

Jurnal Taxiway
e-ISSN : 2685-7464
jurnal.taxiway@upp.ac.id

Vol. 5 No. 2 – Juli 2026
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pasir Pengaraian

ANALISIS SUHU OPTIMUM TERHADAP NILAI KUAT TEKAN PADA MORTAR GEOPOLIMER ABU SAWIT

Khopipah Indah Sari¹, Harriad Akbar Syarif² dan Rismalinda²

Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian, Riau⁽¹⁾

Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian, Riau⁽²⁾

Email: khopipahindah08@gmail.com, Email : harriadakbarsyarif@upp.ac.id,

Email: risdickrismalindastmt@gmail.com

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Diterima Tersedia Online 2026	Abstrak Pesatnya pembangunan pada saat ini mendorong kebutuhan material bangunan meningkat salah satunya kebutuhan semen pada bidang konstruksi yang berdampak pada kondisi lingkungan. Maka upaya yang dilakukan untuk mengatasi bahan penyusun mortar yang tidak ramah lingkungan dengan menciptakan green material. Green material adalah bahan yang menggunakan sumber daya alam yang terdiri dari elemen terbaru yang dapat didaur ulang kembali. Penggunaan mortar geopolimer abu sawit menjadi topik penelitian yang menarik dalam industri konstruksi. Abu sawit sebagai bahan tambahan dapat memberikan efek positif pada sifat – sifat mortar, sementara geopolimer digunakan untuk meningkatkan daya retaknya. Salah satu aspek yang krusial dalam proses pembentukan mortar adalah proses curing yang mencakup kelembaban dan suhu selama periode tertentu. Analisis suhu optimal curing menjadi esensial untuk memahami bagaimana pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan pada mortar geopolimer abu sawit. Perawatan geopolimer membutuhkan suhu tinggi agar dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan. Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar abu sawit dapat diambil kesimpulan adalah bahwa kuat tekan mortar abu sawit tertinggi di variasi suhu 100°C, dengan angka rata-rata 4,58 Mpa (klasifikasi mortar tipe O) kuat tekan rendah aplikasinya untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7 kg/cm ² , dan gangguan cuaca tidak berat. Kuat tekan terendah di suhu 60°C dengan angka kuat tekan rata-rata 3,09 MPa (klasifikasi mortar tipe
Kata kunci: Suhu Optimum, Nilai Kuat Tekan, Mortar Geopolimer, Abu Sawit	
Keyword: Optimum Temperature, Compressive Strength Value, Mortar Geopolymer, Palm Ash	

O). Menunjukkan hasil kuat tekan pada suhu 100°C mengalami kenaikan, temperatur tinggi mempengaruhi kuat tekan mortar.

Abstract

The rapid development currently drives the need for building materials to increase, one of which is the need for cement in the construction sector which has an impact on environmental conditions. So efforts are being made to overcome environmentally unfriendly mortar components by creating green materials. Green materials are materials that use natural resources consisting of the newest elements that can be recycled. The use of palm ash geopolymer mortar is an interesting research topic in the construction industry. Palm ash as an additional material can have a positive effect on the properties of the mortar, while geopolymer is used to increase its cracking strength. One of the crucial aspects in the mortar formation process is the curing process which includes humidity and temperature over a certain period. Analysis of the optimal curing temperature is essential to understand how it affects the compressive strength value of palm ash geopolymer mortar. Geopolymer curing requires high temperatures in order to accelerate the polymerization reactions that occur during the hardening process. Based on the results of tests and discussions carried out on palm ash mortar, it can be concluded that the compressive strength of palm ash mortar is highest at a temperature variation of 100°C, with an average figure of 4.58 Mpa (type O mortar classification). The compressive strength is low and its application is for construction. walls that do not support a load of more than 7 kg/cm², and weather disturbances are not severe. The lowest compressive strength is at 60°C with an average compressive strength figure of 3.09 Mpa (type O mortar classification). Shows that the compressive strength results at a temperature of 100°C have increased, high temperatures affect the compressive strength of the mortar.

PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan pada saat ini mendorong kebutuhan material bangunan meningkat salah satunya kebutuhan semen pada bidang konstruksi yang berdampak pada kondisi lingkungan. Diperkirakan bahwa produksi *ordinary Portland cement* (OPC) akan terus melambung mulai dari 1,5 Milyar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 Milyar ton pada tahun 2010 (Irhab, 2022).

Ordinary Portland cement (OPC) memberikan kontribusi sekitar 7-10% dari total karbon dioksida (CO₂) secara global, dan telah ditemukan bahwa satu ton OPC yang diproduksi akan melepaskan satu ton CO₂ ke atmosfer. Emisi karbon yang tinggi sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Olivia, 2011). Pada suhu dingin proses hidrasi sulit dicapai dan kekuatan awal mortar sulit didapatkan. Maka diperlukan panas tambahan dalam perawatan mortar. Perawatan mortar dapat menggunakan oven pada suhu dan waktu tertentu.

Ketergantungan penggunaan semen di bidang konstruksi menyebabkan peningkatan semen Portland yang berdampak pada kondisi lingkungan. Hal ini dikarenakan pada saat proses pembakaran bahan baku semen melepaskan satu ton gas CO₂ secara langsung ke udara dengan menghasilkan satu ton semen. Para pakar ilmu teknologi beton mulai melakukan riset dan berinovasi dengan memanfaatkan ikatan geopolimer untuk pembuatan beton. Pada tahun 1980-an, Professor Joseph Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif pengganti semen atau geopolimer. Pembuatan material geopolimer menggunakan bahan yang banyak mengandung unsur – unsur silikon dan aluminium. Unsur – unsur tersebut dapat ditemukan pada limbah industri, seperti abu terbang dan abu sawit, hal ini dapat memanfaatkan limbah hasil buangan pabrik yang dapat dimanfaatkan lagi. Maka upaya yang dilakukan untuk mengatasi bahan penyusun mortar yang tidak ramah lingkungan dengan menciptakan green material.

Green material adalah bahan yang menggunakan sumber daya alam yang terdiri dari elemen terbaru yang dapat didaur ulang kembali. Green material juga tidak mengandung material beracun, dapat hemat energi dan hemat penggunaan air (Spiegel & meadows, 2006). Tujuan penggunaan green material adalah untuk mengurangi beban sumber daya alam dan meningkatkan ketergantungan pada bahan yang dapat didaur ulang. Menggunakan bahan pengganti semen dalam campuran mortar adalah abu sawit dan adanya bahan tambahan (admixture) sebagai pengganti semen. abu sawit atau Palm Oil Fuel Ash (POFA) menurut ACI Comitee 226, abu terbang mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27% dengan berat jenis antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Komposisi kimia utamanya terdiri dari silikon oksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃), dan kalsium (CaO), dimana magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur juga terdapat didalamnya namun dalam jumlah yang lebih sedikit (Hardjito, 2005).

Provinsi Riau merupakan penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia. Kementerian Pertanian RI, provinsi Riau tercatat pada akhir tahun 2023 memiliki luas perkebunan sawit 3,38 juta hektar. Peningkatan lahan menyebabkan banyaknya limbah pabrik kelapa sawit secara terus menerus. Penggunaan abu sawit hasil pembakaran serabut dan cangkang kelapa sawit adalah salah satu bahan dasar potensial untuk geopolimer.

Penggunaan mortar geopolimer abu sawit menjadi topik penelitian yang menarik dalam industri konstruksi. Abu sawit sebagai bahan tambahan dapat memberikan efek positif pada sifat – sifat mortar, sementara geopolimer digunakan untuk meningkatkan daya retaknya. Salah satu aspek yang krusial dalam proses pembentukan mortar adalah proses curing yang mencakup kelembaban dan suhu selama periode tertentu. Analisis suhu optimal curing menjadi esensial untuk memahami bagaimana pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan pada mortar geopolimer abu sawit. Perawatan geopolimer membutuhkan suhu tinggi agar dapat mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan. Oleh sebab itu peneliti ingin melakukan penelitian dengan judul “Analisis Suhu Optimum Terhadap Nilai Kuat Tekan Pada Mortar Geopolimer Abu Sawit”. Dengan penelitian ini perawatan suhu 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, selama masing – masing 24 jam dengan umur 28 hari.

METODE PENELITIAN

Jenis atau metode penelitian yang di gunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Dimana penelitian kuantitatif berlandaskan pada filsafat positivisme, dipakai untuk meneliti pada populasi ataupun sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan alat ukur (instrumen) penelitian, analisa data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji dan membuktikan hipotesis yang telah dibuat/ditetapkan.

Tempat penelitian yaitu di labor Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian. Waktu pelaksanaan pembuatan benda uji dilakukan dengan persiapan alat dan bahan dan sesuai dengan jadwal. Alat-alat yang digunakan yaitu timbangan, gelas ukur, ayakan/saringan, ember/wadah, mistar, oven, alat uji tekan (*compression test machine*). cetakan mortar 5 x 5 x 5 cm, piknometer, sendok semen, talam, gelas plastic, sendok plastic, mould dan tongkat besi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *palm oil fuel ash*, agregat halus, larutan alkali aktivator, yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2Si_3), 2, 26 mol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Abu Sawit

Abu sawit yang diuji adalah lolos saringan no. 200, yang mana bentuk dan karakteristik dapat dilihat secara visual serta merujuk pada penelitian terdahulu yang menggunakan abu sawit untuk bahan campuran mortar. Pengujian komposisi abu sawit tersebut dilakukan dengan mengirim abu sawit ke Laboratorium Badan Riset dan Standarisasi Industri Padang. Komposisi kimia abu sawit yang dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Komposisi Kimia Dari Abu Sawit

Parameter	Hasil Analisis	Metode Analisa
<i>Silika dioksida (SiO₂)</i>	46,41 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,2
<i>Aluminium Oksida (Al₂O₃)</i>	7,47 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,8
<i>Besi (III) Feroksida (Fe₂O₃)</i>	1,15 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,4
<i>Kalsium Oksida (CaO)</i>	5,71 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,9
<i>Potassium Oksida (K₂O)</i>	2,37 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,13
<i>Fosfor Pentaoksida (P₂O₅)</i>	0,93 %	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,4
Kadar Air	10,36 %	SNI 02-2804-2005, butiran 6,4

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

Pengujian material yang digunakan untuk pembuatan mortar adalah karakteristik material agregat halus, pengujian pemeriksaan ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi agregat halus.

Hasil yang diperoleh dari pemeriksaan karakteristik agregat halus sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis pengujian	Hasil pemeriksaan	Standar spesifikasi	keterangan
1	Kadar lumpur (%)	4,86 %	< 5%	Memenuhi
2	Berat jenis (gr/cm ³)			
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,77	2,58 – 2,84	Memenuhi
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,60	2,58 – 2,85	Memenuhi
	c. <i>Bulk specific on SSD</i>	2,66	2,58 – 2,86	Memenuhi
	d. <i>Absorption (%)</i>	2,39	2 – 7	Memenuhi
3	Kadar air (%)	4,83	3 – 5	Memenuhi
4	Berat volume (gr/cm ³)			
	a. kondisi Gembur	1,7	1,4 – 1,9	Memenuhi

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur ini mengacu pada (ASTM C 142, 1998). Kadar lumpur agregat halus sebesar 4,86 %, dan nilai ini memenuhi standar spesifikasi kadar lumpur yaitu 5 %. Data dan hasil dari perhitungan pengujian kadar lumpur pada penelitian ini dapat dilihat pada lampiran 1-A. lumpur yang menempel pada permukaan agregat dapat menghalangi terjandinya lekatan yang baik antara agregat dan pasta semen. Nilai kadar lumpur menandakan kandungan lempung pada agregat., semakin tinggi persentase kadar lumpur semakin tinggi pula kandungan lempung yang terdapat pada agregat. Dengan demikian agregat ini dapat digunakan sebagai komposisi material mortar.

Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat

Pengujian berat jenis agregat halus ini mengacu pada (SNI 03-1970, 1990). Pada SNI 03-1970-1990, berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan dari agregat halus. Berat jenis yang digunakan untuk komposisi material mortar adalah bulk specific gravity on SSD. Data dan hasil perhitungan dari pengujian berat jenis pada penelitian ini adalah 2,66 dapat dilihat pada lampiran 1-B. nilai ini masuk ke dalam nilai standar spesifikasi berat jenis yaitu 2,58-2,86. Hasil pemeriksaan penyerapan (absorption) pada penelitian ini sebesar 2,39 %. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi penyerapan yaitu 2-7%. Absorpsi agregat memenuhi daya lekat antara agregat dan pasta semen.

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air agregat halus ini mengacu pada (SNI 03-1971, 1990). Kadar air pada agregat halus akan berpengaruh pada penyerapan yang dilakukan, semakin banyak kadar air yang terkandung pada agregat maka semakin kecil penyerapan yang dilakukan. Kadar air agregat halus pada penelitian ini sebesar 4,83 %. Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1-C. kadar air agregat halus ini memenuhi standar spesifikasi kadar air agregat yaitu 3-5%. Sehingga pada saat pencampuran, air yang ditambahkan harus dikontrol agar tidak mempengaruhi ikatan antar butiran yang terjadi.

Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian Analisis saringan agregat halus ini mengacu pada (SNI 03-1968,1990). Hasil dari pengujian Analisa saringan agregat halus didapatkan nilai modulus kehalusan agregat halus. Hasil dari nilai tersebut yang diperoleh pada penilaian ini sebesar 2,97. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi agregat halus yaitu pada rentang 1,5-3,8. Hasil perhitungan Analisa saringan, modulus kehalusan serta grafik distribusi butiran agregat halus pada penelitian ini bisa dilihat pada lampiran 1-D.

Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus ini mengacu pada (SNI 03-4804, 1998). Berat volume keadaan gembur agregat halus sebesar 1,70 gr/cm³ memenuhi standar spesifikasi berat volume agregat halus yaitu 1,4 gr/cm³ – 1,9 gr/cm³.

Pembuatan Larutan NaOH

Penelitian ini menggunakan *NaOH* dengan konsentrasi 14 Molar Untuk campuran benda uji. Padatan *NaOH* dilarutkan ke air 1000 ml dengan campuran sebagai berikut:

NaOH 14 Molar = 1000 ml air + 560 gram padatan *NaOH*

Larutan NaOH disimpan selama satu hari untuk melepaskan panas eksoterm yang terjadi akibat proses pelarutan. Larutan NaOH kemudian disimpan pada wadah yang diletakkan pada kondisi suhu ruang.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar terdiri dari 18 benda uji yang di buat berdasarkan komposisi mix desain menggunakan material penyusun geopolimer. Benda uji kuat tekan mortar berbentuk persegi dengan ukuran 5x5x5 cm. pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada saat umur mortar 28 hari dengan variasi suhu yang berbeda.

Contoh perhitungan kuat tekan mortar menggunakan alat CBR:

Diketahui:

Berat sampel tidak oven 1	= 249,6 gr
Berat sampel tidak oven 2	= 244,8 gr
Berat sampel tidak oven 3	= 249,2 gr
Div tidak oven 1	= 71
Div tidak oven 2	= 74
Div tidak oven	= 79
Luas alas	= 2500 mm ²
Kalibrasi alat	= 30,509
1 Pon gaya	= 4,4482 N

Dicari:

Kuat tekan mortar?

Kuat tekan = P/A

Dimana $P_{maks} = k$ = Beban maksimum (N)

A = luas penampang tekan benda uji (mm²)

Jawab

Dimana DIV = hasil dari alat

1. Tidak oven 1

$Lbf = DIV \times \text{Kalibrasi alat}$

$$\begin{aligned} &= 71 \times 30,506 = 2165,93 \text{ pon gaya} \\ \text{K atau P} &= \text{Lbf} \times 4,4482 \\ &= 2165,93 \times 4,4482 = 9.634,47 \text{ N} \\ \text{Kuat tekan} &= P/(A) \\ &= (9.634,47 \text{ N})/(2500 \text{ mm}^2) = \mathbf{3,85 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

1. Tidak oven 2

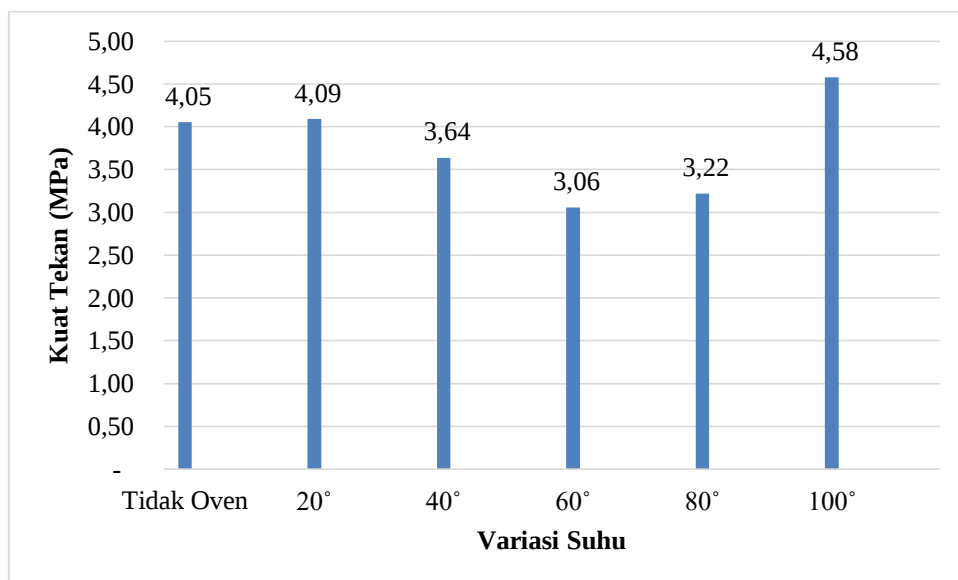
$$\begin{aligned} \text{Lbf} &= \text{DIV} \times \text{Kalibrasi alat} \\ &= 74 \times 30,506 = 2257,44 \text{ pon gaya} \\ \text{K atau P} &= \text{Lbf} \times 4,4482 \\ &= 2257,44 \times 4,4482 = 10.041,56 \text{ N} \\ \text{Kuat tekan} &= P/(A) \\ &= (10.041,56 \text{ N})/(2500 \text{ mm}^2) = \mathbf{4,02 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

1. Tidak oven 3

$$\begin{aligned} \text{Lbf} &= \text{DIV} \times \text{Kalibrasi alat} \\ &= 79 \times 30,506 = 2409,97 \text{ pon gaya} \\ \text{K atau P} &= \text{Lbf} \times 4,4482 \\ &= 2409,97 \times 4,4482 = 10.720,05 \text{ N} \\ \text{Kuat tekan} &= P/(A) \\ &= (10.720,05 \text{ N})/(2500 \text{ mm}^2) = \mathbf{4,29 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata} &= (3,85 + 4,03 + 4,29)/3 \\ &= \mathbf{4,05 \text{ Mpa}} \end{aligned}$$

Jadi rata-rata nilai kuat tekan mortar pada sampel yang tidak di oven adalah 4,05 Mpa. Hasil perhitungan yang lainnya di lihat pada lampiran 2-A.



Gambar 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Pada penelitian ini suhu paparan divariasi menjadi tidak dioven, 20, 40, 60, 80, dan 100. Bahan campuran mortar geopolimer antara lain abu sawit, larutan alkali yang merupakan campuran NaOH dan sodium silikat, dan agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuat tekan pada suhu 40, 60, dan 80 tetapi terjadi kenaikan kuat tekan pada suhu 100. Pada penurunan kuat tekan ini tidak dipengaruhi oleh ukuran agregat dan molaritas larutan alkali yang digunakan.

Dari hasil grafik diatas di dapat hasil pengujian kuat tekan mortar variasi suhu nilai maksimum kuat tekan terjadi pada suhu 100°C sebesar 4,58 Mpa dan hasil kuat tekan minimum pada suhu 60°C sebesar 3,06 Mpa, menunjukkan hasil kuat tekan pada suhu 100°C mengalami kenaikan. Temperatur tinggi yang dibutuhkan untuk mempercepat reaksi geopolimer dan meningkatkan proses polimerisasi yang terjadi pada matriks geopolimer selama proses pengerasan akibat rendahnya kandungan Ca (hardijito et al.,2004; kong and sanjayan,2010). Abu sawit memiliki kandungan CaO (ASTM C618, 2004).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar abu sawit dapat diambil kesimpulan adalah bahwa kuat tekan mortar abu sawit tertinggi di variasi suhu 100°C, dengan angka rata-rata 4,58 Mpa (klasifikasi mortar tipe O) kuat tekan rendah aplikasinya untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7 kg/cm², dan gangguan cuaca tidak berat. Kuat tekan terendah di suhu 60°C dengan angka kuat tekan rata-rata 3,09 Mpa (klasifikasi mortar tipe O). Menunjukkan hasil kuat tekan pada suhu 100°C mengalami kenaikan, temperatur tinggi mempengaruhi kuat tekan mortar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak yang ikut serta membantu didalam penelitian ini, yaitu:

1. Orang Tua tercinta yang telah memberikan doa, dukungan, dan nasehat berupa materi maupun moril selama ini.
2. Bapak Dr. Hardianto, M.Pd selaku Rektor Universitas Pasir Pengaraian.
3. Bapak Dr. Purwo Subekti, M.T Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian.
4. Ibu Rismalinda, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian.
5. Bapak Harriad Akbar Syarif, M.T dan Ibu Rismalinda, M.T sebagai dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang telah memberikan perhatian penuh dan

tidak pernah berhenti memberikan dorongan sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

6. Teman seperjuangan yang selalu mensupport dan mendukung kegiatan selama proses penulisan skripsi ini
7. Semua pihak yang sudah berpartisipasi dan memberi dukungan baik materi maupun non materi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

BIBLIOGRAFI

- [1] Avi Anggi Purnamasari, A. W. (2018). PENGARUH VARIASI NaOH TERHADAP Na₂SiO₃ TERHADAP KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR METODE DRY MIXING PADA KONDISI RASIO ABU TERBANG TERHADAP AKTIVATOR 3:1. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3), 1–7.
- [2] Ash, F., Tambahan, D., & Tipe, S. (2016). *Skripsi paving block geopolimer abu sawit (palm oil fuel ash) dengan tambahan semen tipe 1 (ordinary portland cement)*. 1.
- [3] Christina, S., Kristanto, D., Hafisuddin, F., & Olivia, M. (2022). *Ketahanan Mortar Ringan Campuran Gula Aren Dan Ragi Pada Suhu Tinggi : Narrative Review*. 16(3), 148–155.
- [4] Cholilalah, Rois Arifin, A. I. H. (1967). Karakteristik Mortar Geopolimer Abu Sawit Dengan Variasi Modulus Aktivator. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1994, 82–95.
- [5] Darma, B., & Engineering, C. (n.d.). *Bahan Substitusi Semen Terhadap Waktu*. 566–585
- [6] Ekaputri, J. J., & Priyanka, N. F. (2017). *The Effect of Temperature Geopolymer Concrete Curing on*. 01005, 0–5.
- [7] Hadi, R. H. P., & Wardhono, A. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Suhu Perawatan Terhadap Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Kelas C dan NaOH 10 Molar. *Rekayasa Teknik Sipil*, 4(2), 1–10.
- [8] Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2004). *Semen portland*.
- [9] Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2014). *Spesifikasi mortar untuk pekerjaan unit pasangan Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*.
- [10] Irhab, H. M. (2022). Pengaruh Variasi Waktu dan Suhu Perawatan Terhadap Mortar Geopolimer Dengan Abu Terbang dan NaOH 12 Molar Sebagai Bahan Dasar. *Rekayasa Teknik Sipil*, 4, 1–10.
- [11] Pemanfaatan, S., Jerami, A. B. U., & Dan, A. B. U. T. (2019). *Studi pemanfaatan abu jerami, abu terbang dan tanah laterit sebagai material geopolymer*. November, 385–392.
- [12] Rizaldi, N., Rusadi, A. I., Wibisono, G., Saputra, E., & Olivia, M. (2020). *Studi Parametrik Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Parametric Study of Compressive Strength Fly Ash Geopololymer Mortar*. 18(2), 113–121.

- [13] Syarif, H. A., Rahmi, A., & Ariyanto, A. (2022). *Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Geopolimer Abu Sawit Portland Composite Cement dengan Variasi Suhu Tinggi*. 15(1), 34–41.
- [14] Tambunan, L. M., Olivia, M., & Saputra, E. (2016). Kuat Tekan Mortar Geopolimer POFA yang Dirawat Pada Suhu Ruang. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–9.
- [15] Wardhono, A. (2010). *Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Kelas C*. 1–7.