

Analysis Of The Effect Of Fly Ash Waste Utilization As The Main Material In Polymer Brick Production On Mechanical And Physical Properties

Rajiman Rajiman ¹⁾; Dwiki Faiz Nugroho ²⁾

^{1,2)} Study Program Of Civil Engineering, Faculty Of Engineering, Universitas Bandar Lampung

Email: ¹⁾ rajiman.mt@gmail.com ; ²⁾ dwiki.22311045@student.ubl.ac.id

How to Cite :

Rajiman, R., Nugroho, D, F. (2026). Analysis Of The Effect Of Fly Ash Waste Utilization As The Main Material In Polymer Brick Production On Mechanical And Physical Properties. Jurnal Media Computer Science, 5(2)

ARTICLE HISTORY

Received [17 Maret 2026]

Revised [22 April 2026]

Accepted [27 April 2026]

KEYWORDS

Fly Ash, Polymer Brick,
Compressive Strength, Water
Absorption, Curing Temperature.

This is an open access article under the
[CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan batu bata polimer terhadap sifat mekanik dan fisik material yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan melakukan pembuatan benda uji batu bata polimer berbasis *fly ash* yang diaktivasi menggunakan larutan alkali berupa NaOH dan Na₂SiO₃. Variasi suhu curing yang digunakan dalam penelitian ini adalah 70°C, 80°C, dan 90°C. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan (*compressive strength test*) dan uji serapan air (*water absorption test*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai bahan utama berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan batu bata polimer. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada suhu curing yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu curing mampu mempercepat proses geopolimerisasi dan menghasilkan struktur material yang lebih padat dan kuat. Selain itu, hasil uji serapan air menunjukkan bahwa batu bata polimer memiliki nilai penyerapan air yang relatif rendah, yang mengindikasikan tingkat porositas yang kecil dan kualitas material yang baik. Dengan demikian, batu bata polimer berbasis *fly ash* memiliki potensi sebagai material bangunan alternatif yang ramah lingkungan, efisien energi, dan memiliki kinerja mekanik yang baik, sehingga dapat menjadi solusi dalam pemanfaatan limbah industri secara berkelanjutan.

ABSTRACT

This study examines the effect of utilizing fly ash waste as the main raw material in the production of polymer bricks on the mechanical and physical properties of the resulting material. This research employed an experimental laboratory method by producing fly ash-based polymer brick specimens activated using alkaline solutions of NaOH and Na₂SiO₃. The curing temperatures applied in this study were 70°C, 80°C, and 90°C. The tests conducted included compressive strength tests and water absorption tests. The results showed that the utilization of fly ash as the primary material significantly influences the increase in compressive strength of polymer bricks. The highest compressive strength value was obtained at higher curing temperatures, indicating that an increase in curing temperature accelerates the geopolymerization process and produces a denser and stronger material structure. In addition, the water absorption test results indicated that the polymer bricks have relatively low water absorption values, which reflects low porosity and good material quality.

Therefore, fly ash-based polymer bricks have strong potential as an environmentally friendly alternative building material, energy-efficient, and possessing good mechanical performance, making them a sustainable solution for industrial waste utilization.

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan industri di Indonesia yang semakin pesat berdampak pada meningkatnya kebutuhan material konstruksi, khususnya bahan bangunan konvensional seperti semen dan batu bata tanah liat. Namun, penggunaan material tersebut secara masif menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, antara lain meningkatnya eksploitasi sumber daya alam serta tingginya emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari proses produksi semen. Sektor konstruksi bahkan menyumbang sekitar 8% dari total emisi karbon global, yang sebagian besar berasal dari produksi semen Portland (Tang et al., 2021).

Selain itu, proses produksi batu bata konvensional umumnya dilakukan melalui pembakaran pada suhu tinggi (800–1000°C), yang membutuhkan energi besar serta menghasilkan emisi gas rumah kaca dalam jumlah signifikan. Penggunaan tanah liat sebagai bahan utama juga menyebabkan degradasi lahan akibat aktivitas penggalian yang berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi material bangunan alternatif yang lebih ramah lingkungan, efisien energi, serta mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah batu bata polimer, yaitu material konstruksi non-bakar yang memanfaatkan reaksi kimia antara bahan aluminosilikat dengan aktivator alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃). Proses ini memungkinkan material mengeras tanpa pembakaran melalui mekanisme geopolimerisasi, sehingga dapat menghemat energi dan menurunkan emisi karbon secara signifikan. Selain itu, struktur yang dihasilkan memiliki kepadatan tinggi dan sifat mekanik yang baik (Davidovits, 2020).

Dalam upaya mendukung konsep pembangunan berkelanjutan, pemanfaatan limbah industri sebagai bahan konstruksi menjadi salah satu solusi yang potensial. Salah satu limbah yang banyak dihasilkan adalah fly ash, yaitu residu pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Di Indonesia, produksi fly ash mencapai lebih dari 5 juta ton per tahun dan sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga berpotensi mencemari lingkungan (Kementerian ESDM, 2023). Padahal, fly ash memiliki kandungan silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang tinggi serta bersifat pozzolanik, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan material geopolimer. Pemanfaatan fly ash dalam pembuatan batu bata polimer memberikan berbagai keunggulan, seperti peningkatan kuat tekan, penurunan daya serap air, serta efisiensi energi karena tidak memerlukan proses pembakaran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batu bata berbasis fly ash mampu mencapai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan bata konvensional serta memiliki emisi karbon yang lebih rendah (Bai et al., 2022). Selain itu, penggunaan bahan pengikat polimer juga meningkatkan kepadatan dan ketahanan terhadap air, sehingga menghasilkan material yang lebih tahan lama (Ngo, 2020).

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa tantangan dalam pemanfaatan fly ash sebagai bahan utama batu bata polimer, seperti variasi karakteristik fly ash dari berbagai sumber, penentuan komposisi campuran yang optimal, serta pengaruh kondisi curing terhadap sifat mekanik dan fisik material. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh pemanfaatan fly ash terhadap kualitas batu bata polimer, khususnya dalam hal kuat tekan dan daya serap air.

LANDASAN TEORI

Limbah Fly Ash

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus dan terbawa oleh gas buang. Material ini memiliki ukuran mikron serta mengandung senyawa utama seperti silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida

(Fe_2O_3), serta dalam beberapa kasus mengandung kalsium oksida (CaO). Secara umum, fly ash dikategorikan sebagai material pozzolanik yang mampu bereaksi dengan aktivator alkali membentuk senyawa pengikat dalam sistem geopolimer (Alterary, 2021).

Dalam proses geopolimerisasi, kandungan silika dan alumina pada fly ash berperan penting dalam membentuk struktur jaringan tiga dimensi berbasis ikatan Si-O-Al. Struktur ini menghasilkan material yang memiliki kekuatan tinggi serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan agresif. Berdasarkan kandungan kalsium oksidanya, fly ash dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Class F dan Class C, di mana Class F dengan kandungan silika dan alumina tinggi lebih banyak digunakan dalam pembuatan geopolimer karena menghasilkan struktur yang lebih stabil.

Selain memberikan manfaat teknis, pemanfaatan fly ash juga memberikan dampak positif terhadap lingkungan karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap semen Portland yang memiliki emisi karbon tinggi. Fly ash juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan batu bata polimer tanpa melalui proses pembakaran, sehingga lebih efisien secara energi dan ramah lingkungan (Gaurav et al., 2023).

Batu Bata Polimer

Batu bata polimer merupakan material konstruksi inovatif yang menggunakan bahan dasar aluminosilikat seperti fly ash yang diaktivasi menggunakan larutan alkali, seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Tidak seperti batu bata konvensional, material ini tidak memerlukan proses pembakaran karena proses pengerasannya terjadi melalui reaksi kimia yang dikenal sebagai geopolimerisasi (Davidovits, 2020).

Proses geopolimerisasi terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pelarutan (dissolution) silika dan alumina, pembentukan gel (gelation), serta polikondensasi yang menghasilkan struktur padat berbasis aluminosilikat. Struktur tersebut berfungsi sebagai pengikat utama yang memberikan kekuatan pada batu bata polimer. Kualitas batu bata polimer sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan, rasio aktivator alkali, serta kondisi curing.

Batu bata polimer memiliki beberapa keunggulan dibandingkan batu bata konvensional, antara lain memiliki kuat tekan yang lebih tinggi, daya serap air yang lebih rendah, serta ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia yang lebih baik. Selain itu, material ini juga lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan semen Portland dan tidak memerlukan pembakaran dalam proses produksinya.

Proses Geopolimerisasi

Geopolimerisasi merupakan reaksi kimia antara material yang mengandung silika dan alumina dengan larutan alkali yang menghasilkan ikatan polimer anorganik. Proses ini dimulai dengan pelarutan ion silikat dan aluminat dari fly ash akibat reaksi dengan larutan alkali. Selanjutnya, ion-ion tersebut membentuk gel aluminosilikat yang kemudian mengalami polikondensasi menjadi struktur padat yang dikenal sebagai gel N-A-S-H.

Keberhasilan proses geopolimerisasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi kimia fly ash, konsentrasi larutan alkali, serta suhu curing. Suhu curing yang lebih tinggi dapat mempercepat reaksi pembentukan gel dan menghasilkan struktur yang lebih padat dan homogen. Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan retak mikro akibat penguapan air yang berlebihan (Davidovits, 2020).

Faktor yang Mempengaruhi Batu Bata Polimer

Kualitas batu bata polimer dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari segi material maupun proses produksi. Salah satu faktor utama adalah komposisi bahan penyusun, khususnya kandungan silika dan alumina dalam fly ash yang menentukan kekuatan struktur geopolimer. Rasio aktivator alkali, seperti perbandingan antara NaOH dan Na_2SiO_3 , juga berpengaruh terhadap pembentukan matriks geopolimer yang padat dan stabil.

Selain itu, rasio air terhadap bahan padat juga berperan penting dalam menentukan porositas dan kekuatan material. Penggunaan air yang berlebihan dapat meningkatkan porositas dan menurunkan kuat tekan, sedangkan jumlah air yang terlalu sedikit dapat menghambat proses pencampuran dan reaksi kimia. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan dalam komposisi campuran untuk menghasilkan batu bata dengan kualitas optimal (Hardjito dan Rangan, 2005).

Faktor lain yang tidak kalah penting adalah kondisi curing, baik dari segi suhu maupun waktu. Suhu curing yang lebih tinggi dapat mempercepat reaksi geopolimerisasi dan meningkatkan kekuatan material. Namun, kondisi curing yang tidak terkontrol dapat menyebabkan ketidaksempurnaan struktur dan menurunkan kualitas batu bata polimer.

Indikator Kinerja Batu Bata Polimer

Penilaian kualitas batu bata polimer umumnya dilakukan melalui beberapa parameter utama, yaitu kuat tekan dan daya serap air. Kuat tekan menunjukkan kemampuan material dalam menahan beban, sedangkan daya serap air mencerminkan tingkat porositas material. Batu bata polimer umumnya memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan batu bata konvensional, serta daya serap air yang lebih rendah, sehingga lebih tahan terhadap perubahan lingkungan (Bai dan Li, 2023).

Selain itu, struktur mikro yang padat dan homogen juga berkontribusi terhadap peningkatan durabilitas material, termasuk ketahanan terhadap suhu tinggi dan serangan kimia. Dengan karakteristik tersebut, batu bata polimer berbasis fly ash memiliki potensi besar sebagai material konstruksi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah fly ash sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan batu bata polimer terhadap sifat mekanik dan fisik material yang dihasilkan. Fokus utama penelitian ini adalah pada pengujian kuat tekan dan serapan air sebagai indikator kinerja batu bata polimer.

Jenis dan Lokasi Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental, yaitu dengan melakukan pembuatan benda uji secara langsung di laboratorium dan menguji karakteristiknya. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium dengan tahapan yang meliputi persiapan bahan, pembuatan benda uji, proses curing, serta pengujian sifat mekanik dan fisik.

Bahan dan Material Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Fly ash, yang berasal dari limbah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Tarahan.
2. Larutan alkali, yang terdiri dari:
 - o Natrium hidroksida (NaOH)
 - o Natrium silikat (Na_2SiO_3)

Fly ash berfungsi sebagai bahan dasar utama (prekursor aluminosilikat), sedangkan larutan alkali berperan sebagai aktivator dalam proses geopolimerisasi.

Rencana Formula Campuran

Campuran batu bata polimer dibuat dengan komposisi tertentu antara fly ash dan larutan alkali. Perbandingan ini dirancang untuk menghasilkan reaksi geopolimerisasi yang optimal sehingga menghasilkan struktur material yang padat dan kuat. Komposisi campuran mengacu pada rasio yang telah ditentukan dalam perencanaan mix design pada penelitian. Berikut adalah persentase formula *mix design* :

Tabel 1. Formula Mix Design

| Formula | <i>Fly ash</i> (%) | Na ₂ SiO ₃ (%) | NaOH (%) | <i>Fly ash</i> (gram) | Na ₂ SiO ₃ (ml) | NaOH (gram) | Air (ml) | Suhu Oven (°C) | Waktu Oven (Jam) |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|----------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|----------|----------------|------------------|
| Formula 1 | 60% | 24% | 16% | 1200 gr | 288 | 192 | 480 | 70°C | ± 6-8 |
| Formula 2 | 60% | 24% | 16% | 1200 gr | 288 | 192 | 480 | 80°C | ± 6-8 |
| Formula 3 | 60% | 24% | 16% | 1200 gr | 288 | 192 | 480 | 90°C | ± 6-8 |

Rumus perhitungan :

Rasio Alkali Aktivator

$$SS : SH = 1,5 : 1$$

Rencana NaOH 10 M

$$40 \text{ gr/mol} = \frac{192}{40} = 4,8 \text{ mol}$$

$$\frac{4,8}{0,480} = 10 \text{ M}$$

$$SS = \frac{1,5}{2,5} \times 480 \text{ gr} = 288$$

$$SH = \frac{1}{2,5} \times 480 \text{ gr} = 192$$

$$FA = 1200 \text{ gr}$$

$$FA + SS + SH = 1200 + 288 + 192 = 1680 \text{ gr}$$

Keterangan :

SS : *Sodium Silicate* (Na₂SiO₃)

SH : *Sodium Hydroxide* (NaOH)

FA : *Fly ash*

Metode Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

Tabel 2. Tahap Pelaksanaan Penelitian

| Hari | Kegiatan | Keterangan |
|------|------------------------------------|--|
| 1 | Persiapan bahan & alat | - Mengumpulkan <i>fly ash</i> , dan aditif Sodium Silikat dan NaOH. - Menimbang sesuai variasi komposisi. - Menyiapkan cetakan bata, ember, mixer, sarung tangan, dan alat ukur. |
| 2 | Pencampuran Bahan Kering | - Mencampur <i>fly ash</i> dan Aditif Sodium Silikat dan NaOH sesuai dosis yang telah ditentukan. - Memastikan distribusi aditif merata di seluruh campuran. |
| 3 | Penambahan Air & Pencampuran Basah | Menambahkan air secara bertahap hingga campuran mencapai konsistensi plastis. - Mengaduk hingga tercampur rata dan mudah dicetak. |
| 4 | Pencetakan Bata | - Memasukkan campuran ke dalam cetakan bata sesuai ukuran SNI. - Menekan dan meratakan permukaan bata. - Mengeluarkan bata dari cetakan dan menandai sesuai variasi komposisi. |
| 5 | Pengeringan Awal | - Memasukkan bata kedalam oven dengan suhu 45° - 50°C selama 24 - 48 jam |

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| 6 | Penyimpanan Awal / Setting | - Menyimpan bata pada tempat datar dan tertutup ringan untuk mencegah retak. - Memastikan kelembaban tetap terjaga agar aditif bereaksi optimal |
| 7 | Pengeringan Lanjut & Persiapan Uji | - Melanjutkan proses curing sebelum dilakukan pengujian. - Menyiapkan sampel untuk pengujian sifat mekanik (kekuatan tekan, serapan air). |

Metode Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik batu bata polimer, yaitu:

Uji Kuat Tekan (Compressive Strength Test)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan batu bata dalam menahan beban tekan. Benda uji diberikan beban hingga mengalami keruntuhan, kemudian nilai kuat tekan dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan rumus:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan

σ_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum sebelum patah (N)

A = Luas penampang bata (mm²)

Uji Serapan Air (Water Absorption Test)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan batu bata dalam menyerap air. Benda uji ditimbang dalam kondisi kering, kemudian direndam dalam air selama 24 jam dan ditimbang kembali untuk mengetahui selisih berat sebagai indikator serapan air. Serapan air (%) dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Water Absorption (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Analisis Data

Data hasil pengujian kuat tekan dan serapan air dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi suhu curing terhadap karakteristik batu bata polimer. Hasil pengujian dibandingkan antar variasi suhu untuk menentukan kondisi optimum yang menghasilkan kuat tekan tertinggi dan serapan air terendah.

Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dalam skripsi ini meliputi tahapan:

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

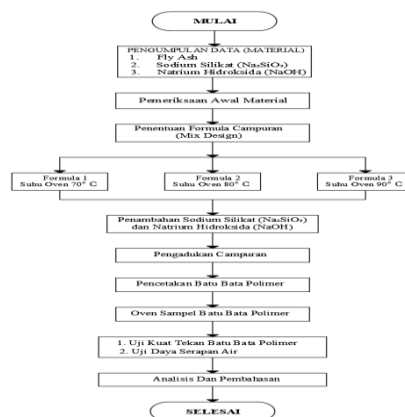


Diagram alir ini menunjukkan bahwa penelitian dilakukan secara berurutan dan sistematis untuk memastikan hasil yang diperoleh dapat menggambarkan pengaruh pemanfaatan fly ash secara akurat terhadap kinerja batu bata polimer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Deskripsi Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa batu bata polimer yang dibuat menggunakan bahan dasar fly ash yang diaktivasi dengan larutan alkali NaOH dan Na_2SiO_3 . Proses pembuatan dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari persiapan bahan, pencampuran, pencetakan, hingga curing dengan variasi suhu. Setiap benda uji dibuat dengan dimensi dan komposisi yang sama, dengan perbedaan utama terletak pada suhu curing, yaitu 70°C , 80°C , dan 90°C . Variasi suhu ini bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan fisik batu bata polimer.

Tabel 3. Detail Benda Uji

| Variasi | Suhu Curing | Jumlah Sampel | Ukuran Cetakan Sampel (P x L x T) |
|---------|--------------------|---------------|--------------------------------------|
| 1 | 70°C | 3 Buah | 23 x 11 x 5 |
| 2 | 80°C | 3 Buah | 23 x 11 x 5 |
| 3 | 90°C | 3 Buah | 23 x 11 x 5 |

Proses Pembuatan Batu Bata Polimer

Proses pembuatan batu bata polimer dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap dan sistematis. Fly ash terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven untuk mengurangi kadar air, kemudian disaring agar diperoleh ukuran partikel yang seragam. Selanjutnya, larutan NaOH dan Na_2SiO_3 dicampur hingga homogen sebelum dicampurkan dengan fly ash. Campuran yang telah homogen kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan. Setelah proses pencetakan selesai, benda uji mengalami proses curing dengan suhu yang telah ditentukan.

Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan batu bata polimer dalam menahan beban tekan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa nilai kuat tekan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya suhu curing. Berikut tabel hasil pengujian kuat tekan batu bata polimer:

Tabel 4. Data Hasil Uji Kuat Tekan Dalam Satuan Kg/cm^2

| Kode Sampel | Suhu Curing | Kuat Tekan (Kg/cm^2) | Kuat Tekan Rata - Rata (Kg/cm^2) |
|-------------|--------------------|---|--|
| SC.1.70 | 70°C | 22,80 | 35,46 |
| SC.2.70 | 70°C | 30,03 | |
| SC.3.70 | 70°C | 53,56 | |
| SC.1.80 | 80°C | 28,51 | 44,33 |
| SC.2.80 | 80°C | 37,54 | |
| SC.3.80 | 80°C | 66,95 | |
| SC.1.90 | 90°C | 70,26 | 86,85 |
| SC.2.90 | 90°C | 73,01 | |
| SC.3.90 | 90°C | 117,29 | |

Gambar 2. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)



Data hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Suhu curing 70°C menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan suhu lainnya
- Suhu curing 80°C menunjukkan peningkatan kuat tekan
- Suhu curing 90°C menghasilkan kuat tekan tertinggi

Hal ini menunjukkan bahwa suhu curing memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan batu bata polimer.

Pembahasan Kuat Tekan

Peningkatan kuat tekan pada suhu curing yang lebih tinggi disebabkan oleh percepatan proses geopolimerisasi. Pada suhu yang lebih tinggi, reaksi antara silika dan alumina dalam fly ash dengan larutan alkali berlangsung lebih cepat dan lebih sempurna. Hal ini menghasilkan struktur material yang lebih padat dan homogen, sehingga meningkatkan kemampuan batu bata dalam menahan beban. Selain itu, suhu tinggi juga membantu mengurangi porositas material, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan mekanik. Dengan demikian, suhu curing menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas batu bata polimer, khususnya dalam hal kuat tekan.

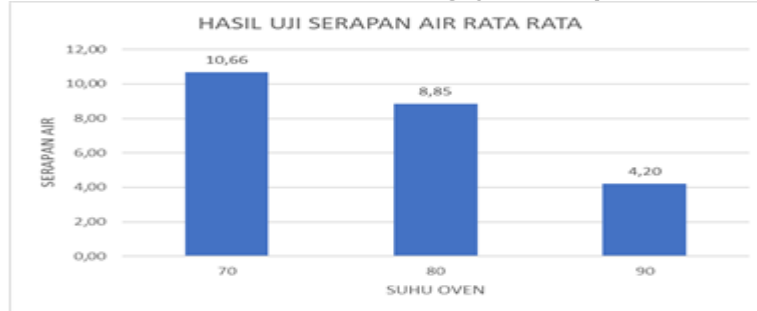
Hasil Uji Serapan Air

Pengujian serapan air dilakukan untuk mengetahui tingkat porositas batu bata polimer. Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam benda uji selama 24 jam, kemudian membandingkan berat sebelum dan sesudah perendaman.

Tabel 6. Data Hasil Uji Serap air

| Kode Sampel | Variasi Suhu | Berat Kering (W1) | Berat Basah (W2) | Serapan Air (%) |
|-------------|--------------|-------------------|------------------|-----------------|
| SC.1.70 | 70°C | 1.176 | 1.301,4 | 10,66 |
| SC.1.80 | 80°C | 1.534,8 | 1.670,7 | 8,85 |
| SC.1.90 | 90°C | 1.739 | 1.812 | 4,20 |

Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Serapan Air



Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Nilai serapan air relatif rendah pada semua variasi suhu
- Semakin tinggi suhu curing, semakin rendah nilai serapan air

Hal ini menunjukkan bahwa batu bata polimer memiliki struktur yang cukup padat dengan porositas yang rendah.

Pembahasan Serapan Air

Rendahnya nilai serapan air menunjukkan bahwa batu bata polimer memiliki struktur mikro yang padat dan sedikit pori. Hal ini disebabkan oleh proses geopolimerisasi yang menghasilkan ikatan yang kuat antar partikel. Pada suhu curing yang lebih tinggi, proses pembentukan gel geopolimer berlangsung lebih optimal sehingga mengurangi jumlah pori dalam material. Akibatnya, kemampuan material dalam menyerap air menjadi lebih kecil. Dengan demikian, batu bata polimer berbasis fly ash memiliki kualitas yang baik dari segi ketahanan terhadap air dan berpotensi lebih tahan terhadap kerusakan akibat perubahan lingkungan.

Pola Kerusakan Benda Uji

Pengamatan terhadap benda uji setelah pengujian kuat tekan menunjukkan adanya pola retakan tertentu. Retakan yang terjadi umumnya berbentuk vertikal atau menyebar dari titik beban maksimum.

Gambar 4. Bentuk Retakan Pada Benda Uji



- Bentuk retakan pada benda uji

Pola retakan ini menunjukkan bahwa kegagalan material terjadi akibat tekanan yang melebihi kapasitas struktur internal batu bata.

Analisis Kelayakan sebagai Material Bangunan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan serapan air, batu bata polimer berbasis fly ash menunjukkan kinerja yang baik. Nilai kuat tekan yang tinggi serta serapan air yang rendah menunjukkan bahwa material ini memiliki kualitas yang memenuhi syarat sebagai bahan bangunan alternatif. Selain itu, penggunaan fly ash sebagai bahan utama juga memberikan nilai tambah dari segi lingkungan karena memanfaatkan limbah industri yang sebelumnya tidak termanfaatkan secara optimal.

Gambar 5. Hasil Akhir Benda Uji



Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan fly ash sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan batu bata polimer memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik dan fisik material.

Peningkatan suhu curing terbukti mampu:

- Meningkatkan kuat tekan
- Menurunkan serapan air
- Menghasilkan struktur yang lebih padat

Dengan demikian, batu bata polimer berbasis fly ash memiliki potensi besar sebagai material konstruksi yang ramah lingkungan, efisien energi, serta memiliki kinerja yang baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah fly ash sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan batu bata polimer memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik material yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu curing memiliki peran penting dalam menentukan kualitas batu bata polimer. Peningkatan suhu curing dari 70°C, 80°C, hingga 90°C terbukti mampu meningkatkan nilai kuat tekan secara bertahap. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada suhu curing 90°C, yang menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat proses geopolimerisasi sehingga menghasilkan struktur material yang lebih padat dan kuat.

Selain itu, hasil pengujian serapan air menunjukkan bahwa batu bata polimer berbasis fly ash memiliki nilai penyerapan air yang relatif rendah. Nilai serapan air cenderung menurun seiring dengan meningkatnya suhu curing, yang mengindikasikan bahwa struktur material menjadi semakin rapat dan memiliki porositas yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa batu bata polimer memiliki ketahanan yang baik terhadap penetrasi air.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa fly ash dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai bahan utama dalam pembuatan batu bata polimer. Material yang dihasilkan memiliki karakteristik mekanik yang baik, khususnya dalam hal kuat tekan, serta memiliki sifat fisik yang unggul dengan tingkat serapan air yang rendah. Dengan demikian, batu bata polimer berbasis fly ash berpotensi menjadi alternatif material bangunan yang ramah lingkungan, efisien energi, dan berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan di lapangan.

Pertama, penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji lebih lanjut variasi komposisi campuran antara fly ash dan larutan alkali, seperti variasi rasio NaOH dan Na₂SiO₃, untuk

memperoleh komposisi optimum yang dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dan serapan air yang lebih rendah.

Kedua, disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan variasi jenis fly ash dari sumber yang berbeda, mengingat karakteristik kimia fly ash dapat bervariasi tergantung pada jenis batu bara dan proses pembakarannya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi kualitas batu bata polimer yang dihasilkan.

Ketiga, penelitian selanjutnya dapat memperluas parameter pengujian, tidak hanya terbatas pada kuat tekan dan serapan air, tetapi juga mencakup pengujian lain seperti kuat lentur, ketahanan terhadap suhu tinggi, serta durabilitas terhadap lingkungan agresif.

Keempat, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai aspek ekonomi dan kelayakan produksi dalam skala industri, sehingga batu bata polimer berbasis fly ash dapat diaplikasikan secara lebih luas sebagai material konstruksi alternatif.

Dengan adanya pengembangan penelitian lebih lanjut, diharapkan pemanfaatan fly ash sebagai bahan bangunan dapat semakin optimal serta memberikan kontribusi nyata dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan pengelolaan limbah industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Alterary, S. S. (2021). *Fly ash properties, characterization, and applications: A review*. Journal of Cleaner Production, 316, 128266.
- Alterary, M. (2021). *Effect of fly ash composition and fineness on geopolymerization and mechanical strength of geopolymer materials*. Construction and Building Materials, 302, 124139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124139>
- Al-Sayari, S. A., et al. (2021). *Effect of curing temperature and duration on geopolymer bricks based on industrial fly ash*. Journal of Cleaner Production, 318, 128478. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128478>.
- Ansari, M., & Kumar, S. (2025). *Characterization and performance of low-calcium fly ash in geopolymer brick production*. Journal of Building Engineering, 85, 110245. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.110245>
- Bai, Y., & Li, H. (2023). *Optimization of fly ash-based geopolymer bricks using alkali activator ratio and curing conditions*. Case Studies in Construction Materials, 18, e02512. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02512>
- Davidovits, J. (2020). *Geopolymer chemistry and applications* (5th ed.). Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & van Deventer, J. S. J. (2007). *Geopolymer technology: The current state of the art*. Journal of Materials Science, 42(9), 2917–2933.
- Gaurav, G., Kandpal, S. C., Mishra, D., & Kotoky, N. (2023). *A comprehensive review on fly ash-based geopolymer: A pathway for sustainable future*. Journal of Sustainable Cement-Based Materials.
- Karthikeyan, K., & Srinivasan, R. (2023). *Influence of moisture content and curing conditions on geopolymer bricks*. Construction Innovation, 23(4), 781–795.
- Liu, X., Wang, J., & Zhang, T. (2024). *Effect of nano-silica addition on microstructure and strength of fly ash geopolymer bricks*. Materials Today Communications, 41, 107660.
- Mohanty, B., & Patel, S. (2024). *Effect of fineness and amorphous content of fly ash on microstructure and strength of geopolymer bricks*. Cleaner Materials, 12, 100415. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100415>
- Patankar, S., Jamkar, S., & Ghugal, Y. (2021). *Development of geopolymer bricks using fly ash and alkaline activators*. Construction and Building Materials, 302, 124113. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124113>

- Rahmawati, D., & Nugroho, A. (2023). *Pengaruh kadar CaO dan rasio SiO₂/Al₂O₃ pada performa mekanik bata geopolimer berbasis fly ash*. Jurnal Rekayasa Material dan Konstruksi, 8(2), 88–97. <https://doi.org/10.24853/jrmk.8.2.88-97>
- Rashid, K., Rehman, M. A., & Farooq, F. (2022). *Influence of liquid to binder ratio on mechanical properties of fly ash geopolymer bricks*. Journal of Materials Research and Technology, 17, 3052–3063. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.067>
- Rashid, M. T., Hossain, M. I., & Ahmed, K. (2024). *Pozzolanic reactivity of different fly ashes and their impact on alkali-activated binder performance*. Materials Today: Proceedings, 90, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.02.067>
- Yadav, R., & Singh, P. (2023). *Influence of Si/Al ratio and curing temperature on mechanical properties of fly ash-based geopolymer bricks*. Case Studies in Construction Materials, 19, e02562. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02562>
- Megasari, S.W., & Soehardi, F. (2025). *Analisa Variasi Suhu dan Waktu Perawatan terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. Jurnal Matriks Teknik Sipil.