



## Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Sekam Padi

Rani Adinda Meiliana<sup>1</sup>, Sartika Nisumanti<sup>2\*</sup>, Febryandi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang  
<sup>1</sup>adindameiliana110500@gmail.com, <sup>2</sup>sartika.nisumanti@uigm.ac.id, <sup>3</sup>febryandialfuady@uigm.ac.id

### Abstract

*Geopolymer concrete is an environmentally friendly alternative to conventional concrete because it has the potential to reduce carbon emissions. Rice husk ash, an agricultural waste, serves as a source of silica and alumina in the geopolymerization process. This study aims to determine the compressive strength value of geopolymer concrete in each variation and the use of alkali activator ratios between  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  and  $\text{NaOH}$  with ratios of 1:2, 2:2, and 3:2. In the study of the compressive strength characteristics of engineering concrete, the experimental method was used. Based on the study of the compressive strength characteristics of geopolymer concrete made from rice husk ash, normal concrete at the age of 28 days has a compressive strength of 368 kg/cm<sup>2</sup>, while in the 1st geopolymer concrete at the age of 28 days, a compressive strength of 349 kg/cm<sup>2</sup> is obtained. This shows that the compressive strength of the 1st geopolymer concrete has decreased by 5% from normal concrete, in the 2nd geopolymer concrete at the age of 28 days, a compressive strength value of 475 kg/cm<sup>2</sup> was obtained, which means that the compressive strength of the 2nd geopolymer concrete has increased by 29% from the compressive strength of normal concrete. This study identified the optimal compressive strength of geopolymer concrete, specifically noting that the second geopolymer concrete reached a value of 475 kg/cm<sup>2</sup>.*

*Keywords: Concrete, Compressive Strength, Geopolymer, Rice Husk Ash.*

### Abstrak

Beton geopolimer menjadikan alternatif ramah lingkungan bagi beton konvensional karena memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon. Abu sekam padi yang merupakan limbah pertanian, digunakan sebagai sumber silika dan alumina dalam proses geopolimerisasi. Studi ini bertujuan untuk mengetahui berapa nilai kuat tekan beton geopolimer pada masing-masing variasi serta penggunaan rasio alkali aktivator antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  dengan perbandingan 1:2, 2:2, dan 3:2. Pada studi karakteristik kuat tekan beton teknik yang digunakan dengan metode eksperimen. Hasil studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu sekam padi menghasilkan beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 368 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan pada beton geopolimer ke-1 di umur 28 hari didapatkan kuat tekan senilai 349 kg/cm<sup>2</sup> hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer ke-1 mengalami penurunan 5% dari beton normal, pada beton geopolimer ke-2 di umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup> yang artinya kuat tekan beton geopolimer ke-2 mengalami kenaikan sebesar 29% dari kuat tekan beton normal. Hal ini menunjukkan studi karakteristik pada nilai kuat tekan beton geopolimer yang paling optimal yaitu beton geopolimer ke-2 dengan sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup>.

Kata kunci: Abu Sekam Padi, Beton, Geopolimer, Kuat Tekan.

Diterima Redaksi : 2024-11-20 | Selesai Revisi : 2025-01-22 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

### 1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan karena memiliki banyak manfaat, termasuk perolehan komponen yang cepat, kemudahan dalam pembentukan sesuai spesifikasi yang tepat, dan biaya perawatan yang murah. Beton terdiri dari empat bahan: semen, air, agregat halus dan kasar [1]. Penggunaan semen dapat mengakibatkan dampak buruk terhadap lingkungan karena menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), yang tidak hanya

mencemari air dan udara, tetapi juga berpotensi menciptakan perubahan iklim. Beton merupakan bahan yang sangat dicari untuk infrastruktur saat ini karena kualitasnya yang luar biasa, kebutuhan perawatan yang rendah, dan ketahanan terhadap api dan keausan [2]. Jumlah semen yang diproduksi dan jumlah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dihasilkan akan meningkat jika beton digunakan lebih sering. Oleh karena itu, beton geopolimer sebagai pengganti semen yang diperlukan untuk mengatasi dampak buruk dari penggunaan semen.



Beton geopolimer (*geopolymer concrete*) adalah sejenis alumina-silika anorganik yang dibuat dengan bahan pengikat dari sumber daya alam atau limbah industri [3]. Selama proses pengerasan, terjadi reaksi polimerisasi pada bahan pengikat. Material dengan kandungan silika (Si) dan alumina (Al) yang tinggi merupakan bahan pengikat utama beton geopolimer [4]. Dengan menggunakan metode polimerisasi, bahan-bahan alami non-organik, termasuk beberapa bahan limbah produk sampingan industri seperti abu sekam padi (RHA), abu terbang (*fly ash*), cangkang telur, dan asap silika, disintesis untuk membuat bahan beton ini. Kiranya menggunakan semen sebagai pengikat, mineral yang kaya akan silika dan alumina yang bereaksi dengan cairan alkali untuk membentuk pengikat digunakan untuk membuat beton geopolimer [5].

Abu yang terbuat dari sekam padi yang berasal dari sisa pasca panen dikenal sebagai abu sekam padi. Abu sekam padi memiliki konsentrasi silika yang tinggi. Karena tanaman padi menyimpan silika di dalam bulir padi dan sekam yang membungkusnya. *Persentase silika* dari abu yang diperoleh dari pembakaran sekam padi pada suhu 600-900°C adalah 87-97%, dengan kisaran 16-25%. Abu sekam padi dapat digunakan untuk pupuk organik dan bahan bakar alternatif selain sebagai pengganti semen dalam beton [6].

Beton didefinisikan oleh SNI 2847:2013 sebagai campuran air, agregat halus, kasar, dan hidrolis, seperti semen portland atau semen hidrolis lainnya, dan komponen lain yang dapat membentuk massa padat [7]. Seiring bertambahnya usia, beton akan memadat dan, setelah 28 hari, mencapai kekuatan yang diinginkan (*f<sub>c</sub>*). Jika beton tidak dilakukan perawatan akan terjadi penguapan air dari beton segar, sehingga air mengalir keluar dari dalam beton segar, dan akan timbul retakan-retakan pada permukaan beton [8].

Komponen campuran beton meliputi semen portland, batu halus, kerikil, dan air, sesuai dengan peraturan SNI T-15-1991-03. Batu pecah, pasta semen, dan pasir merupakan bahan penyusun beton [9]. Selama proses pengerasan, pasta semen berfungsi untuk mengikat agregat sehingga dapat saling mengikat dan membentuk benda padat yang tahan lama [10]. Jenis beton baru yang disebut beton geopolimer tidak membutuhkan semen 100% sebagai pengikat. Semen dapat sepenuhnya diganti dengan bahan termasuk silika (Si) dan aluminium (Al), berkat penemuan teknik polimerisasi anorganik ilmuwan Perancis yang dikenal sebagai geopolimer. Alkali dan Si bereaksi secara polimer yang berlangsung dalam beton geopolimer. Abu sekam padi mengandung komponen kimia Si dan Al, menjadikannya salah satu bahan yang digunakan untuk membuat beton geopolimer.

Geopolimer didefinisikan sebagai alumina-silika anorganik yang terdiri dari material dengan konsentrasi

alumina (Al) dan silika (Si) yang tinggi, yang dapat berasal dari produk sampingan industri atau sumber-sumber alami [11]. Salah satu jenis beton yang dikenal sebagai beton geopolimer dibuat dengan mengganti semua semen portland dengan bahan-bahan yang mengandung pozzolan. Peralihan melalui proses hidrasi seperti dalam pengembangan beton biasa, reaksi kimia terjadi dalam pembentukan beton geopolimer. Untuk alasan ini, pencampuran bahan pozzolan dengan aktivator alkali sangat penting untuk membuat beton geopolimer. Dua aktivator alkali yang paling umum adalah natrium silikat dan natrium hidroksida. Natrium hidroksida dan natrium silikat dapat digunakan untuk membuat ikatan polimer yang kuat. Yang pertama digunakan untuk mereaksikan komponen Al dan Si, sedangkan yang kedua digunakan untuk mempercepat reaksi polimerisasi [12]. Cairan yang mempunyai peranan penting pada proses polimerisasi yaitu alkali aktivator [13]. Fungsi dari alkali aktivator ialah untuk melarutkan reaksi kimia seperti unsur alumina dan silika yang terdapat pada abu sekam padi. Larutan alkali aktivator biasanya digunakan pada beton geopolimer ialah gabungan dari Natrium Silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium Hidroksida (NaOH) [14]. Alkali oksidasi NaOH atau sering dikenal sodium hidroksida adalah senyawa yang sangat reaktif yang termasuk golongan basa kuat. NaOH yang dideteksi melalui elektrolisis produk reaksi Natrium Clorida (NaCl). Dalam kelas alkali pada golongan satu untuk Na masuk kedalam kelas logam tabel periodik alkali tetapi tidak dengan hidrogen dan unsur yang reaktif secara alami tidak akan ditemukan dalam tabel periodik. Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) merupakan senyawa unsur sodium silikat yang proses pembuatannya cepat dan tidak terlalu rumit dan senyawa ini termasuk paling aman dalam industri kimia. Sodium silikat terbagi dari 2 bentuk yakni, bentuk larutan dan juga bentuk padat. Dalam perkembangannya silikat bisa digunakan dalam beberapa keperluan seperti, coating, campuran untuk cat serat pada beberapa keperluan industri misalnya serat, tekstil, dan kertas. Selain itu juga, silika bisa digunakan untuk bahan campuran pada semen [15].

Berdasarkan latar belakang yang ada maka akan dilakukan penemuan eksperimen mengenai “Pengaruh Rasio Alkali Aktivator Pada Kuat Tekan Beton Geopolimer” untuk menentukan berapa nilai kuat tekton geopolimer pada masing-masing variasi. Penggunaan rasio aktivator antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH antara lain 1:2, 2:2, dan 3:2.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Indo Global Mandiri [16]. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa eksperimen studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu sekam padi.

## 2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperiksa, termasuk butiran besar (agregat kasar atau batu pecah), dan diisi oleh batuan kecil (agregat halus atau pasir), serta pori-pori agregat halus diisi oleh semen dan air (pasta semen) selanjutnya diperiksa sesuai dengan persyaratan SNI 03-2834-2000 untuk pemeriksaan agregat [17].

## 2.2. Tahap Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk memperoleh data karakteristik agregat untuk dapat dicampur dalam pembuatan beton. Pada tahap pengujian ini terdiri dari pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan kadar lumpur, pemeriksaan kadar air, berat jenis dan penyerapan agregat, serta uji slump test. Dalam hal ini acuan pengujian bahan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan dilengkapi dengan *American Society For Testing and Materials (ASTM)*.

## 2.3. Perencanaan Campuran Beton

Untuk mendapatkan efek yang diinginkan selama proses pembuatan beton, kekuatan dan proporsi konstituen harus ditentukan dengan tepat. Tahapan yang dilakukan dalam mendesain campuran beton dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 diperoleh aktivator alkali  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  digunakan dengan rasio yang berbeda yaitu 2:1 pada beton geopolimer-1 (BG-1). Menggunakan perubahan rasio alkali aktivator/naftalena 2:2 pada beton geopolimer - 2 (BG-2). Rasio 3:2 dari aktivator alkali  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  digunakan dalam produksi beton geopolimer - 3 (BG-3).

## 2.4. Kuat Tekan Beton

Kualitas beton dijelaskan oleh kekuatan tekannya, yang menunjukkan seberapa baik kinerjanya dalam menjalankan fungsi yang dimaksudkan. Pengujian kuat tekan beton dengan silinder menggunakan rumus yang mengacu pada SNI 1974: 2011 sebagai berikut (Pitriyani et al., 2024):

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

$f'c$  = Kekuatan Tekan Beton (Mpa atau N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban Hancur (N)

A = Luas Silinder (mm<sup>2</sup>)

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembahasan dalam penelitian ini adalah pengujian mengenai material seperti untuk mengetahui kadar lumpur, berat jenis, analisa saringan, dan daya serap air serta pengujian karakteristik beton seperti uji *slump*,

*setting time* [18]. Selanjutnya dilakukan analisis uji kuat tekan beton normal dan analisis beton geopolimer.

### 3.1. Analisis Pengujian Material

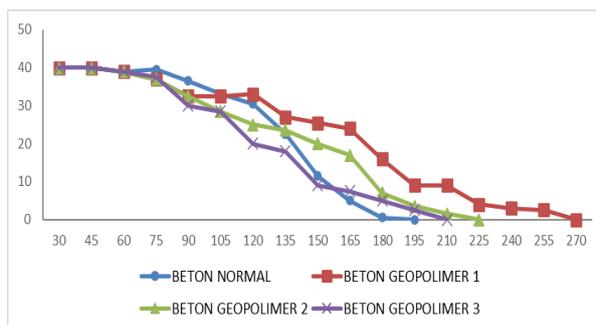
Analisis pengujian agregat halus dan agregat kasar dilakukan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur, berat jenis, analisa saringan, dan daya serap air. Selanjutnya, untuk menentukan apakah sesuai atau tidak, data hasil pengujian akan dibandingkan dengan data hasil pengujian yang ada di SNI.

### 3.2. Analisis Pengujian *Slump*

Teknik pengujian slump yang digunakan untuk menilai viskositas beton yang baru dicampur. Teknik ini juga memberikan wawasan tentang seberapa mudahnya bekerja dengan beton yang baru dicampur. Nilai slump yang tinggi menunjukkan bahwa campuran beton baru tersebut encer dan mudah dikerjakan; semakin besar nilai kekentalannya, semakin mudah campuran beton baru tersebut dikerjakan. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan campuran beton baru yang kental. Nilai slump beton geopolimer ini tidak dimaksudkan. Dalam penyelidikan ini, nilai slump beton rata-rata adalah 10 cm.

### 3.3. Hasil Pengujian *Setting Time*

Pengujian *setting time* yang digunakan untuk mengukur waktu pengikatan awal dan akhir pasta pengikat. Proses pengikatan awal terdeteksi saat jarum vicat turun hingga 15 mm. Namun, pengikatan akhir diukur pada sekitar 0 mm. Dilakukan 4 percobaan dalam pengujian waktu pengerasan ini, seperti yang dapat dilihat dari Gambar 1 mengenai komposisi campuran pengikat:



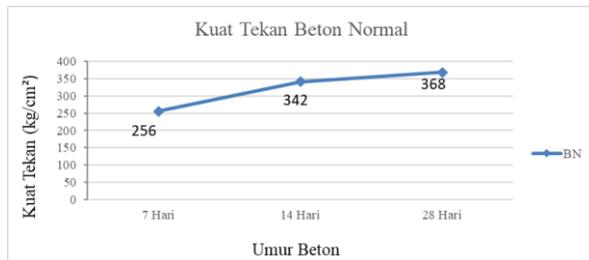
Gambar 1. Grafik *Setting Time*

Dari Gambar 1 menjelaskan bahwa waktu pengerasan beton yang biasa adalah 145 menit untuk pengerasan pertama dan 195 menit untuk pengerasan akhir. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa beton biasa memerlukan waktu tiga jam lima belas menit untuk mengeras. Sebaliknya, waktu pengerasan pertama dan terakhir untuk beton geopolimer -1 masing-masing adalah 181 dan 270 menit, yang berarti bahwa waktu pengerasan untuk beton geopolimer -1 adalah 4 jam 30

menit. Berikutnya, beton geopolimer - 2, yang memerlukan waktu 3 jam 45 menit untuk mengeras, seperti yang dapat dilihat dari grafik, memiliki waktu pengerasan awal 165 menit dan waktu pengerasan akhir 225 menit. Terakhir, beton geopolimer -3, yang memerlukan waktu pengerasan lebih lama lagi, memerlukan waktu pengerasan awal 138 menit dan waktu pengerasan akhir 210 menit. Kesimpulannya adalah bahwa diperlukan waktu pengerasan selama 3 jam 30 menit untuk beton geopolimer -3.

### 3.4. Hasil Analisis Uji Kuat Tekan Beton Normal

Pengujian kuat tekan benda uji berdasarkan umur yang telah ditetapkan yaitu 7, 14, dan 28 hari dilakukan setelah benda uji tersebut diproduksi dan dirawat. Dengan menggunakan berbagai aktivator alkali, pengujian benda uji berupaya untuk memastikan kuat tekan benda uji relatif terhadap beton K 300. Hasil analisis kuat tekan beton normal sesuai umurnya dapat dilihat pada Gambar 2.

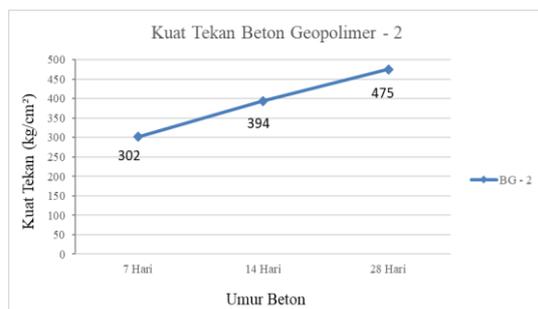


Gambar 2. Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Normal

Berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton normal umur 7 hari adalah sebesar 256,1 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan beton normal 14 hari sebesar 341,5 kg/cm<sup>2</sup>, dan beton normal umur 28 hari sebesar 368 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal mengalami kenaikan di setiap umur betonnya.

### 3.5. Hasil Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian beton geopolimer dilakukan untuk mendapatkan hasil kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan tiga kali pengujian. Untuk pengujian ke-2 diperoleh hasil yang optimal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton Geopolimer ke-2  
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i1.1034>

Gambar 3 menerangkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer ke-2 umur 7 hari adalah diperoleh nilai 302,22 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan pada umur beton 14 hari didapat nilai sebesar 394 kg/cm<sup>2</sup>, dan beton geopolimer umur 28 hari sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup> serta menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal mengalami kenaikan signifikan disetiap umur betonnya.

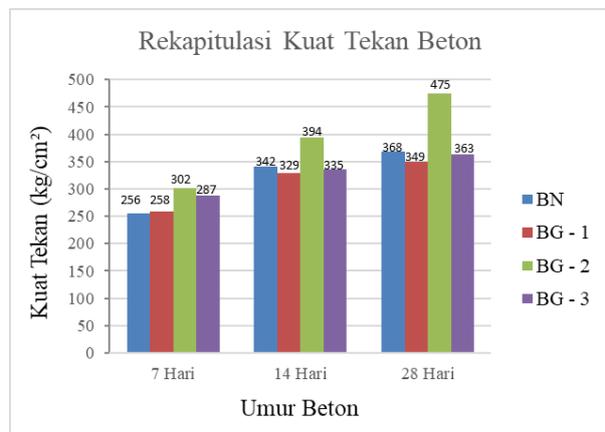
### 3.6. Hasil Analisis Rekapitulasi Keseluruhan Kuat Tekan Terhadap Umur Beton

Hasil kuat tekan dari semua beton normal dan beton geopolimer pada umur beton 7, 14, 28 hari dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton

Umur Beton	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )			
	BN	BG-1	BG-2	BG-3
7 hari	256	258	302	287
14 hari	342	329	394	335
28 hari	368	349	475	363

Dari Tabel 1 rekapitulasi kuat tekan beton dapat disajikan dalam bentuk diagram batang. Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan Beton

Menurut Tabel 1 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan meningkat seiring bertambahnya usia untuk setiap jenis variasi. Beton umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dari pada beton umur 7 dan 14 hari pada setiap variasinya, menurut penelitian yang telah dilakukan mengenai perbandingan antara beton biasa dengan beton geopolimer dengan varian aktivator alkali. Dengan rata-rata kuat tekan sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari, beton geopolimer 2:2 memiliki nilai kuat tekan yang paling besar, sedangkan beton geopolimer 2:1 memiliki nilai kuat tekan yang paling kecil yaitu sebesar 349 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bagaimana kuat tekan beton geopolimer

dipengaruhi secara signifikan oleh perbandingan larutan alkali natrium hidroksida dengan natrium silikat.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa kuat tekan untuk beton normal dan beton variasi geopolimer mengalami kenaikan di setiap umurnya. Beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 368 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan pada beton geopolimer ke-1 di umur 28 hari didapatkan kuat tekan senilai 349 kg/cm<sup>2</sup> hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer ke-1 mengalami penurunan 5% dari beton normal, pada beton geopolimer ke-2 di umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup> yang artinya kuat tekan beton geopolimer ke-2 mengalami kenaikan sebesar 29% dari kuat tekan beton normal dan yang terakhir beton geopolimer ke-3 memiliki nilai kuat tekan 363 kg/cm<sup>2</sup> di umur 28 hari hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer ke-3 mengalami penurunan 1% dari beton normal. Serta, nilai kuat tekan beton geopolimer yang paling optimal yaitu beton geopolimer ke-2 dengan sebesar 475 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis dengan senang hati berterima kasih kepada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Indo Global Mandiri Palembang yang telah memfasilitasi laboratorium sehingga dapat melakukan penelitian ini.

#### Daftar Rujukan

- [1] N. Puspita, Y. Arti, and Febryandi, "Flexural Strength Analysis of Concrete With the Addition B3 Waste as an Additive to Ordinary Portland Cement," *Proc. 4th Forum Res. Sci. Technol.*, vol. 7, pp. 343–348, 2021, doi: 10.2991/ahe.k.210205.057.
- [2] Azhar Darujati, Sartika Nisumanti, and Ghina Amalia, "Analisis Kuat Tekan Dan Ultrasonic Pulse Velocity (Upv Test) Pada Mutu Beton K 350 Menggunakan Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Kasar," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 12, no. 1, pp. 30–35, 2023, doi: 10.22225/pd.12.1.5890.30-35.
- [3] M. Qomaruddin, K. Umam, I. Istianah, Y. Adi Saputro, and P. Purwanto, "Pengaruh Bahan Kalsium Oksida pada Waktu Pengikatan Pasta Beton Geopolimer dan Konvensional," *EKSAKTA J. Sci. Data Anal.*, vol. 19, pp. 182–192, 2019, doi: 10.20885/eksakta.vol19.iss2.art8.
- [4] Y. N. Muhammad Ujianto, Fnadi Ahmad Dhia Ul Haq, Budi Setiawan, "PENGARUH PERBANDINGAN KADAR SOLID LARUTAN ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER DENGAN AKTIFATOR NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil 2020*, pp. 390–396, 2020.
- [5] L. Opirina, A. Azwanda, and R. Febrianto, "Analysis of The Mechanical Properties of Concrete Based on Fly Ash and Palm Oil Clinkers," *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 31–35, 2021, doi: 10.52088/ijesty.v1i4.148.
- [6] Sunjoto, "Jurnal Teknik Sipil 1 Jurnal Teknik Sipil," *J. Sendi Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 1989, [Online]. Available: <https://jurnal.usk.ac.id/JTS/index>
- [7] F. Febryandi, D. S. Devi, R. R. Julio, and A. Cristine, "Analisis Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan," *J. Tekno Glob. UIGM Fak. Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 25–29, 2022, doi: 10.36982/jtg.v11i1.2804.
- [8] M. Mulyati and Z. Arkis, "Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal," *J. Tek. Sipil ITP*, vol. 7, no. 2, pp. 78–84, 2020, doi: 10.21063/jts.2020.v702.05.
- [9] F. Alfuady and K. Al Qubro, "Analisis Cangkang Kerang Dara Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Deform.*, vol. 8, no. 2, pp. 192–199, 2023, doi: 10.31851/deformasi.v8i2.13251.
- [10] Y. Risdianto, N. Andajani, A. Widjaya, K. D. Handayani, and M. Wulandari, "Abu Sekam Padi dan Carbon Nanotube sebagai Material Alternatif Penyusun Beton Ringan Seluler," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 14–20, 2022, doi: 10.26740/proteksi.v4n1.p14-20.
- [11] N. Luntungan, M. D. J. Sumajouw, and R. E. Pandaleke, "Optimalisasi Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Menambahkan Semen atau Kapur pada Perawatan Temperatur Ruang," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 7, pp. 749–756, 2019.
- [12] M. Ulya, Zainudin, and T. B. Santoso, "Seminar Nasional Teknik Sipil STUDI EXPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY Seminar Nasional Teknik Sipil karbondioksida yang dihasilkan dari produksi semen .," *Semin. Nas. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 234–243, 2023.
- [13] I. M. A. Karyawan Salain, N. M. A. Wiryasa, and I. N. M. M. Adi Pamungkas, "Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang," *J. Spektran*, vol. 9, no. 1, p. 76, 2021, doi: 10.24843/spektran.2021.v09.i01.p09.
- [14] S. K. Angelika, E. Desimaliana, and M. Khanza, "Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, p. 70, 2023, doi: 10.26760/rekaracana.v9i2.70.
- [15] Maulana et al, "Perbandingan Kekuatan Beton Dengan Fly Ash Dan Silica Fume Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen (Comparison Of Concrete Strength With Fly Ash And Silica Fume As A Partial Cement Substitutions)," *Univ. Islam Indones.*, pp. i–138, 2022.
- [16] Y. M. Sopa N.R, S. Nisumanti, and D. Chandra, "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.26740/proteksi.v5n1.p1-6.
- [17] M. Fauzi, N. Puspita, and R. R. Julio, "Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan," *J. Tekno Glob.*, vol. 11, no. 2, pp. 45–50, 2022, doi: 10.36982/jtg.v11i2.2802.
- [18] S. Nisumanti, M. Hasanah, and F. Febryandi, "Experimental Study of the Utilization of Pineapple Leaf Fiber With the Addition of Epoxy Resin To the Tensile Strength Break of the Concrete," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 24, no. 2, pp. 63–68, 2024, doi: 10.31940/logic.v24i2.63-68.