

PENGARUH VARIASI FRAKSI *VOLUME FILLER* SERBUK CANGKANG TELUR AYAM TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT MATRIKS RESIN *EPOXY* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM BAGGING*

Muhammad Afif Noufal Haq

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammadhaq.220881@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Serbuk cangkang telur ayam merupakan limbah organik yang memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) tinggi dan berpotensi dipergunakan sebagai *filler* pada material komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serbuk cangkang telur ayam terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit resin epoksi, menentukan nilai sifat mekanik terbaik, serta menganalisis pengaruh variasi *filler* menggunakan metode statistik. Spesimen komposit dibuat dengan variasi fraksi *volume* serbuk cangkang telur ayam yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% menerapkan metode *vacuum bagging*. Pengujian tarik serta impact dilakukan berlandaskan standar ASTM D638 dan ASTM D6110. Analisis data dilakukan melalui uji normalitas, uji homogenitas, dan *One-Way ANOVA* untuk mengetahui kontribusi variasi *filler* terhadap sifat mekanik komposit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur ayam memberikan pengaruh pada kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit resin epoksi. Nilai kekuatan tarik dan kekuatan impact meningkat hingga mencapai komposisi optimum, kemudian mengalami penurunan pada fraksi *volume filler* yang lebih tinggi. Temuan analisis statistik memperlihatkan bahwa variasi fraksi *volume* serbuk cangkang telur ayam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit. Berdasarkan hasil pengujian, variasi *filler* yang menghasilkan sifat mekanik terbaik adalah pada komposisi 5% dengan nilai kekuatan tarik sebesar 58,26 MPa dan kekuatan impact yakni 0,0491 J/mm². Dengan demikian, serbuk cangkang telur ayam berpotensi digunakan sebagai *filler* alternatif yang ramah lingkungan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit resin epoksi.

Kata Kunci: Resin epoksi, serbung cangkang telur, *filler*, uji tarik, uji impact, *One-Way ANOVA*,

Abstract

Chicken eggshell powder is an organic waste with a high calcium carbonate (CaCO_3) content and has the potential to be used as a filler in composite materials. This study aims to determine the effect of varying the volume fraction of chicken eggshell powder on the tensile and impact strength of epoxy resin composites, determine the optimal mechanical properties, and analyze the effect of filler variation using statistical methods. Composite specimens were made with variations in the volume fraction of chicken eggshell powder, namely 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% using the vacuum bagging method. Testing and impact tensile were carried out based on ASTM D638 and ASTM D6110 standards. Data analysis was carried out through normality tests, homogeneity tests, and One-Way ANOVA to determine the contribution of filler variations to the mechanical properties of the composite. The test results showed that the addition of chicken eggshell powder had an effect on the tensile strength and impact strength of the epoxy resin composite. The tensile strength and impact strength values increased until they reached the optimum composition, then decreased at higher filler volume fractions. The findings of the statistical analysis showed that variations in the volume of chicken eggshell powder had a significant effect on the mechanical properties of the composite. Referring to the test findings, the filler variation that obtained the best mechanical properties was at a composition of 5% with a tensile strength value of 58.26 MPa and an impact strength of 0.0491 J/mm². Thus, chicken eggshell powder has the potential to be used as an environmentally friendly alternative filler to increase the mechanical properties of epoxy resin composites.

Keywords: Epoxy, eggshell Powder, filler, tensile test, impact test, one-way ANOVA.

PENDAHULUAN

Perkembangan material komposit terus mengalami peningkatan seiring kebutuhan industri terhadap material yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan GlobalData (2024). Karena kualitas mekaniknya yang sangat baik, bobot yang ringan, dan ketahanan terhadap korosi, komposit matriks resin epoksi banyak digunakan (Fong *dkk.*, 2024). Namun, karena resin epoksi murni bersifat rapuh, resin ini tidak dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekerasan dan kekuatan yang ekstrem. Oleh karena itu, diperlukan penambahan material penguat atau filler untuk meningkatkan performa mekaniknya.

Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan pengisi hayati dalam material komposit adalah satu di antara metode yang telah dikembangkan secara luas. Penggunaan limbah sebagai filler tidak hanya dapat meningkatkan sifat mekanik material, tetapi juga mendukung konsep keberlanjutan dengan mengurangi limbah lingkungan (Joshi *dkk.*, 2025). Salah satu limbah yang berpotensi dimanfaatkan adalah cangkang telur ayam yang memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 94–95%. Kandungan tersebut berpotensi meningkatkan kekuatan komposit melalui perbaikan ikatan antar fase dan pengurangan rongga pada matriks resin. Selain itu, ketersediaannya yang melimpah menjadikan serbuk cangkang telur sebagai alternatif filler yang ekonomis dan ramah lingkungan (Chandrappa & Kamath., 2023).

Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan bubuk cangkang telur ke dalam komposit dapat meningkatkan kekuatan tarik, lentur, dan impaknya (Sivakumar *dkk.*, 2022). Namun, jumlah filler yang digunakan harus dikontrol karena fraksi volume yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aglomerasi partikel, terbentuknya rongga, serta menurunkan kualitas ikatan antara filler dan matriks (Owuamanam *dkk.*, 2021). Oleh karena itu, penentuan variasi fraksi volume filler menjadi faktor penting dalam memperoleh sifat mekanik komposit yang optimal.

Selain komposisi material, metode fabrikasi juga berpengaruh terhadap kualitas komposit. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan metode konvensional seperti *hand lay-up* yang memiliki keterbatasan terhadap distribusi filler dan porositas. Metode *vacuum bagging* memiliki keunggulan dalam menghasilkan tekanan yang lebih merata, distribusi resin yang lebih baik, serta mengurangi kandungan pori pada material komposit (Sulthony *dkk.*, 2023).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam terhadap

kekuatan tarik dan kekuatan impak komposit matriks resin epoksi menggunakan metode *vacuum bagging*. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan komposit berbasis *bio-filler* dengan sifat mekanik optimal serta menjadi alternatif material yang lebih ramah lingkungan.

Rumusan Masalah

- Bagaimana pengaruh variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam dengan fraksi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap kekuatan tarik komposit matriks resin epoksi?
- Bagaimana pengaruh variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam dengan fraksi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap kekuatan impak komposit matriks resin epoksi?

Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi pengaruh variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam pada kekuatan tarik komposit matriks resin epoksi yang dibuat menggunakan metode *vacuum bagging*, sehingga dapat diketahui perbedaan karakteristik mekanik pada setiap variasi.
- Mengidentifikasi pengaruh variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam pada kekuatan impak komposit matriks resin epoksi yang dibuat menggunakan metode *vacuum bagging*, sehingga dapat diketahui perbedaan karakteristik mekanik pada setiap variasi.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen (*experimental research*) dengan pendekatan kuantitatif untuk mengkaji pengaruh variasi fraksi volume filler serbuk cangkang telur ayam terhadap sifat mekanik komposit bermatriks resin epoksi. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan meliputi kekuatan tarik dan kekuatan impak, dengan spesimen uji yang diproduksi melalui metode *vacuum bagging*.

Waktu dan Tempat Penelitian

• Waktu Penelitian

Penelitian ini dijalankan selama kurang lebih empat bulan terhitung sejak bulan Maret 2026 sampai Juni 2026..

• Tempat Penelitian

Proses fabrikasi spesimen dilaksanakan di GARNESA RACING TEAM, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, sedangkan pengujian mekanik berupa uji tarik dan uji impak dilakukan di Laboratorium Mekanika Material, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

Variabel Penelitian

Variabel Penelitian pada jurnal ini adalah sebagai berikut :

• Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yakni variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam dengan variasi 0 %, 5%, 10%, 15%, 20%.

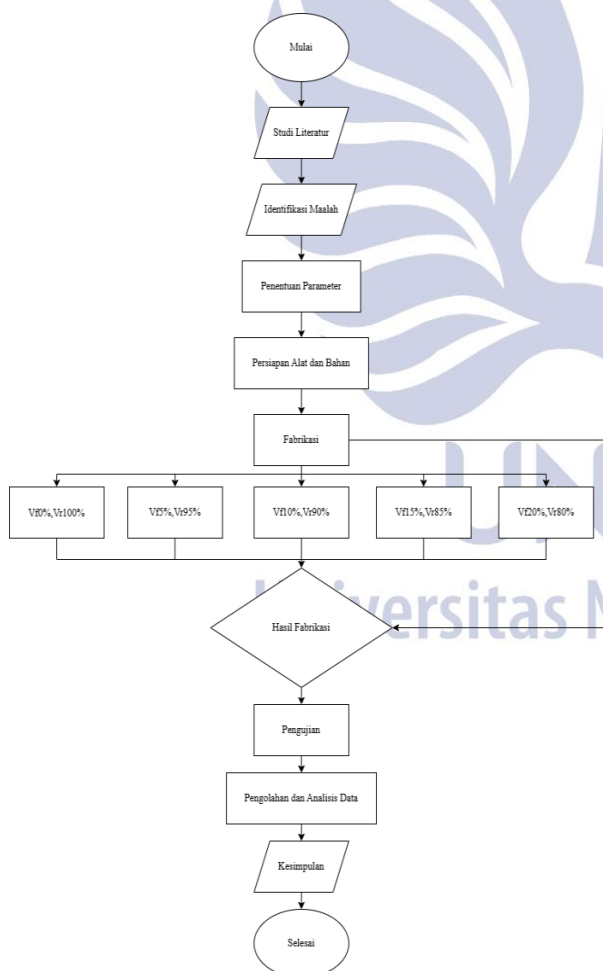
• Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini berupa hasil pengujian sifat mekanik komposit, yakni kekuatan tarik serta kekuatan impak.

• Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini meliputi resin *Epoxy* sebagai matriks, *eggshell Powder* ukuran 100 Mesh, Metode yang digunakan *vacuum bagging*, dimensi sesuai standar “ASTM D638” untuk uji tarik serta “ASTM D6110” untuk uji impak, proses curing selama 24 jam dengan suhu ruang, post curing selama 1 jam dengan suhu 50°C.

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Penelitian

Pengujian tarik diterapkan guna kemampuan sebuah material dalam menahan gaya tarik hingga mengalami deformasi atau patah. Rumus pengujian tarik sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

σ = Tegangan (Mpa)
 F = Gaya tarik maksimum (N)
 A = Luas penampang awal spesimen (mm²)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

ΔL = pertambahan panjang (mm)
 L_0 = panjang awal spesimen (mm)

Pengujian Impak

Pengujian impak digunakan untuk menilai kemampuan suatu material dalam menahan beban kejut atau benturan mendadak dengan cara memukul spesimen menggunakan pendulum bermassa tertentu. Rumus pengujian Impak sebagai berikut :

$$W = GR(Cos\beta - Cos\alpha) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

W : Energi Serap (J)
 G : Berat Pendulum (N)
 R : Jarak antara pusat gravitasi dengan sumbu putar (m)
 β : Sudut akhir ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen (°)
 α : Sudut awal ayunan pendulum sebelum menumbuk spesimen (°)

$$HI = \frac{W}{bi \times hi}$$

HI : Harga Impak (J/ mm²)
 W : Berat Bandul (N)
 bi : Lebar Spesimen (mm)
 hi : Tebal Spesimen (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

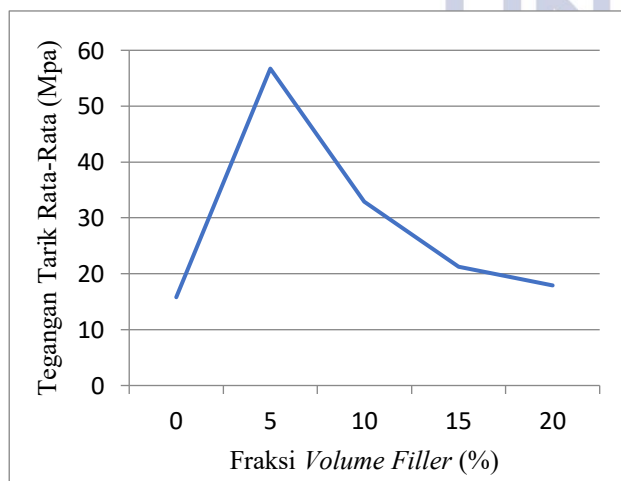
Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi data, kemudian dianalisis menggunakan metode statistika guna mengetahui pengaruh variasi fraksi *volume filler* terhadap sifat mekanik komposit.

Tabel 1. Hasil Data Uji Tarik

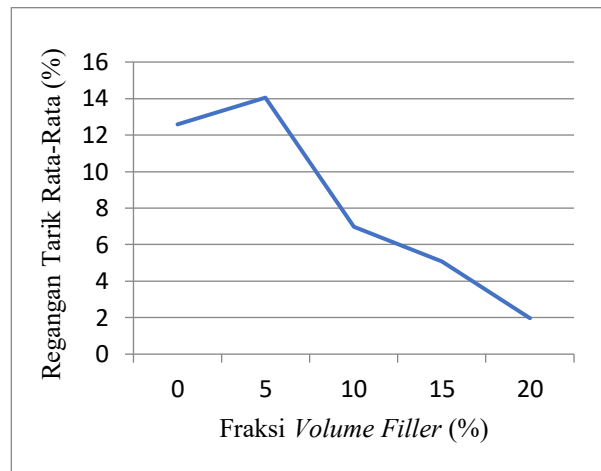
Pengujian Tarik

Variasi	Sample	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Young
0%	1	15,27	11,68	0,131
	2	15,49	14,00	0,111
	3	14,79	12,10	0,122
5%	1	58,26	14,20	0,410
	2	55,14	13,82	0,399
	3	56,77	14,14	0,401
10%	1	30,31	7,10	0,427
	2	33,40	6,26	0,534
	3	34,90	7,58	0,461
15%	1	22,09	5,72	0,386
	2	21,43	4,18	0,513
	3	20,20	5,38	0,375
20%	1	17,96	0,84	2,138
	2	18,16	3,98	0,456
	3	17,76	1,10	1,614

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang disajikan pada Tabel 1, nilai hasil pengujian selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis dan perbandingan antar variasi fraksi *volume filler*.



Gambar 2. Grafik Tegangan Tarik Rata-Rata



Gambar 3. Grafik Regangan Tarik Rata-Rata

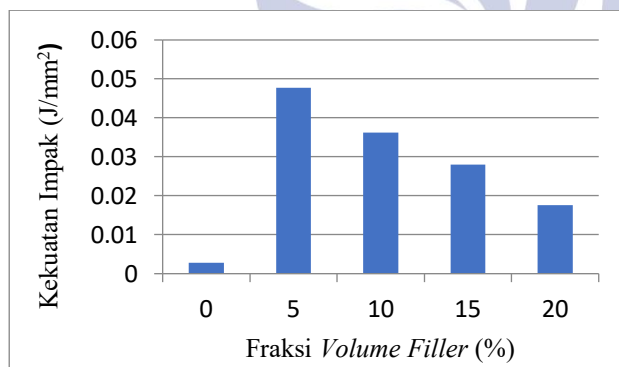
Berdasarkan grafik hasil nilai tegangan serta regangan pada gambar 2 & 3 diatas menunjukkan bahwa setiap variasi fraksi Berdasarkan hasil dari pengujian tarik, dapat diperoleh nilai rata-rata tegangan tarik, regangan, serta modulus Young pada setiap variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam. Komposit tanpa *filler* (0%) memiliki rata-rata tegangan tarik sebesar 15,18 MPa, regangan 12,59%, dan modulus Young 0,121 GPa. Pada penambahan *filler* sebesar 5%, terjadi peningkatan sifat mekanik yang signifikan dengan nilai rata-rata tegangan tarik tertinggi yaitu 56,72 MPa, regangan 14,05%, dan modulus Young 0,403 GPa. Selanjutnya, pada variasi *filler* 10%, nilai rata-rata tegangan tarik menurun menjadi 32,87 MPa, regangan menjadi 6,98%, sedangkan modulus Young meningkat menjadi 0,474 GPa. Pada variasi 15%, rata-rata tegangan tarik kembali menurun menjadi 21,24 MPa, dengan regangan 5,09% dan modulus Young 0,425 GPa. Sementara itu, pada variasi *filler* 20%, diperoleh rata-rata tegangan tarik sebesar 17,96 MPa, regangan 1,97%, dan *modulus Young* 1,403 GPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan *filler* serbuk cangkang telur ayam hingga fraksi *volume* 5% mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit secara optimal. Namun, penambahan *filler* di atas 5% menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan regangan, meskipun nilai *modulus Young* cenderung meningkat, yang mengindikasikan bahwa material menjadi lebih kaku tetapi lebih getas akibat meningkatnya kandungan *filler* dalam matriks komposit (Suja dkk., 2024).

Tabel 2. Hasil Data Uji Impak

Variasi	Sample	Sudut Akhir	Energi Serap	Kekuatan Impak
0%	1	119,3	0,536	0,0041
	2	119,7	0,229	0,0018
	3	119,6	0,306	0,0024
5%	1	112	6,330	0,0491

	2	112,1	6,248	0,0484
	3	112,5	5,922	0,0459
10%	1	114,2	4,547	0,0352
	2	114,1	4,628	0,0377
	3	113,8	4,869	0,0271
15%	1	115,5	3,508	0,0265
	2	115,6	3,428	0,0302
	3	115	3,906	0,0192
20%	1	116,8	2,480	0,0217
	2	117,1	2,244	0,0174
	3	117,3	2,087	0,0160

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang ditampilkan pada Tabel 2, data kemudian disajikan dalam bentuk diagram guna mempermudah interpretasi terhadap dampak variasi fraksi *volume filler* serbuk cangkang telur ayam terhadap kekuatan tarik komposit.



Gambar 4. Grafik Uji Impak

Data yang tersaji pada Tabel 1 mengenai kekuatan tarik memperlihatkan bahwa kekuatan tarik komposit berbasis matriks resin epoksi dipengaruhi oleh variasi fraksi volume filler serbuk cangkang telur ayam. Nilai energi serap tertinggi sebesar 6,330 J beserta kekuatan tarik tertinggi sebesar 0,05664 J/mm² tercatat pada variasi fraksi volume filler 5%. Penambahan *filler* di atas 5% menyebabkan penurunan energi serap dan kekuatan tarik, yang mengindikasikan bahwa kandungan *filler* yang terlalu tinggi menurunkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan akibat berkurangnya homogenitas struktur komposit serta meningkatnya potensi terbentuknya cacat internal.

Analisis Statistik

Untuk mengetahui apakah hipotesis penelitian yang telah dirumuskan dapat diterima atau ditolak., data hasil

pengujian kemudian dianalisis menggunakan pendekatan statistik, yaitu metode One-Way ANOVA yang dijalankan dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 22. Pelaksanaan uji ANOVA didahului oleh uji prasyarat, yaitu uji normalitas dan uji homogenitas, yang dilakukan untuk memastikan bahwa data memiliki distribusi normal serta varians yang homogen sebelum dilakukan analisis statistik lanjutan.

ANOVA					
Tarik	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig. ^a
Between Groups	2872.838	4	718.210	19.265	<.001
Within Groups	372.802	10	37.280		
Total	3245.640	14			

a. Confidence Interval: 95%

Gambar 5 Hasil ANOVA Data Uji Tarik

ANOVA					
Impak	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig. ^a
Between Groups	4069.539	4	1017.385	63.504	<.001
Within Groups	160.208	10	16.021		
Total	4229.748	14			

a. Confidence Interval: 95%

Gambar 6 Hasil Uji ANOVA Data Uji Impak

Hasil analisis One-Way ANOVA terhadap data kekuatan tarik dan kekuatan tarik memperlihatkan nilai signifikansi kurang dari 0,001 (Sig. < 0,001). Oleh karena nilai tersebut lebih kecil dibandingkan taraf signifikansi 0,05 (Sig. < α), maka H_0 ditolak sedangkan H_a diterima. Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi fraksi volume filler serbuk cangkang telur ayam berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan tarik komposit bermatriks resin epoksi. Lebih lanjut, kekuatan tarik serta kekuatan tarik tertinggi tercatat pada variasi filler 5%, sementara peningkatan kadar filler melebihi 5% justru mengakibatkan penurunan pada kedua sifat mekanik tersebut.

PENUTUP

Kesimpulan

Mengacu hasil analisis statistik dengan menerapkan uji One-Way ANOVA, variasi fraksi *volume* serbuk cangkang telur terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit *epoxy*. Peningkatan fraksi *volume filler* hingga batas tertentu mampu meningkatkan sifat mekanik komposit, namun penambahan *filler* yang terlalu tinggi cenderung menurunkan kekuatan tarik dan ketangguhan impak akibat terjadinya aglomerasi partikel, peningkatan porositas, serta berkurangnya homogenitas campuran. Variasi fraksi *volume* serbuk cangkang telur ayam sebesar 5% merupakan komposisi optimum dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 56,72 MPa, regangan tarik sebesar 14,05%, modulus elastisitas sebesar 0,403 GPa, energi serap impak sebesar 6,330 J, dan kekuatan impak yaitu 0,05664 J/mm². Sementara itu, nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi *filler* 20% adalah

2,318 GPa yang menunjukkan peningkatan kekakuan material, tetapi disertai dengan penurunan kekuatan tarik dan ketangguhan dampak akibat meningkatnya kandungan *filler* dalam matriks *epoxy*.

Saran

- Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah spesimen yang lebih banyak tiap variasi agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat validitas yang lebih tinggi.
- Diharapkan juga untuk penelitian selanjutnya tidak hanya melakukan uji dampak dan tarik tetapi juga melakukan uji mikro maupun makro dan SEM, agar peneliti dapat mengetahui pola patahan, distribusi *filler*, serta kualitas ikatan pada spesimen dan cacat (aglomerisasi) pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandrappa, Dr. R. K., & Kamath, Mrs. S. S. (2021). The Egg shell as a filler in composite materials—A review. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 4(4), 335–340. <https://doi.org/10.30464/jmee.2020.4.4.335>
- Fong, C., Sugiman, S., Chin, D., & Ahmad, H. (2024). Fracture energy and mechanical properties of toughened epoxy resin with eggshell powder. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 38(12), 2065–2084. <https://doi.org/10.1080/01694243.2023.2283977>
- GlobalData. (2024). *Composite Materials Overview – Market Analysis*. GlobalData. <https://www.globaldata.com/store/report/composite-materials-overview-market-analysis>
- Joshi, R., Bajpai, P. K., & Mukhopadhyay, S. (2025). Effect of reinforcing waste bagasse ash and eggshells as fillers on mechanical and viscoelastic characteristics of areca/epoxy hybrid composites. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(8), 12313–12333. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06011-4>
- Owuamanam, S., Soleimani, M., & Cree, D. E. (2021). Fabrication and Characterization of Bio-Epoxy Eggshell Composites. *Applied Mechanics*, 2(4), 694–713. <https://doi.org/10.3390/applmech2040040>
- Sarmin, S. N., Jawaid, M., Zaki, S. A., Ali, M. R., Fouad, H., Khiari, R., Rahayu, S., & Salim, N. (2023). The Effect of Eggshell Fillers on the Physical, Mechanical, and Morphological Properties of Date palm Fibre Reinforced Bio-epoxy Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(11), 5015–5027. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02924-9>
- Sivakumar, A. A., Sankarapandian, S., Avudaiappan, S., & Flores, E. I. S. (2022). Mechanical Behaviour and Impact of Various Fibres Embedded with Eggshell Powder Epoxy Resin Biocomposite. *Materials*, 15(24), 9044. <https://doi.org/10.3390/ma15249044>
- Suja, R. N., Sridevi, B., & Kumar Thiagamani, S. M. (2024). Mechanical and Dynamic Mechanical Characterization of Epoxy Composites Reinforced with Casuarina Leaf Bio Fibre. *Journal of Research Updates in Polymer Science*, 13, 66–74. <https://doi.org/10.6000/1929-5995.2024.13.08>
- Sulthony, D. A., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). Analisis Hasil Kekerasan Vickers pada Komposit Serat Karbon Kevlar dengan Menggunakan Metode *Vacuum Bagging & Vacuum Infusion*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(2), 277–287. <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.900>