

## STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN ABU BONGGOL JAGUNG SEBAGAI SUBSTITUSI *FLY ASH* PADA BETON GEOPOLIMER TERHADAP KINERJA KUAT LENTUR

Muhammad Ujjianto<sup>1\*</sup>, Raihan Fajar Aji Santiko<sup>1</sup>, Budi Setiawan<sup>1</sup>, Abdul Rohman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

\* [ujianto@ums.ac.id](mailto:ujianto@ums.ac.id)

### Abstrak

Beton geopolimer merupakan material konstruksi ramah lingkungan yang dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton berbasis semen Portland untuk mengurangi dampak emisi karbon dioksida. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku kuat lentur beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan substitusi abu bonggol jagung (ABJ). Variasi persentase substitusi ABJ sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% serta tingkat kehalusan lolos saringan No. 200 dan No. 300. Alkali aktivator yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) 14 molar dengan perbandingan NaOH : Natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebesar 1:3. Proses perawatan benda uji dilakukan menggunakan steam curing dan suhu ruang hingga umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan substitusi ABJ mampu meningkatkan nilai kuat lentur secara signifikan, terutama pada persentase substitusi yang lebih tinggi dan tingkat kehalusan yang lebih halus. Nilai kuat lentur optimum diperoleh pada variasi 5% ABJ lolos saringan No. 300 sebesar 5,22 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase dan kehalusan partikel ABJ berperan penting dalam meningkatkan kepadatan dan kinerja mekanik beton geopolimer. Dengan demikian, abu bonggol jagung berpotensi sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam pengembangan beton geopolimer.

**Kata kunci:** abu bonggol jagung, beton geopolimer, *fly ash*, kuat lentur, variasi substitusi

### Abstract

*Geopolymer concrete is an environmentally friendly construction material developed as an alternative to Portland cement-based concrete to reduce carbon dioxide emissions. This study aims to analyze the flexural strength of fly ash-based geopolymer concrete with corn cob ash (ABJ) substitution. Variations in the ABJ substitution percentages were 0%, 1%, 3%, and 5%, along with the fineness levels passing sieves No. 200 and No. 300. The alkali activator used was 14 molar sodium hydroxide (NaOH) with a NaOH:sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ratio of 1:3. The test specimens were cured using steam at room temperature for 28 days.*

*The results showed that ABJ substitution significantly increased the flexural strength, especially at higher substitution percentages and finer fineness levels. The optimum flexural strength value was obtained at 5% ABJ passing sieve No. 300, which was 5.22 MPa. These results indicate that increasing the percentage and fineness of ABJ particles plays a significant role in enhancing the density and mechanical performance of geopolymer concrete. Therefore, corn cob ash has the potential to be an environmentally friendly alternative material for developing geopolymer concrete.*

**Keywords;** corn cob ash, geopolymer concrete, fly ash, flexural strength, substitution variations

---

## 1. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Penggunaan beton di Indonesia meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur yang sangat pesat. Salah satu material utama yang digunakan dalam pembangunan jalan raya, jembatan, bangunan air, dan bangunan gedung adalah beton (Santoso dkk., 2017). Beton adalah material yang terbentuk dari komposisi campuran utama agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan perekat yaitu semen. Beton dipilih menjadi material utama dalam pembangunan infrastruktur, karena memiliki kelebihan yaitu harga murah, mudah dibentuk, memiliki kuat tekan tinggi, mudah dalam pengerjaan dan perawatan, dan tahan terhadap

perubahan cuaca selain itu beton juga memiliki beberapa kekurangan yaitu sifatnya getas sehingga mudah retak diakibatkan beban tarik (Mulyono., 2004).

Semen adalah bahan utama yang digunakan untuk mengikat campuran beton sehingga menjadi satu kesatuan yang solid, namun bahan ini memiliki dampak negatif terhadap lingkungan serta menyebabkan efek pemanasan global apabila digunakan dalam jangka waktu yang panjang (Davidovits, 1994). Semen adalah salah satu material yang saat proses pembuatannya mengeluarkan gas CO<sub>2</sub> yang mengakibatkan terjadinya emisi gas rumah kaca dan menimbulkan terjadinya pencemaran lingkungan (Indrayani dkk., 2022; Ujianto dkk., 2019). Peningkatan dampak kerusakan pada lingkungan dari pembuatan bahan bangunan seperti semen portland menjadikan dorongan besar pada beberapa tahun terakhir untuk meningkatkan pemanfaatan limbah. Secara umum 1 ton semen yang diproduksi menghasilkan 1 ton gas CO<sub>2</sub>. Industri semen merupakan kedua setelah pembangkit listrik dalam memproduksi CO<sub>2</sub> dan menyumbang 7-8% emisi CO<sub>2</sub> yang dihirup oleh manusia di planet ini (Dwihanto dan Herlina., 2019). Oleh karena itu, diperlukan inovasi beton yang ramah terhadap lingkungan. Salah satu alternatifnya adalah beton geopolimer (Hertianisya dan Prasetya., 2023).

Solusi untuk membuat beton yang ramah lingkungan adalah dengan mencoba memanfaatkan bahan tambah dari material-material sisa (limbah) seperti *fly ash* dan abu bonggol jagung (Nasution dkk., 2021). Beton geopolimer adalah beton yang material utamanya mengandung bahan yang bersifat pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa Silika dan Alumina. Dengan bentuknya yang halus, pozzolan dapat direaksikan dengan alkali activator (Triantono dan Wardhono., 2018). Abu terbang (*fly ash*) merupakan hasil dari pembakaran yang dihasilkan oleh batu bara yang dikategorikan limbah berbahaya dan beracun (B3). Penghasilan *fly ash* dari batu bara sekitar 80-90% maka diperlukan pemanfaatan *fly ash* supaya mengurangi limbah tersebut. Beton geopolimer adalah beton yang menggunakan *fly ash* sebagai pengikat dengan penambahan alkali aktivator (Dwihanto dan Herlina., 2019)

Limbah bonggol jagung masih belum dimanfaatkan dan diolah dengan baik sehingga hanya menjadi sampah dan terbungkalai. Pembuangan limbah pertanian yang kurang tepat juga merupakan tantangan lingkungan yang paling utama. Pemanfaatan bonggol jagung dapat dilakukan dengan cara dibakar dahulu pada suhu 650°C–800°C selama lebih dari 8 jam untuk mendapatkan abu bonggol jagung yang disyaratkan sebagai alternatif bahan penyusun beton (Nasution dkk., 2021). Oleh karena itu, bonggol jagung dapat didaur ulang menjadi abu bonggol jagung dan juga dapat digunakan sebagai pengganti semen portland. Abu bonggol jagung mengandung sekitar 60% hingga 70% silika (SiO<sub>2</sub>) dalam komposisi kimianya yang terlibat langsung dalam reaksi pozzolan (Mohan dan Chandrasekaran., 2022). Berbagai tingkat kehalusan memberikan dampak signifikan terhadap kinerja pozzolan dari abu. Penggilingan lebih lanjut pada abu biomassa yang diayak hingga mencapai tingkat kehalusan semen menghasilkan indeks pozzolanisitas yang lebih tinggi, menunjukkan pozzolanisitas abu yang lebih baik. Proses pengayakan mengurangi ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaan spesifiknya. Akibatnya, jumlah situs nukleasi untuk reaksi pozzolan bertambah, sehingga meningkatkan reaktivitasnya (Šupić dkk., 2022).

Ikatan geopolimer harus menggunakan larutan bersifat alkalis atau dikenal dengan istilah alkali aktivator untuk melarutkan unsur-unsur silika dan alumunium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi. Aktivator yang digunakan terdiri dari campuran Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Dari campuran tersebut terjadi ikatan geopolimer dan menjadikan campuran tersebut sebagai binder atau pengikat untuk menghasilkan ikatan antar agregat dalam campuran beton (Widyaningsih dkk., 2022). Semakin meningkatnya nilai molaritas NaOH maka kuat tekan dan kuat lentur semakin meningkat (Rohit dkk., 2024).

Perkembangan beton geopolimer sebagai alternatif ramah lingkungan telah banyak diteliti, terutama yang berbasis *fly ash*. Kasyanto (2012) serta Wallah dan Windah (2014) telah mengonfirmasi bahwa penggunaan *fly ash* dengan aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dan NaOH menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur yang stabil, di mana kuat lentur geopolimer memiliki proporsi 10%–15% dari kuat tekannya. Namun, ketergantungan pada *fly ash* memicu perlunya eksplorasi material pozzolan lain, seperti limbah pertanian berupa abu bonggol jagung (ABJ).

Sejauh ini, penelitian mengenai abu bonggol jagung masih didominasi oleh aplikasinya pada beton konvensional (berbasis semen). Hepiyanto dan Firdaus (2019) membuktikan bahwa substitusi 4% abu bonggol jagung pada beton semen mampu meningkatkan kuat tekan hingga 33,04 MPa. Di sisi lain, Oyeibisi dkk. (2020) mulai mengintegrasikan ABJ ke dalam beton geopolimer, namun terbatas sebagai substitusi

GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*) untuk menguji kuat tarik belah, bukan sebagai substitusi *fly ash*.

Analisis gap yang ditemukan adalah substitusi material: meskipun Hepiyanto (2019) telah meneliti abu bonggol jagung, fokusnya adalah pada beton semen konvensional. Sementara itu, penelitian geopolimer oleh Solikin dkk. (2021) serta Rahmi dan Mawardi (2022) lebih berfokus pada kehalusan *fly ash* dan aktivator pada tanah napa. Belum ada kajian mendalam mengenai bagaimana interaksi kimiawi antara abu bonggol jagung sebagai substitusi parsial *fly ash* dalam sistem polimerisasi anorganik. Kemudian parameter **kinerja**: mayoritas penelitian yang ada, seperti Putri dan Rachmansyah (2023), berfokus pada modulus elastisitas dan kuat tekan. Data mengenai kinerja kuat lentur khusus pada beton geopolimer berbasis campuran *fly ash* dan abu bonggol jagung masih sangat terbatas. Belum ditemukan rasio optimum penggunaan abu bonggol jagung terhadap *fly ash* yang secara spesifik ditujukan untuk meningkatkan ketahanan lentur beton geopolimer.

Oleh karena itu, penelitian berjudul "Studi Eksperimental Pemanfaatan Abu Bonggol Jagung sebagai Substitusi *Fly ash* pada Beton Geopolimer terhadap Kinerja Kuat Lentur" sangat penting dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut dengan menganalisis apakah karakteristik mekanis abu bonggol jagung dapat memperbaiki atau menyamai kinerja lentur *fly ash* murni dalam struktur beton geopolimer.

Tujuan yang ingin dicapai penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat lentur beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan variasi campuran abu bonggol jagung dan pengaruh kehalusan abu bonggol jagung terhadap kuat lentur beton geopolimer serta komposisi campuran maksimal dari abu bonggol jagung 0%, 1%, 3%, dan 5% pada beton geopolimer.

## 2. METODOLOGI

Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut: Tahap pertama dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur beton geopolimer, dengan tujuan untuk memahami langkah-langkah yang perlu dilakukan dan persiapan yang diperlukan dalam penelitian ini.

Tahapan kedua merupakan tahap pemeriksaan bahan dasar yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Pemeriksaan bahan dasar dilaksanakan yaitu :

- a) Abu bonggol jagung lolos saringan no. 200 dan 300.
- b) *Fly ash* menggunakan tipe kelas F yang diperoleh dari PLTU di kota Jepara
- c) Alkali activator NaOH padat dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  didapatkan dari toko bahan kimia.
- d) Agregat halus dilakukan pemeriksaan, pengujian SSD, pemeriksaan kandungan lumpur, pengujian kandungan organik, pengujian berat jenis dan pemeriksaan penyerapan air berdasarkan SNI 7656-2012
- e) Agregat kasar dilakukan pemeriksaan keausan, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan penyerapan air, pemeriksaan gradasi dan pemeriksaan berat isi berdasarkan SNI 7656-2012

Tahap ketiga pembuatan campuran beton berdasarkan SNI 7656-2012 yang dimodifikasi. Pembuatan campuran beton dilakukan sesuai dengan proporsi masing-masing bahan yang telah ditentukan, kemudian dilakukan uji slump. Setelah uji slump selesai, dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji berupa balok dengan ukuran 60 x 15 x 15 cm untuk pengujian kuat lentur.

Setelah pembuatan beton selesai, cetakan yang berisi adonan beton, didiamkan selama 24 jam di tempat yang aman, kemudian cetakan dilepas. Perawatan beton dimulai dengan melepaskan beton dari cetakannya setelah berumur 24 jam. Setelah dilepaskan, beton dirawat menggunakan uap selama 2 jam per hari selama 14 hari (Ujiyanto dkk., 2024). Kemudian, perawatan dilanjutkan pada suhu ruangan selama 14 hari. Setelah itu, dilakukan pengujian kuat lentur dengan total perawatan 28 hari

Tahap keempat bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat lentur beton geopolimer pada usia 28 hari menggunakan *Universal Testing Machine*. Pengujian dilakukan pada beton geopolimer berukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm.

Tahap kelima; hasil pengujian yang dilakukan pada tahap IV, dilakukan analisis data nilai kuat lentur. Analisis ini merupakan pembahasan dari hasil penelitian, yang kemudian digunakan untuk membuat beberapa kesimpulan pada penelitian ini.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada benda uji penelitian ini adalah uji slump dan uji kuat lentur pada balok. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

#### Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan sebelum campuran beton dituangkan ke dalam cetakan balok beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelacakan beton (*workability*) dan kekentalan pada adukan beton yang akan dimasukkan ke dalam bekisting. Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini adalah 7,5-10 cm. Hasil pengujian nilai slump dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Benda Uji	Slump (cm)
Beton Normal Semen	8
Beton Geopolimer	10
Beton Geopolimer + ABJ Lolos Saringan 200	10
Beton Geopolimer + ABJ Lolos Saringan 300	10



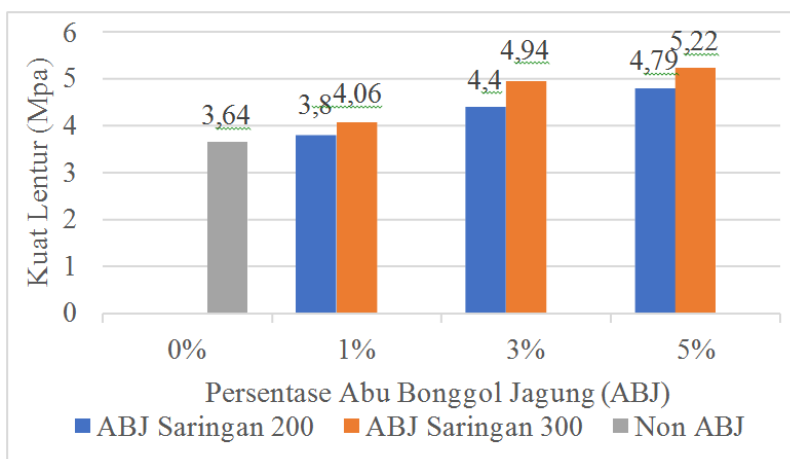
Gambar 1. Pengujian Slump

#### Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk memperoleh nilai kuat lentur pada balok beton. Pengujian ini dilakukan setelah benda uji balok beton berumur 28 hari.

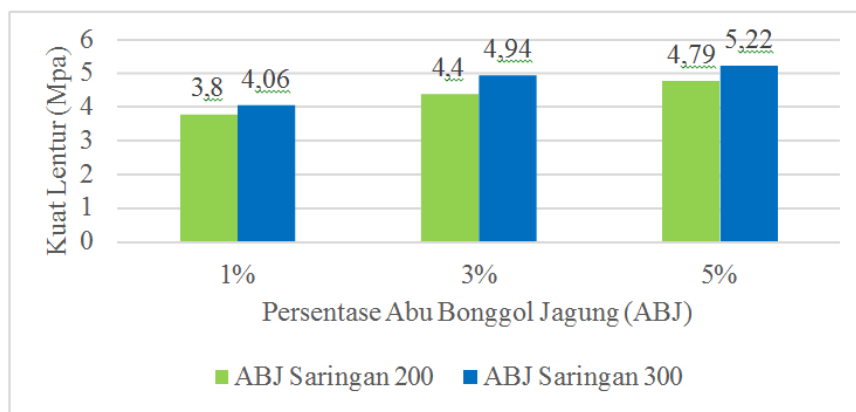
Beton geopolimer non ABJ memiliki nilai kuat lentur sebesar 3,64 MPa. Sementara itu, beton geopolimer dengan penambahan ABJ sebesar 1%, 3%, dan 5% yang lolos saringan 200 memiliki nilai kuat lentur masing-masing sebesar 3,80 MPa, 4,40 MPa, dan 4,79 MPa. Adapun beton geopolimer dengan penambahan ABJ pada persentase yang sama tetapi lolos saringan 300 menunjukkan peningkatan nilai kuat lentur menjadi 4,06 MPa, 4,94 Mpa, dan 5,22 MPa.

Berdasarkan Gambar 2 Grafik Hubungan Kuat Lentur Beton Geopolimer Non ABJ dengan Beton Geopolimer ABJ, terjadi peningkatan kuat lentur rata-rata pada beton geopolimer dengan substitusi ABJ sebesar 1%, 3%, dan 5% yang lolos saringan 200 jika dibandingkan dengan beton geopolimer non ABJ. Peningkatan tersebut masing-masing tercatat sebesar 4,39%, 20,87%, dan 31,59%. Sementara itu, untuk beton geopolimer dengan substitusi ABJ pada persentase yang sama namun lolos saringan 300, peningkatan kuat lentur rata-rata yang diperoleh lebih signifikan, yaitu sebesar 11,53%, 35,71%, dan 43,40%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Karo dkk., 2023) yaitu penambahan ABJ dapat meningkatkan kualitas beton, hasil pengujian paling optimum terdapat pada penambahan ABJ dengan persentase 6% yang dapat meningkatkan nilai kuat lentur.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kuat Lentur Beton Geopolimer Non ABJ dengan Beton Geopolimer ABJ

Berdasarkan data pada Gambar 2 hasil pengujian menunjukkan bahwa beton geopolimer mengalami peningkatan kuat lentur seiring dengan meningkatnya persentase ABJ yang digunakan. Untuk beton geopolimer dengan ABJ lolos saringan 200, kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 15,78% pada persentase 3% dan 8,86% pada persentase 5%. Sementara itu, untuk beton geopolimer dengan ABJ lolos saringan 300, kenaikan kuat lentur rata-rata yang didapat adalah sebesar 21,67% pada persentase 3% dan 5,66% pada persentase 5%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Mildawati dkk., 2022) melakukan penelitian penggantian semen pada abu bonggol jagung sampai 9%, nilai kuat lentur meningkat seiring bertambahnya ABJ. Persentase ABJ optimum terdapat pada variasi 7% yang dimana ABJ dapat menggantikan sebagian kandungan semen dalam beton.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kuat Lentur Beton Geopolimer ABJ Lolos Saringan 200 dan Saringan 300.

Berdasarkan data pada Gambar 3 hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur beton geopolimer mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kehalusan ABJ yang digunakan. Pada persentase 1%, beton geopolimer dengan ABJ lolos saringan 300 mengalami peningkatan sebesar 6,84% dibandingkan dengan beton geopolimer menggunakan ABJ lolos saringan 200. Selanjutnya, pada persentase 3%, peningkatan kuat lentur rata-rata yang didapat sebesar 12,27%, sedangkan pada persentase 5%, peningkatan kuat lentur mencapai 8,97% jika dibandingkan dengan beton geopolimer ABJ lolos saringan 200. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Solikin dkk., 2022) melakukan penelitian dengan menyaring

*fly ash* pada saringan nomor 200 dan 400 mendapatkan hasil peningkatan sebesar 3,5% untuk saringan 200 dan peningkatan sebesar 2,7% untuk saringan 400.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil nilai kuat lentur beton geopolimer abu bonggol jagung lebih baik daripada beton semen. Hasil nilai kuat lentur beton geopolimer abu bonggol jagung lebih tinggi 43,40% dibandingkan dengan beton yang menggunakan semen.
2. Kuat lentur beton geopolimer menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya persentase dan tingkat kehalusan abu bonggol jagung. Nilai kuat lentur optimal dicapai pada campuran 5% abu bonggol jagung yang lolos saringan 300.
3. Abu bonggol jagung lolos saringan 300 memberikan hasil nilai kuat lentur lebih tinggi dibandingkan abu bonggol jagung yang lolos saringan 200.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Sipil UMS atas dukungannya hingga terselesaikannya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002), *SNI 03-6820-2002-Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan Dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008), *SNI 03-1972-2008-Cara Uji Slump Beton*. Badan Standardisasi Nasional. (2011), “SNI 03-4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan.”
- Davidovits, J. (1994), “Properties of Geopolymer Cements”.
- Dwihanto, R.F. dan Herlina, L. (2019), “Pengaruh Molaritas Alkali Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis *Fly ash* Ex Pitu Cirebon Power”, *Universitas Trisakti*. pp. 295–299.
- Hertianisya, N. H. dan Prasetya, N. A. (2023), “*Fly ash* Pitu Sumber Alam Sekurau Kalimantan Utara Sebagai Binder Beton Geopolimer”, *Civil Engineering Scientific Journal*. Vol. 2 No. 1.
- Hepiyanto, R. dan Firdaus, M.A. (2019), “Pengaruh Penambahan Abu Bonggol Jagung Terhadap Kuat Tekan Beton K-200”, *Jurnal UKaRsT*. Vol. 3 No. 2.
- Indrayani, Sulianti, I., Flaviana Tilik, L., Suhirkam, D., Prawira Wardana, M. dan Milawati, I. (2022), “Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Lentur Beton Geopolimer”, *Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 10 No. 1, pp. 69–76.
- Karo, P. K., Pratama, R. O. dan Marjunus, R. (2023), “The Effect of Adding Corn Cob Ash to The Physical and Mechanical Properties of Mortar”, *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, Vol. 4 No. 1, p. 1.
- Kasyanto, H. (2012), “Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktivator Sodium Hidroksida Dan Sodium Silikat”, *Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- Mildawati, R., Puri, A. dan Handayani, M.Z. (2022), “Effects of Corn Stalks Ash as A Substitution Material of Cement Due to the Concrete Strength of Rigid Pavement”, *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, UIR Press, Vol. 7 No. 1, pp. 21–26, doi: 10.25299/jgeet.2022.7.1.4681.
- Mohan, S. dan Chandrasekaran, P. (2022), “Effect of Artificial Fibers and Corn Cob Ash on Mechanical Behavior of High Performance Concrete”, *Polish Journal of Environmental Studies*, HARD Publishing Company, Vol. 31 No. 4, pp. 3713–3721, doi: 10.15244/pjoes/146991.
- Mulyono, T. (2004), *Teknologi Beton*, Andi Yogyakarta.
- Nasution M, W.K.S.E. (2021), “Tinjauan Kuat Tekan Dan Lentur Dari Campuran Beton Yang Menggunakan Abu Bonggol Jagung Sebagai Pengganti Sabagian Agregat Halus”, *Konferensi Nasional Sosial Dan Engineering Politeknik Negeri Medan* .
- Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F. dan Ngene, B. (2020), “Assessment of activity indexes on the splitting tensile strengthening of geopolymer concrete incorporating supplementary cementitious materials”, *Materials Today Communications*, Elsevier Ltd, Vol. 24, doi: 10.1016/j.mtcomm.2020.101356.

- Putri, E.C. dan Rachmansyah. (2023), “Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Pada Beton Geopolimer”, *Agustus*, Vol. 6 No. 3, pp. 635–644.
- Rahmi, A. dan Mawardi, M. (2022), “Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH Sebagai Alkali Aktivator Terhadap Kuat Tekan Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa”, *Chemistry Journal*, Vol. 11 No. 2.
- Rohit, P., Gunneswara Rao, T.D. dan Chandrasekhar, M. (2024), “Effect of construction demolition waste as fine aggregate and NaOH molarity on strength and fracture parameters of slag based geopolymer mortars”, *Journal of Engineering and Applied Science*, Institute for Ionics, Vol. 71 No. 1, doi: 10.1186/s44147-024-00373-2.
- Santoso, A., Darmono, Ma’arif, F. dan H, S. (2017), “Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012”, *INERSIA Lnformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur2*, Vol. XIII No.2.
- Triantono, R.E. dan Wardhono, A. (2018), “Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Nilai Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Wet Mixing Dengan Berbahan Dasar Abu Terbang Dan Naoh 8m”.
- Wallah, F.E.S.P.S.E. dan Windah, R.S. (2014), “Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)”, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2 No. 7, pp. 337–343.
- Widyaningsih Euneke, Herbudiman Bernardinus dan Fanny Fauzi Fikri. (2022), “Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer”, *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, Vol. Vol. 08 No. 03, pp. 176–185, doi: 10.26760/rekaracana.
- Solikin, M., Nur Ihsan, I., Setiawan, B. dan Nurchasanah, Y. (2021), “Analisis Kehalusan *Fly ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Durabilitas Beton High Volume *Fly ash* Mutu Normal”.
- Solikin, M., Setiawan, B., Nurchasanah, Y. dan Prayogi, S. (2022), “Analisis Penetrasi Ion Klorida Pada Beton High Volume *Fly ash* Mutu Tinggi Dengan Variasi Tingkat Kehalusan *Fly ash*”, *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*.
- Šupić, S., Malešev, M., Radonjanin, V., Pantić, V. dan Lukić, I. (2022), “Characterization of harvest residues ashes and ceramic waste powders originating from Vojvodina as potential supplementary cementitious materials”, *Gradjevinski Materijali i Konstrukcije*, Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), Vol. 65 No. 4, pp. 155–166, doi: 10.5937/grmk2204155s.
- Ujianto, M., Ali, A. Z. M. dan Solikin, M. “Structural behavior of precast concrete wall panels due to dynamic load: A review,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2114, no. June, 2019, doi: 10.1063/1.5112457.
- Ujianto, M., Majid, M. A., Pambudi, R., Rofiq, M. A. R., Nurchasanah, Y. dan Solikin, M. “The effect of different heat curing methods on the compressive strength of *fly ash*-based geopolymer concrete,” 2024.