



Penggunaan Ekstraksi Arang Tempurung Kelapa sebagai Pengganti Pigmen Sintetis terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Material Komposit

Coconut Shell Charcoal Extraction as a Substitute for Synthetic Pigments on the Physical and Mechanical Properties of Composite Materials

Mad Yusup^{1,a)}, Purbawati¹, Diyaa Aaisyah Salmaa Putri Atmaja¹

¹Teknik Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Kaltim

^{a)}Corresponding author: madyusup0906@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji potensi ekstrak arang dari tempurung kelapa sebagai alternatif pengganti pigmen sintetis pada material komposit. Arang tempurung kelapa dipilih karena ketersediaannya yang melimpah serta kemampuannya sebagai agen pewarna alami dan elemen penguat struktural. Studi ini menyelidiki pengaruh variasi fraksi volume dan ukuran partikel arang terhadap sifat fisis dan mekanis komposit. Metodologi eksperimen yang diterapkan meliputi perencanaan, pelaksanaan, dan analisis data menggunakan desain *orthogonal array* serta evaluasi melalui *Structural Composite* (SNR). Hasil penelitian diharapkan memberikan wawasan mendalam mengenai optimalisasi formulasi arang tempurung kelapa guna meningkatkan kinerja material komposit dan mendukung keberlanjutan industri material berbasis sumber daya alam. Uji banding menunjukkan bahwa ukuran partikel (Faktor B) merupakan faktor dominan dengan kontribusi sebesar 78,06% terhadap total variasi, sedangkan interaksi antara fraksi volume (Faktor A) dan ukuran partikel (Faktor B) signifikan sebesar 19,58%. Fraksi volume (Faktor A) memberikan kontribusi relatif kecil namun tetap signifikan sebesar 1,71%. Uji dampak mengungkapkan bahwa interaksi antara Faktor A dan B signifikan dengan kontribusi 53,64%, sementara faktor lain mempengaruhi sebesar 43,66%. Uji penyerapan air mengindikasikan bahwa interaksi kedua faktor memberikan kontribusi 43,96%, ukuran partikel 13,58%, dan fraksi volume 7,76%, dengan faktor lain 34,70%. Temuan ini memberikan data untuk optimalisasi formulasi dan peningkatan kinerja material komposit ramah lingkungan.

Kata Kunci: komposit; ekstraksi arang; *orthogonal array*; fraksi komposit; sifat fisis dan mekanis

Abstract

This study investigates the potential of coconut shell charcoal extract as an alternative to synthetic pigments in composite materials. Coconut shell charcoal was chosen due to its abundant availability and its dual function as a natural dye and a structural reinforcement agent. The research examines the effects of varying volume fraction and particle size of the charcoal on the physical and mechanical properties of composites. The experimental methodology encompasses planning, execution, and data analysis using an orthogonal array design coupled with Structural Composite (SNR) evaluation. Banding tests indicate that particle size (Factor B) is the dominant variable, contributing 78.06% to the total variation, while the interaction between volume fraction (Factor A) and particle size is significant at 19.58%. Although volume fraction contributes a relatively small yet significant 1.71%, its role remains critical. Impact tests reveal that the interaction between Factors A and B is significant, accounting for 53.64% of the variation, with other factors contributing 43.66%. Moreover, water absorption tests show that the interaction between both factors contributes 43.96%, particle size 13.58%, and volume fraction 7.76%, with additional influences amounting to 34.70%. These findings provide valuable insights for optimizing composite formulations and enhancing the performance of environmentally friendly materials..

Keywords: composite; charcoal extraction; *orthogonal array*; composite fraction; physical and mechanical properties

PENDAHULUAN

Material komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang tetap terpisah pada tingkat makroskopis. Ketika komponen-komponen tersebut digabungkan, terbentuklah material dengan sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari bahan asalnya. Setiap bahan penyusun material komposit memiliki sifat unik, dan ketika dicampurkan dalam proporsi tertentu, mereka menghasilkan sifat baru yang tidak dimiliki oleh bahan tunggal tersebut, material komposit membentuk sifat-sifat baru yang tersusun secara kombinasi simetris dengan sifat tertentu [1]. Kombinasi ini menciptakan material dengan performa yang lebih baik. Material komposit terdiri dari matriks dan elemen penguat, matriks adalah bagian dalam bahan komposit yang memiliki volume terbesar (utama). Matriks berfungsi untuk mendistribusikan tekanan ke serat, membentuk ikatan yang kuat, permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, menghapus ikatan, dan menjaga kestabilan setelah proses pembuatan. Berdasarkan matriks yang digunakan, bahan komposit dapat dibagi menjadi: *Metal Matriks Composite (MMC atau MMC's)*, *Ceramic Matriks Composite (CMC atau CMC's)*, *Polymer Matriks Composite (PMC atau PMC's)*. Penguat (reinforcement) atau pengisi (*filler*) adalah bahan yang ditambahkan ke matriks dan berfungsi untuk meningkatkan karakteristik matriks dalam membuat bahan komposit. Penguat dari bahan komposit dibedakan menjadi: Partikel, Penguat serat (fiber), Komposit Berlapis (*Structural Composite*). Penguat partikel memiliki ukuran partikel lebih dari 1 μm . Konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai (20 – 40) % volume. Penguat partikel dibagi menjadi 2 yaitu: partikel besar: partikel dispersi yang kuat. Penguat dispersi memiliki ukuran diameter 0,01 μm – 0,1 μm , dengan konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai 15% [2]. Partikel ditambahkan ke dalam campuran plastik polimer dengan tujuan utama mengurangi biaya produksi. Namun, belakangan ini, penggunaan partikel sebagai bahan pengisi juga dimanfaatkan untuk meningkatkan daya tahan polimer. Talk dan kalsium karbonat adalah contoh mineral pengisi yang kerap digunakan dalam polimer [3]. Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matriks dan penguat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi massa serat (m_f) [4]. Material komposit banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pembuatan peralatan olahraga, kendaraan, pesawat, serta konstruksi bangunan. Komposit juga digunakan dalam pembuatan kapal, perangkat elektronik, dan banyak komponen industri lainnya, konstruksi sipil (fasad bangunan, material interior/eksterior, *interlock* pada

segmental wall), dan peralatan rumah tangga. Material komposit sebagai produk komersial selain sifat mekanis, aspek estetika juga menjadi persyaratan untuk tujuan kepuasan konsumen [5–7]. Aspek estetika berupa warna menjadi elemen penting dalam material komposit, peran warna memberikan karakter unik dan keseragaman tampilan [8,9], warna juga dapat berperan dalam memenuhi kepuasan konsumen. Pengecatan merupakan metode pemberian warna yang paling umum digunakan karena kesederhanaannya [10], namun metode ini menghadirkan kendala seperti pengelupasan lapisan cat akibat tekanan mekanis, perbedaan suhu, pelapukan, dan gesekan [11-13]. Proses pencampuran zat warna (pigmen) ke dalam matriks material komposit dapat terpakan, sehingga memperkecil kemungkinan warna terkelupas akibat adanya tekanan mekanis. Material komposit khusus yang digunakan untuk komponen pada konstruksi sipil membutuhkan warna yang gelap, salah satu warna yang banyak digunakan adalah warna hitam. Salah satu bahan yang menjanjikan sebagai pengganti pigmen sintesis dalam material komposit adalah arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa memiliki potensi yang signifikan sebagai pigmen dalam aplikasi berbagai material *carbon black* tinta serbuk [14]. tempurung kelapa yang dibentuk menjadi bahan komposit berpengaruh terhadap sifat mekanis [15], namun, penelitian tentang penggunaannya dalam material komposit masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menggali potensi dan efektivitas penggunaan ekstraksi arang tempurung kelapa dalam material komposit. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kontribusinya terhadap sifat fisis dan mekanis

Adapun rumusan masalah pada penelitian penggunaan ekstraksi arang tempurung kelapa untuk pengganti pigmen sintesis pada material komposit adalah sebagai berikut: bagaimana pengaruh penggunaan arang tempurung kelapa terhadap sifat fisis, bagaimana pengaruh ukuran partikel dan fraksi arang tempurung kelapa pada material komposit terhadap sifat fisis dan mekanis, bagaimana pengaruh arang tempurung kelapa terhadap sifat mekanis, seperti kekuatan dan keuletan apakah variasi konsentrasi ekstraksi arang tempurung kelapa memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat fisis dan mekanis material komposit.

Tahapan penelitian terdiri dari: tahap perencanaan eksperimen: fase penyediaan informasi yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen, meliputi: perumusan faktor-faktor kritis, penentuan level faktor, dan pemilihan *orthogonal array*, tahap pelaksanaan eksperimen: fase melaksanakan eksperimen dapat dilakukan dengan mempersiapkan bahan serta peralatan yang digunakan untuk pelaksanaan eksperimen, meliputi pembuatan spesimen dan pelaksanaan pengujian, dan tahap analisa

hasil eksperimen: fase analisis hasil-hasil eksperimen secara statistik sehingga diperoleh suatu rancangan parameter dengan mengoptimalkan faktor-faktor yang berpengaruh.. Analisis dilakukan berdasarkan metode desain eksperimen yang menggunakan *Structural Composite* untuk menentukan rancangan parameter yang Tangguh.

Derajat kebebasan (*degrees of freedom, df*) merujuk pada jumlah nilai bebas yang dapat berfluktuasi dalam sebuah analisis statistik saat estimasi parameter dilakukan. Dalam konteks eksperimen, derajat kebebasan menggambarkan banyaknya perbandingan bebas yang dapat dilakukan pada sekelompok data untuk menarik kesimpulan tentang variabilitas dan hubungan antar variabel yang diuji. Secara khusus, derajat kebebasan digunakan untuk menggambarkan jumlah perbandingan yang bisa dilakukan antara faktor (efek utama) atau level interaksi dalam eksperimen untuk menentukan mana yang lebih baik dan seberapa besar pengaruh level-level tersebut terhadap hasil [16].

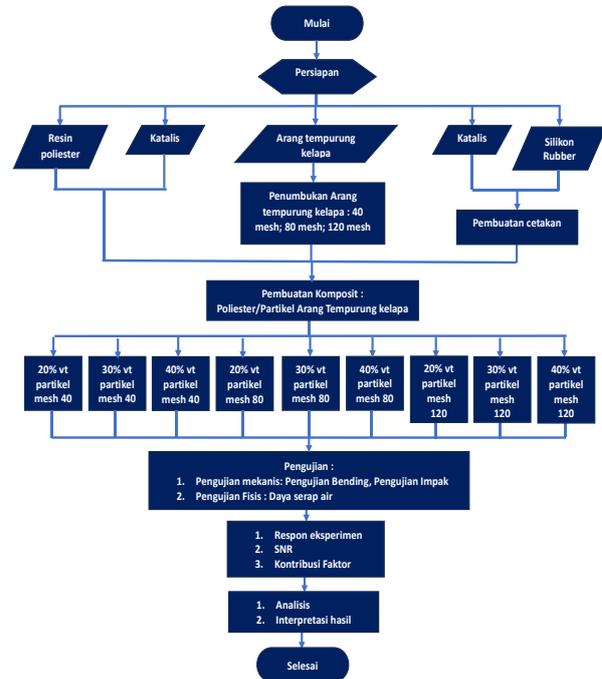
Matriks ortogonal adalah matriks yang seimbang dari faktor dan level yang berbeda, sehingga pengaruh satu faktor atau level tidak tercampur dengan pengaruh faktor atau level lainnya. Faktor dan level tersebut merupakan berbagai kondisi dari proses yang akan dikaji.. *Orthogonal array* adalah susunan faktor dan level yang dibuat sedemikian rupa sehingga dampak dari satu faktor dan level tidak bercampur dengan faktor dan level yang lain. Hal paling penting dari *orthogonal array* adalah pada pemilihan gabungan level dari variabel input untuk setiap percobaan. Notasi *Orthogonal array* adalah $L_a(bc)$ di mana c menunjukkan jumlah faktor, b menunjukkan jumlah level, a mengindikasikan jumlah ulangan percobaan dan L adalah simbol *orthogonal array* [17]. $L_a(b^c)$ adalah bentuk umum dari model matriks bujur sangkar (*orthogonal array*), dimana L adalah rancangan bujur sangkar latin, a adalah banyak baris atau eksperimen, b adalah banyak level, dan c adalah banyak kolom.

Signal to Noise Ratio (SNR) digunakan untuk mengenali faktor yang memengaruhi perubahan suatu respons. Rencana produk atau proses kerja yang konsisten dengan nilai SNR yang tinggi selalu menghasilkan produksi dengan kualitas terbaik dan sedikit variasi. Menurut *Taguchi*, ada tiga tipe karakteristik SNR yaitu : *Nominal is the best*, *Smaller is better*, dan *Higher is better*. *Nominal is Best* merupakan karakteristik kualitas di mana nilai tertentu dianggap paling optimal, dan penyimpangan dari nilai tersebut harus diminimalkan. *Smaller is Better* adalah karakteristik kualitas di mana hasil dengan nilai lebih kecil menunjukkan performa yang lebih optimal, sehingga nilai yang semakin rendah dianggap semakin baik. *Higher is Better* merupakan karakteristik kualitas di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan performa yang

lebih baik, sehingga semakin besar nilainya, semakin diinginkan.

METODE PENELITIAN

Diagram alir untuk tahap pelaksanaan eksperimen, dan tahap analisa hasil eksperimen ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir Penelitian

Penentuan faktor dan level faktor

Proses untuk menentukan *setting* level untuk masing-masing faktor. Penentuan faktor dan level dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti: berkonsultasi dengan para ahli, menerapkan pengalaman yang pernah dilakukan oleh tim peneliti, menerapkan studi literatur mengenai pengetahuan akan bahan. Pada penelitian ini faktor dan level faktor:

- Faktor terdiri dari : Fraksi Volume (%) dan Ukuran partikel (*mesh*)
- Level Faktor terdiri dari: Fraksi Volume (%): 20, 30, 40 dan Ukuran partikel (*mesh*) : 40, 80, 120

Drajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dan gabungan usulan nantinya akan mempengaruhi pemilihan dalam tabel matriks ortogonal.

$$\text{Drajat Kebebasan} = \text{Faktor} \times (\text{level}-1)$$

$$\text{Faktor} = 2; \text{Level} = 3$$

$$\text{Drajat Kebebasan} = 2 \times (3-1) = 4$$

Orthogonal array

Matriks ortogonal tiga tingkat standar memiliki beberapa opsi, yaitu:

$$L_9(3^4); L_{18}(3^7); L_{27}(3^{13})$$

Drajat kebebasan matriks ortogonal standar dengan 3 level, yaitu:

$$L_9(3^4) = 4 \times (3-1) = 8;$$

$$L_{18}(3^7) = 7 \times (3-1) = 14;$$

$$L_{27}(3^{13}) = 13 \times (3-1) = 26.$$

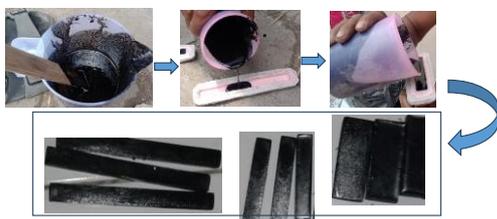
matriks yang dipilih $L_9(3^4)$ Karena drajat kebebasan matriks ortogonal 8 lebih besar dari drajat kebebasan faktor dan level faktor yaitu 4 (empat). Jumlah percobaan berdasarkan matriks yang dipilih $L_9(3^4)$ ditunjukkan **Tabel 1**:

Tabel 1. Rancangan Eksperimen berdasarkan faktor dan level faktor

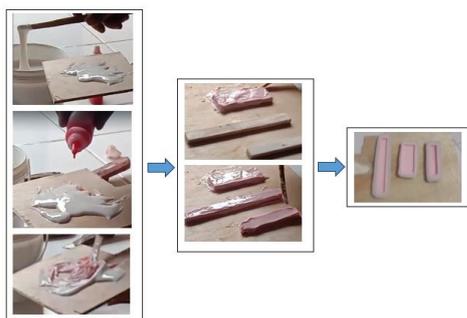
percobaan	Faktor		Replikasi			Jumlah	Rerata
	A Fraksi Volu me (%)	B Ukuran Partikel (Mesh)	1	2	3		
1	20	40					
2	20	80					
3	20	120					
4	30	40					
5	30	80					
6	30	120					
7	40	40					
8	40	80					
9	40	120					

Proses pembuatan spesimen

Proses pembuatan spesimen material komposit ditunjukkan **Gambar 2** dan pembuatan cetakan spesimen komposit ditunjukkan **Gambar 3** di bawah ini.



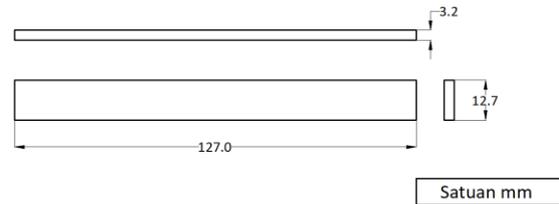
Gambar 2. Pembuatan spesimen komposit



Gambar 3. Pembuatan cetakan spesimen komposit

Pengujian Mekanis Uji Banding

Pengujian banding menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) Merek TARNO GROCKI adalah 1000 kN **Gambar 4**, **Gambar 5** dan menggunakan spesimen ASTM D790 ditunjukkan **Gambar 6**.



Gambar 4. Dimensi specimen Uji banding



Gambar 5. Dimensi spesimen Uji banding

Kekuatan banding mengacu pada tekanan lentur maksimum yang dapat ditahan oleh material akibat beban eksternal sebelum terjadi perubahan bentuk yang signifikan atau kerusakan structural [18]. Rumus tekanan banding adalah sebagai berikut:

$$\sigma_L = \frac{3P.L}{2b.d^2}$$

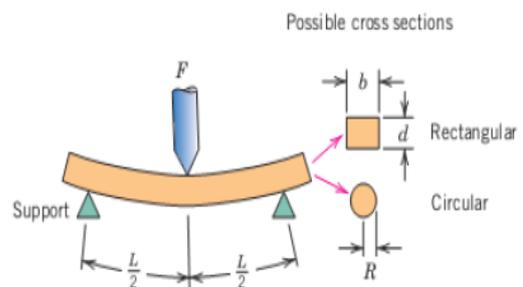
Dengan : σ_L = Tekanan banding (MPa)

P = Gaya yang diberikan pada material (N)

L = Jarak penyangga (milimeter)

b = Ukuran lebar benda uji (milimeter)

d = Ukuran tebal benda uji (milimeter)



Gambar 6. Skema Kerja Uji banding [19]

Uji Impak

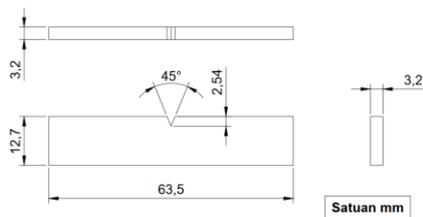
Pengujian Impak seperti pada **Gambar 6** menggunakan uji impak izod Merek GOTECH dengan kapasitas pendulum : 0,49 kg dan panjang lengan ayun

32,7 cm., alat uji impak ditunjukkan oleh Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Uji impak izod Merek GOTECH

Dimensi spesimen uji impak menggunakan metode izod dengan ASTM D256 ditunjukkan Gambar 8 dibawah ini:



Gambar 8. Dimensi spesimen Uji impak teknik izod

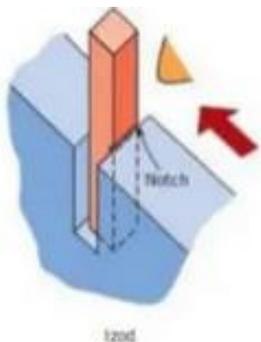
Pada uji impak, energi yang diserap oleh bahan ketika menerima beban impak akan dihitung, dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

$$E1 = \frac{LF}{2} [(\cos \alpha' - \cos \alpha) + (\cos \beta' - \cos \beta)]$$

$$E2 = LF(\cos \alpha' - \cos \theta)$$

$$E = E' - (E1 + E2)$$

Skema uji impak menggunakan metode izod ditunjukkan Gambar 9:



Gambar 9. Uji impak teknik izod dan charpy

Pengujian Fisis Penyerapan Air (Water Absorption)

Pengujian penyerapan air dilaksanakan dengan tahapan penimbangan spesimen sebelum proses perendaman, kemudian spesimen direndam selama 72 jam, setelah proses perendaman selanjutnya spesimen

ditimbang Kembali. Proses pengujian ditunjukkan Gambar 10 berikut ini:



Gambar 10. Tahapan percobaan penyerapan air (Water Absorption)

Pengujian penyerapan air (Water Absorption) menggunakan standar ASTM D570-98. Persentase penyerapan air dihitung menggunakan Persamaan [3].

$$WA(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

keterangan:

WA = Penyerapan air (%)

Wt = Berat spesimen yang telah direndam (g)

Wo = Berat spesimen mula-mula (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

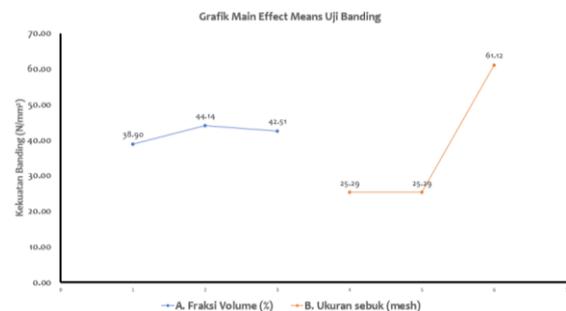
Pengujian Mekanis Uji Bending

Hasil perhitungan *main effect means* dan *main effect S/N rasio* kekuatan bending ditunjukkan Tabel 2.

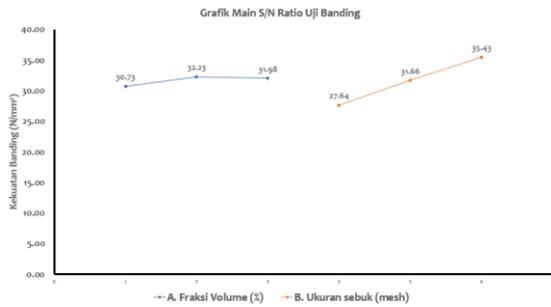
Tabel 2. *Main effect means* dan *main effect S/N rasio* kekuatan bending

percobaan	Faktor		Replikasi			Jumlah	S/N Rasio
	A Fraksi Volume(%)	B Ukuran Partikel (Mesh)	1	2	3		
1	20	40	15.39	24.16	18.06	48.84	24.16
2	20	80	49.64	33.97	48.76	150.02	33.97
3	20	120	51.62	34.05	49.64	151.28	34.05
4	30	40	33.75	30.33	34.30	98.84	30.33
5	30	80	29.68	29.55	30.78	90.14	29.55
6	30	120	67.08	36.82	71.90	208.24	36.82
7	40	40	25.04	28.44	29.61	79.93	28.44
8	40	80	37.56	31.45	37.56	112.09	31.45
9	40	120	63.19	36.05	62.35	190.54	36.05

Pemilihan faktor dan level yang optimum dijelaskan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Grafik *main effect means* uji bending



Gambar 12. Main effect S/N rasio uji banding

Grafik *Main effect means* dan *Main effect S/N rasio* uji banding yang ditunjukkan Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan titik level kekuatan banding material komposit arang tempurung kelapa berdasarkan faktor dan level. Titik tertinggi pada grafik *main effect S/N rasio* merupakan level yang optimum untuk setiap faktor. Berdasarkan grafik *main effect S/N rasio* bahwa level faktor yang optimum untuk kekuatan banding material komposit arang tempurung kelapa adalah persentase fraksi volume 40% (A2), ukuran mesh 120 (B3).

Analisis Varians (ANOVA) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respons [20] berupa kekuatan banding. Tabel 3 menunjukkan hasil Analisis Varians (ANOVA) dengan menggunakan bantuan MS. Excel.

Tabel 3. Hasil Analisis Varians (ANOVA) terhadap kekuatan banding

ANOVA	Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	SS%
A.	Fraksi Volume (%)	129.0272	2	64.51361	24.18605	7.93565E-06	3.554557	1.714221
B.	Ukuran sebuk (mesh)	5875.667	2	2937.833	1101.389	1.50975E-19	3.554557	78.06253
AXB		1474.165	4	368.5412	138.1655	3.00286E-13	2.927744	19.58536
Within		48.01301	18	2.667389				0.637888
Total		7526.872	26					100

Faktor A berupa persentase fraksi volume (%) menunjukkan P-value sebesar 7.93565E-06 (sangat kecil, artinya signifikan), nilai F sama dengan 24.18605 lebih besar dari F crit yang besarnya 3.554557, menunjukkan bahwa fraksi volume menunjukkan dan memiliki efek signifikan terhadap hasil percobaan/eksperimen, kontribusi terhadap total variasi sebesar 1.71%. Faktor B adalah ukuran sebuk arang (mesh) menunjukkan P-value sebesar 1.50975E-19 (sangat kecil, artinya signifikan), nilai F sama dengan 1101.389 lebih besar dari F crit sebesar 3.554557, menunjukkan bahwa ukuran sebuk arang menunjukkan dan memiliki efek yang sangat signifikan, kontribusi terhadap total variasi sebesar

78.06% artinya faktor utama yang memengaruhi kekuatan banding. Sedangkan Interaksi AXB menunjukkan P-value sebesar 3.00286E-13 (sangat kecil, artinya signifikan), nilai F sama dengan 138.1655 lebih besar dari F crit sebesar 2.927744, menunjukkan bahwa interaksi antara persentase fraksi volume dan ukuran sebuk signifikan, dengan besar kontribusi terhadap total variasi: 19.58%. Kontribusi *Within/error* (Kesalahan) terhadap total variasi 0.64% artinya sebagian besar variasi dijelaskan oleh faktor utama fraksi volume (faktor A), ukuran sebuk (Faktor B), dan interaksi (AxB).

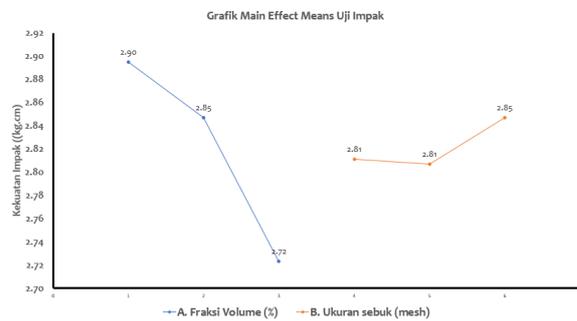
Uji Impak

Hasil perhitungan *main effect means* dan *main effect S/N ratio* kekuatan impact ditunjukkan Tabel 4 dibawah ini:

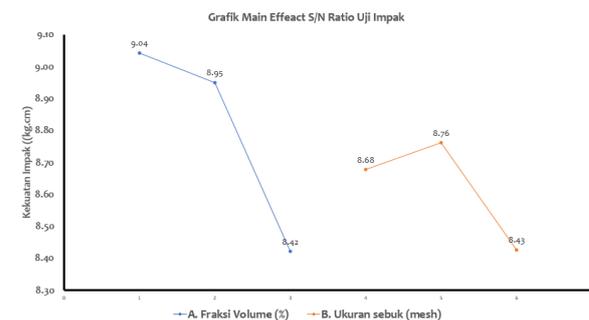
Tabel 4. Main effect means dan main effect S/N ratio kekuatan impact

percobaan	Faktor		Replikasi			Jumlah	S/N Rasio
	A	B	1	2	3		
	Fraksi Volume(%)	Ukuran Partikel (Mesh)					
1	20	40	3.598	3.598	2.803	9.999	10.27
2	20	80	2.803	2.420	2.420	7.644	8.06
3	20	120	2.420	3.189	2.803	8.412	8.79
4	30	40	3.189	2.420	3.189	8.798	9.12
5	30	80	3.189	3.189	2.803	9.181	9.67
6	30	120	2.420	2.420	2.803	7.644	8.06
7	40	40	2.420	2.042	2.042	6.503	6.64
8	40	80	2.420	3.598	2.420	8.439	8.55
9	40	120	3.189	3.189	3.189	9.566	10.07

Pemilihan faktor dan level yang optimum dijelaskan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut:



Gambar 13. Grafik Main effect means uji impact



Gambar 14. Main effect S/N ratio uji impact

Grafik *Main effect means* dan *Main effect S/N ratio* uji impact yang ditunjukkan Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan titik level untuk kekuatan impact material komposit arang tempurung kelapa berdasarkan semua faktor dan level. Titik tertinggi pada grafik *main effect S/N* rasio merupakan level yang optimum untuk setiap faktor. Berdasarkan grafik *main effect S/N* ratio diketahui bahwa level faktor yang optimum untuk kekuatan impact material komposit arang tempurung kelapa adalah persentase fraksi volume 20% (A1), ukuran *mesh* 120 (B3).

Analisis Varians (ANOVA) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respons berupa kekuatan impact. Tabel 5 menunjukkan hasil Analisis Varians (ANOVA) dengan menggunakan bantuan MS. Excel.

Tabel 5. Hasil Analisis Varians (ANOVA) terhadap kekuatan impact

ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	SS%
A. Fraksi Volume (%)	0.14138575	2	0.070692875	0.52459138	0.600572	3.554557	2.54471961
B. Ukuran sebuk (mesh)	0.008652006	2	0.004326003	0.032102018	0.968463	3.554557	0.15572378
AxB	2.980314135	4	0.745078534	5.529012322	0.004395	2.927744	53.64140621
Within	2.425643646	18	0.13475798				43.65812805
Total	5.555995537	26					100

Faktor A berupa persentase fraksi volume (%) menunjukkan P-value sebesar 0.600572 (tidak signifikan karena lebih besar dari 0.05), nilai F sama dengan 0.52459138 lebih besar dari F crit sebesar 3.554557, menunjukkan bahwa Fraksi Volume tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil percobaan/eksperimen, kontribusi terhadap total variasi sebesar 2.5447%. Faktor B adalah ukuran sebuk arang (*mesh*) menunjukkan P-value sebesar 0.968463 (tidak signifikan karena lebih besar dari 0.05), nilai F sama dengan 0.032102018 lebih besar F crit sebesar 3.554557, menunjukkan bahwa ukuran sebuk arang menunjukkan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil, kontribusi terhadap total variasi sebesar 0.1557%. Sedangkan Interaksi AXB menunjukkan P-value sebesar 0.004395 (sangat kecil, artinya signifikan), nilai F sama dengan 5.529012322 lebih besar F crit sebesar 2.927744, menunjukkan bahwa interaksi antara persentase fraksi volume dan ukuran sebuk signifikan, dengan besar kontribusi terhadap total variasi: 53.6414%. Kontribusi *Within/error* (Kesalahan) terhadap total variasi 43.6582% artinya menunjukkan bahwa variasi residu (kesalahan) masih cukup besar, meskipun sebagian besar variasi telah dijelaskan oleh faktor interaksi (AxB).

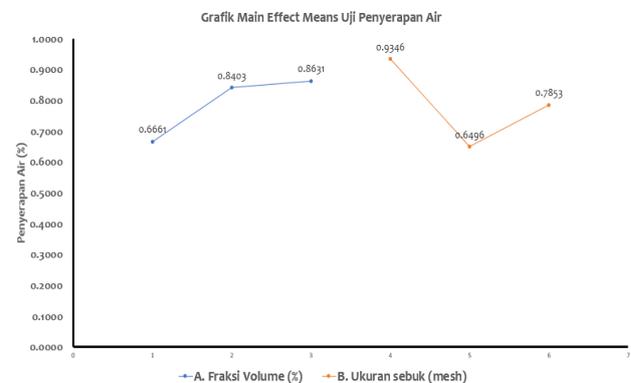
Pengujian Fisis Penyerapan Air (Water Absorption)

Hasil perhitungan *main effect means* dan *main effect S/N ratio* penyerapan air ditunjukkan oleh Tabel 6 di bawah ini:

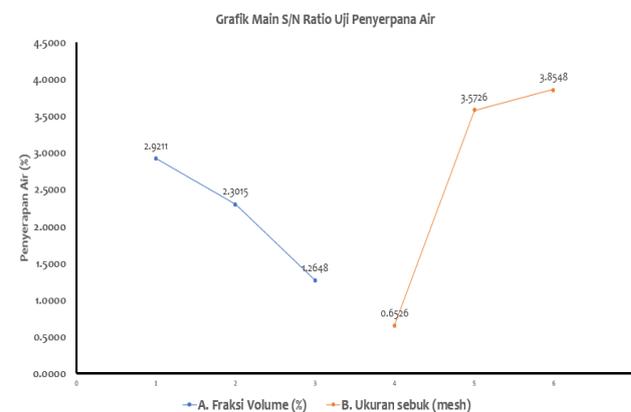
Tabel 6. *Main effect means* dan *main effect S/N ratio* penyerapan air

percobaan	Faktor		Replikasi			Jumlah	S/N Rasio
	A	B	1	2	3		
	Fraksi Volume(%)	Ukuran Partikel (Mesh)					
1	20	40	0.6137	0.1858	1.0673	1.8667	2.8673
2	20	80	0.4761	0.5182	1.0172	2.0114	2.9250
3	20	120	0.6245	0.6729	0.8190	2.1165	2.9709
4	30	40	1.2738	1.4984	1.3819	4.1540	-2.8459
5	30	80	0.4886	0.6405	0.5452	1.6742	5.0117
6	30	120	0.5749	0.6276	0.5321	1.7346	4.7387
7	40	40	0.6986	0.8164	0.8753	2.3904	1.9364
8	40	80	0.5902	0.7774	0.7928	2.1604	2.7812
9	40	120	0.8186	0.9143	1.4858	3.2168	-0.9232

Pemilihan faktor dan level yang optimum dijelaskan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16 berikut.



Gambar 15. Grafik *Main effect means* uji penyerapan air



Gambar 16. Grafik *Main effect S/N ratio* uji penyerapan air

Optimum untuk setiap faktor. Berdasarkan grafik *main effect S/N* rasio diketahui bahwa level faktor yang optimum untuk penyerapan air material komposit arang

tempurung kelapa adalah persentase fraksi volume 20% (A1), ukuran *mesh* 120 (B3).

Analisis Varians (ANOVA) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respons berupa penyerapan air (*water Absorption*). Tabel 7 menunjukkan hasil Analisis Varians (ANOVA) dengan menggunakan bantuan MS Excel.

Tabel 7. Hasil Analisis Varians (ANOVA) penyerapan air (*water Absorption*)

ANOVA	Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	Fcrit	SS%
A.	Fraksi Volume (%)	0.209077524	2	0.104538762	2.012864568	0.162584784	3.554557146	7.760243
B.	Ukuran sebuk (<i>mesh</i>)	0.365794638	2	0.182897319	3.521636628	0.051195609	3.554557146	13.57705
A x B		1.184505566	4	0.296126391	5.70183069	0.003811851	2.927744173	43.9648
Within		0.934835729	18	0.051935318				34.69791
Total		2.694213456	26					100

Faktor A berupa persentase fraksi volume (%) menunjukkan *P-value* sebesar 0.162584784 (tidak signifikan karena lebih besar dari 0.05), nilai F sama dengan 2.012864568 lebih besar *Fcrit* sebesar 3.554557146, menunjukkan bahwa Fraksi Volume tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil percobaan/eksperimen, kontribusi terhadap total variasi sebesar 7.760243%. Faktor B adalah ukuran sebuk arang (*mesh*) menunjukkan *P-value* sebesar 0.051195609 (mendekati signifikan pada α sama dengan 0.05, tetapi lebih tinggi sehingga tidak signifikan), nilai F sama dengan 3.521636628 lebih besar dari *Fcrit* sebesar 3.554557146, menunjukkan bahwa ukuran sebuk arang menunjukkan memiliki pengaruh hampir signifikan terhadap hasil, kontribusi terhadap total variasi sebesar 13.57705%. Sedangkan Interaksi AXB menunjukkan *P-value* sebesar 0.003811851 (sangat kecil karena kurang dari 0.05, artinya signifikan), nilai F sama dengan 5.70183069 lebih besar dari *Fcrit* sebesar 2.927744173, menunjukkan bahwa interaksi antara persentase fraksi volume dan ukuran sebuk signifikan, dengan besar kontribusi terhadap total variasi: 43.9648%. Kontribusi *Within/error* (Kesalahan) terhadap total variasi 34.69791% artinya menunjukkan bahwa variasi *residual* (kesalahan) masih cukup besar, meskipun sebagian besar variasi telah dijelaskan oleh faktor-faktor utama (Faktor A dan Faktor B) faktor interaksi (AxB).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada DRTPM Kemdikbudristek Hibah BIMA Tahun Anggaran 2024..Nomor Kontrak Induk* 066/E5/PG.02.00/PL.BATCH.2/2024. Nomor Kontrak

Turunan:151/LL11/KM/2024,01.07/166/KP/LPPM/UNU-KT/VIII/2024

PENUTUP

Simpulan

Hasil pengujian mekanis berupa uji banding ukuran sebuk arang tempurung kelapa (faktor B) merupakan faktor yang paling dominan dengan kontribusi 78,06% terhadap total variasi, sedangkan interaksi faktor A dan faktor B menunjukkan signifikansi, menunjukkan adanya efek kombinasi antara Fraksi Volume (Faktor A) dan Ukuran Sebuk (Faktor B) sebesar 19,58%. Fraksi Volume (Faktor B) memiliki kontribusi yang relatif kecil namun tetap signifikan (1,71%). Hasil pengujian mekanis berupa uji impak interaksi antara Fraksi Volume (Faktor A) dan Ukuran Sebuk (Faktor B) merupakan faktor yang signifikan dengan kontribusi 53,64%, ada faktor lain yang mempengaruhi hasil uji impak selain Fraksi Volume (Faktor A) dan Ukuran Sebuk (Faktor B) dengan kontribusi 43.66%. Hasil pengujian fisis berupa pengujian penyerapan air (*water Absorption*) interaksi antara Fraksi Volume (Faktor A) dan Ukuran Sebuk (Faktor B) merupakan faktor yang signifikan dengan kontribusi 43,96%. Ukuran Sebuk (Faktor B) memiliki kontribusi moderat terhadap variasi **13.58%**. Fraksi Volume (Faktor A) memberikan kontribusi kecil terhadap variasi **7.76%**. Faktor lain yang mempengaruhi hasil uji impak selain Fraksi Volume (Faktor A) dan Ukuran Sebuk (Faktor B) dengan kontribusi 34,70%..

Saran

Pada penelitian berikutnya untuk memperbaiki model dengan menambahkan variabel lain dengan cara menambahkan faktor untuk memperbaiki desain eksperimen, faktor yang ditambahkan berupa waktu pencampuran yaitu berupa level faktor variasi lama waktu pencampuran bahan dapat memengaruhi distribusi material dan sifat akhir material,.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widiarta, I. W., Nugraha, I. N. P., & Dantes, K. R., Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceust*) Dengan Matrik Polyester, Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, 2018. 6(1), 41-57
- [2] Prantasi HT, Teori Dan Aplikasi Material Kompositdan Polimer, Cetakan pertama, Sidoarjo UMSIDA Press,2018
- [3] Alfian HL, Marhadi BW, Pengaruh Komposisi Serat Kenaf dan Serbuk CaCO₃ Terhadap Kekuatan Tekuk dan *Water Absorption* Komposit *Hybrid*-Poliester,

- Indonesian Journal of Mechanical Engineering Vocational, 2021; 1(2); 58-64
- [4] Budi NR, Berli PK, Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Diperkuat *Unidirectional* Serat Tebu dengan Matrik Poliester, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 2011; 14(2); 133-138
- [5] M Qu, Hou L MaL, M Yuan, J He, M Xue, Y Zhou, X Liu, J He., Fabrication and Color-Gradient Control Of Colorful Superhydrophobic Materials With Mechanical Durable, Oil/Water Separation and Recyclable Properties, *Appl. Surf. Sci.*, 2019, 466 (2019) 328–341.
- [6] C Xu, C Huang, H. Huang., Recent Advances In Structural Color Display Of Cellulose Nanocrystal Materials, *Appl. Mater. Today* 22 (2021), 100912.
- [7] P Fei, F Zeng, S Zheng, Q Chen, Y Hu, J. Cai., Acylation Of Blueberry Anthocyanins With Maleic Acid: Improvement Of The Stability And Its Application Potential In Intelligent Color Indicator Packing Materials, *Dyes Pigm.* 184 (2021), 108852.
- [8] S. Cochrane., 2014. The Munsell Color System: A Scientific Compromise From The World Of Art, *Stud. Hist. Philos. Sci.* 47 (2014) 26–41.
- [9] G Vitols, I Arhipova, Y Hirata, I. Ikarts., Colour Extraction And Analysis Solution For Design Of Cross-Cultural Websites, *Procedia Comput. Sci.* 77 (2015) 215–220.
- [10] C. Soule., 2010. Pretreatment For The Painting Of Plastics And Composite Materials, *Met. Finish.* 108 (2010) 69–73.
- [11] OLL Cabrales, MA Vera, HMH Garcia, RM Arroyo, AIM Enriquez, JLA Davila, MALH Rodriguez., Effect Of Graphene Oxide On Wear Resistance Of Polyester Resin Electrostatically Deposited On Steel Sheets, *Wear* (2019) 426–427, 296-301.
- [12] M Cabrera, DW Vidal, MJA Canada., Monitoring Uv-Accelerated Alteration Processes Of Paintings By Means Of Hyperspectral Micro-Ftir Imaging And Chemometrics, *Spectrochim. Acta Part A* 253 (2021), 119568.
- [10] Z Kaszoska, M Kot, DB Kostecka, AF Sajdak., Application Of Micro-Indentation Tests To Assess The Consolidation Procedure Of Historic Wall Paintings, *J. Cult. Heritage* 36 (2019) 286–296.
- [13] Manurung, M.. Aplikasi Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana L.*) Sebagai Pewarna Alami pada Kain Katun secara Pre-Mordanting. *Journal of Chemistry*, 2012, 6(2): 183-190.
- [14] Adila, F. Y., Viviana, L., Delovita, G., Romi, F. S., Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Carbon Black Tinta Serbuk. *JoP*, Vol.8 No.2, April 2023: 90 – 95
- [15] Darianto, H. Amru, S., Bobby, U., Dedi, K., Simulasi kekuatan mekanis material komposit tempurung Kelapa menggunakan metode elemen hingga, *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 3 (01) (2019): 39-44
- [16] Soejanto I, *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009
- [17] Roy RK, *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*, . New York Jhon Wiley and Sons, Inc, 2001
- [18] Rizky F, C.I.P.K Kencanawati, Made Widiyarta, Karakteristik Mekanik (Kekuatan Banding, Tarik, *Impact*) Komposit Serat Kulit Jagung Dengan Matrik Resin SHCP *Polyester* BQTN 268, *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 2020; 9(4); 1105-1110
- [19] Callister WD, *Material Science and Engineering, An Introduction*, 7th Ed, . New York Jhon Wiley and Sons, Inc, 2007
- [20] Giatma D.A, , Sindi W.P, Devi P, Pendekatan Desain Eksperimen *Taguchi* sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses *bundling* kemasan), *SainsTech Innovation Journal*, 2023, 6(2), 380-388