

Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Pelepah Kelapa Sawit Pada Komposit Berbasis Semen Untuk Peredam Panas

Ilham Ary Wahyudie^{1*}, Sulistiana Rachmadini², Muhammad Riva'i³

^{1,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

²Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung,

^{1,2,3}Kawasan industri air kantung, Sungailiat, Sungai Liat, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

E-mail: ilham@polman-babel.ac.id¹, sulistianadinn@gmail.com², rivai@polman-babel.ac.id³

Info Naskah:

Naskah masuk: 18 Maret 2024

Direvisi: 8 Juli 2024

Diterima: 26 Juli 2024

Abstrak

Dalam perkebunan kelapa sawit, buah dan tandan kosong biasanya dimanfaatkan, sementara limbah seperti pelepah kelapa sawit (PKS) sering kali diabaikan. Namun, PKS hasil pemangkasan dapat dimanfaatkan sebagai campuran dalam pembuatan bahan bangunan ramah lingkungan yang berfungsi sebagai peredam panas. Melalui proses pengolahan menjadi serbuk dan pencampuran dengan pasir serta semen, limbah PKS ini dijadikan agregat tambahan untuk membuat bata ramah lingkungan. Desain eksperimen faktorial multilevel digunakan untuk memvariasikan persentase serbuk PKS dan rasio pasir-semen. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan serbuk PKS secara signifikan mampu meningkatkan nilai peredaman panas, dengan penurunan suhu mencapai 19,54°C pada campuran 20% serbuk PKS dan rasio pasir-semen 2:1. Persentase serbuk PKS juga berpengaruh signifikan terhadap kemampuan meredam panas, dengan nilai F sebesar 7,0, dibandingkan dengan nilai Ftabel sebesar 3,88. Selain itu, interaksi antara rasio pasir-semen dan persentase serbuk PKS memiliki nilai F sebesar 19,56, menunjukkan pengaruh yang kuat secara statistik terhadap kemampuan meredam panas.

Keywords:

eco-friendly building materials;
oil palm fronds (PKS);
heat insulation.

Abstract

In palm oil plantations, the fruit and empty bunches are usually used, while waste such as oil palm fronds (PKS) is often disregarded. However, pruned PKS can be utilized in the production of environmentally friendly building materials that serve as heat insulators. PKS waste can be used as an additional aggregate to create eco-friendly bricks by grinding it into powder and mixing it with sand and cement. A multilevel factorial experimental design was used to vary the percentage of PKS powder and the sand-cement ratio. The analysis results showed that the addition of PKS powder significantly improved heat insulation, resulting in a temperature reduction of up to 19.54°C in a mixture containing 20% PKS powder and a sand-cement ratio of 2:1. The percentage of PKS powder also significantly influenced heat insulation capacity, with an F-value of 7.0 compared to an F-table value of 3.88. Additionally, the interaction between the sand-cement ratio and the percentage of PKS powder had an F-value of 19.56, indicating a solid impact on heat insulation capability.

*Penulis korespondensi:

Ilham Ary Wahyudie

E-mail: ilham@polman-babel.ac.id

1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya teknologi di era modern terhadap industri manufaktur menuntut adanya perkembangan [1]–[5], terutama dibidang teknologi konstruksi bangunan yang memanfaatkan semen, pasir, dan air. Atas dasar ini, dibutuhkannya perkembangan yang memanfaatkan material dan agregat alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan [6]. Salah satu bentuk dari beton yang ramah lingkungan adalah penambahan beton dengan agregat limbah yang dapat didaur ulang menjadi pengganti bahan pada campuran beton. Menurut penjelasan pusat statistik lingkungan dan kehutanan tahun 2023 [7], proses penambahan bahan yang ramah lingkungan dalam pembuatan teknologi dapat membantu mengurangi dan bahkan dapat mencegah terjadinya pencemaran. Teknologi ramah lingkungan adalah teknologi yang diciptakan untuk memudahkan kehidupan manusia tanpa menimbulkan kerugian atau dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam konstruksi bangunan dikenal dengan beton ekologis atau beton ramah lingkungan, yaitu beton yang menggunakan lebih sedikit energi selama produksi dan menghasilkan lebih sedikit CO₂ (karbon dioksida) dibandingkan beton konvensional [8].

Pemanfaatan limbah perkebunan, seperti limbah padat kelapa sawit, sebagai alternatif agregat menunjukkan upaya untuk mengatasi permasalahan lingkungan sambil memanfaatkan sumber daya yang ada. Limbah ini, yang seringkali menjadi masalah lingkungan, dapat diolah menjadi agregat tambahan yang berguna dalam berbagai aplikasi konstruksi. Penggunaan agregat dari limbah kelapa sawit tidak hanya membantu dalam mengurangi dampak lingkungan negatif dari limbah tersebut tetapi juga memperluas sumber daya material yang tersedia untuk industri konstruksi. Dengan demikian, inovasi ini tidak hanya memberikan solusi ekologis tetapi juga ekonomis dalam pengelolaan limbah dan penggunaan material konstruksi yang berkelanjutan [9]–[11]. Pada dasarnya limbah biomassa sawit hanya dimanfaatkan sebagai kompos dan bahan bakar industri, dalam keadaan tertentu limbah biomassa berupa pelepah kelapa sawit (PKS) hasil dari pemangkasan hanya akan dibiarkan diperkebunan menjadi tumpukan sampah perkebunan tanpa dapat dimanfaatkan secara baik [12].

Selanjutnya, dari teknologi dan alternatif beton ramah lingkungan diharapkan dapat digunakan secara luas termasuk pada hunian atau tempat tinggal yang diaplikasikan melalui dinding rumah yang dikenal batako ramah lingkungan. Hal ini disebabkan kebutuhan hidup manusia terhadap hunian atau tempat tinggal menjadi hal pokok yang harus dipenuhi. Salah satu kebutuhan tempat tinggal atau hunian yang dipilih selain kokoh adalah nyaman dan terhindar dari suhu panas [13]. Tentu saja bangunan atau hunian dengan lingkungan termal yang baik akan memberikan kenyamanan baik secara fisik maupun mental [14].

Beton yang digunakan dalam pembuatan dinding rumah dikenal dengan batako. Dalam penggunaannya, batako memiliki kekurangan antara lain seperti kemampuan peredaman suhu panas yang rendah. Batako yang diaplikasikan pada dinding rumah biasanya tidak memiliki

insulasi sehingga lebih banyak menyerap panas dari matahari [13].

Penelitian yang terkait penambahan agregat alam sebagai material yang dapat mereduksi panas sudah banyak dilakukan. Penambahan agregat alam pada campuran batako menghasilkan batako yang mampu meningkatkan konduktivitas termal yang lebih baik [15]–[17]. Sifat isolator yang dihasilkan dari penambahan agregat alam juga menjadi lebih baik karena adanya kandungan selulosa yang memberikan *void* dan adanya pengaruh silika yang berperan sebagai penyerap udara [9], [13], [18]. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan agregat alam pada batako dapat meningkatkan konduktivitas termal batako. Dengan kata lain, batako yang dihasilkan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghantarkan panas, yang mungkin berarti bahwa batako tersebut dapat mengurangi akumulasi panas di dalam bangunan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan efisien dalam hal penggunaan energi untuk pendinginan. Penambahan agregat alam ke dalam material konstruksi, seperti batako, dapat meningkatkan sifat isolator material tersebut secara signifikan. Kandungan selulosa dalam agregat alam menciptakan *void* (rongga kecil) yang menjebak udara, sementara silika berperan sebagai penyerap udara, memperkuat struktur berongga dalam material. Kombinasi dari dua komponen ini menghasilkan material dengan konduktivitas termal yang lebih rendah, sehingga mampu menghambat perpindahan panas secara efektif. Dengan demikian, penggunaan agregat alam dalam campuran batako tidak hanya meningkatkan konduktivitas termal tetapi juga memperbaiki sifat isolator material, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi energi bangunan dengan menjaga suhu interior lebih stabil.

Berdasar pada penelitian terdahulu mengenai bata semen didapatkan bahwa kajian penggunaan material alam sebagai insulasi panas menggunakan pendekatan teori statistik *full factorial* sangat minim. Penelitian penggunaan PKS dalam pembuatan komposit basis semen untuk meningkatkan sifat insulasi panas memiliki urgensi yang tinggi karena beberapa alasan yang berhubungan dengan lingkungan, ekonomi, dan teknologi. Pendekatan teori statistik *full factorial* dapat memberikan pemahaman yang komprehensif dan mendalam mengenai pengaruh berbagai faktor dalam proses ini. Pendekatan teori statistik seperti *full factorial* memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi pengaruh dan interaksi berbagai faktor secara sistematis dan efisien. Dalam konteks penggunaan PKS dalam pembuatan bata semen, faktor-faktor yang dapat dieksplorasi seperti pengaruh faktor komposisi bahan, faktor pengaruh jenis bahan, pengaruh intraksi antar faktor, dan lainnya. Dengan menggunakan desain eksperimen *full factorial*, peneliti dapat memahami efek masing-masing faktor dan interaksinya terhadap sifat insulasi panas dari bata semen. Ini membantu dalam mengidentifikasi kombinasi optimal dari bahan dan kondisi produksi yang menghasilkan performa terbaik.

Dalam artikel ini dibahas mengenai penggunaan metode statistik *full factorial* dalam melihat pengaruh penggunaan limbah PKS sebagai bahan tambah dalam komposit basis semen. Adapun tujuan penelitian ini adalah

melakukan analisis pengaruh penambahan serbuk PKS dalam campuran semen dan pasir sebagai bahan pembuatan bata terhadap kemampuan meredam panas.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen. Dalam percobaan ini, dilakukan pembuatan benda uji berupa komposit basis semen. Selain itu dilakukan pula pengujian kemampuan dalam meredam panas. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah semen tipe-I jenis *Portland Cement Composite*, pasir, air, *foam agent*, dan berupa PKS yang digiling menjadi serbuk. Rasio pasir/semen serta serbuk PKS sesuai dengan rancangan eksperimen yang dibuat. Sedangkan jumlah air dan *foam agent* yang digunakan sebanyak 20% dan 5% dari jumlah pasir:semen. Serbuk PKS tersebut disaring menggunakan saringan berukuran mesh 28. Gambar serbuk kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk Pelepah Kelapa Sawit

2.1 Pembuatan Benda Uji

Pada pembuatan benda uji dilakukan dengan menentukan parameter level dan faktor, selanjutnya merancang desain eksperimen penelitian. Tabel 1 faktor-faktor yang akan menyebabkan terjadinya variasi respon. Level faktor serbuk PKS ditetapkan sebanyak 3 level. Level 1 sebesar 0% artinya pada level 1 tidak ada penambahan serbuk, level 2 sebesar 10% artinya setiap 100 gram campuran pasir dan semen maka serbuk yang ditambahkan sebanyak 10 gram, sedangkan level 3 sebesar 20% artinya setiap 100 gram campuran pasir dan semen maka serbuk yang ditambahkan sebanyak 20 gram. Pada rasio pasir/semen ditetapkan sebanyak 2 level. Level 1 rasio pasir/semen sebesar 1:1, sedangkan pada level 2 sebesar 2:1.

Tabel 1. Parameter Level dan Faktor

Faktor	Level		
	1	2	3
Serbuk PKS	0%	10%	20%
Rasio Pasir:Semen	1:1	2:1	-

Tabel 2 merupakan rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini. Sampel dalam rancangan percobaan ini berjumlah 6 buah. Air dan *foam* dalam jumlah yang tetap untuk semua sampel. Sampel ke-1 dibuat dengan rasio pasir terhadap semen sebesar 1:1, tanpa penambahan

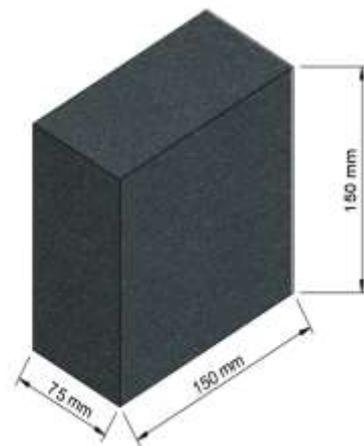
serbuk PKS. Sampel ini berfungsi sebagai kontrol kedua untuk memahami bagaimana perubahan rasio pasir terhadap semen mempengaruhi sifat bata semen tanpa pengaruh dari serbuk PKS. Pada sampel ke-2 rasio pasir terhadap semen adalah 1:1, sama seperti pada sampel ke-4, namun dengan penambahan serbuk PKS sebanyak 10% dari total berat pasir dan semen. Penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana penambahan serbuk PKS dalam rasio ini mempengaruhi insulasi panas.

Tabel 2. Desain Eksperimen

No	Serbuk PKS	Rasio Pasir:Semen
1	0%	1:1
2	10%	1:1
3	20%	1:1
4	0%	2:1
5	10%	2:1
6	20%	2:1

Sampel ke-3 menggunakan rasio pasir terhadap semen 1:1, dengan penambahan serbuk PKS sebanyak 20% dari total berat campuran. Sampel ke-4 dibuat dengan rasio pasir terhadap semen sebesar 2:1, yang berarti dua bagian pasir dicampur dengan satu bagian semen. Pada sampel ini, tidak ada serbuk PKS yang ditambahkan. Sampel ini berfungsi sebagai kontrol untuk membandingkan efek penambahan serbuk PKS pada sampel lainnya. Sampel ke-5 juga menggunakan rasio pasir terhadap semen sebesar 2:1. Namun, pada sampel ini, serbuk PKS ditambahkan sebanyak 10% dari total berat campuran pasir dan semen.

Penambahan serbuk PKS diharapkan dapat meningkatkan sifat insulasi panas dan memberikan void dalam struktur bata, yang dapat berperan sebagai isolator termal. Sampel ke-6 menggunakan rasio yang sama yaitu 2 bagian pasir berbanding 1 bagian semen, tetapi dengan penambahan serbuk PKS sebanyak 20% dari total berat pasir dan semen. Persentase serbuk PKS yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel ke-5 diharapkan memberikan efek yang lebih signifikan dalam meningkatkan sifat insulasi panas. Pada sampel-sampel tersebut diharapkan dapat mengeksplorasi efek maksimal dari serbuk PKS serta memberikan pemahaman mendalam tentang potensi optimal serbuk PKS dalam meningkatkan insulasi panas.



Gambar 2. Desain Dimensi Benda Uji

Benda uji yang dibuat berukuran $150 \times 75 \times 150$ mm dengan volume sebesar $1.687,5 \text{ cm}^3$. Benda uji dicetak sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dan komposisi bahan sesuai dengan rancangan percobaan. Bentuk dan ukuran benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.

2.2 Perpindahan Panas

Insulasi panas adalah metode atau proses yang bertujuan untuk mengurangi laju perpindahan panas. Energi panas dapat mengalir dari benda yang bersuhu tinggi menuju benda yang suhunya lebih rendah [16]. Jumlah energi panas yang mengalir pada tiap bahan berbeda-beda bergantung pada sifat material yang digunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas disebut isolator atau insulator.

Redaman panas batako yang baik dapat dilihat dari penurunan nilai suhunya. Semakin besar penurunan nilai suhu maka batako semakin baik dalam menahan panas. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung perbedaan suhu tersebut [16] adalah pada persamaan (1).

$$\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} = T_1 - T_2 \quad (1)$$

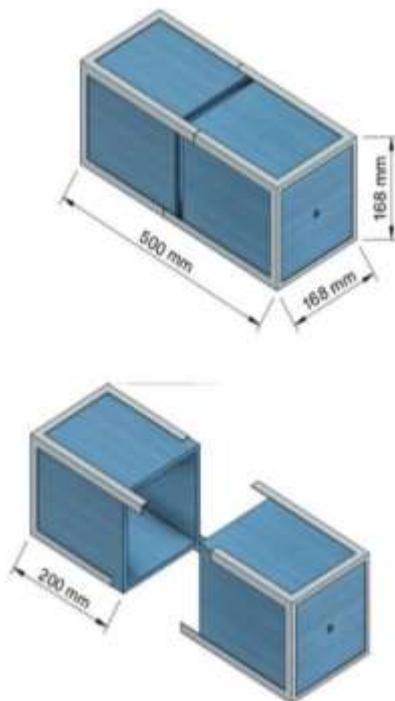
Keterangan:

T_1 = suhu batako terpapar cahaya lampu ($^\circ\text{C}$)

T_2 = suhu batako tidak terpapar cahaya lampu ($^\circ\text{C}$)

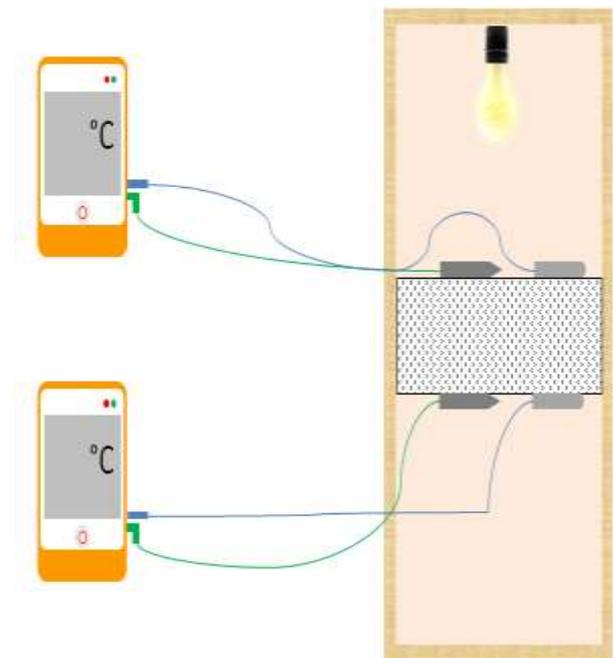
2.3 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam percobaan ini adalah untuk mengetahui perbedaan suhu pada benda uji sehingga dapat diketahui kemampuan insulasi panas terhadap sampel yang dibuat. Sampel yang akan diuji diletakkan didalam kotak pengujian. Kotak pengujian ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Desain Dimensi Kotak Uji

Sampel diletakkan diantara ruang yang terbuat dari bahan multiplek. Suhu panas yang dipancarkan berasal dari suhu panas lampu *lustre shape, 15W E27 220-240V*. Prosedur pengukuran dilakukan dengan mengukur suhu pada ruangan sampel yang terpapar langsung suhu panas dari lampu dan mengukur suhu ruangan pada sampel yang tidak terpapar langsung suhu panas dari lampu. Pengukuran suhu sampel menggunakan 2 buah alat ukur *GSP temperature and humidity data logger GSP-6* yang tersambung dengan sensor suhu. Sensor suhu 1 diletakkan pada permukaan sampel yang berhadapan langsung dengan ruang pemanas sedangkan sensor suhu 2 diletakkan pada permukaan sampel pada ruang lainnya. Pengukuran suhu dalam ruang uji tersebut dilakukan selama 5 jam. Skema letak sensor, alat uji, dan sampel pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Peletakan Sampel dan Sensor

Data yang terekam dalam alat ukur dipindahkan melalui kabel data kedalam komputer dan diterjemahkan menggunakan aplikasi *ElitechLogWin*. Hasil penterjemahan data yang ditangkap sensor suhu ditampilkan dalam bentuk grafik suhu dan waktu.

2.4 Analisis Data

Metode analisis yang digunakan adalah analisis sidik ragam dua arah. Tujuannya adalah untuk mengetahui dampak perbedaan kriteria yang diuji terhadap hasil. Analisis sidik ragam dua arah digunakan untuk menguji hipotesis tentang perbandingan antara dua sampel secara bersamaan [19]. Metode analisis ini dapat digunakan dengan syarat bahwa variasi yang terjadi bukan disebabkan oleh satu faktor saja [20]. Rumus-rumus analisis sidik ragam dua arah ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rumus Analisis Sidik Ragam Dua Arah.

Sumber variasi	Jumlah kuadrat (JK)	Derajat bebas (db)	Rata-rata kuadrat (S^2)	f_0
Rata-rata baris	JK Baris (JKB)	b-1	$\frac{JKB}{db}$	$\frac{S_{baris}^2}{S_{error}^2}$
Rata-rata kolom	JK Kolom (JKK)	k-1	$\frac{JKK}{db}$	$\frac{S_{kolom}^2}{S_{error}^2}$
Interaksi	JK (JB)	(k-1)(b-1)	$\frac{JK(JB)}{db}$	$\frac{S_{interaksi}^2}{S_{error}^2}$
Error	JK Error (JKE)	JB (n-1)	$\frac{JKE}{db}$	
Total	JK Total (JKT)	n-1		

Nilai-nilai jumlah kuadrat dapat dihitung menggunakan formula berikut ini.

$$JKT = \sum_i^b = 1 \sum_j^k = 1 \sum_k^n = 1 X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{bkn} \quad (2)$$

$$JKB = \frac{\sum_i^b = 1 T_i^2}{kn} - \frac{T^2}{bkn} \quad (3)$$

$$JKK = \frac{\sum_j^k = 1 T_j^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn} \quad (4)$$

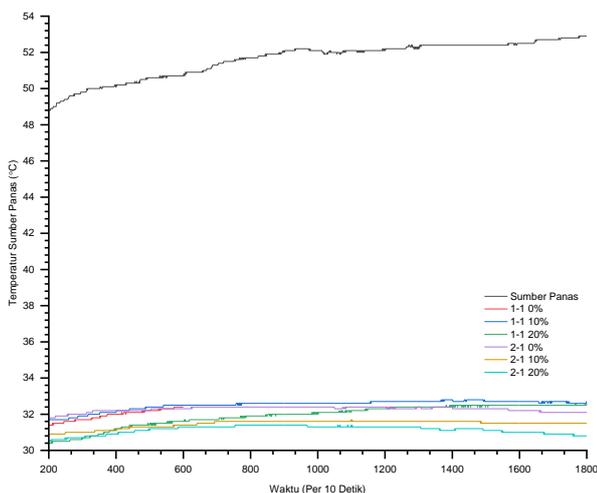
$$JK(JB) = \frac{\sum_i^b = 1 \sum_j^k = 1 T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_i^b = 1 T_i^2}{kn} - \frac{\sum_j^k = 1 T_j^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn} \quad (5)$$

$$JKE = JKT - JKB - JKK - JK(BK) \quad (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Peredaman Panas

Hasil pengukuran suhu kedua ruang ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik hasil pengukuran suhu terhadap waktu tersebut diolah menggunakan aplikasi *ElitechLogWin* yang merupakan aplikasi bawaan dari alat ukur.



Gambar 5. Grafik Suhu Pengujian Peredam Panas

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5, sampel dengan rasio pasir/semén 1:1 tanpa campuran serbuk PKS mengalami peningkatan suhu yang signifikan. Peningkatan ini terjadi dari detik ke-2.000 hingga detik ke-18.000, dengan suhu mencapai puncaknya pada 32,8°C pada detik ke-15.870. Sementara itu, sampel dengan rasio pasir/semén 1:1 yang dicampur dengan serbuk PKS sebanyak 10% menunjukkan pola peningkatan suhu yang sedikit berbeda. Suhu sampel ini mulai meningkat dari detik ke-2.000 dan terus naik hingga mencapai puncak suhu 32,8°C pada detik ke-14.430. Setelah mencapai puncaknya, suhu mulai menurun secara perlahan pada detik ke-14.970 hingga mencapai 32,7°C. Tren ini berlanjut hingga detik ke-18.000, menunjukkan adanya variasi dalam perilaku termal dibandingkan dengan sampel tanpa campuran serbuk PKS.

Sampel dengan rasio pasir/semén 1:1 yang dicampur dengan 20% serbuk PKS menunjukkan peningkatan suhu yang konsisten dari detik ke-2.000 hingga detik ke-18.000. Puncak suhu panas maksimum sebesar 32,6°C tercapai pada detik ke-18.000, menandakan grafik tertinggi pada sampel ini. Jika dibandingkan, semua sampel dengan rasio pasir/semén 1:1 dan variasi campuran serbuk sebesar 0%, 10%, dan 20% memperlihatkan kenaikan suhu tertinggi pada interval waktu per 10 detik hingga detik ke-1.800. Perbedaan suhu di antara ketiga sampel ini tidak signifikan, berkisar antara 32°C hingga 32,8°C. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada variasi dalam persentase campuran serbuk PKS, peningkatan suhu tertinggi yang dihasilkan tetap berada dalam rentang yang sama.

Sampel dengan rasio pasir/semén 2:1 tanpa campuran serbuk PKS menunjukkan peningkatan suhu yang signifikan mulai dari detik ke-2.000 hingga detik ke-18.000. Berdasarkan grafik, suhu panas maksimum sebesar 32,4°C tercapai pada detik ke-13.420, menandai titik tertinggi grafik untuk sampel ini. Setelah mencapai puncaknya, tren suhu kemungkinan menunjukkan perubahan yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk memahami perilaku termal dari campuran pasir dan semen. Sampel dengan rasio pasir/semén 2:1 yang dicampur dengan 10% serbuk PKS menunjukkan peningkatan suhu mulai dari detik ke-2.000 hingga detik ke-18.000. Berdasarkan grafik, suhu panas maksimum sebesar 31,7°C tercapai pada detik ke-10.990, menandai puncak suhu tertinggi untuk sampel ini. Tren peningkatan suhu yang diamati dalam periode tersebut mencerminkan bagaimana penambahan serbuk PKS mempengaruhi karakteristik termal campuran pasir dan semen. Sampel dengan rasio pasir/semén 2:1 yang dicampur dengan 20% serbuk PKS menunjukkan peningkatan suhu mulai dari detik ke-2.000 hingga detik ke-18.000. Berdasarkan grafik, suhu panas maksimum sebesar 31,4°C tercapai pada detik ke-7.540, yang merupakan titik tertinggi grafik untuk sampel ini.

Untuk semua sampel dengan rasio pasir/semén 2:1 dan variasi campuran serbuk PKS sebesar 0%, 10%, dan 20%, kenaikan suhu tertinggi tercatat setiap interval waktu per 10 detik hingga detik ke-1.800. Selisih suhu di antara ketiga sampel ini berada dalam rentang 31,4°C hingga 32,4°C. Variasi ini menunjukkan bagaimana penambahan serbuk PKS dalam berbagai persentase mempengaruhi peningkatan suhu tertinggi dari campuran pasir dan semen.

Gambar 5 menampilkan grafik perbandingan sampel yang diuji penyerapan panasnya tiap detik. Sampel dengan rasio pasir/semen 1:1 tanpa campuran serbuk PKS menunjukkan penyerapan panas tertinggi, dengan suhu maksimum mencapai 32,8°C pada periode waktu antara 15.870 detik hingga 18.000 detik. Sebaliknya, sampel dengan rasio pasir/semen 2:1 yang dicampur dengan 20% serbuk PKS menunjukkan penyerapan panas terendah. Suhu tertinggi yang dicapai oleh sampel ini adalah 31,4°C pada detik ke-7.540, namun suhu tersebut kemudian menurun hingga mencapai 30,8°C pada detik ke-18.000. Ini menunjukkan bahwa sampel dengan campuran serbuk PKS yang lebih tinggi memiliki kemampuan penyerapan panas yang lebih baik dibandingkan dengan sampel tanpa campuran serbuk.

3.2 Analisis Sidik Ragam Dua Arah

Metode analisis sidik ragam dua arah dengan interaksi memerlukan hipotesis yang dibuat untuk mengetahui hasil analisis dari pengolahan data. Berikut hipotesis statistik yang dibuat dalam analisis sidik ragam ini.

a) Hipotesis pertama:

H_0 : Tidak ada pengaruh rasio perbandingan pasir dan semen terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen.

H_1 : Terdapat pengaruh rasio perbandingan pasir dan semen terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen.

b) Hipotesis kedua:

H_0 : Tidak ada pengaruh jumlah persentase serbuk PKS terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen.

H_1 : Terdapat pengaruh persentase serbuk PKS terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen

c) Hipotesis ketiga:

H_0 : Tidak ada pengaruh interaksi antara persentase serbuk PKS dengan rasio pasir/semen terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen.

H_1 : Terdapat pengaruh interaksi antara persentase serbuk PKS dengan rasio pasir/semen terhadap penyerapan panas komposit berbasis semen

Pada Tabel 4 diperlihatkan nilai selisih suhu (Δt) dari hasil 3 kali pengukuran suhu tiap sampel. Sampel ke-1 (kontrol) dengan rasio pasir 2:1 tanpa serbuk PKS memiliki rata-rata Δt sebesar 19,24°C. Sampel ke-2, dengan penambahan 10% serbuk PKS, memiliki rata-rata Δt sebesar 18,04°C. Sampel ke-3, dengan penambahan 20% serbuk PKS, memiliki rata-rata Δt sebesar 19,06°C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 10% serbuk PKS menurunkan rata-rata Δt lebih signifikan dibandingkan dengan sampel kontrol, menunjukkan bahwa serbuk PKS pada tingkat ini memberikan kontribusi yang baik untuk isolasi panas. Namun, penambahan 20% serbuk PKS (Sampel ke-3) tidak memberikan penurunan yang lebih besar dari 10% PKS dan justru sedikit lebih tinggi dari kontrol, menunjukkan bahwa ada batas optimum penambahan serbuk PKS untuk isolasi panas.

Sampel ke-4 (kontrol kedua) dengan rasio pasir 1:1 tanpa serbuk PKS memiliki rata-rata Δt sebesar 18,05°C. Sampel ke-5, dengan penambahan 10% serbuk PKS,

memiliki rata-rata Δt sebesar 19,04°C. Sampel ke-6, dengan penambahan 20% serbuk PKS, memiliki rata-rata Δt sebesar 19,25°C. Penambahan 10% serbuk PKS pada rasio 1:1 (Sampel ke-5) menunjukkan rata-rata Δt yang lebih tinggi daripada kontrol kedua, yang mengindikasikan bahwa pada rasio ini, serbuk PKS mungkin kurang efektif sebagai isolator panas dibandingkan pada rasio 2:1. Sampel ke-6 menunjukkan rata-rata Δt yang tertinggi, yaitu 19,25°C, yang mirip dengan sampel ke-1, menunjukkan bahwa pada penambahan 20% serbuk PKS pada rasio 1:1, tidak ada peningkatan signifikan dalam isolasi panas.

Berdasar pada kondisi di atas, sampel dengan rasio 2:1 cenderung memiliki rata-rata Δt yang lebih konsisten, baik dengan atau tanpa penambahan serbuk PKS, meskipun ada sedikit variasi. Rasio 1:1 menunjukkan hasil yang lebih bervariasi dengan penambahan serbuk PKS, dimana penambahan serbuk PKS tidak selalu meningkatkan sifat isolasi panas.

Tabel 4. Nilai Δt Komposit Basis Semen

Pasir:Semen	Serbuk			Total
	0%	10%	20%	
1 : 1	19,18	17,75	18,97	169,03
	19,29	18,07	19,03	
	19,24	18,31	19,19	
2 : 1	17,59	18,61	18,90	169,01
	18,10	19,09	19,30	
	18,47	19,41	19,54	
Total	111,87	111,24	114,93	338,04

Analisis sidik ragam dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh berbagai faktor serta interaksi antar faktor terhadap penyerapan panas pada bata semen yang menggunakan campuran serbuk PKS. Tabel 5 di bawah ini menyajikan hasil perhitungan analisis sidik ragam dua arah yang mempertimbangkan faktor rasio pasir/semen dan persentase serbuk PKS, serta interaksi keduanya. Analisis ini menggunakan hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh signifikan dari faktor-faktor tersebut. Daerah penolakan H_0 terjadi jika nilai uji statistik F (Fvalue) melebihi nilai Ftabel yang telah ditentukan.

Tabel 5. Analisis Sidik Ragam Dua Arah

Sumber Variasi	DF	SS	MS	F-value	F-tabel
Rasio pasir semen	1	0,00	0,00	0,00	4,74
Persentase serbuk	2	1,29	0,64	7,00	3,88
Rasio semen pasir × persentase serbuk	2	3,63	1,81	19,56	3,88
Error	12	1,11	0,09		
Total	17	6,04			

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan dalam Tabel 5, nilai Fvalue untuk rasio pasir/semen adalah 0,00, sedangkan nilai Ftabel adalah 4,74. Karena Fvalue lebih kecil daripada Ftabel, hipotesis nol (H_0) pertama gagal ditolak. Artinya, tidak terdapat pengaruh yang cukup signifikan dari rasio

pasir/semen terhadap penyerapan panas. Ini menunjukkan bahwa variasi rasio pasir/semen dalam komposisi bata semen tidak mempengaruhi kemampuan bata dalam menyerap panas secara signifikan.

Selanjutnya, nilai F_{value} untuk persentase serbuk PKS adalah 7,0, yang lebih besar daripada nilai F_{tabel} sebesar 3,88. Dalam hal ini, hipotesis nol (H_0) kedua ditolak. Hasil ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang cukup signifikan antar level dalam faktor persentase serbuk PKS terhadap penyerapan panas. Dengan kata lain, penambahan serbuk PKS memiliki pengaruh yang jelas dan signifikan terhadap kemampuan bata semen dalam mengisolasi panas. Semakin tinggi persentase serbuk PKS yang ditambahkan, semakin signifikan pengaruhnya terhadap penyerapan panas.

Terakhir, nilai F_{value} untuk interaksi antara rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS adalah 19,56, yang juga lebih besar daripada nilai F_{tabel} sebesar 3,88. Oleh karena itu, hipotesis nol (H_0) ketiga ditolak. Hasil ini menunjukkan bahwa interaksi antara rasio pasir/semen dan persentase serbuk PKS memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan panas. Ini berarti kombinasi dari rasio pasir/semen dan persentase serbuk PKS tertentu menghasilkan perubahan yang signifikan dalam kemampuan bata semen untuk menyerap panas.

Dari hasil analisis ini, dapat jelaskan bahwa rasio pasir/semen secara individu tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap penyerapan panas. Namun, persentase serbuk PKS menunjukkan pengaruh yang signifikan, dan interaksi antara rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS juga sangat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor ini tidak bekerja secara independen, melainkan saling berinteraksi untuk mempengaruhi sifat termal dari bata semen.

Analisis ini menjelaskan bahwa penambahan serbuk PKS dalam komposisi bata semen dapat meningkatkan sifat isolasi panasnya. Interaksi antara rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS menunjukkan bahwa kombinasi tertentu dari kedua faktor ini dapat menghasilkan bata semen dengan kemampuan isolasi panas yang optimal. Hal ini penting untuk pengembangan bahan bangunan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Bata semen dengan isolasi panas yang baik dapat meningkatkan kenyamanan termal di dalam bangunan, mengurangi penggunaan energi untuk pendinginan dan pemanasan, serta berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan memanfaatkan limbah perkebunan seperti serbuk PKS. Hasil analisis sidik ragam ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk PKS dan interaksi antara rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS memiliki pengaruh signifikan terhadap penyerapan panas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kombinasi yang paling optimal, tetapi temuan ini sudah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi termal dan keberlanjutan dalam konstruksi bangunan.

4. Kesimpulan

Berdasar pada pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk PKS dalam campuran semen dan pasir sebagai bahan pembuatan bata berpengaruh terhadap sifat isolator. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor rasio pasir/semen tidak

berpengaruh secara signifikan terhadap kemampuan meredam panas komposit basis semen. Hal ini ditunjukkan dengan nilai F_{value} rasio pasir/semen yang lebih kecil dari nilai F_{tabel} dimana nilai F_{value} rasio pasir/semen sebesar 0,00 sedangkan nilai F_{tabel} sebesar 4,74. Namun demikian berbeda halnya dengan persentase serbuk PKS berpengaruh secara signifikan terhadap kemampuan meredam panas. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan statistik dimana nilai nilai F_{value} persentase serbuk PKS sebesar 7,0 sedangkan nilai F_{tabel} sebesar 3,88. Demikian pula untuk interaksi antara rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS yang secara statistik menunjukkan pengaruh yang kuat terhadap daya redam panas. Hal ini berdasar pada nilai F_{value} interaksi rasio pasir/semen dengan persentase serbuk PKS sebesar 19,56 sedangkan nilai F_{tabel} sebesar 3,88.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendukung penelitian ini melalui SK Direktur No. 0137/PL28/KP/2023.

Daftar Pustaka

- [1] R. Indrawan dan S. Prasaja, "Pengaruh Ketebalan Core Komposit Sandwich Berpenguat Serat Pelepeh Pisang-Kayu Jati untuk Aplikasi Partisi Peredam Suara pada Kamar Mesin Kapal," *J. Rekayasa Mater. , Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 80–88, 2023.
- [2] P. R. L. Hutapea dan Y. Kadir, "Pengaruh Campuran Agregat Halus Daur Ulang Limbah Batako terhadap Kuat Tekan Beton," *Sist. Infrastruktur Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [3] J. Silalahi dan W. Pajri, "Analisis Kekuatan Dinding Batako dengan Campuran Limbah Serat Pinang (Areca Catechu L)," *J. Civ. Eng. Vocat. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 709–716, 2023.
- [4] R. Fahreza, I. A. Wahyudie, P. Manufaktur, dan N. Bangka, "Pengaruh Foaming Agent Terhadap Porositas dan Densitas Cellular Lightweight Concrete," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 01, no. 1, pp. 209–216, 2023.
- [5] M. F. Endya, I. A. Wahyudie, dan Sukanto, "Pengaruh Filler Plastik dan Optimasi Faktor Proses Produksi Cellular Lightweight Concrete," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 01, no. 1, pp. 238–244, 2023.
- [6] D. Patah *et al.*, "Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping , Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton," vol. 28, no. 1, pp. 109–117, 2022.
- [7] D. S. Ketahanan Sosial, Ed., *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik, 2023.
- [8] S. P. P. Johan Oberlyn Simanjuntak, Tiurma Elita Saragih, Partahi Lumbangaol, "Beton Bermutu dan Ramah Lingkungan dengan Memanfaatkan Limbah Abu Cangkang Sawit," *J. Darma Agung*, vol. 28, no. 3, pp. 387–401, 2020.
- [9] S. A. Nugroho, M. D. Fadilah, T. B. Giinting, dan A. Nurdiana, "Hexalock Brick : Inovasi Batako Pendukung Konsep Pre-Fabricate Building Yang Ringan, Ekonomis dan Ramah," *J. Proy. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 25–30, 2019.
- [10] Fariza Aulia Rahmanto dan Jafar, "Pengaruh Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit dan Silica Fume," *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 28, no. 2, pp. 36–48, 2023.
- [11] H. Saputra dan L. Sahay, "Pengaruh Variasi Kadar Serat dan Rasio Panjang terhadap Diameter (L / D) Serat Pelepeh Sawit Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah," *J. Keilmuan Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2021.

- [12] R. N. Yanti, "Pemanfaatan Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Din. Lingkungan Indones.*, vol. 10, no. 1, p. 7, 2023, doi: 10.31258/dli.10.1.p.7-11.
- [13] P. Lumbantorua, H. Parsetio, dan Rahmawati, "Kemampuan Variasi Campuran Sekam Padi Pada Batako Terhadap Peredaman Suhu," *J. Deform.*, vol. 7, no. 2477–4960, pp. 174–183, 2022.
- [14] A. Ratnasari dan I. Asharhani, "Aspek Kualitas Udara, Kenyamanan Termal Dan Ventilasi Sebagai Acuan Adaptasi Hunian Pada Masa Pandemi," *J. Arsir Univ. Muhammadiyah Palembang*, pp. 24–34, 2021, doi: 10.32502/arsir.v0i0.3646.
- [15] M. R. Amin, S. W. F. Gultom, F. K. Bella, dan P. L. A. Luthan, "Using Water Hyacinth Fiber (Eichhornia Crassipes) as Heat Absorbers Media In Wall," *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, p. 97, 2019, doi: 10.24114/ijcst.v2i2.13996.
- [16] A. Fadhila, "Investigasi Sifat-Sifat Fisik, Redaman Panas, Dan Biaya Produksi Pada Batako Dengan Bonggol Jagung Sebagai Agregat (Characteristic Investigation of the Physical, Heat Absorption, dan Production Cost of Concrete Block With Corn Husk As Aggregates)," Universitas Islam Indonesia, 2022.
- [17] S. Ernawati, E. R. Yulia, Frieyadie, dan Samudi, "Implementation of The Naïve Bayes Algorithm with Feature Selection using Genetic Algorithm for Sentiment Review Analysis of Fashion Online Companies," in *2018 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Aug. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/CITSM.2018.8674286.
- [18] E. A. Kabdiyono, M. Iqball, dan R. A. Saputra, "Pengenalan Inovasi Bahan Bangunan Berupa Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Terhadap Batu Bata," *ANDHARA*, vol. 1, no. 1, pp. 39–44, 2021.
- [19] Si. Nugroho, *Statistika Multivariat Terapan*. JL. WR Supratman, Bengkulu: UNIB Press, 2008.
- [20] A. S. Rahmawati dan R. Erina, "Rancangan Acak Lengkap (RAL) Dengan Uji Anova Dua Jalur," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 1, pp. 54–62, 2020, doi: 10.37478/optika.v4i1.333.