidak menguap dari campuran mortar geopolimer. Bahan yang digunakan tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan mortar geopolimer. Bahan yang efisien untuk digunakan sebagai lapisan *membrane*, yaitu lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air (Fernando et al. 2023; Desimaliana, et al. 2025). Penggunaan metode perawatan *membrane* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2. Metode perawatan *membrane*

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Uji *Properties Filler*

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji mortar geopolimer, perlu dilakukan pengujian *properties* pada material penyusun mortar geopolimer, salah satunya yaitu agregat halus. Agregat halus berupa pasir Galunggung. Hal tersebut dilakukan agar menjamin kualitas mortar geopolimer. Hasil uji *properties filler* dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Hasil uji *properties filler*

| No. | Uji                                 | Hasil | Spesifikasi | Keterangan |
|-----|-------------------------------------|-------|-------------|------------|
| 1   | Modulus kehalusan                   | 3,27  | 1,5 – 3,8   | Memenuhi   |
| 2   | Kadar air [%]                       | 3,76  | 3 – 5       | Memenuhi   |
| 3   | Berat jenis [gr/cm <sup>3</sup> ]   |       |             |            |
| a.  | <i>Bulk specific gravity on SSD</i> | 2,59  | 2,56 – 2,86 | Memenuhi   |
| b.  | <i>Absorption</i>                   | 2,63  | 2 – 7       | Memenuhi   |
| 4   | Berat isi [gr/cm <sup>3</sup> ]     |       |             |            |
| a.  | Padat                               | 1,64  | 1,4 – 1,9   | Memenuhi   |
| b.  | Gembur                              | 1,51  | 1,4 – 1,9   | Memenuhi   |
| 5   | Kadar lumpur [%]                    | 4,05  | < 5         | Memenuhi   |

Pada **Tabel 3** dapat dilihat hasil uji *properties filler* memiliki nilai modulus kehalusan yang telah memenuhi SNI 03-1968-1990 (pada rentang spesifikasi 1,5 – 3,8) yakni sebesar 3,271. Nilai kadar air diperoleh 3,763%; dan telah memenuhi standar spesifikasi yaitu 3% – 5%. Selanjutnya, nilai *bulk specific gravity on SSD* dan *absorption* didapatkan nilai sebesar 2,589% dan 2,628%; halaman kedua nilai telah memenuhi standar spesifikasi yaitu 2,56% – 3,8% untuk *bulk specific gravity on SSD*; dan 2% – 7% untuk *absorption*. Agregat halus yang digunakan memiliki nilai berat isi sebesar 1,638 gr/cm<sup>3</sup> untuk kepadatan padat, nilai berat isi ini telah memenuhi standar spesifikasi yaitu 1,4 – 1,9 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan untuk kepadatan gembur memiliki nilai 1,506 gr/cm<sup>3</sup> masih memenuhi standar spesifikasi yaitu 1,4 – 1,9 gr/cm<sup>3</sup>; selain itu agregat halus yang digunakan memiliki nilai kadar lumpur sebesar 4,052%; dan telah memenuhi standar spesifikasi yaitu < 5%. Oleh karena itu, agregat halus yang berasal dari Gunung Galunggung dapat digunakan sebagai material campuran dalam *mixed design* pembuatan mortar geopolimer, karena telah memenuhi standar spesifikasi yang ditentukan berdasarkan SNI 03-1970-1990.

#### 3.2 Uji *Properties Binder*

Binder yang digunakan dalam campuran *mixed-design* pembuatan mortar geopolimer terdiri dari FA tipe F yang berasal dari PLTU Paiton dan AAT lolos saringan no. 200 yang berasal dari Kabupaten Blitar Provinsi Jawa Tengah. Uji *properties binder* yang dilakukan hanya uji berat jenis saja, dengan tujuan untuk memastikan data yang didapatkan telah memenuhi SNI 03-2460-1991. Oleh karena itu, data uji berat jenis dapat dijadikan acuan dalam proses *trial and error mixed design*. Hasil uji berat jenis FA dan AAT dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut. **Tabel 4** memperlihatkan bahwa material *binder* berupa FA dan AAT telah memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan, karena nilai berat jenisnya berada dalam rentang yang disyaratkan SNI 03-2460-1991.

Tabel 4. Hasil uji *properties binder*

| No. | Uji                                   | Hasil | Spesifikasi | Keterangan |
|-----|---------------------------------------|-------|-------------|------------|
| 1   | Berat jenis FA [gr/cm <sup>3</sup> ]  | 2,7   | 2,1 – 2,9   | Memenuhi   |
| 2   | Berat jenis AAT [gr/cm <sup>3</sup> ] | 2,1   | 2,1 – 2,9   | Memenuhi   |

### 3.3 Mixed-design Mortar Geopolimer

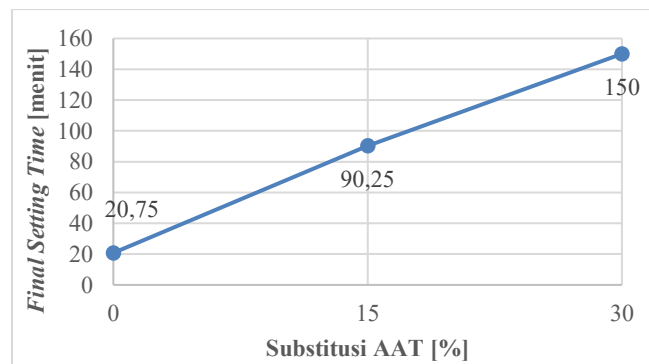
*Mixed-design* pada penelitian ini menggunakan variasi substitusi AAT terhadap FA terbesar berada di 30%. Sementara itu data mengenai *mixed-design* tiap variasi lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 5**, dengan variasi 1 100%FA:0%AAT, variasi 2 85%FA:15%AAT, dan variasi 3 70%FA:30%AAT. Kuat tekan yang direncanakan untuk mortar geopolimer berdasarkan ASTM C270-10 untuk mortar tipe M dengan kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 17,2 MPa.

**Tabel 5.** *Mixed-design* mortar geopolimer

| Variasi   |                                         | 1       | 2       | 3       |
|-----------|-----------------------------------------|---------|---------|---------|
| Filler    | PG [gram]                               | 208,200 | 208,200 | 208,200 |
|           | FA [gram]                               | 73,600  | 62,500  | 51,500  |
| Precursor | AAT [gram]                              | 0       | 8,400   | 16,700  |
|           | NaOH [gram]                             | 15,975  | 15,975  | 15,975  |
|           | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> [gram] | 36      | 36      | 36      |
| Total     |                                         | 333,775 | 331,075 | 328,375 |

### 3.4 Uji Setting Time

*Setting time* merupakan interval waktu yang diperlukan bagi suatu material perekat, hal ini juga termasuk mortar geopolimer. *Setting time* bertujuan untuk mengalami perubahan dari kondisi plastis menjadi padat. *Setting time* pada mortar geopolimer sangat dipengaruhi oleh reaksi kimia polimerisasi antara FA, AAT, dan AA. Pada penelitian ini, penentuan *setting time* memiliki tujuan penting, yaitu untuk memperoleh komposisi *mixed-design* mortar geopolimer sehingga mampu menghasilkan benda uji dengan *setting time* yang paling baik. Selain itu, *setting time* juga memungkinkan proses pencetakan benda uji mortar geopolimer berlangsung dengan baik tanpa mengganggu, baik bentuk maupun kualitas. Hasil uji *setting time* pada setiap campuran variasi dapat dilihat pada **Gambar 3**. Hasil uji *setting time* dari campuran berbagai variasi antara FA terhadap AAT menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi AAT, maka semakin lambat *final setting time*-nya. Variasi 1 100%FA:0%AAT memiliki *setting time* tercepat dengan durasi selama 20,75 menit; sedangkan variasi 3 70%FA:30%AAT memiliki *setting time* terlama dengan durasi 150 menit. Hasil uji *setting time* ini menunjukkan bahwa komposisi material AAT dalam campuran *mixed-design* sangat berpengaruh terhadap proses pengerasan mortar geopolimer.



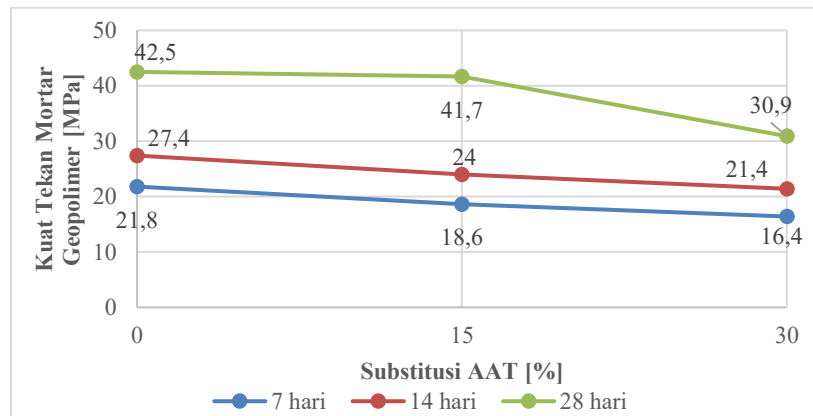
**Gambar 3.** Hasil uji *setting time*

### 3.5 Uji Kuat Tekan

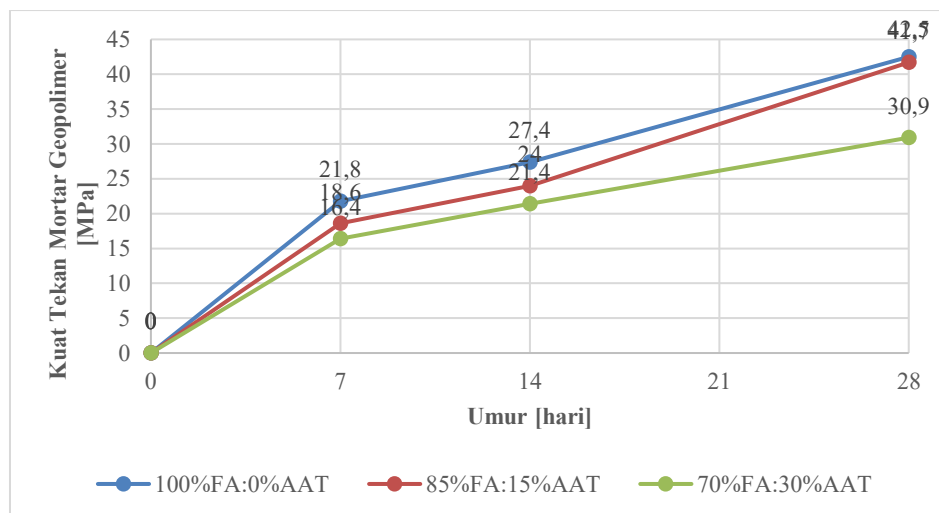
Sampel benda uji yang memanfaatkan AAT dengan molaritas 12 M mampu meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer seiring penambahan substitusi AAT terhadap FA. Hasil pengujian mortar geopolimer pada umur 28 hari pada variasi 1, variasi 2, dan variasi 3 berturut-turut sebesar 41,6 MPa; 38,0 MPa; dan 40,2 MPa. Maka dengan demikian nilai kuat tekan pada setiap variasi berada di atas 17,16 MPa, sehingga sampel mortar geopolimer dengan substitusi AAT terhadap FA termasuk kedalam tipe mortar M dapat diaplikasikan sebagai fondasi, dinding penahan beban berat, serta struktur di bawah permukaan tanah berdasarkan ASTM C270-10. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Berdasarkan hasil uji kuat tekan mortar geopolimer dengan campuran AAT sebagai material substitusi terhadap FA mampu meningkatkan nilai kuat tekannya seiring dengan bertambahnya umur. Hal ini dikarenakan AAT mampu bereaksi baik dengan cairan AA dalam proses reaksi kimia polimerisasi yang terjadi antara *precursor* dengan cairan AA. Berdasarkan **Gambar 4** mortar geopolimer memiliki nilai kuat tekan maksimum pada variasi 2 yaitu 85%FA:15%AAT, dengan nilai kuat tekannya sebesar 41,7 MPa. Melalui hasil uji kuat tekan mortar geopolimer didapatkan bahwa variasi kadar AAT yang disubstitusikan terhadap FA pada umur 7 hari sudah ada yang mencapai kuat tekan rencana yaitu pada variasi 2, seperti yang terlihat pada

**Gambar 4.** Oleh karena itu, mortar geopolimer variasi 2 pada umur 7 hari termasuk mortar tipe M berdasarkan ASTM C270-10. Substitusi AAT terhadap FA sebesar 15% menunjukkan pola peningkatan kuat tekan mortar geopolimer yang signifikan, hal ini terlihat pada **Gambar 5** nilai kuat tekannya pada umur 28 hari hampir sama seperti nilai kuat tekan mortar geopolimer tanpa AAT. Variasi 3 dengan kadar substitusi AAT 30% terhadap FA, menyebabkan penurunan kuat tekannya dibandingkan variasi 2. Hal ini dikarenakan reaksi geopolimerisasi berlangsung kurang baik antara campuran AA dengan AAT. Campuran mortar geopolimer terlalu kering akibat volume AAT yang semakin besar sehingga kurang reaktif dengan AA berkonsentrasi 12M. Oleh karena itu, semakin besar kadar substitusi AAT yang digunakan, maka konsentrasi molaritas yang dibutuhkan pun lebih tinggi agar AA dapat bereaktif secara maksimal dengan AAT.



**Gambar 4.** Hasil uji kuat tekan mortar geopolimer



**Gambar 5.** Pola peningkatan kuat tekan mortar geopolimer

#### 4. KESIMPULAN

Komposisi *mixed-design* campuran mortar geopolimer yang sangat mempengaruhi hasil kuat tekannya, yaitu pada variasi 2 85%FA:15%AAT. Kuat tekan maksimum mortar geopolimer rata-rata yang dihasilkan sebesar 41,68 MPa pada umur 28 hari. Seluruh variasi campuran mortar geopolimer dari 1 hingga 3 yang diuji kuat tekannya di laboratorium telah memenuhi kriteria mortar Tipe M (karena memiliki kuat tekan  $\geq 17,2$  MPa) sesuai SNI 03-6882-2002 dan ASTM C270-10, sehingga mortar geopolimer dengan substitusi AAT dapat diaplikasikan pada dinding dekat tanah, adukan pipa air kotor/dinding penahan tanah/untuk jalan.

Berdasarkan hasil eksperimental di laboratorium, komposisi *mixed-design* campuran mortar geopolimer pada penelitian ini dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji silinder beton geopolimer dengan menggunakan variasi AAT yang sama dimulai dari 0%, 15% hingga 30%. Hal ini berdasarkan dari nilai kuat tekan mortar geopolimer telah mencapai kuat tekan struktural silinder di atas 21 MPa, sehingga diharapkan beton geopolimer substitusi AAT terhadap FA dapat diaplikasikan sebagai elemen struktural seperti balok ataupun kolom. Namun, hasil pada penelitian ini masih terbatas pada kondisi laboratorium dan memerlukan pengembangan penelitian lebih lanjut, dengan variasi metode serta komposisi lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angelika, S.K., Desimaliana, E. and Khanza, M., 2023. Pengaruh Subtitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*. 9(2):70, doi:10.26760/rekaracana.v9i2.70.
- Anggrainy, R., Mulyadi, A. and Muhaimin, A., 2024 'Pemanfaatan Limbah Abu Ampas Tebu Sebagai Pengganti Semen untuk Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 13(2):166–173, doi:10.36546/tekniksipil.v13i2.1091.
- Anisa, A., Zainuri and Megasari, W.S., 2024. Kekuatan Tekan dan Penyerapan Mortar Geopolimer dengan Bahan Tambah Limbah Abu Tempurung Kelapa. *Jurnal Konstruksia*. 16(1):34–40, doi:https://doi.org/10.24853/jk.16.1.34-40.
- Anisya, M., Fitra, A. Y., and Islamsyah, H., 2020. Eksplorasi Limbah Ampas Tebu (Bagasse) untuk Material Produk Ecofashion. *IKRA-ITH Humaniora*. 4(3):235–243.
- ASTM International. 2010. *ASTM C270-10 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. New York, ASTM International.
- ASTM International. 2012. *ASTM C618-12 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. New York, ASTM International.
- Desimaliana, E., Ma'aruf, A.R., and Shima, R.D., 2025. Analisis Serbuk Cangkang Kerang Sebagai Subtitusi Binder Terhadap Campuran Mortar Geopolimer. *Journal of Sustainable Construction*. 4(2):48–53, doi:10.26593/josc.v4i2.9258.
- Desimaliana, E., Shima, R.D., and Musyaffa, F., 2024. Analisis Biaya terhadap Pengaruh Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Beton Geopolimer. *Journal of Sustainable Construction*. 3(2):45–53, doi:10.26593/josc.v3i2.7905.
- Desimaliana, E., Widyaningsih, E., Kaltsum, A.Q.N., and Setiana, T.I., 2025. Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Metode Curing Pembasahan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*. 8(1):1–8, doi:10.14710/potensi.2025.25933.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-6852-2002 tentang Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil*. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-6882-2002 tentang Spesifikasi mortar untuk pekerjaan pasangan*. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Fernando, V., Hunggurami, E., and Sir, T.M.W., 2023. Pengaruh Perawatan Beton (Curing) Menggunakan Water Curing dan Membrane Curing Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*. 12(2), https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/551.
- Gilar, S.F., Desimaliana, E., and Dewi, S.R., 2025. Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*. 11(01):52–62, doi:10.26760/rekaracana.v10i2.
- Hendarto, M.F.M., Nurchasanah, Y., Solikin, M., and Trinugroho, S., 2023. Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Pada Beton dan Mortar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS46*–150. doi:10.30737/jurmateks.
- Hidayattulloh, T., and Desimaliana, E., 2025. Pengaruh Oven Curing Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer dengan Substitusi Limbah Karbit. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*. 6(1):470–476.
- Karimah, R., and Wahyudi, Y., 2016. Pemakaian Abu Ampas Tebu dengan Variasi Suhu Sebagai Substitusi Parsial Semen dalam Campuran Beton. *Jurnal Media Teknik Sipil*. 13(2), doi:10.22219/jmts.v13i2.2563.
- Khoiriyah, N.L., and Maisytoh, P., 2016. Karakteristik Mortar Geopolimer Dengan Perawatan Oven Pada Berbagai Variasi Waktu Curing. *Jurnal Poli-Teknologi*. 15(1), doi:10.32722/pt.v15i1.787.
- Mahmud, K., Bakarbesy, D., and Atiya, A.F., 2023. Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Sifat-sifat Mekanik Beton. *Jurnal PORTAL SIPIL*. 11(2):52–61, doi:10.58839/portal.v11i2.1165.
- Musyafa, A.F., Rochman, T., and Rahman, A., 2023. Mortar Geopolimer Material Penyusun Mortar Baru Ramah Lingkungan. *JOS - MRK*, 4(3):220–222. doi:10.5614/jts.2013.20.1.1.
- Pratama, A., and Chairina, E., 2023. Pengaruh Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambahan Dalam Pembuatan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*. 2(1):118–124, doi:10.30743/jtsip.v2i1.7669.
- Pratama, N.A., and Desimaliana, E., 2024. Pengaruh Subtitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*. 10(01):51–59, doi:10.26760/rekaracana.
- Rombe, A.C., Phengkarasa, F., and Febriani, L., 2023. Studi Eksperimental Penggunaan Abu Ampas Tebu dan Limbah Karbit sebagai Material Subtitusi Semen pada Campuran Beton. *Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ)*. 5(1):85–95.
- Saputra, E.B., Gunawan, L.I., and Safarizki, A.H., 2019. Pengaruh Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Beton Normal. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*. 1(2):57–71.



- Setiawati, M., Martini, S., and Nurulita, R., 2022. Variasi Molaritas Naoh Dan Alkali Aktivator Beton Geopolimer. *Jurnal Deformasi*. 7(1):56, doi:10.31851/deformasi.v7i1.7983.
- Sihombing, A.P., Afrizal, Y., and Gunawan, A., 2019. Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*. 10(1):31–38, doi:10.33369/ijts.10.1.31-38.
- Thoudam, N., and Thokchom, S., 2019. Flyash and Sugarcane Bagasse Ash as Geopolymer Composite. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*. 6(6):393–396, <http://www.krishisanskriti.org/Publication.html>.
- Warsito, W., and Rahmawati, A., 2020. Variasi Abu Ampas Tebu dan Serat Bambu sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Hijau*. 4(2):109–117, doi:10.26760/jrh.v4i2.109-117.
- Wenda, K., Zuraidah, S., and Hastono, B., 2018. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*. 1(1):8–13, doi:10.25139/jprs.v1i1.801.