

PENGARUH FAKTOR FAKSI MASSA CAMPURAN KOMPOSIT ABU SEKAM PADI DAN TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK (UJI TEKAN DAN UJI DAYA SERAP AIR)

Rony Azmi Faisal^{1*}, Anis Arendra², Sugeng Purwoko³, Mu'alim⁴, A. Mu'izzuddin S.⁵

Departemen Teknik Industri- Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang, Perumahan Telang Inda, Telang, Kec. Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162

Rony.azmie@gmail.com.

*Corresponding Author

ABSTRACT

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v25i1.7868

Jejak Artikel : (diisi editor)

Upload artikel

27 Juni 2024

Revisi oleh reviewer

7 Agustus 2024

Publish

30 September 2024

Kata Kunci :

Redesign, rice husk ash,
Concrete brick, Anova, Tukey
Test

Redesign, Abu Sekam Padi,
Batako, Anova, Uji Tukey,

Alternative materials are a solution to shortages, one of which is the application of 6R (Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recovery). One of the composite mixtures is rice husk ash waste, as a type of SCM (supplementary Cementitious Material) because of its high pozzolan activity and large amount of silica of 80 to 85% highly reactive silica. This potential can be used as a mixture for making brick products. This research aims to measure bricks with a mixture of rice husks. The independent variables are the heating temperature used for the test object, namely 3 levels (40°C, 50°C, 60°C) and the percentage of rice husk ash, namely 3 levels (10%, 15%, 20%). Meanwhile, the dependent variables are pressure test and water absorption percentage test using ANOVA analysis and Tukey test. From the results of the experiment using ANOVA, each factor and combination of factors had an influence on the tensile test response, while only temperature had an influence on the percentage of water absorption capacity. Apart from that, the R-square of the two factors had no influence from other factors outside the research. Based on further tests in the tensile test, all combinations were not significantly different and in the percentage of water absorption there were groups a and b that were significantly different.

Bahan alternatif menjadi solusi dalam kelangkaan, salah satunya dengan penerapan 6R (*Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recovery*). Salah satu campuran komposit yaitu limbah abu sekam padi, sebagai jenis SCM karena aktivitas pozzolan yang tinggi dan jumlah silika yang besar sebanyak 80 hingga 85% silika yang sangat reaktif. Potensi tersebut dapat menjadi bahan campuran pembuatan produk batako. Penelitian ini bertujuan mengukur batako dengan campuran sekam padi. Variabel independennya yaitu temperatur pemanasan yang digunakan benda uji yaitu 3 level (40°C, 50°C, 60°C) dan dan prosentase Abu sekam padi yaitu 3 level (10%, 15%, 20%). Sedangkan variabel dependennya uji tekan dan uji prosentase daya serap air dengan analisa anova dan uji tukey. Dari hasil eksperimen menggunakan anova, tiap faktor dan kombinasi faktor berpengaruh terhadap respon uji Tarik, sedangkan hanya temperatur yang berpengaruh pada prosentase daya serap air selain itu R-square dari kedua faktor tidak terdapat pengaruh dari faktor lain diluar penelitian. Berdasarkan uji lanjut pada uji tarik, semua kombinasi tidak beda secara signifikan dan pada prosentase daya serap air terdapat grup a dan b yang berbeda secara signifikan

1. Pendahuluan

Kemajuan atau perkembangan gaya hidup manusia dapat menimbulkan tantangan baru untuk menyeimbangkan pembangunan industri, lingkungan, kesehatan manusia, dan pertumbuhan ekonomi di dunia [1],[2]. Hal tersebut membuat umat manusia terdorong untuk melakukan penggunaan sumber daya baru dan strategi pembangunan rendah karbon yang meliputi penerapan konsep ekonomi sirkular (CE) [3],[4]. Prinsip konsep CE dapat diperjelas lagi meliputi 3R (Reduce atau mengurangi, Reuse atau menggunakan kembali, Recycle atau mendaur ulang) dan 6R (Reuse atau menggunakan kembali, Recycle atau mendaur ulang, Redesign atau mendesain ulang, Remanufacture atau memproduksi ulang, Reduce atau mengurangi, Recovery atau memulihkan) [5].

Teknologi komposit sekarang tidak hanya komposit sintetis tetapi mulai mengarah pada komposit alam/ Nature Composites (NACO) dikarena keunikan sifat bahan alami yang tidak dapat dibandingkan dengan komposit sintetis [6]. Campuran Komposit dikembangkan untuk bahan pengganti logam dikarenakan Campuran Komposit mempunyai sifat mekanis yang baik, bersifat isolator panas, suara, dan tahan terhadap korosi, serta dapat menjadi penghambat listrik yang baik serta ramah lingkungan [7]. Abu sekam padi, serpihan limbah kayu, dan bahan lainnya yang mempunyai serat merupakan bahan alami dapat digunakan dalam pembuatan campuran komposit [8]. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi kekayaan bahan alami yang berlimpah dan beranekaragam. Peluang ini dapat dimanfaatkan dalam mengembangkan Campuran Komposit dengan menggunakan bahan dasar serat alami [9]

Data statistik Indonesia merekap yang dimana adanya hasil panen padi mencapai 79.141 juta ton gabah kering yang sudah tergiling [10]. Tingginya panen padi tersebut juga akan menghasilkan limbah abu sekam padi yang melimpah sesuai dengan banyaknya panen padi pada data pada tahun 2016 menyebutkan

jumlah abu sekam padi yang ada di Indonesia sebesar 19,50 juta ton [11]. Selama ini limbah abu sekam padi tersebut digunakan untuk proses pembakaran batu bata dan abunya bisa di manfaatkan untuk abu gosok [12]. Usaha mengoptimalkan keunggulan sifatnya, limbah abu sekam padi dapat dimanfaatkan dan digunakan untuk meningkatkan nilai produk [13],[14].

Seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur di seluruh dunia, Abu sekam padi atau *Rice Husk Ash* (RHA) merupakan ampas padat industri pertanian berbentuk bubuk halus yang diperoleh dari proses pembakaran [15]. RHA yang dihasilkan dari proses pembakaran sekam baik secara alami maupun buatan dianggap sebagai limbah padat yang berbahaya bagi lingkungan [16]. RHA dengan potensi pozzolan sebagai bahan alternatif dan berkelanjutan untuk substitusi sebagian semen guna meningkatkan ketahanan dan kekuatan beton dan secara bersamaan, mengurangi potensi korosi yang berbahaya bagi lingkungan [17]. RHA berpotensi digunakan sebagai jenis SCM (supplementary Cementitious Material) karena aktivitas pozzolan yang tinggi dan jumlah silika yang besar sebanyak 80 hingga 85% silika yang sangat reaktif [18]. Hal tersebut menjadikan potensi besar limbah abu sekam padi di Indonesia untuk dijadikan bahan campuran pembuatan produk batako [19].

Campuran komposit yang dihasilkan menjadi fokus peneliti. Pengujian karakteristik campuran komposit dilakukan menggunakan desain eksperimen rancangan acak lengkap faktorial 3^2 dengan faktor massa pencampuran komposit dan temperature pemanasan. Respon yang diamati peneliti yaitu sifat mekanik campuran komposit yang menunjukkan titik optimal ketika dilakukan uji tekan dan uji daya serap air batako untuk syarat fisis SNI batako [20]. Peneliti memilih menggunakan desain faktorial 3^2 karena percobaan faktorial lebih efisien menggunakan faktorial penuh dari pada menggunakan ANOVA satu faktor pada percobaan tertentu dalam proses penyelesaiannya [21]. Desain faktorial penuh dibutuhkan untuk mengetahui interaksi antar

faktor dan menghindari kesimpulan yang dapat menyusahakan penelitian kedepannya [22].

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian pembuatan batako dilaksanakan pada bulan April-Juni 2024 di Laboratorium Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura dan Laboratorium Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

2.2 Sumber dan Metode Pengumpulan Data

Sumber data yang dikumpulkan dengan pengukuran langsung terhadap batako serta melakukan pengujian tekan dan daya serap air. penelitian ini data yang diambil $3^3 = 27$ data.

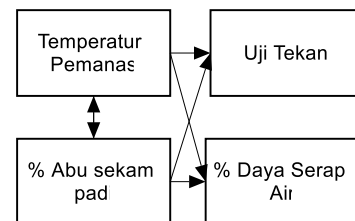
Tabel 1. Data Penelitian

Perluangan 1					
No	Kombinasi	Temperatur Pemanasan (°C)	Prosentase Abu Sekam	Uji Tekan (Mpa)	Daya Serap Air (%)
1	TP3 FM1	60	10	3,35	16%
2	TP2 FM3	50	20	3,09	18%
3	TP1 FM1	40	10	1,80	17%
4	TP2 FM2	50	15	3,24	19%
5	TP1 FM2	40	15	1,41	19%
6	TP1 FM3	40	20	1,84	18%
7	TP3 FM3	60	20	3,07	19%
8	TP3 FM2	60	15	1,42	15%
9	TP2 FM1	50	10	1,64	20%
Perluangan 2					
1	TP1 FM1	40	10	2,32	16%
2	TP1 FM2	40	15	2,69	15%
3	TP3 FM3	60	20	3,46	18%
4	TP2 FM3	50	20	3,01	20%
5	TP2 FM1	50	10	1,85	16%

6	TP2 FM2	50	15	1,96	18%
7	TP3 FM1	60	10	3,53	18%
8	TP3 FM2	60	15	1,79	20%
9	TP1 FM3	40	20	1,22	19%
Perluangan 3					
1	TP3 FM1	60	10	2,97	15%
2	TP1 FM3	40	20	2,95	17%
3	TP1 FM2	40	15	3,07	18%
4	TP1 FM1	40	10	2,68	16%
5	TP3 FM3	60	20	1,10	16%
6	TP2 FM3	50	20	3,00	18%
7	TP2 FM1	50	10	2,84	19%
8	TP2 FM2	50	15	2,49	19%
9	TP3 FM2	60	15	3,52	18%

2.3 Model Penelitian.

Penelitian ini menggunakan Temperatur pemanasan yang digunakan benda uji yaitu 3 level (40°C, 50°C,60°C) dan Faksi Massa campuran Batako Massa Semen (1 Pc); Massa Pasir (6 Ps); dan prosentase Abu sekam padi yaitu 3 level (10%, 15%, 20%) dengan 3 kali perulangan.



Gambar 1. Model Penelitian

2.4 Perhitungan Anova

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Y_{ijk} = pengamatan pada satuan percobaan ke-1 yang memperoleh kombinasi pada perlakuan taraf ke-1 taraf ke I dari faktor A, taraf ke j dari faktor B.

$i, j, k, l = 1, 2, \dots, a, b$

μ = Mean populasi

- α_i = pengaruh taraf ke- i dari faktor a
- β_j = pengaruh taraf ke- i dari faktor b
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh taraf ke- i dari faktor a dan taraf ke- j dari faktor b

2.5 Hipotesa Data

A. Hipotesis Uji Tekan pada komposit yang digunakan sebagai berikut :

1. Pengaruh Faktor Temperatur Pemanasan Terhadap Uji Tekan.

H0: Tidak terdapat pengaruh faktor temperatur pemanasan terhadap Uji Tekan.

H1: Terdapat pengaruh faktor temperatur pemanasan terhadap Uji Tekan.

2. Pengaruh Faktor Prosentase Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik.

H0: Tidak terdapat pengaruh Prosentase Abu Sekam Padi terhadap Uji Tekan.

H1: Terdapat pengaruh Prosentase Abu Sekam Padi terhadap Uji Tekan.

3. Pengaruh Interaksi Faktor A (Temperatur Pemanasan), B (Prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap Uji Tekan.

H0: Tidak terdapat pengaruh Faktor A (Temperatur Pemanasan), B (Prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap Uji Tekan.

H1: Terdapat pengaruh Faktor A (Temperatur Pemanasan), B (Prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap Uji Tekan.

B. Hipotesis Prosentase daya serap air pada komposit yang digunakan, berikut :

1. Pengaruh Faktor Temperatur Pemanasan Terhadap Prosentase Daya serap air.

H0: Tidak terdapat pengaruh faktor temperatur pemanasan terhadap Prosentase daya serap air.

H1: Terdapat pengaruh faktor temperatur pemanasan terhadap Prosentase daya serap air.

2. Pengaruh prosentase Abu Sekam Padi Terhadap Prosentase Daya serap air.

H0: Tidak terdapat pengaruh faktor prosentase Abu Sekam Padi Terhadap Prosentase Daya serap air.

H1: Terdapat pengaruh faktor prosentase Abu Sekam Padi Terhadap Prosentase Daya serap air.

3. Pengaruh Interaksi Faktor A (Temperatur Pemanasan), B (prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap prosentase daya serap air.

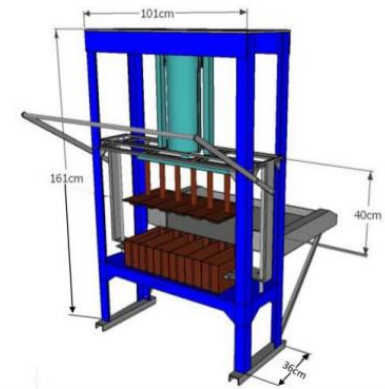
H0: Tidak terdapat pengaruh Faktor A

(Temperatur Pemanasan), B (prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap prosentase daya serap air..

H1: Terdapat pengaruh Faktor A (Temperatur Pemanasan), B (prosentase Abu Sekam Padi) Terhadap prosentase daya serap air.

2.7 Alat dan bahan Penelitian

1. Alat Press Batako untuk proses pembuatan batako.



Gambar 2. Alat Press Batako

2. CTM (Compression Testing Meter) digunakan untuk menguji nilai kekuatan tekan pada batako.



Gambar 3. CTM

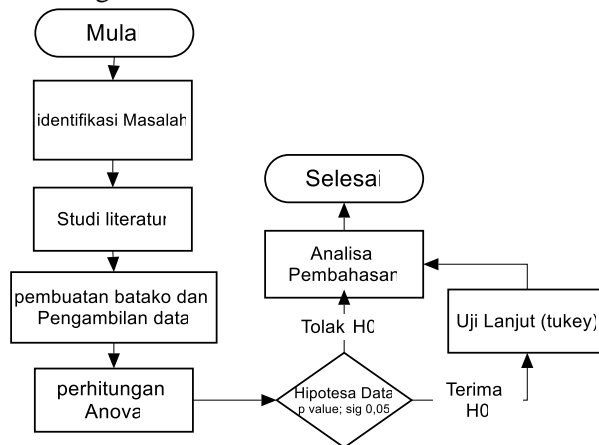
3. Bahan pembuatan Batako: Semen, Pasir, dan campuran abu sekam padi.

4. Mesin pengering, untuk proses pengeringan produk batako jadi.



Gambar 4. Mesin Pengering

2.4 Diagram Alur Penelitian



Gambar 5. Diagram penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

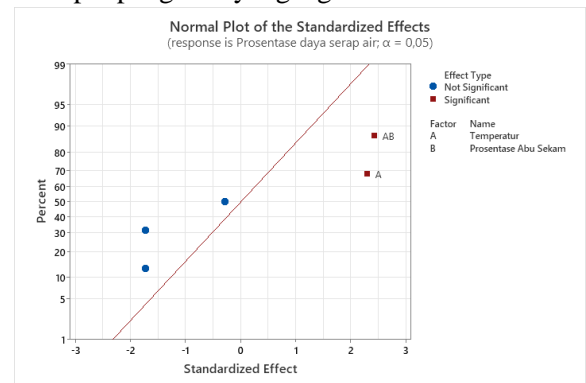
Semakin banyaknya permintaan batako di pasaran akan meningkatkan kebutuhan bahan baku utama konstruksi, salah satunya adalah semen. Dengan meningkatnya kebutuhan akan semen, maka harga semen pun akan semakin tinggi. Sehingga dibutuhkan bahan alternatif yang dapat menggantikan atau mengurangi kebutuhan semen dari salah satu bahan konstruksi tersebut untuk mengurangi biaya bahan baku tanpa mengurangi kualitas hasil. Salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan untuk mengganti sebagian semen adalah abu sekam sebagai bahan tambah pada batako. Harga abu sekam lebih murah tiga kali lipat dibandingkan semen. Hal ini harus didukung dengan prosentase campuran dan temperatur pembakaran yang tepat untuk memaksimalkan kualitas produksi dan pengolahan yang optimal.

3.1. Normal Plot of The Effects



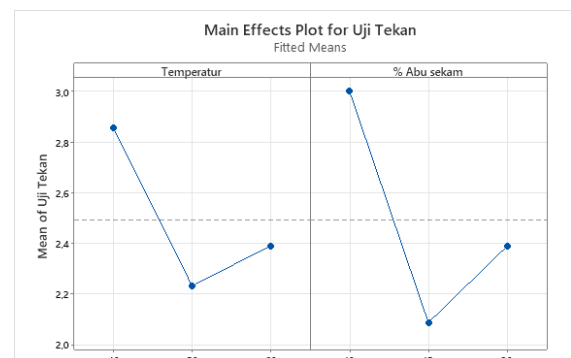
Gambar 6. NPTE Uji Tarik

Faktor Temperatur (A), Temperatur-temperatur (AA) dan prosentase abu sekam-prosentase abu sekam (BB) memiliki pengaruh yang signifikan sedangkan warna biru tidak terdapat pengaruh yang signifikan

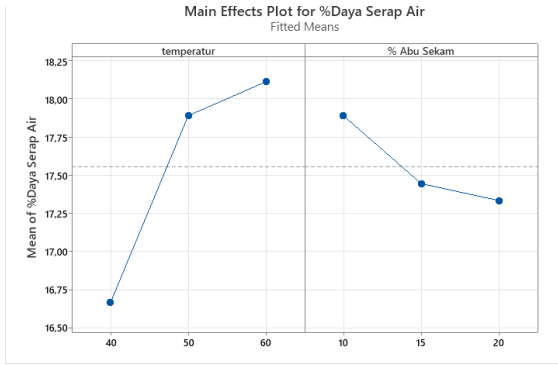


Gambar 7. NPTE Prosentase Daya Serap Air

Faktor Temperatur (A) dan Temperatur-prosentase abu sekam (AB) memiliki pengaruh yang signifikan sedangkan warna biru tidak terdapat pengaruh yang signifikan

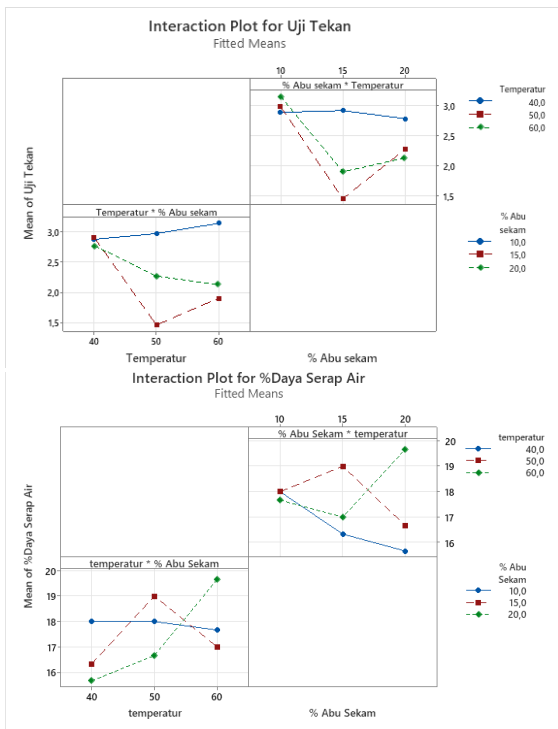


Gambar 8. Main Effects Plot Uji Tekan



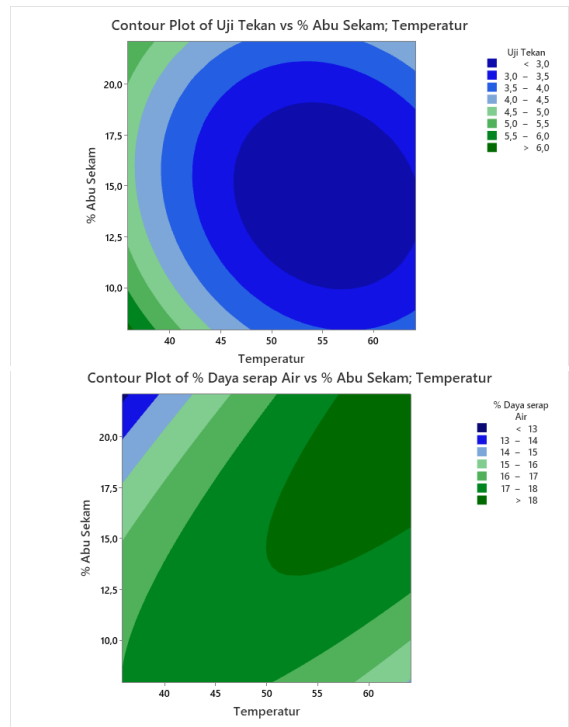
Gambar 9. Main Effects Plot Daya Serap Air

Berdasarkan gambar 6 Variabel terhadap Uji tarik dan prosentase Daya Serap memiliki bentuk garis yang curam mengartikan variabel tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan.



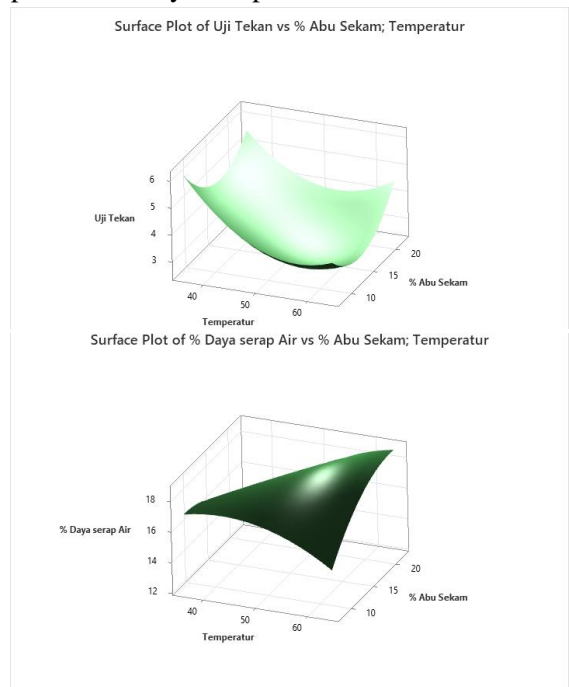
Gambar 10. Interaction plot

Pada Gambar 10 terjadi interaksi tidak signifikan pada 60^o dan 10 % terhadap uji tekan dan prosentase daya serap air karena mempunyai garis hampir sejajar. Selain faktor tersebut signifikan antara level terhadap uji tarik dan prosentase daya serap air karena mempunyai garis hampir sejajar curam.



Gambar 11. Contour Plot

Prosentase Abu Sekam 15% dengan temperatur pemanasan 40°C akan mengakibatkan rata-rata prosentase daya serap air sebesar 3,5-4,0 Mpa. Sedangkan Prosentase Abu Sekam 15% dengan temperatur pemanasan 50°C akan mengakibatkan rata-rata prosentase daya serap air sebesar >18%.



Gambar 12. Surface Plot

pada saat temperatur pemanasan 40°C dengan massa sekam padi 10% akan mengakibatkan

rata-rata hasil prosentase daya serap air sebesar 16 % dan pengujian uji tekan 5 MPa.

3.1 Analisis R²

Tabel 2. Analisis R²

Model Summary Uji Tekan			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,63359	52,70%	31,67%	0,00%
Model Summary Prosentase Daya Serap Air			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,31937	55,66%	35,95%	0,24%

Berdasarkan tabel R² dapat diketahui nilai R square uji tekan adalah 52,70% artinya faktor temperatur dan prosentase abu sekam serta interaksi antar keduanya dapat menjelaskan variabel Y (uji tekan) sedangkan sisanya yaitu 47,3 % dijelaskan oleh faktor atau variabel lain diluar penelitian. Nilai R square prosentase daya serap air adalah 55,66 % artinya faktor temperatur dan prosentase abu sekam serta interaksi antar keduanya dapat menjelaskan variabel Y (Prosentase Abu Sekam Padi) sedangkan sisanya yaitu 44,34 % dijelaskan oleh faktor atau variabel lain diluar penelitian.

3.2 Anova

Tabel 3. Anova Uji Tekan

Analysis of Variance Uji Tekan					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	8,05	1,0062	2,51	0,05
Linear	4	5,785	1,4464	3,6	0,025
Temperatur	2	1,888	0,9442	2,35	0,124
% Abu sekam	2	3,897	1,9485	4,85	0,021
2-Way Interactions	4	2,265	0,5661	1,41	0,271
Temperatur*% Abu sekam	4	2,265	0,5661	1,41	0,271
Error	18	7,226	0,4014		
Total	26	15,276			

Berdasarkan tabel ANOVA dapat diambil keputusan:

a. Faktor a (Temperatur Pemanasan), nilai P-value $0,05 \leq 0,05$ Sehingga tolak H₀. Terdapat pengaruh signifikan temperatur pemanasan terhadap uji tekan.

b. Faktor b (Prosentase Abu Sekam Padi), nilai P-Value $0,025 \leq 0,05$ sehingga tolak H₀. Terdapat pengaruh signifikan Prosentase prosentase abu sekam padi terhadap uji tekan

c. Kombinasi Faktor a dan faktor b, nilai P-Value $0,021 \leq 0,05$ sehingga tolak H₀. Terdapat pengaruh signifikan temperatur pemanasan dan prosentase abu sekam padi terhadap uji tekan

Tabel 4. Anova Prosentase Abu Sekam Padi

Analysis of Variance Prosentase Daya Serap Air					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	39,33	4,917	2,82	0,03
Linear	4	12,44	3,111	1,79	0,18
Temperatur	2	10,88	5,444	3,13	0,07
% Abu sekam	2	1,556	0,778	0,45	0,65
2-Way Interactions	4	26,89	6,722	3,86	0,02
Temperatur*% Abu sekam	4	26,89	6,722	3,86	0,02
Error	18	31,33	1,74		
Total	26	70,6			

Berdasarkan tabel ANOVA dapat diambil keputusan:

a. Faktor a (Temperatur Pemanasan), nilai P-value $0,03 \leq 0,05$ Sehingga tolak H₀. Terdapat pengaruh signifikan temperatur pemanasan terhadap prosentase daya serap air.

b. Faktor b (Prosentase Abu Sekam Padi), nilai P-Value $0,18 > 0,05$ sehingga terima H₀. Terdapat pengaruh signifikan prosentase prosentase abu sekam padi terhadap prosentase daya serap air

c. Kombinasi Faktor a dan faktor b, nilai P-Value $0,65 > 0,05$ sehingga terima H₀. Terdapat pengaruh signifikan temperatur pemanasan dan prosentase abu sekam padi terhadap prosentase daya serap air

3.3 Uji Lanjut

Tabel 5. Tukey Uji tekan

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence faktor a (uji tekan)				
Temperatur	N	Mean	Grouping	
60	9	2,85556	A	
50	9	2,39111	A	
40	9	2,23222	A	
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence faktor b (uji tekan)				

% Abu Sekam	N	Mean	Grouping	
20	9	3,00111	A	
10	9	2,39	A	B
15	9	2,08778		B

Berdasarkan tabel diatas bahwa faktor temperatur memiliki level yang berbeda berada group yang sama sedangkan faktor prosentase abu sekam 20,10 berada pada grup a dan 10,15 pada grup b atau tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 6. Tukey Uji Prosentase Daya Serap Air

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence faktor a (prosentase daya serap air)				
Temperatur	N	Mean	Grouping	
40	9	18,1111	A	
50	9	17,8889	A	
60	9	16,6667	A	
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence faktor b (prosentase daya serap air)				
% Abu Sekam	N	Mean	Grouping	
15	9	17,8889	A	
20	9	17,4444	A	
10	9	17,3333	A	

Berdasarkan tabel diatas bahwa faktor temperatur dan prosentase daya serap air pada tiap level tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 7. Pemilihan Kombinasi Terbaik

Uji Tekan				
Temperatur *% Abu Sekam	N	Mean	Grouping	
60 20	3	3,14667	A	
50 10	3	2,97667	A	
60 15	3	2,91	A	
60 10	3	2,88	A	
50 20	3	2,77667	A	
50 15	3	2,26667	A	
40 20	3	2,12667	A	
40 10	3	1,9	A	
40 15	3	1,45333	A	
Prosentase Daya Serap Air				

Temperatur *% Abu Sekam	N	Mean	Grouping	
40 20	3	19,6667	A	
50 15	3	19	A	B
40 15	3	18	A	B
40 10	3	18	A	B
50 10	3	17,6667	A	B
60 10	3	17	A	B
60 20	3	16,6667	A	B
40 15	3	16,3333	A	B
40 20	3	15,6667		B

Berdasarkan tabel 7, temperatur semua kombinasi faktor tidak berbeda secara signifikan. Sedangkan pada Prosentase daya serap air mean terbesar pada uji tekan yaitu (40,20), grup a dan grup b berbeda secara signifikan.

Kesimpulan

1. Dari hasil eksperimen menggunakan Anova diketahui tiap faktor dan kombinasi faktor berpengaruh terhadap respon uji Tarik, sedangkan hanya temperatur yang berpengaruh pada prosentase daya serap air selain itu R-square prosentase daya serap air dan temperatur berada diatas 50% yang mengindikasikan tidak terdapat pengaruh dari faktor lain diluar penelitian
2. Berdasarkan uji lanjut (Tukey) pada uji tarik, semua kombinasi tidak beda secara signifikan dan pada prosentase daya serap air terdapat grup a dan b yang berbeda secara signifikan.

Saran

Penambahan level pada variabel independent dan variabel dependent terkait mechanical properties bahan komposit tersebut, sehingga dapat mengetahui sifat bahan secara menyeluruh. Penerapan pada bahan yang sejenis misalkan paving, bata ringan dan lain sebagainya, sehingga menjadi bahan alternatif dengan menggunakan abu sekam.

Daftar Pustaka

[1] A. I. Juniani, M. L. Singgih, P. D. Karningsih, Design for Manufacturing,



- Assembly, and Reliability: An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *Designs*. 6 (2022), doi:10.3390/designs6050088.
- [2] A. H. Saeed et al., Moisture content impact on properties of briquette produced from rice husk waste. *Sustainability (Switzerland)*. 13 (2021), doi:10.3390/su13063069.
- [3] B. Bushra, N. Remya, Biochar from pyrolysis of rice husk biomass— characteristics, modification and environmental application. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14 (2024), pp. 5759–5770.
- [4] C. Ke, X. Pan, P. Wan, Z. Huang, Z. Jiang, An Intelligent Redesign Method for Used Products Based on Digital Twin. *Sustainability (Switzerland)*. 15 (2023), doi:10.3390/su15129702.
- [5] D. M. Gomez Mejia, D. F. Hincapie-Rojas, F. N. Jimenez-Garcia, C. A. Alvarez Vargas, Effect of the addition of silica obtained from rice husk on physicochemical and mechanical properties of fibercement. *Heliyon*. 9 (2023), doi:10.1016/j.heliyon.2023.e13567.
- [6] D. Carlevaris, M. Leonardi, G. Straffelini, S. Gialanella, Design of a friction material for brake pads based on rice husk and its derivatives. *Wear*. 526–527 (2023), doi:10.1016/j.wear.2023.204893.
- [7] H. H. A. Matin, S. Syafrudin, S. Suherman, Rice Husk Waste: Impact on Environmental Health and Potential as Biogas. *Kemas*. 18, 431–436 (2023).
- [8] H. Ozawa et al., Development of evolutionary algorithm-based protein redesign method. *Cell Reports Physical Science*. 5 (2024), doi:10.1016/j.xcrp.2023.101758.
- [9] I. Vlachos, G. Malindretos, Supply chain redesign in the aquaculture supply chain: a longitudinal case study. *Production Planning and Control*. 34, 748–764 (2023).
- [10] J. A. Halip et al., A review: Chemical treatments of rice husk for polymer composites. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 11 (2021), pp. 12425–12433.
- [11] K. Chiranjeevi, M. M. Vijayalakshmi, T. R. Praveenkumar, Investigation of fly ash and rice husk ash-based geopolymer concrete using nano particles. *Applied Nanoscience (Switzerland)*. 13, 839–846 (2023).
- [12] N. Bisht, P. C. Gope, N. Rani, Rice husk as a fibre in composites: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 29 (2020), pp. 147–162.
- [13] O. Zaid, J. Ahmad, M. S. Siddique, F. Aslam, Effect of Incorporation of Rice Husk Ash Instead of Cement on the Performance of Steel Fibers Reinforced Concrete. *Frontiers in Materials*. 8 (2021), doi:10.3389/fmats.2021.665625.
- [14] P. Kipnetich, R. Kiplimo, J. K. Tanui, P. Chisale, Effects of carbonization on the combustion of rice husks briquettes in a fixed bed. *Cleaner Engineering and Technology*. 13 (2023), doi:10.1016/j.clet.2023.100608.
- [15] Q. Su, J. Xu, Mechanical properties of concrete containing glass sand and rice husk ash. *Construction and Building Materials*. 393 (2023), doi:10.1016/j.conbuildmat.2023.132053.
- [16] R. Bernatas, S. Dagerou, A. Despax-Ferreres, A. Barasinski, Recycling of fiber reinforced composites with a focus on thermoplastic composites. *Cleaner Engineering and Technology*. 5 (2021), , doi:10.1016/j.clet.2021.100272.

- [17] S. A. Endale, W. Z. Taffese, D. H. Vo, M. D. Yehualaw, Rice Husk Ash in Concrete. Sustainability (Switzerland). 15 (2023), , doi:10.3390/su15010137.
- [18] S. N. Mahdi, D. V. Babu R, N. Hossiney, M. M. A. B. Abdullah, Strength and durability properties of geopolymers paver blocks made with fly ash and brick kiln rice husk ash. Case Studies in Construction Materials. 16 (2022), doi:10.1016/j.cscm.2021.e00800.
- [19] Shubham, B. C. Ray, in Engineering Materials (Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024), vol. Part F2264, pp. 1–20.
- [20] V. A. Yiga, M. Lubwama, P. W. Olupot, Thermal stability of NaOH modified rice husk fiber-reinforced polylactic acid composites: Effect of rice husks and clay loading. Results in Materials. 18 (2023), doi:10.1016/j.rinma.2023.100398..
- [21] V. N. Ullal, H. T. Shivaramu, K. P. Aveen, Rice husk ash utilization, composition and properties: A brief review. Journal of Metals, Materials and Minerals. 32, 37–46 (2022).
- [22] Y. Zou, T. Yang, in Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization (Elsevier, 2019), pp. 207–246.