



# Kuat Tekan dan Absorpsi Mortar Geopolimer Abu Sawit *Portland Composite Cement* dengan Variasi Suhu Tinggi

Harriad Akbar Syarif<sup>a,\*</sup>, Alfi Rahmi<sup>a</sup>, Anton Ariyanto<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pasir Pengaraian, Jl. Tuanku Tambusai, Desa Rambah Kumu, Kec. Rambah Hilir, Kab. Rokan Hulu.

## INFO ARTIKEL

Tersedia Online : Desember 2022

## ABSTRAK

Penggunaan beton dan mortar yang semakin meningkat menuntut kekuatan material tersebut dalam serangan terhadap suhu tinggi. Beberapa upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat material agar tahan terhadap suhu tinggi diantaranya menggunakan bahan tambah sebagai pengganti semen. Penelitian ini bertujuan menganalisis campuran geopolimer abu sawit yang ditambahkan Portland Composite Cement (PCC) pada mortar. Penelitian diawali dengan pengujian karakteristik material campuran seperti, abu sawit, pasir, PCC. Persentase PCC adalah 30% dari berat abu sawit. Sampel uji berukuran 5x5x5 cm dengan variasi pengujian terdiri dari 100°, 200°, 300°C. Jenis pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan absorpsi pada umur 28 hari. Setelah umur 28 hari, sampel dimasukkan ke dalam oven selama 3 jam dan kemudian diuji berdasarkan variasi sampel yang ditentukan. Dari hasil yang didapat, kuat tekan variasi suhu 200° memiliki kuat tekan tertinggi 17,5 MPa sedangkan variasi suhu 300° memiliki kuat tekan terendah 11,5 MPa. Pada pengujian absorpsi variasi suhu 300° memiliki nilai absorpsi terbesar 5,77%, sedangkan variasi suhu 200° memiliki absorpsi terkecil sebesar 2,28%. Dari data hasil pengujian dapat disimpulkan adanya pengaruh suhu pada mortar geopolimer. Pengaruh tersebut didasari dari jumlah kandungan Si dan Al pada ikatan CSH yang terdapat pada PCC. Paparan suhu tinggi banyak mengubah komposisi kimia dan struktur fisik dari Mortar dan menyebabkan penambahan pori pada mortar.

**Kata kunci:** Absorpsi; Abu Sawit; Geopolimer; Kuat Tekan; Mortar.

## CONTACT

\*harriadakbarsyarif@upp.ac.id  
 alfirahmi.upp@gmail.com  
 aariyantost@gmail.com

## ABSTRACT

*The increasing use of concrete and mortar demands the strength of these materials in attack at high temperatures. Several efforts have been made to improve the properties of the material so that it is resistant to high temperatures, including using additives as a substitute for cement. This study aims to analyze a mixture of palm oil fuel ash geopolimer added Portland Composite Cement (PCC) to the mortar. The research begins with testing the characteristics of mixed materials such as palm ash, sand, PCC. PCC percentage is 30% by weight of palm oil fuel ash. Test sample measuring 5x5x5 cm with test variations consisting of 100°, 200°, 300°C. The types of tests carried out were compressive strength and absorption at 28 days of age. After 28 days of age, the samples were put into the oven for 3 hours and then tested based on the specified sample variations. From the results obtained, the compressive strength of the temperature variation of 200° has the highest compressive strength of 17.5 MPa while the temperature variation of 300° has the lowest compressive strength of 11.5 MPa. In the absorption test the temperature variation of 300° has the largest absorption value of 5.77%, while the temperature variation of 200° has the smallest absorption of 2.28%. From the test results it can be concluded that there is an effect of temperature on the geopolimer mortar. This effect is based on the amount of Si and Al content in the CSH bond present in PCC. Exposure to high temperatures changes the chemical composition and physical structure of the mortar and causes the*

---

*addition of pores to the mortar.*

**Keyword:** *Absorption; Compressive Strength; Geopolymer; Palm Oil Fuel Ash; Mortars*

---

## I. PENDAHULUAN

Mortar adalah adukan yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air. Fungsi mortar adalah sebagai matriks pengikat bagian suatu konstruksi baik yang bersifat struktural maupun non struktural. Penggunaan mortar untuk konstruksi yang bersifat struktural misalnya mortar pasangan batu belah untuk struktur pondasi, sedangkan yang bersifat non struktural misalnya mortar pasangan batu bata untuk dinding pengisi [1].

Spesifikasi sifat mortar harus memenuhi ketentuan persyaratan bahan dan pengujian terhadap mortar yang telah disiapkan di laboratorium, dimana bahan tersebut terdiri dari suatu campuran bahan pengikat bersifat semen, agregat dan air yang telah memenuhi persyaratan mortar sesuai metode pengujian yang telah dikeluarkan oleh SNI 03-6882-2014 [2]. Proses pengadukan, alat, bahan, serta pengujian mortar harus mengikuti persyaratan yang diberikan SNI 03-6882-2014. Proses pengadukan yang baik akan memberikan hasil yang baik. Pengaruh perawatan juga memiliki peran yang sangat vital. Hal ini karena semakin baik perawatan memicu reaksi hidrasi yang sempurna, sehingga kuat tekan mortar akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur perawatan [3]. Penggunaan mortar harus disesuaikan dengan tipe mortar. Mortar dituntut mampu menahan tekanan beban meskipun hanya sebagai pelapis dinding, adukan pada pengecoran dan merekatkan keramik atau granit. Tipe mortar dibedakan atas tujuan dan maksud tertentu, diantaranya aplikasi di lapangan serta nilai kuat tekan yang direncanakan. Berdasarkan SNI 03-6882-2014, mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe seperti dalam Tabel 1.

Penggunaan beton dan mortar yang semakin meningkat menuntut kekuatan material tersebut dalam serangan terhadap suhu tinggi. Tidak seperti kayu yang mudah terbakar pada suhu tertentu, beton dan mortar masih mampu menahan suhu

tinggi, namun tetap mengalami penurunan kekuatan. Semakin tinggi suhu pada beton dan mortar melemahkan kinerja serta meningkatkan resiko kerusakan material tersebut [4]. Kenaikan suhu akibat terpapar api, tungku bakar dan reaktor pembangkit nuklir mengurangi keawetan dan masa layan sehingga memperbesar resiko kegagalan struktur yang tidak diharapkan. Berdasarkan penelitian mortar masih mampu mempertahankan karakteristiknya pada suhu tinggi.

**Tabel 1.** Klasifikasi Mortar

Tipe Mortar	Kuat Tekan Minimum	Aplikasi
Tipe M	17,2 Mpa (Kuat tekan tinggi )	1. Dinding dekat rumah. 2. Adukan pipa air kotor. 3. Adukan dinding penahan tanah. 4. Adukan untuk jalan.
Tipe S	12,4 Mpa (Kuat tekan sedang)	Bila tidak disyaratkan mengguna tipe M tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping.
Tipe N	5,2 MPa (Kuat tekan rendah )	Untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban,serta tidak ada persyaratan mengenai kekuatan.
Tipe O	2,5 Mpa (Kuat tekan rendah )	Untuk kontruksi dinding yang tidak menahan beban lebih dari 7 kg/cm <sup>2</sup> , dan gangguan cuaca tidak berat.

Sumber : SNI 03-6882-2014

Beberapa upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat material agar tahan terhadap suhu tinggi diantaranya menggunakan bahan tambah sebagai pengganti semen. Penelitian terdahulu umumnya menggunakan abu sawit karena memiliki aktivitas pozzolanik yang tinggi serta tahan terhadap suhu tinggi. Penggunaan bahan tambah tersebut memiliki beberapa kelemahan, contohnya dari segi biaya, kemudahan

dalam penyediaan serta pengaruhnya terhadap lingkungan [5]. Tingginya kandungan abu sawit diharapkan mampu memperbaiki sifat beton dan mortar akibat terpapar suhu tinggi. Penelitian menggunakan abu sawit sebagai upaya dalam memperbaiki beton dan mortar yang terpapar suhu tinggi belum banyak diteliti. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat fisik mortar PCC dengan campuran abu sawit pada suhu tinggi dengan melakukan pengujian kuat tekan dan pengujian porositas.

## II. MATERIAL DAN METODE

### 2.1 Proses Awal

Pengujian diawali dengan melakukan uji karakteristik material campuran mortar agar didapat data yang akan digunakan dalam pencampuran benda uji. Campuran terdiri dari pasir, abu sawit, alkali aktivator (NaOH, Si<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, air), 30% PCC dari berat abu sawit. Selanjutnya dilakukan pembuatan sampel mortar dengan cetakan ukuran 5x5x5 cm. Selanjutnya setelah 3 hari (*rest period*) sampel mortar dikeluarkan dan disimpan pada ruangan selama 28 hari [6]. Adapun pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kuat tekan dan absorpsi.

### 2.2 Proses Pencampuran Benda Uji

Proses pencampuran dilakukan dengan mesin pengaduk. Abu sawit, pasir dan 30% PCC diaduk hingga tercampur rata. Larutan alkali dituangkan kedalam campuran abu sawit, pasir dan PCC kemudian diaduk hingga seluruh bahan tercampur rata dan dalam kondisi lembab. Campuran mortar kemudian dimasukkan ke dalam cetakan hingga penuh dan padat. Kemudian sampel yang ada dicetakan, diletakkan pada suhu ruang selama 3 hari (*rest period*). Sampel dikeluarkan dari cetakan dan pada saat tu dimulailah perhitungan hari pengujian selama 28 hari. Pada hari 28, sampel dimasukkan kedalam oven selama 3 jam dengan variasi suhu yang sudah ditentukan. Pada tahap akhir, maka mortar diletakkan pada suhu ruang untuk mendapatkan suhu yang stabil agar dapat dilakukan pengujian kuat tekan dan absorpsi.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pengujian material yang digunakan untuk pembuatan mortar adalah karakteristik material agregat halus, pengujian pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi agregat halus yang berasal dari Quarry Kecamatan Ujung Batu, Kabupaten Rokan Hulu.

**Tabel 2.** Karakteristik Agregat Halus (Pasir)

No	Jenis Pemeriksaan	Standar Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Kadar lumpur (%)	< 5%	4,5	Memenuhi
2.	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )			
	a. <i>Apperent Spesific Gravity</i>	2,58 - 2,84	2,77	Memenuhi
	b. <i>Bulk Spesific Gravity on dry</i>	2,58 - 2,85	2,61	Memenuhi
	c. <i>Bulk Spesific Gravity on SSD</i>	2,58 - 2,86	2,66	Memenuhi
	d. <i>Absorption (%)</i>	2 - 7	5,2	Memenuhi
3.	Kadar air (%)	3 - 5	3,7	Memenuhi
4.	Modulus kehalusan	1,5 - 3,8	2,76	Memenuhi

### 3.2 Hasil Pengujian Abu Sawit

Abu sawit di dapat dari Pabrik Kelapa Sawit Kecamatan Tambusai Utara, Rokan Hulu. Abu sawit di ayak dengan saringan lolos #200 (0,075 mm) agar mendapatkan ukuran butiran yang lebih halus guna mempercepat reaksi geopolimer yang terjadi [7]. Kandungan senyawa abu sawit ini diuji di Laboratorium Balai Riset Industri Padang, Sumatra Barat tahun 2022.



**Gambar 1.** Abu Sawit

**Tabel 3.** Parameter Kandungan Abu Sawit

No	Parameter	Hasil Analisis (%)
1	SiO <sub>2</sub>	43,0
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,58
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05
4	CaO	6,30
5	K <sub>2</sub> O	2,27
6	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34
7	Kadar air	28,1

### 3.3 Spesifikasi Larutan Alkali Aktivator

#### Larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida, juga dikenal sebagai soda kaustik atau soda api, adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia NaOH. Senyawa ini merupakan senyawa ionik berbentuk padatan putih yang tersusun dari kation natrium Na<sup>+</sup> dan anion hidroksida OH<sup>-</sup>.

Natrium hidroksida merupakan basa dan alkali yang sangat kaustik, mampu menguraikan protein pada suhu lingkungan biasa dan dapat menyebabkan luka bakar bila terpapar. Senyawa ini sangat larut dalam air, dan dengan mudah menyerap kelembaban dan karbon dioksida dari udara. Senyawa ini membentuk hidrat dengan rumus NaOH·nH<sub>2</sub>O. [8].

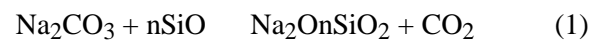
Penelitian ini menggunakan NaOH dengan konsentrasi 18 Molar untuk campuran benda uji. Padatan NaOH dilarutkan ke air 1000 ml dengan campuran sebagai berikut.

NaOH 18 Molar = 1000 ml Air + 720 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.

#### Larutan Natrium Silicat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

Natrium silikat atau sodium silikat atau water glass yaitu garam yang larut dalam air dengan komposisi sodium meta silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> atau 9H<sub>2</sub>O), bentuk lain dari silikat adalah sesquisulkat (3Na<sub>2</sub>O.2SiO<sub>3</sub>). Natrium silikat biasanya digunakan sebagai bahan detergent, mempunyai sifat pengemulsi dan dapat menambah kekuatan serta memiliki sifat *adhesive* yang baik. Bentuk padat dari natrium silikat terlihat seperti gelas dan larut dalam air panas, meleleh pada temperatur 1018°C. Bahan natrium silikat ini diperoleh dengan melelehkan pasir, batu bara dan soda. Campuran dilarutkan dalam air dan dididihkan dalam waktu lama, reaksi yang terjadi yaitu:



Pada Penelitian ini, digunakan Spesifikasi Natrium Silicat sebagai berikut :

**Tabel 4.** Spesifikasi Natrium Silicat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)

Parameter	Unit	Analysis	Method
Baume	Degree	58	Hydrometer
Mol Ratio	-	2,2 – 2,3	Calculate
SiO <sub>2</sub>	% ww	35,01– 38,83	Titrimetric
Na <sub>2</sub> O	% ww	16,41– 18,45	Titrimetric
Total Solid	% ww	51,40– 57,52	Calculate
Density	Gr/ml	1,66 – 1,71	Pycnometer

### 3.4 Tipe Portland Composite Cement (PCC)

Penambahan semen pada campuran paving block geopolimer sebesar 30% dari berat abu sawit. Penambahan semen ini juga berpengaruh pada bahan dasar geopolimer yang digunakan, seperti bahan dasar *fly ash* yang memiliki kualitas lebih baik dari abu sawit membutuhkan penambahan semen yang sedikit [9]. Dengan adanya semen

dapat membantu dan mempercepat proses *curing* geopolimer pada suhu ruang.

**Tabel 5.** Komposisi Kandungan PCC

No	Parameter	Hasil Analisis (%)
1	SiO <sub>2</sub>	22
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5
4	CaO	63
5	K <sub>2</sub> O	0,6
6	Na <sub>2</sub> O	0,3
7	SO <sub>2</sub>	2

### 3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar terdiri dari 9 benda uji yang dibuat berdasarkan komposisi *mix design*. Benda uji kuat tekan mortar berbentuk kubus dengan panjang setiap sisi 5 cm. dengan 3 hari rest period (dalam cetakan) dan 28 hari pengujian sampel.

Kekuatan tekan Mortar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

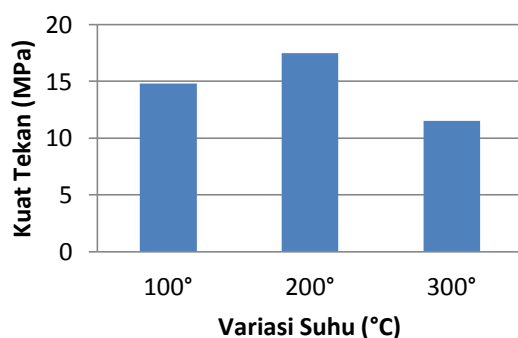
$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{L} \quad (2)$$

Keterangan:

P = Beban tekan, N

L = Luas bidang tekan, mm<sup>2</sup>

Hasil kuat tekan mortar geopolimer PCC untuk 3 variasi suhu yaitu 100°, 200° dan 300°. Hasil pengujian kuat tekan dengan 3 variasi untuk dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada Gambar 2, kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 200°C dengan hasil 17,5 Mpa sedangkan kuat tekan terendah terdapat pada variasi 300°C dengan hasil 11,5 MPa. Perbedaan hasil ini disebabkan paparan suhu tinggi mengubah komposisi kimia dan struktur fisik dari mortar. Dehidrasi air terjadi secara signifikan dalam CSH pada suhu di atas 100°C. Pada suhu di atas 300°C tegangan internal meningkat sehingga terjadi retakan di permukaan mortar itu sendiri.



**Gambar 3.** Pengujian Kuat Tekan Mortar

Paparan terhadap panas yang sangat tinggi mengakibatkan perubahan kinerja material yang disebabkan perubahan sifat dari material tersebut. Mortar yang dipanaskan hingga 300°C mengalami degradasi berupa pengurangan kekuatan yang cukup signifikan yang mungkin tidak kembali lagi (*recovery*) setelah proses pendinginan [10]. Tingginya tingkat kehilangan kekuatan ditentukan oleh jenis material yang digunakan, tingkat keparahan pada proses pemanasan, dan lama waktu pemanasan. Kemampuan mortar bertahan pada suhu tinggi hanya berkisar 0-1 jam. Tingkat keparahan dan lama pemanasan dapat dilihat dari bentuk fisik mortar setelah mengalami pemanasan.



**Gambar 4.** Sampel Mortar Geopolimer

### 3.5 Hasil Pengujian Absorpsi

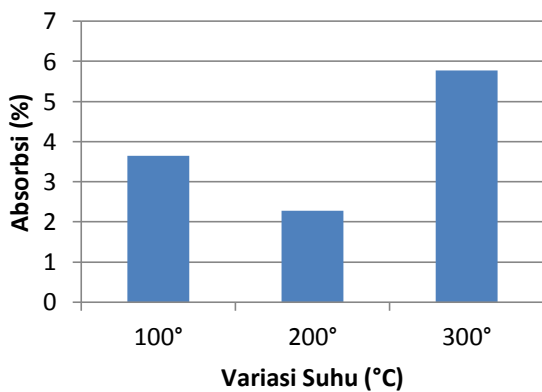
Absorpsi atau daya serap air adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu material jika direndam di dalam air. Penyebab semakin meningkatnya daya serap air adalah semakin meningkatnya porositas Mortar akibat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Hal ini menyebabkan semakin berkurangnya kekuatan beton atau mortar.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

A = Berat sampel setelah di oven (gram)

B = Berat sampel setelah direndam selama 24 jam, jenuh air ditimbang pada kering udara (gram)



**Gambar 5.** Hasil Pengujian Absorpsi

Pada Gambar 5, absorpsi terbesar terdapat pada variasi 300°C dengan hasil 5,77% Mpa sedangkan absorpsi terkecil terdapat pada variasi 200°C dengan hasil 2,28%. Mortar dengan nilai absorpsi terbesar memiliki pori-pori yang banyak sehingga air akan mudah masuk ke pori-pori tersebut. Semakin banyak pori-pori dalam Mortar akan berpengaruh dari segi kuat tekan.



**Gambar 6.** Perendaman Sampel Mortar

Kuat tekan benda uji yang mengalami penurunan mengindikasikan nilai persen absorpsi. Kuat tekan akan menjadi kurang baik apabila terdapat rongga pori yang tidak terisi oleh butiran

pasir atau pasta terlalu banyak. Rongga pori tersebut berisi udara (air void) dan air (*water filled space*), apabila benda uji mengering akan dapat membentuk kapiler yang mengakibatkan benda uji bersifat tembus air (porous) [11]. Dari data hasil pengujian absorpsi yang didapat, hasil pengujian absorpsi berbanding terbalik dengan hasil pengujian kuat tekan. Sehingga pengujian kuat tekan dan absorpsi ini mempunyai kaitan satu sama lainnya.

### 3.6 Analisis efek peningkatan suhu pada mortar geopolimer abu sawit

Pada mortar semen koefisien muai panas, panas jenis, dan daya hantar panas merupakan faktor yang mempengaruhi mortar apabila terpapar suhu tinggi atau dipanasi. Mortar dengan agregat batu kapur dan batu silika mengalami penurunan kuat tekan jika terjadi kenaikan temperatur. Pada suhu di atas 400°C kuat tekan beton hanya turun 10% dari kuat tekan pada suhu ruang dan maksimum tinggal 40% apabila pembakaran mencapai temperatur di atas 600°C [12].

Pada penelitian ini, peningkatan suhu akan berefek pada reaksi ikatan geopolimer yaitu antara jumlah kandungan Si, Al, Ca serta panas hidrasi yang dihasilkan dari PCC. Ini menunjukkan bahwa pada suhu 100°C (14,8 MPa) sampai 200°C (17,5 MPa) mortar memberikan peningkatan kuat tekan sebesar 18,24%. Tetapi pada suhu 200°C (17,5 MPa) sampai 300°C (11,5 MPa) mortar memberikan penurunan sebesar 34,28%. Paparan panas suhu ini hanya mampu dipertahankan selama 3 jam pada suhu 100°C. Paparan suhu tinggi banyak mengubah komposisi kimia dan struktur fisik dari mortar. Dehidrasi air terjadi secara signifikan dalam CSH pada suhu di atas 100°C. Dengan mendapatkan hasil tersebut, sehingga kedepannya dapat dianalisis kandungan ikatan geopolimer yang optimal agar membuat campuran mortar geopolimer yang kuat terhadap pengaruh suhu.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai analisis kuat tekan dan absorpsi mortar geopolimer abu sawit dengan *Portland Composite Cement* (PCC) variasi suhu tinggi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Campuran dari mortar geopolimer diuji berdasarkan standar pengujian dengan menghasilkan spesifikasi kandungan Si, Al, Ca

pada setiap bahan campuran seperti PCC, Abu Sawit, Larutan Alkali Aktivator.

2. Kuat tekan mortar tertinggi terdapat pada variasi 200°C dengan hasil 17,5 Mpa sedangkan kuat tekan terendah terdapat pada variasi 300°C dengan hasil 11,5 MPa. Perbedaan hasil ini disebabkan paparan suhu tinggi mengubah komposisi kimia dan struktur fisik dari mortar.
3. Absorpsi terbesar terdapat pada variasi 300°C dengan hasil 5,77% Mpa sedangkan absorpsi terkecil terdapat pada variasi 200°C dengan hasil 2,28%. Mortar dengan nilai absorpsi terbesar memiliki pori-pori yang banyak sehingga air akan mudah masuk ke pori-pori tersebut. Semakin banyak pori-pori dalam Mortar akan berpengaruh dari segi kuat tekan.
4. Peningkatan suhu akan berefek pada reaksi ikatan geopolimer yaitu antara jumlah kandungan Si, Al, Ca serta panas hidrasi yang dihasilkan dari PCC. Ini menunjukkan bahwa pada suhu 100°C (14,8 MPa) sampai 200°C (17,5 MPa) mortar memberikan peningkatan kuat tekan sebesar 18,24%. Tetapi pada suhu 200°C (17,5 MPa) sampai 300°C (11,5 MPa) mortar memberikan penurunan sebesar 34,28%. Paparan panas suhu ini hanya mampu dipertahankan selama 3 jam pada suhu 100°C. Paparan suhu tinggi banyak mengubah komposisi kimia dan struktur fisik dari mortar.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

1. Tim Laboratorium Teknologi Bahan, Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian
2. Tim Laboratorium Teknologi Bahan, Fakultas Teknik Universitas Riau.
3. PT. Era Sawita, Tambusai Utara, Kabupaten Rokan Hulu
4. Dinas Lingkungan Hidup, Kabupaten Rokan Hulu
5. Balai Riset Industri Padang, Sumatra Barat.
6. Civitas Akademika Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian dan Universitas Riau.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Fahim Huseien, G., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S. K., & Abdulameer Hussein, A., "Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(February 2016), 54–74. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.076>
- [2]. SNI 03-6882 (2014) Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan. Badan Standar Nasional Indonesia.
- [3]. H. A. Syarif, & D. Saputra, "Kuat Tekan dan Absorpsi *Paving Block* Geopolimer Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash*) Menggunakan Tambahan Semen Tipe 1 (*Ordinary Portland Cement*) dengan Air Gambut. *Jurnal APTEK* Universitas Pasir Pengaraian, 14 (1), 33-28. 2022. DOI: <https://doi.org/10.30606/aptek.v14i1.1094>
- [4]. Li, H., Gao, P., Xu, F., Sun, T., Zhou, Y., Zhu, J., Peng, C., & Lin, J. "Effect of fine aggregate particle characteristics on mechanical properties of fly ash-based geopolymer mortar". *Minerals*, 11(8), 2021. <https://doi.org/10.3390/min11080897>
- [5]. Olivia, M., Wibisono, G., & Saputra, E. "Early strength of various fly ash based concrete in peat environment". *MATEC Web of Conferences*, 276, 01022, 2019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927601022>
- [6]. Satya, Y. S. D., Saputra, E., & Olivia, M. "Performance of blended fly ash (FA) and palm oil fuel ash (POFA) geopolymer mortar in acidic peat environment". *Materials Science Forum*, 841, 83–89, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.841.83>
- [7]. Ng, H. T., Heah, C. Y., Liew, Y. M., & Abdullah, M. M. A. B. "The effect of various molarities of NaOH solution on fly ash geopolymer paste. *AIP Conference Proceedings*, 2045(December), 10–15, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5080911>
- [8]. O. K. Wattimena, , Antoni, & D. Hardjito, A review on the effect of fly ash characteristics and their variations on the synthesis of fly ash based geopolymer 2017, *AIP Conference*

*Proceedings*, 1887(September).  
<https://doi.org/10.1063/1.5003524>

- [9]. Yanuari, R., Septari, D., Rindy, J. A., & Olivia, M. “Geopolymer hybrid fly ash concrete for construction and conservation in peat environment: A review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 847(1), 2021.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/847/1/012031>
- [10]. Abdulkareem, O. A., Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Khairul Nizar, I., & Saif, A. A. (2014). Effects of elevated temperatures on the thermal behavior and mechanical performance of fly ash geopolymer paste, mortar and lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 50, 377–387.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.047>
- [11]. Kaya, M., Uysal, M., Yilmaz, K., Karahan, O., & Atis, C. D. “Mechanical properties of class C and F fly ash geopolymer mortars”, *Gradjevinar*, 72(4), 297–309, 2020.  
<https://doi.org/10.14256/JCE.2421.2018>
- [12]. A. A. Adam, & Horiato. “The effect of temperature and duration of curing on the strength of fly ash based geopolymer mortar”. *Procedia Engineering*, 95(Scescm),410–414, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.199>