



Tersedia Secara Online di
<https://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6593>

JURMATEKS

Karakterisasi Mortar Geopolimer terhadap Penambahan Kapur Berbasis Abu Terbang dan ASP dengan NaOH 10 Molar

M. E. Sibuea¹, A. Wardhono^{2*}

^{1,2*}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya

Email : ¹mariaenjelina.21043@mhs.unesa.ac.id, ^{2*}ariewardhono@unesa.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 10 – 01 – 2025

Artikel revisi : 14 – 02 – 2025

Artikel diterima : 20 – 06 – 2025

Keywords :

Compressive Strength, Geopolymer, Lime, Porosity, Rice Husk Ash.

ABSTRACT

Cement which is the main material for making concrete has a negative impact on environmental, namely producing carbon emissions. One alternative to overcome this, is the use of fly ash and rice husk ash as a cement substitute. The addition of lime, which is a form of CaO, functions to increase the reactive properties of class C fly ash. The concrete curing process is carried out at room temperature, because the properties of lime itself speed up the hardening process. This research aims to determine the best ratio for adding lime in terms of compressive strength, porosity and setting time. Lime was added with several variations, namely 1%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 0% as a control. The results of this research on the addition of lime to geopolymers mortar are reducing the compressive strength value, increase porosity, and extends setting time. Mortar with 7.5% lime compared to 1% lime, has lower compressive strength (1.12 MPa: 7.70 MPa), higher porosity (32.91%: 18.72%), and longer setting time (270 minute: 240 minute). However, if mortar with 1% lime compared to normal geopolymers without lime, has better results. Higher compressive strength (7.70 MPa: 5.63 MPa), lower porosity (18.72%: 22.93%), and fast setting time (240 minute: 495 minute). So the results of this research, a slight change in the lime portion can make a significant difference, excessive additions will disrupt the geopolymers reaction.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

M. E. Sibuea, and A. Wardhono, “Karakterisasi Mortar Geopolimer terhadap Penambahan Kapur Berbasis Abu Terbang dan ASP dengan NaOH 10 Molar” Jurmateks, vol.8, no.1, pp. 48 – 62, 2025, doi: [10.30737/jurmateks.v8i1.6593](https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6593)

1. Pendahuluan

Aktivitas konstruksi global terutama di negara-negara berkembang termasuk Indonesia mengalami peningkatan signifikan yang berdampak pada tingginya permintaan beton dan mortar. Perluasan kawasan komersial dan residensial, disertai pembangunan proyek infrastruktur berskala besar menambah tekanan terhadap ketersediaan material konstruksi [1]. Menurut Permen PUPR Nomor 38/PRT/M.2015, bantuan prasarana, sarana, dan utilitas (PSU) dapat mencakup fasilitas seperti jalan, ruang terbuka non-hijau, sanitasi, air minum, rumah ibadah, jaringan listrik, dan penerangan jalan umum dan hingga tahun 2021 jumlahnya telah

mencapai 156.941 [2]. Kondisi ini mendorong kebutuhan material konstruksi yang tidak hanya kuat dan ekonomis, tetapi juga ramah lingkungan serta berkelanjutan.

Semen Portland masih menjadi material utama dalam konstruksi, namun proses produksinya menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2). Diperkirakan, produksi 1 ton semen secara langsung menghasilkan sekitar 1 ton emisi CO_2 [3]. Untuk menekan dampak lingkungan, penelitian terkini mendorong pemanfaatan material alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satunya adalah penggunaan mortar geopolimer berbasis abu terbang (Fly ash) yang mampu menurunkan emisi CO_2 hingga 55%-75% [4], [5]. Keunggulan geopolimer berbasis *fly ash* ini menunjukkan potensi besar sebagai material inovatif pengganti semen untuk mitigasi pemanasan global dan perubahan iklim [6]. Mortar geopolimer berbasis abu terbang kelas C menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelas F pada suhu ruang, karena kandungan kalsium yang lebih tinggi pada abu terbang kelas C [7].

Produksi mortar geopolimer memiliki kelebihan lain, yakni tidak memerlukan energi yang besar seperti pada produksi semen Portland. Proses ini hanya membutuhkan suhu sekitar 25°C saja (suhu ruang) dengan waktu perawatan selama 24 jam [8], [9]. Suatu campuran beton dapat dikategorikan sebagai beton geopolimer apabila bahan pozzolannya memiliki kandungan silika (Si) dan alumina (Al) yang mampu bereaksi dengan larutan alkali [10]. Aktivasi alkali terbukti mampu menurunkan penyerapan air karena mengurangi porositas mortar. Studi menyebutkan bahwa seluruh sampel yang mengandung NaOH mengalami penurunan penyerapan air [11]. Selain abu terbang, abu sekam padi (ASP) yang dihasilkan dari pembakaran limbah pertanian, juga merupakan material pozzolan potensial. Setiap tahun, industri penggilingan padi menghasilkan lebih dari 20 juta ton ASP yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan maupun kesehatan jika tidak dimanfaatkan dengan tepat [12]. Disisi lain, penggunaan kapur sebagai bahan telah dikenal sejak lama pada restorasi bangunan kuno yang menggunakan campuran kapur dengan pozzolan alami maupun buatan. Kapur dikenal ramah lingkungan karena dapat berkarbonasi, mengikat kuat, dan berkontribusi pada keberlanjutan [14]. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penambahan kalsium dalam jumlah kecil mempercepat pengerasan melalui pembentukan gel C-A-S-H, namun pada dosis berlebih dapat mempercepat ataupun memperlambat reaksi tergantung pada jenis aktivator [15], [13]. Meskipun sejumlah penelitian telah mempelajari sifat campuran, penelitian mengenai kapur-pozzolan relatif masih kurang berkembang dibandingkan dengan penelitian campuran semen-pozzolan. Selain itu, masih terbatas pemahaman yang sistematis mengenai pengaruh variasi kadar kapur terhadap sifat mekanis dan fisik, seperti kuat tekan, porositas, dan waktu ikat. Sebagian besar penelitian terdahulu cenderung lebih fokus pada pengaruh abu

terbang sebagai bahan pozzolanik utama, sementara pengaruh kapur sebagai penambahan belum dievaluasi secara komprehensif pada berbagai rasio campuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar kapur terhadap sifat mekanis dan fisik mortar geopolimer berbasis abu terbang dan abu sekam padi yang diaktivasi dengan larutan NaOH 10 M. Fokus pengujian meliputi perkembangan kuat tekan, porositas, dan waktu ikat (uji Vicat) pada berbagai variasi campuran. Melalui kajian ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran kapur dalam sistem geopolimer non-semen, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti semen Portland.

2. Metode Penelitian

Penelitian eksperimental ini menggunakan variasi kadar kapur 0% - 7,5%. Basis yang digunakan adalah material *fly ash* dan abu sekam padi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Penentuan material dan langkah-langkah yang sistematis, diperlukan untuk menganalisis kesesuaian data guna menjawab masalah penelitian. Kegiatan penelitian ini secara garis besar dirancang sebagai beberapa tahapan di antara lain sebagai berikut:

2.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian diawali dengan mempersiapkan alat dan melengkapi kebutuhan material/ bahan, berikut persiapan yang dilakukan:

- a. Material penyusun utama mortar geopolimer adalah abu terbang kelas C dengan kondisi lolos ayakan No. 200;
- b. Pasir yang digunakan tertahan pada ayakan No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan lolos 100;
- c. Abu sekam padi sebagai bahan substitusi parsial disaring dengan ayakan nomor 50 untuk memisahkan dengan kotoran sisa pembakaran.
- d. Kapur yang digunakan lolos mesh 0,300 mm, saringan no. 50. Mortar dipengaruhi oleh kehalusan material penyusunnya, dengan kehalusan tertinggi material mengisi celah antar agregat [18].
- e. Kebutuhan 1 liter NaOH 10 molar disiapkan dengan 400 gram kristal NaOH, dalam proses pencampuran akan terjadi reaksi panas sehingga perlu didiamkan beberapa saat sebelum digunakan. Pengaruh konsentrasi sodium hidroksida pada geopolimer menentukan konsentrasi sodium oksida yang dapat meningkatkan atau menurunkan kekuatan tekan. Para peneliti menyatakan bahwa hal ini disebabkan oleh meningkatnya kelarutan aluminosilikat dengan meningkatnya alkalinitas campuran [9]. Penelitian ini menggunakan NaOH dengan molaritas 10 M.

2.2 Uji Bahan Penyusun

Pengujian bahan dilakukan untuk menentukan kelayakan material berdasarkan standar yang sudah ditentukan. Uji berat jenis dan uji berat volume digunakan untuk menghitung kebutuhan material campuran. Uji XRF dilakukan pada abu terbang dan abu sekam padi, pengujian dilakukan di Lab. Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Uji XRF dilakukan untuk mengetahui kuantitas komposisi kimia material. Pada material pasir lebih banyak dilakukan pengujian karena perannya sebagai material pengisi yang berkontribusi besar terhadap campuran. Uji gradasi pasir dilakukan berdasarkan SNI 03–2834–2000, zona 3 (pasir agak halus). Uji penyerapan air dapat dikontrol dengan menentukan persentase pasir per nomor ayakannya, semakin tinggi nilai penyerapan dipengaruhi pasir halus yang berlebih.

2.3 Pembuatan *Trial Mix Design*

Pembuatan *trial mix* dilakukan untuk menentukan komposisi terbaik sebagai dasar untuk *mix design* final. Komposisi benda uji mortar ditentukan berdasarkan standar ASTM (ASTM C109, 2014). Rasio pasir (w/b) sebesar 2,75. Untuk benda uji geopolimer, digunakan rasio kandungan air terhadap kandungan padatan (w/s). Total kandungan air pada mortar geopolimer dipengaruhi oleh jumlah air yang terkandung dalam sodium silikat, NaOH, dan air. Sementara itu, jumlah total padatan ditentukan oleh jumlah padatan terlarut dalam larutan alkali aktuator serta abu terbang [19]. Hal yang perlu diperhatikan saat pencampuran adalah waktu pengadukan. Pengadukan yang terlalu lama akan menyebabkan campuran mortar cepat kering sehingga sulit untuk dicetak, sedangkan terlalu cepat membuat material tidak tercampur merata [20]. Rasio sodium silikat dan sodium hidroksida (rasio SS/ SH) sebesar 3.0. Rasio air terhadap padatan (w/s) sebesar 0.55 dan untuk molaritas yang digunakan 10M.

2.4 Pembuatan Benda Uji berdasarkan *Mix Design*

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mengacu pada Tabel 1 yang kemudian ditambahkan variasi kapur, dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Komposisi Kebutuhan Bahan

| Mix | Abu Terbang (gram) | ASP (gram) | Kapur (gram) | Pasir (gram) | Aktivator | | Air (gram) |
|--------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|--|---------------|
| | | | | | NaOH 10M (gram) | Na ₂ SiO ₃ (gram) | |
| GN10 – 0.00* | 1108.8 | 277.2 | 0.00 | 3811.5 | 180.18 | 540.54 | 547.5 |
| GK10 – 0.010 | 1108.8 | 277.2 | 34.65 | 3811.5 | 180.18 | 540.54 | 547.5 |
| GK10 – 0.025 | 1108.8 | 277.2 | 69.30 | 3811.5 | 180.18 | 540.54 | 547.5 |
| GK10 – 0.050 | 1108.8 | 277.2 | 103.95 | 3811.5 | 180.18 | 540.54 | 547.5 |
| GK10 – 0.075 | 1108.8 | 277.2 | 13.86 | 3811.5 | 180.18 | 540.54 | 547.5 |

Sumber: Data Hasil Olah (2024).

Dimana, GN = Geopolimer Normal; GK = Geopolimer Kapur; * = Sebagai kontrol

Pada pembuatan *trial mix* terdapat benda uji yang hancur saat dibuka dari cetakan, sehingga dilakukan penyesuaian pada metode pembuatan benda uji. Kapur pada metode lama, dicampurkan dengan bahan pengikat lainnya. Pada metode baru, kapur dilarutkan terlebih dahulu dengan air sehingga mengurangi penggumpalan dan benda uji lebih padat. Persentase kapur pada penelitian ini 0%, 1%, 2.5%, 5%, 7.5% merujuk pada penelitian dengan optimasi kuat tekan dengan penambahan 1% kapur [20]. Pada penelitian ini persentase lebih ditingkatkan dengan rentang yang lebih kecil untuk melihat pengaruhnya dengan lebih luas.

2.5 Perawatan (*Curing*)

Proses perawatan (*curing*) pada mortar geopolimer sangat penting untuk memastikan benda uji mencapai daya tahan dan kekuatan yang optimal. Geopolimer dengan *ambient cured* kini telah menjadi polemik ilmiah baru yang konstruktif. Beberapa peneliti telah memfokuskan pada penggunaan alumino-silikat, seperti abu terbang kelas C dan GGBS (*Ground Granulated Blast-furnace Slag*) seperti kapur [21]. Perawatan dilakukan dengan menyimpan benda uji di tempat yang tidak mengalami lonjakan perubahan suhu.

2.6 Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan tiga jenis pengujian. Pada benda uji mortar usia 7, 14, dan 28 dilakukan uji kuat tekan dan porositas. Uji kuat tekan digunakan untuk mengetahui kemampuan maksimum mortar dalam menerima beban per satuan luas [16], sedangkan uji porositas digunakan untuk menilai tingkat kepadatan material [17]. Uji kuat tekan dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM) berdasarkan SNI 03-1974-1990, sedangkan porositas dilakukan dengan metode seperti pada ASTM C642-06 mencari berat oven, SSD, dan berat dalam air. Pada pasta dilakukan uji vicat berdasarkan masing-masing variasi *mix design* berdasarkan ASTM C191-08. Uji vicat dilakukan saat pasta sudah didiamkan selama 15 menit, setelah itu uji penurunan jarum selama 30 detik dan lakukan secara berulang sampai tidak ada penurunan jarum atau sampai pasta kering.

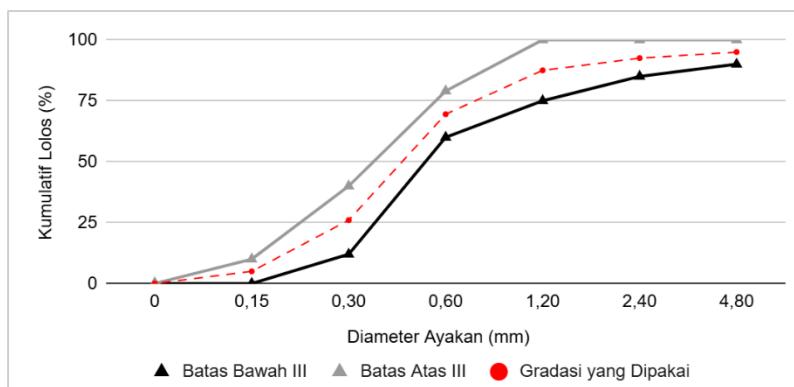
2.7 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui perhitungan rata-rata dengan komparasi antar umur uji, kemudian hasil ditampilkan dengan grafik. Data yang ditampilkan dalam grafik diambil dari dua pengujian, untuk melihat hubungan pengujian dan menjawab tujuan penelitian. Penelitian kuantitatif menggunakan instrumen penelitian seperti observasi terstruktur dan instrumen pengukuran eksperimen. Instrumen ini dirancang untuk mengumpulkan data dalam bentuk angka atau skor yang dapat dianalisis [22]. Penelitian ini menyajikan hasil yang berhubungan dengan pengaruh penambahan kapur, pengaruh usia benda uji, kuat tekan, porositas, dan *setting time*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan

Pengujian gradasi agregat halus dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir yang digunakan dalam penelitian. Hasil analisis gradasi dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 1. Grafik Zona Gradasi Pasir

Hasil pengujian gradasi menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan berada pada zona 3 (pasir agak halus) sesuai SNI 03-2834-2000. Zona ini direkomendasikan sebagai material mortar karena penelitian terdahulu melaporkan bahwa campuran dengan pasir zona 3 menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan zona lainnya [23]. Hal ini disebabkan distribusi butirannya yang lebih halus sehingga penyebaran agregat lebih merata dan rongga yang terbentuk lebih sedikit. Selain gradasi agregat, karakteristik fisik bahan penyusun mortar juga dianalisis untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar yang berlaku. Hasil pengujian berat jenis, modulus kehalusan, dan bulk volume ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Karakteristik Fisik

| Pengujian Bahan | Hasil | Nama Standar | Ketentuan |
|--------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------|
| Modulus Kehalusian | 2.245 | SNI 03-1750-1990 | 1.5 – 3.8 |
| BJ Pasir | 2.517 gr/ cm ³ | ASTM C128 - 07A | 1.6 – 3.2 gr/ cm ³ |
| BJ Abu Terbang | 2.632 gr/ cm ³ | ASTM C128 - 07A | 1.6 – 3.2 gr/ cm ³ |
| BJ Abu Sekam Padi | 2.0 gr/ cm ³ | ASTM C128 - 07A | 1.6 – 3.2 gr/ cm ³ |
| BJ Kapur | 1.923 gr/ cm ³ | ASTM C128 - 07A | 1.6 – 3.2 gr/ cm ³ |
| BV Pasir | 1.699 gr/ cm ³ | ASTM C 29 | 1.6 – 1.9 gr/ cm ³ |

Sumber: Data Hasil Pengujian (2024).

Hasil pengujian berat jenis digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan bahan pada campuran mortar. Standar acuan yang digunakan adalah ASTM C128 - 07A (2009), dan berdasarkan **Tabel 2** nilai yang diperoleh telah memenuhi ketentuan. Pengujian berat volume dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat benda uji terhadap volumenya,

mengacu pada ASTM C 29/C 29M– 97 (2009). Selain itu, uji penyerapan pasir dilakukan untuk menilai kelayakan pasir berdasarkan kondisi jenuh dan kering oven.

Untuk mengetahui komposisi kimia, analisis menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) dilakukan pada abu sekam padi dan abu terbang. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi unsur-unsur dalam bentuk oksida yang terkandung dalam bahan penyusun geopolimer. Sampel homogen dari masing-masing bahan digiling dan dihancurkan menjadi bentuk bubuk halus sebelum dianalisis [24]. Hasil uji XRF dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Komposisi Kimia Bahan (%)

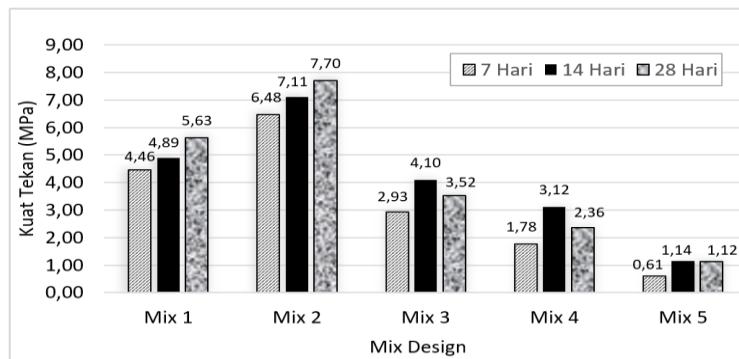
| Bahan | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | K ₂ O | Al ₂ O ₃ |
|----------------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|
| Abu Terbang | 33.80 | 26.60 | 22.90 | 1.52 | 10.00 |
| Abu Sekam Padi | 0.447 | 92.10 | 1.40 | 5.65 | - |

Sumber: Sample Test (2024).

Hasil uji XRF menunjukkan bahwa komponen kimia terbesar pada ASP adalah silika (SiO₂) dengan kadar sebesar 92.10%. Berdasarkan klasifikasi ASTM C618 – 19, abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini termasuk kategori kelas C, karena memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) sebesar 22.9% (lebih dari 18%), serta jumlah total kandungan oksida utama SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃% sebesar 70,4% (lebih dari 50%).

3.2 Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer 10M

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 2** memperlihatkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari terdapat pada campuran GK10 – 0.010 (Mix 2) sebesar 7,70 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah yaitu GK10 – 0.075 (Mix 5) sebesar 1,12 MPa. Peningkatan kuat tekan terus terjadi seiring bertambahnya umur uji. Pada umur 14 hari, campuran GK10 – 0.010 mengalami kenaikan kuat tekan sebesar sebesar 9,72% dibandingkan umur 7 hari. Secara umum, pada umur 14 hari seluruh benda uji menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan.



Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 2. Grafik Uji Kuat Tekan Mortar Geopolimer Kapur 10M

Pada umur 28 hari, nilai kuat tekan menunjukkan variasi yang lebih beragam.

Beberapa campuran mengalami peningkatan, sementara yang lain cenderung stabil atau sedikit

Karakterisasi Mortar Geopolimer terhadap Penambahan Kapur Berbasis Abu Terbang dan ASP dengan NaOH 10 Molar

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6593>



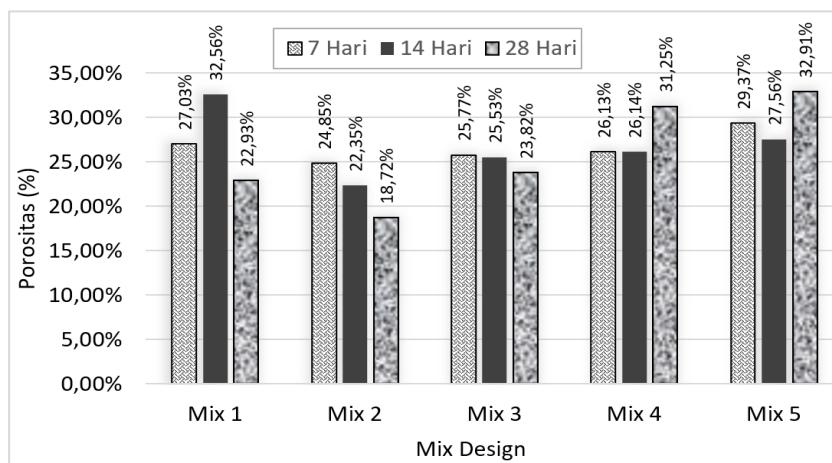
menurun. Fenomena ini diduga dipengaruhi oleh *workability* yang kurang baik, sehingga menghasilkan variasi kuat tekan yang lebih tinggi. Variasi tersebut terlihat pada campuran Mix 3 hingga Mix 5, yang memiliki karakteristik adukan lebih kering dan cenderung menggumpal.

Sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2**, Mix 1 (GK10 – 0.000) dan Mix 2 (GK10 – 0.010) menunjukkan pola peningkatan kuat tekan yang konsisten dari umur 7 hingga 28 hari. Sebaliknya, campuran lainnya memperlihatkan kecenderungan fluktuatif, dengan kekuatan maksimum tercapai pada umur 14 hari. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada Mix 2 (GK10 – 0.010), yakni meningkat dari 7,11 MPa pada 14 hari menjadi 7,70 MPa pada 28 hari, atau mengalami kenaikan sebesar 8%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kapur 1% menghasilkan performa optimum, bahkan lebih tinggi dibanding penelitian terdahulu yang melaporkan kuat tekan 6,8 MPa pada kondisi serupa [20].

Rentang kuat tekan yang dicapai juga cukup signifikan, yakni antara nilai tertinggi 7,70 MPa (Mix 2) dan terendah 0,61 MPa (Mix 5). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penambahan kapur dalam jumlah berlebih dapat meningkatkan jumlah pori pada permukaan mortar sehingga saat diberi beban, struktur mortar menjadi lebih rapuh dan mudah mengalami kerusakan.

3.3 Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Porositas Mortar Geopolimer 10M

Hasil uji porositas pada umur 7, 14, dan 28 hari ditunjukkan pada **Gambar 3**. Grafik tersebut menunjukkan porositas tertinggi pada usia 28 hari oleh Mix 5 (GK10 – 0.075) sebesar 32,91%. Sedangkan yang terendah pada usia 28 hari oleh Mix 2 (GK10 – 0.010) sebesar 18,72%.



Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 3. Grafik Uji Porositas Geopolimer Kapur 10M

Secara umum, Mix 2 dan Mix 3 (GK10 – 0.025) menunjukkan pola penurunan porositas seiring bertambahnya umur perawatan. Sebaliknya, beberapa campuran lain

cenderung stabil atau bahkan mengalami peningkatan signifikan pada umur 14 hingga 28 hari.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kapur dalam jumlah kecil mampu menurunkan porositas mortar, sementara penambahan berlebih justru meningkatkan jumlah pori.

Peningkatan porositas terutama disebabkan oleh terbentuknya pori mikro maupun makro pada permukaan mortar akibat kelebihan kapur. Kondisi ini memperbesar jalur penyerapan dan penguapan air, sehingga rongga yang terbentuk lebih banyak dan berdampak pada meningkatnya porositas secara keseluruhan.

3.4 Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Waktu Ikat Mortar Geopolimer 10M

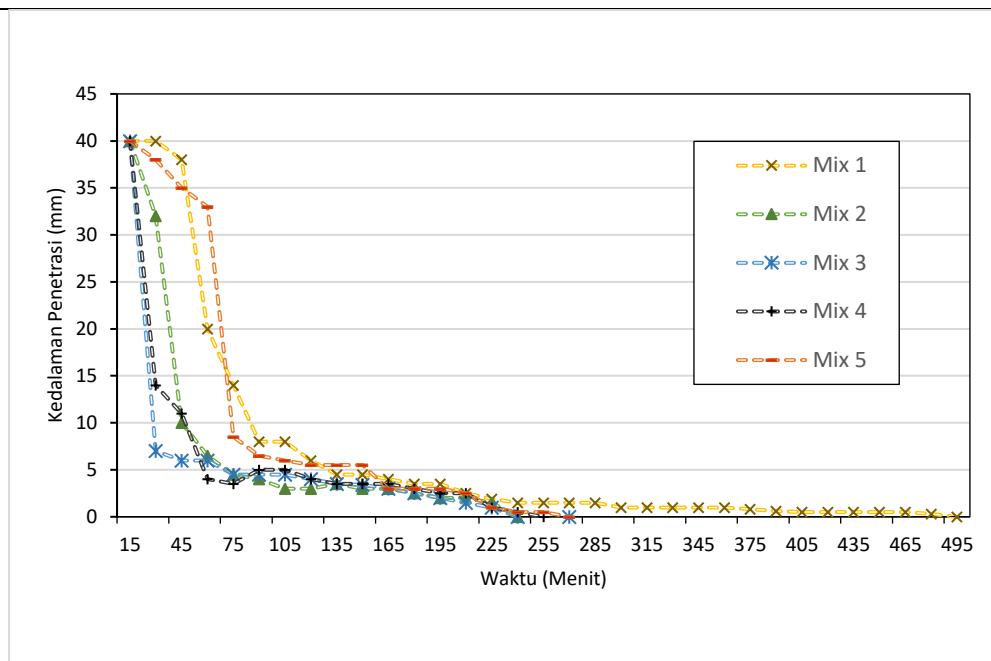
Hasil uji menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara campuran kontrol GN10 – 0.00 dengan campuran yang ditambahkan kapur. Campuran kontrol GN10 – 0.00 (tanpa kapur) memiliki waktu ikat paling lama, terutama pada *final setting time* yang mencapai 375 menit, sedangkan campuran dengan penambahan kapur mengalami waktu ikat yang lebih singkat. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan kapur mempercepat proses pengerasan pasta geopolimer, karena reaksi awal kalsium mempercepat pembentukan produk hidrasi di permukaan.

Tabel 4. Waktu ikat (*setting time*) pada *mix design*

| Mix | Waktu Ikat (menit) | | |
|--------------|--------------------|-------|------|
| | Awal | Akhir | 0 mm |
| GN10 – 0.00* | 60 | 375 | 495 |
| GK10 – 0.010 | 45 | 180 | 240 |
| GK10 – 0.025 | 30 | 180 | 240 |
| GK10 – 0.050 | 30 | 195 | 255 |
| GK10 – 0.075 | 75 | 210 | 270 |

Sumber: Data Hasil Pengujian (2024).

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian waktu ikat pada setiap variasi campuran. Campuran dengan penambahan kapur menunjukkan waktu ikat awal \geq 30 menit dan waktu ikat akhir \geq 180 menit, sehingga masih sesuai dengan kriteria standar. Waktu ikat tercepat diperoleh pada Mix GK10 – 0.025 dengan *initial setting time* 30 menit dan *final setting time* 180 menit. Sebaliknya, waktu ikat terlama terdapat pada campuran GN10 – 0.00 dengan *final setting time* 375 menit dan total waktu ikat 495 menit.



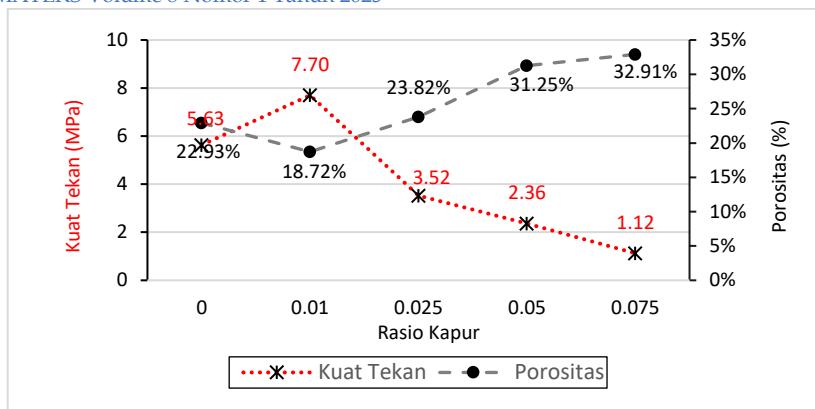
Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 4. Pengaruh Penambahan Kapur pada Waktu Ikat Mortar Geopolimer 10M

Hasil uji vicat menunjukkan bahwa campuran kontrol GN10 – 0.00 (0% kapur) memiliki waktu ikat paling lama, dengan initial setting 60 menit dan final setting 375 menit. Hasil tersebut sesuai dengan kajian teori yang ikat awal minimal 60 menit dan ikat akhir maksimal 480 menit. Penambahan sejumlah kecil kalsium yang diaktifkan alkali dapat mempercepat pengerasan, namun bila tingkat penambahannya tinggi, efeknya akan mempercepat atau memperlambat tergantung pada komposisi aktivator [15]. Setelah penambahan kapur waktu ikat akhir terjadi lebih cepat yaitu < 250 menit, namun pada mix 4 dan mix 5 terjadi perpanjangan waktu, kandungan Ca yang berlebih pada kapur dapat mengganggu reaksi polimerisasi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk pengerasan meningkat. Pada uji vicat yang dilakukan terbentuk pola pengerasan yang lebih lambat pada mortar dengan persentase kapur yang lebih besar. Hasil uji vicat menunjukkan waktu pengerasan yang lebih cepat, sehingga saat diaplikasikan di lapangan akan mengurangi potensi terjadinya *bleeding* karena pengerasan yang terlalu lama.

3.5 Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

Pada usia 28 hari kandungan dalam mortar sudah sepenuhnya bereaksi sehingga kuat tekannya akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan mortar pada usia 7 hari dan 14 hari [25]. Berdasarkan literatur tersebut maka analisa dilakukan pada usia 28 hari. Hubungan kuat tekan dan porositas mortar geopolimer umumnya bersifat kontradiktif. Hal ini dapat dibuktikan melalui grafik pada **Gambar 5** berikut.

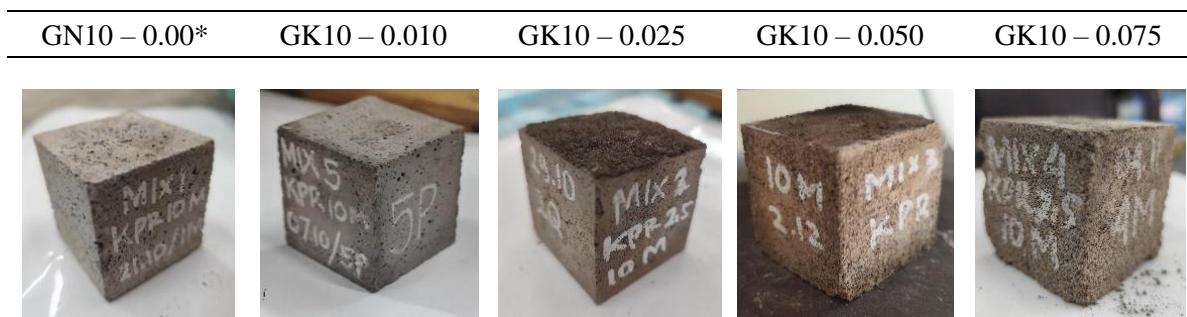


Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 5. Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Usia 28 Hari

Usia 28 hari diyakini sudah mencapai hasil optimum untuk kuat tekan maupun porositas. Berdasarkan grafik di atas diketahui hasil kuat tekan terendah dengan porositas tertinggi ada pada GK10 – 0.075 (7,5% kapur) sedangkan kuat tekan tertinggi dengan nilai 7,7 MPa dan porositas terendah dengan nilai 18,72% adalah GK10 – 0.010 (1% kapur). GK10 – 0.010 memiliki nilai kuat tekan dan porositas yang lebih baik dari GN10 – 0.00 sebagai kontrol.

Tabel 5. Kondisi Benda Uji



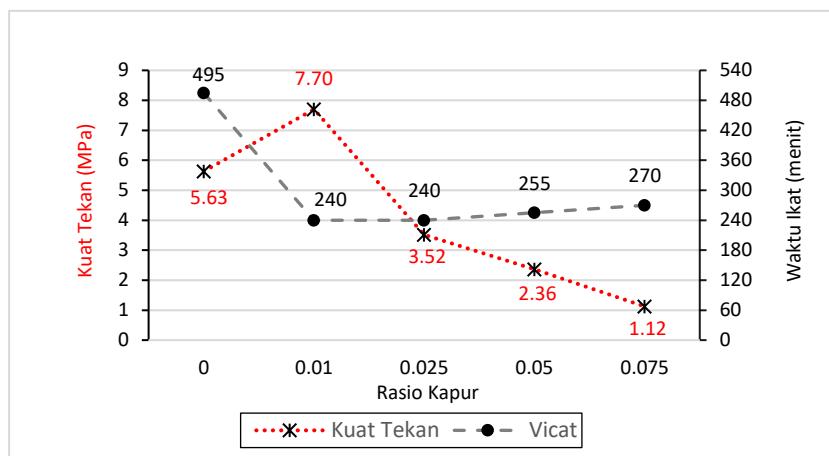
Sumber: Dokumentasi Penulis (2024).

Berdasarkan analisa pada **Tabel 6**, semakin tinggi rasio kapur akan mempengaruhi mortar yang semakin berpori sehingga mengurangi kepadatannya. Mortar dengan rasio kapur yang tinggi cenderung lebih mudah menyerap air, oleh karena itu nilai porositas meningkat. Banyaknya rongga pada mortar menyebabkan lebih mudah rapuh sehingga tidak mampu menahan beban dengan lebih baik dan nilai kuat tekan menurun. Penurunan kekuatan dari Ca yang tinggi juga dapat disebabkan oleh ukuran partikel kapur (lulus saringan no. 50), yang lebih besar dibandingkan ukuran partikel abu terbang (lulus saringan no. 200). Hal ini menyebabkan distribusi material Ca tidak merata dan mengurangi kemampuan untuk mengisi celah antar agregat, sehingga jaringan pori meningkat.

3.6 Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Vicat

Proses pengerasan pada mortar geopolimer bergantung pada reaksi alkali-aktivasi antara bahan pengikat dan larutan aktivator. Mortar geopolimer dengan waktu ikat yang lebih

lama mampu menunjukkan reaksi kimia yang lebih intens sehingga ikatan kimia yang terbentuk semakin kuat. Berbeda dengan hasil penelitian ini, dimana hasil uji kuat tekan yang menurun akibat besarnya persentase kapur mempengaruhi waktu ikat yang semakin lama. Hubungan kuat tekan dan vicat pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 6** berikut.



Sumber: Hasil Analisa (2024).

Gambar 6. Hubungan Vicat dan Kuat Tekan Usia 28 Hari

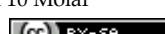
Kerugian paling signifikan dari mortar tanpa semen adalah waktu pengerasannya yang lama [11]. Kendala tersebut coba diatasi dengan penelitian ini. Pada gambar di atas hasil uji kuat tekan menurun dan waktu ikat yang meningkat seiring bertambahnya rasio kapur. Waktu ikat yang lebih lama dapat menunjukkan bahwa ikatan antara partikel-partikel pengikat belum terbentuk secara optimal dalam periode pengerasan. Dapat diartikan adanya reaksi kimia yang terlambat bisa pada bahan pengikat ataupun larutan aktuator. Nilai kuat tekan cenderung memiliki perbedaan yang signifikan sedangkan hasil vicat tidak memberi pengaruh yang berarti kecuali pada GN10 – 0.00 dimana tidak ada tambahan kapur. Kandungan Ca pada abu terbang berdasarkan Uji XRF pada **Tabel 3** tergolong tinggi, lalu dengan adanya tambahan kapur yang umumnya juga memiliki kandungan Ca tinggi menyebabkan kandungan Ca keseluruhan pada mortar geopolimer terlalu tinggi. Abu terbang dan ASP berdasarkan Uji XRF, juga memiliki kandungan Si yang sangat tinggi. Sehingga Ca dan Si yang terlalu tinggi menyebabkan tidak sempurnanya reaksi yang terjadi mengakibatkan turunnya nilai kuat tekan dan meningkatnya waktu ikat pada mortar.

4. Kesimpulan

Pengaruh penambahan kapur terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbasis abu terbang dan ASP yaitu mengurangi nilai kuat tekan yang dihasilkan. Tetapi GN10 – 0.00 sebagai kontrol tanpa penambahan kapur bahkan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah

Karakterisasi Mortar Geopolimer terhadap Penambahan Kapur Berbasis Abu Terbang dan ASP dengan NaOH 10 Molar

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6593>



dari GK10 – 0.010 dengan tambahan 1% kapur, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kuat tekan dapat dikontrol dengan menambahkan sedikit kapur. Nilai kuat tekan tertinggi dalam penelitian ini adalah GK10 – 0.010 usia 28 hari yaitu 7,7 MPa. Persentase porositas terkecil adalah GK10 – 0.010 usia 28 hari yaitu 18,72%. Pengaruh penambahan kapur terhadap vicat yaitu meningkatkan waktu pengerasan yang terjadi. Pada penelitian ini GN10 – 0.00 memiliki waktu ikat paling lama yaitu 495 menit, sedangkan GK10 – 0.010 dan GK10 – 0.025 memiliki waktu ikat tercepat yaitu 240 menit. Rasio kapur terbaik pada mortar geopolimer berbasis abu terbang dan ASP dengan NaOH 10M yaitu GK10 – 0.010 dengan tambahan 1% kapur. Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan GK10 – 0.010 memiliki nilai kuat tekan tertinggi, persentase porositas terendah, dan waktu ikat tercepat. Berdasarkan temuan dalam penelitian ini dapat dikembangkan dengan rasio substitusi *fly ash* yang lebih rendah dan ASP yang lebih tinggi, mengingat ASP sebagai limbah yang banyak dihasilkan Indonesia sebagai negara agraris, sehingga dapat menjadi inovasi berkelanjutan yang dioptimalkan.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya yang telah memberikan ilmu, pendanaan penelitian, dan membimbing penyusunan naskah publikasi sehingga terselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] E. Suprapto, M. A. C. P. Purnama, and T. B. Santoso, “Evaluasi Kinerja Perkuatan Gedung Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP),” *J. Rekayasa Infrastruktur Hexag.*, vol. 7, no. 2, 2022.
- [2] K. P. U. dan P. Rakyat, “Informasi Statistik Infrastruktur PUPR 2022,” vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2022.
- [3] A. Permata, Estika Fitrianda Intan Permata; Wardhono, “Pengaruh Kepekatan Larutan Aktivator terhadap Kuat Tekan Geopolymer Mortar Berbahan Dasar Abu Terbang dan NaOH 12 Molar pada Kondisi Ss/Sh 2.0 Dan 4.0”.
- [4] M. Rathnayaka, D. Karunasingha, C. Gunasekara, D. W. Law, K. Wijesundara, and W. Lokuge, “Mix design determination procedure for geopolymer concrete based on target strength method,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 24, no. 3, pp. 1–25, 2024, doi: 10.1007/s43452-024-01002-8.
- [5] J. Davidovits, “Properties of Geopolymer Cements,” *First Int. Conf. Alkaline Cem. Concr.*, pp. 131–149, 1994.

- [6] A. Wardhono, D. W. Law, M. F. Sofianto, and M. Wulandari, "Strength performance of fly ash and rice husk ash geopolymers as sustainable infrastructure green materials in supporting SDG 9 and SDG 13," *E3S Web Conf.*, vol. 568, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202456802003.
- [7] A. Wardhono, "Comparison Study of Class F and Class C Fly Ashes as Cement Replacement Material on Strength Development of Non-Cement Mortar," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 288, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012019.
- [8] R. N. Luntungan, M. D. J. Sumajouw, and R. E. Pandaleke, "Optimalisasi Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Menambahkan Semen atau Kapur pada Perawatan Temperatur Ruangan," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 7, pp. 749–756, 2019.
- [9] I. Özkul, A. Gültekin, and K. Ramyar, "Effect of cement and lime on strength and high-temperature resistance of class F and C fly ash-based geopolymers mortars," *J. Sustain. Constr. Mater. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 62–69, 2022, doi: 10.47481/jscmt.1120446.
- [10] I. Sulianti, I. -, A. Subrianto, E. Rahmadona, O. Yanti, and A. W. Iryani, "Analisis Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi," *Bentang J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 63–70, 2021, doi: 10.33558/bentang.v9i2.2859.
- [11] A. Özodabaş, "Increasing the strength of alkali activated mortars prepared without cement by adding lime and crushed brick," *Cem. Wapno Bet.*, vol. 29, no. 3, pp. 233–248, 2024.
- [12] S. Fernando *et al.*, "Long-Term Mechanical Properties of Blended Fly Ash-Rice Husk Ash Alkali-Activated Concrete," *ACI Mater. J.*, vol. 119, no. 5, pp. 175–188, 2022, doi: 10.14359/51735954.
- [13] A. R. Villca, L. Soriano, M. V. Borrachero, J. Payá, J. M. Monzó, and M. M. Tashima, "Hybrid Lime–Pozzolan Geopolymer Systems: Microstructural, Mechanical and Durability Studies," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 8, 2022, doi: 10.3390/ma15082736.
- [14] S. Zuraidah and B. Hastono, "Serbuk Kapur Sebagai Cementitious Pada Mortar," *J. Rekayasa Tenik Sipil Univ. Madura*, vol. 2, no. 1, pp. 27–31, 2017.
- [15] A. A. Adam, N. H. Amiri, I. W. Suarnita, and N. Rupang, "The effect of lime addition on the setting time and strength of ambient cured fly ash based geopolymers binder," *MATEC Web Conf.*, vol. 47, pp. 1–5, 2016.
- [16] E. Riyanto, E. Widyananto, and R. R. Renaldy, "Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Silica Fume dan Kapur Tohor," *INERSIA Informasi dan Eksposisi Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsitektur*, vol. 17, no. 1, pp. 19–26, 2021, doi: 10.21831/inersia.v17i1.35901.

- [17] A. Shahab, A. O. Irlan, and A. Nugroho, "Kuat Tekan dan Porositas Beton Berpori dengan," *J. Forum Mek.*, vol. 9, no. 2, pp. 82–89, 2020.
- [18] A. Wardhono, "The effect of seashell waste on setting and strength properties of class c fly ash geopolymers concrete cured at ambient temperature," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 1220–1230, 2019.
- [19] A. Wardhono, "The Durability of Fly Ash Geopolymer and Alkali-Activated Slag Concretes," *RMIT, Melb.*, no. January, p. 326, 2015.
- [20] E. Maryenttry, F. Firdaus, and W. Y. Prawira, "Pengaruh Penambahan Kapur Pada Semen Geopolimer Terhadap Mortar Geopolimer," *Rang Tek. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 127–131, 2024.
- [21] A. A. Adam, L. Deviana, A. P. N. Siregar, and Mustofa, "Water absorption of ambient-cured geopolymers concrete," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1157, no. 1, p. 012025, Apr. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1157/1/012025.
- [22] Ardiansyah, Risnita, and M. S. Jailani, "Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif," *J. IHSAN J. Pendidik. Islam*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2023, doi: 10.61104/ihsan.v1i2.57.
- [23] M. Pramadani, A. Irwansyah, and S. Bahri, "Pengaruh Penggunaan Variasi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Mortar A-141 A-142," vol. 7, no. 1, pp. 141–144, 2024.
- [24] R. B. Kogbara, A. Al-Zubi, Y. Mortada, A. Hammoud, E. A. Masad, and M. K. Khraisheh, "Lime-activated one-part geopolymers mortars from construction, demolition and industrial wastes," *Results Eng.*, vol. 21, no. September 2023, p. 101739, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101739.
- [25] D. F. Setiawan and A. Wardhono, "Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Subtitusi Fly Ash Pada Mortar Geopolimer Dengan NaOH 8 Molar Ditinjau Dari Kuat Tekan dan Porositas," pp. 1–8, 2018.