

Pengaruh Fraksi Volume dan Ukuran Partikel Cangkang Telur Ayam terhadap Kekuatan Impak Komposit Polyester

Ihsan Iskandar*, Haris Wahyudi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan No. 1 Kembangan; Jakarta Barat 11650

*E-mail: ihsanlb10@gmail.com

Abstract

The eggshell of chicken, as a waste product from the food industry, has garnered attention in environmental sustainability efforts. In the context of composites, chicken eggshell offers the potential as an economical and sustainable reinforcement. The use of reinforcing materials in the form of particles is a common approach in composite development. Despite research on the use of chicken eggshell as a reinforcement in composites, the comprehensive effects of content and various particle sizes on unsaturated polyester composites using chicken eggshell on impact strength have not been thoroughly explained. This research aims to fill this knowledge gap by investigating the influence of content and particle size of chicken eggshell on the impact strength of unsaturated polyester composites. Composites were prepared using Polyester UPR 108 matrix reinforced with chicken eggshell that had been crushed into powder with various particle sizes of 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, and 100 mesh. The variation in the volume fraction of particles used was 0%, 10%, 30%, and 50%. The influence of particle size on composite performance was evaluated using Charpy impact strength testing according to ISO 179-1 standards. The research results showed that pure resin had the lowest impact strength, at 1.09 kJ/m². Test specimens with 100 mesh particle content had the highest impact strength, at 4.25 kJ/m². These findings indicate that composites with smaller particle sizes tend to have higher impact strength.

Keywords: particle composites, chicken eggshell, impact strength, particle size

Abstrak

Cangkang telur ayam sebagai limbah dari industri makanan telah menjadi perhatian dalam upaya mendukung keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks komposit, cangkang telur ayam menawarkan potensi sebagai penguat yang ekonomis dan berkelanjutan. Penggunaan bahan penguat dalam bentuk partikel adalah salah satu pendekatan yang umum dalam pengembangan komposit. Meskipun penggunaan cangkang telur ayam sebagai penguat dalam komposit telah menjadi objek penelitian, Namun belum secara menyeluruh menjelaskan dampak kandungan dan beragam ukuran partikel pada komposit polyester tak jenuh yang menggunakan cangkang telur ayam terhadap kekuatan impak. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan ini dengan menyelidiki pengaruh kandungan dan ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impak komposit polyester tak jenuh. Komposit dibuat dengan menggunakan matriks Polyester UPR 108 yang diperkuat dengan cangkang telur ayam yang telah dihancurkan menjadi serbuk dengan variasi ukuran partikel 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh. Sedangkan variasi fraksi volume partikel yang digunakan adalah 0%, 10%, 30% dan 50%. Pengaruh ukuran partikel terhadap performa komposit dievaluasi menggunakan pengujian kekuatan impak charpy mengacu pada standart ISO 179-1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resin murni memiliki kekuatan impak paling rendah yaitu 1,09 kJ/m². Spesimen uji dengan kandungan partikel berukuran 100 mesh mempunyai kekuatan impak tertinggi yaitu 4,25 kJ/m². Temuan ini mengindikasikan bahwa komposit dengan ukuran partikel yang lebih kecil cenderung memiliki kekuatan impak yang lebih tinggi.

Kata kunci: komposit partikel, cangkang telur ayam, kekuatan impak, ukuran partikel

1. Pendahuluan

Komposit merupakan material yang memiliki karakteristik dan keunggulan yang sering diaplikasikan pada berbagai bidang seperti industri otomotif, bidang konstruksi, peralatan elektronik [1] hingga di bidang medis [2]. Kunci keberhasilan material komposit adalah pemilihan bahan penyusun yang tepat dan desain yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Dalam pengembangan material komposit, pemilihan bahan penguat dan pemahaman tentang pengaruh karakteristik bahan tersebut terhadap performa material sangat penting. Sehingga menempatkan material komposit menjadi objek yang paling banyak diteliti dan dikembangkan [3].

Saat ini, masyarakat sebagai pengguna atau konsumen semakin peduli akan isu-isu lingkungan sehingga cenderung memilih produk yang ramah lingkungan. Hal tersebut mendorong produsen untuk mengembangkan material komposit dengan penggunaan bahan-bahan yang tersedia melimpah di alam, mudah terurai dan ramah lingkungan dibandingkan bahan sintesis yang sulit terurai di alam dan meninggalkan jejak karbon saat produksi hingga dibuang[4].

Saat ini cangkang telur ayam dianggap sebagai limbah dari industri makanan dan rumah tangga yang dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan[5,6]. Sebagai bahan alami yang memiliki kandungan mineral kalsium tinggi serta bahan organik lainnya seperti magnesium oksida dan sulfur trioksida sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**, cangkang telur ayam dapat digunakan sebagai penguat komposit [7,8]. Penggunaan cangkang telur ayam sebagai bahan penyusun komposit memiliki potensi mengurangi limbah pertanian dan menciptakan bahan yang berkelanjutan secara lingkungan. Sehingga bahan ini dapat dijadikan alternatif karena ketersediaannya yang tinggi [7].

Tabel 1. Kandungan dalam cangkang telur ayam [7]

Unsur Kimia	Persentase (%)
Kalsium Karbonat (CaCO ₃)	95
Magnesium Oksida (MgO)	0,83
Sulfur trioksida (SO ₃)	0,66
Fosfor Pentoksida (P ₂ O ₅)	0,43
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	0,15
Kalium Oksida (K ₂ O)	0,08
Silikon dioksida (SiO ₂)	0,07
Dikloro Trioksida (Cl ₂ O ₃)	0,06
Stronsium Peroksida (SrO ₂)	0,04

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa kandungan partikel sebagai penguat mampu memberikan pengaruh terhadap kekuatan impact komposit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kumar dkk terhadap komposit berpenguat partikel cangkang siput menunjukkan bahwa penambahan partikel penguat dapat meningkatkan kekuatan impact komposit pada persentase berat tertentu [9]. Shehu dkk yang melakukan penelitian terhadap pengaruh ukuran partikel penguat pada komposit cangkang inti sawit mengungkapkan bahwa kekuatan impact komposit meningkat seiring berkurangnya ukuran partikel penguat pada kandungan 20% wt [10].

Para peneliti telah memanfaatkan penggunaan limbah cangkang telur ayam sebagai partikel penguat pada komposit[11-13]. Sarmin dkk melakukan penelitian terhadap komposit epoxy dengan serat kurma dan partikel cangkang telur sebagai penguat. Komposit dengan kandungan 5% partikel cangkang telur menunjukkan kekuatan impact lebih baik[11]. Penelitian yang lain dilakukan oleh Nayak dkk dengan memanfaatkan serat gelas dalam bentuk tenun dan dikombinasikan dengan partikel cangkang telur ayam berukuran 150 mikron sebagai penguat komposit epoxy. Hasilnya menunjukkan penambahan 3% fraksi berat partikel cangkang telur ayam mampu meningkatkan 26% kekuatan impact komposit[12]. Irnawan dkk dalam penelitiannya terhadap ukuran partikel lebih kecil dari 80 mesh, mengungkapkan ukuran partikel yang semakin kecil dapat meningkatkan nilai mekanik ketangguhan impact.[13]

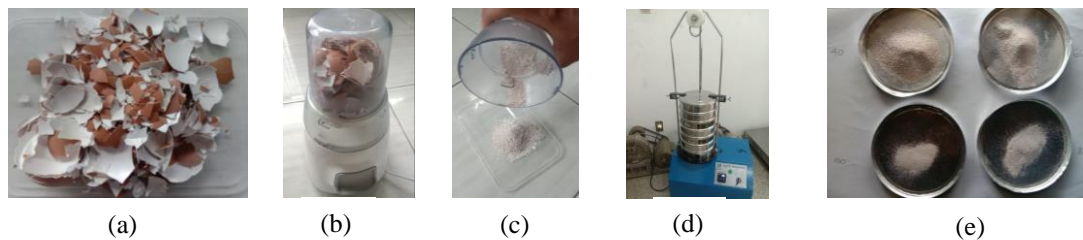
Namun, Penelitian sebelumnya belum mengungkapkan pengaruh fraksi volume beserta ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impact komposit dengan matriks polyester tak jenuh. Kekuatan impact adalah parameter penting dalam aplikasi yang mengalami tumbukan atau beban bentur [14] seperti dalam industri otomotif di mana keamanan struktural sangat penting. Selain itu penelitian sebelumnya belum menampilkan hasil pengujian tersebut dalam bentuk model regresi. Model regresi merupakan representasi matematis dari hubungan antara satu atau lebih variabel independen dan satu variabel dependen[15]. Hal inilah yang menjadi gap penelitian terkait komposit yang diperkuat partikel cangkang telur ayam. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk menginvestigasi dampak fraksi volume dan ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap karakteristik mekanik kekuatan impact komposit polyester. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang penggunaan cangkang telur ayam sebagai penguat komposit polyester, dan bagaimana pengaturan kandungan dan ukuran partikel

dapat mempengaruhi kekuatan impak komposit tersebut. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi pada pemahaman umum tentang penggunaan bahan penguat alami dalam komposit serta relevansinya dalam pengembangan bahan komposit yang berkelanjutan.

2. Material dan metode penelitian

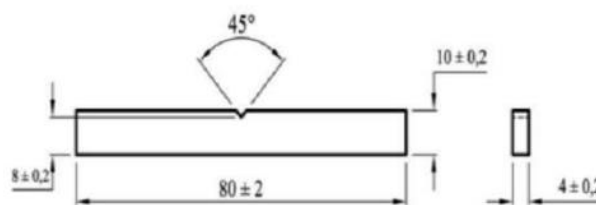
Pendekatan yang dijalankan dalam penelitian ini adalah eksperimental yang melibatkan pemberian perlakuan dengan variasi fraksi volume dan ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impak komposit *polyester* tak jenuh. Dalam penelitian ini komponen yang digunakan meliputi: (1) Cangkang telur ayam, (2) *Polyester* UPR 108, (3) Katalis MEKPO, dan (4) *mirror glase wax/FRP Wax*. Sedangkan peralatan yang dipersiapkan sebagai berikut: (1) blender, (2) *electric sieve shaker* ASTM E-11 dengan mesh 40, 60, 80, 100 dan 120, (3) oven, (4) *moisture analyzer* (5) gelas ukur, (6) pengaduk, (7) cetakan akrilik, (8) jangka sorong, dan (9) alat uji impak *charphy* ISO 179-1.

Proses penelitian dibagi dalam 4 tahapan. Pertama preparasi partikel cangkang telur ayam, yaitu dengan proses penghancuran dan pengayakan untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran menggunakan *electric sieve shaker* mengacu pada ASTM E-11. Ukuran partikel yang diterapkan adalah ukuran mesh 40-60, mesh 60-80, mesh 80-100 dan mesh 100-120. Partikel yang akan digunakan selanjutnya dilakukan pengeringan dengan oven pada temperatur 110 °C selama 45 menit kemudian mengukur kadar airnya menggunakan *moisture analyzer* hingga kadar air tidak melebihi 4% [16]. Tahapan ini dilakukan di Laboratorium Uji Alat dan Mesin Pascapanen Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Mekanisasi Pertanian, Kementerian Pertanian. **Gambar 1** menunjukkan proses preparasi partikel cangkang telur ayam.



Gambar 1. (a) cangkang telur dihancurkan manual (b) cangkang telur dihaluskan dengan blender (c) partikel cangkang telur setelah diblender (d) proses pengayakan dengan *electric sieve shaker* (e) partikel cangkang telur berdasarkan ukuran mesh

Tahap kedua yaitu pembuatan spesimen yang terbagi dalam 4 variasi fraksi volume kandungan partikel penguat yaitu 0%, 10%, 30%, dan 50%. Pencampuran resin dan partikel penguat dilakukan dengan pengadukan perlahan selama 3 menit. Kemudian katalis sebanyak 1% ditambahkan ke campuran dan diaduk perlahan selama 1 menit. Kemudian tuang pada cetakan akrilik yang sudah diolesi *mirror glase wax/FRP Wax* pada permukaannya. Spesimen mengikuti standart ISO 179-1 dengan dimensi ditunjukkan pada **Gambar 2**. Tahap ketiga dilakukan uji impak metode *charphy* terhadap spesimen di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana (UMB) Jakarta.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji ISO 179-1 [17]

Tahapan keempat analisis hasil uji. Hasil uji impak berupa energi impak dari masing-masing spesimen. Dari data ini kemudian kekuatan impak dihitung dengan cara membagi energi impak dengan luas penampang spesimen dalam satuan kJ/m². Selanjutnya kekuatan impak setiap spesimen dibuat rata-rata untuk setiap kondisi. Hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik dan dianalisis sehingga diperoleh model regresi hubungan antara fraksi volume dan ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impak benda uji. Model regresi diperiksa dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang umumnya berkisar antara 0 dan 1. Model regresi yang baik memiliki koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0,95 [18]. Regresi berfungsi untuk memprediksi atau menghitung estimasi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen.

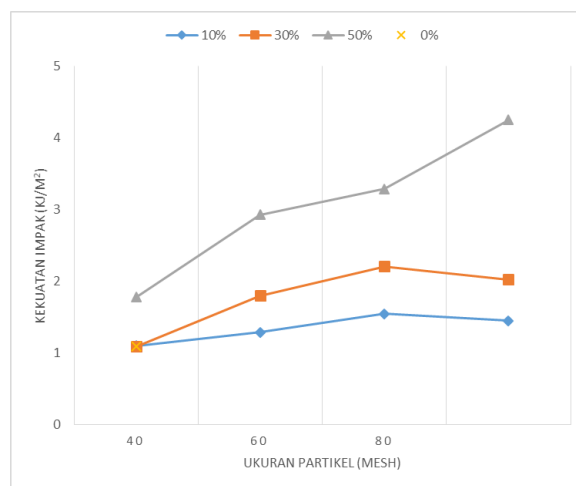
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian impak dilakukan dengan alat uji impak untuk bahan polimer di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana. **Tabel 2** menunjukkan rata-rata nilai pengujian impak dengan fraksi volume dan ukuran partikel

cangkang telur ayam. Dari hasil pengujian didapatkan kekuatan impact paling rendah terdapat pada resin murni yaitu 1,09 kJ/m². sedangkan kandungan partikel cangkang telur ayam berukuran 100 mesh memiliki nilai kekuatan impact tertinggi yaitu 4,25 kJ/m².

Tabel 2. Hasil uji impact

Ukuran Partikel	Fraaksi Volume Partikel (%)	Energi serap (J)	Kekuatan Impact (kJ/m ²)
Resin Murni	0	0,035	1,09
Mesh 40	10	0,035	1,10
Mesh 60		0,042	1,29
Mesh 80		0,049	1,55
Mesh 100		0,046	1,45
Mesh 40	30	0,035	1,09
Mesh 60		0,035	1,80
Mesh 80		0,042	2,21
Mesh 100		0,064	2,02
Mesh 40	50	0,057	1,78
Mesh 60		0,094	2,93
Mesh 80		0,105	3,29
Mesh 100		0,135	4,25



Gambar 3. Pengaruh ukuran dan fraksi volume partikel terhadap kekuatan impact

Berdasarkan **Gambar 3** nilai kekuatan impact meningkat seiring bertambahnya fraksi volume partikel cangkang telur ayam. Hal ini mengungkapkan bahwa penambahan bahan pengisi sebagai penguat mampu meningkatkan kekuatan impact [19,20]. Peningkatan fraksi volume partikel memungkinkan partikel untuk mengisi ruang di dalam matriks dengan lebih banyak partikel. Hal tersebut dapat berdampak pada berkurangnya porositas dalam komposit sehingga komposit menjadi lebih padat dan secara inheren meningkatkan kekuatan komposit.

Pada **Gambar 3** juga menunjukkan pengaruh ukuran partikel terhadap kekuatan impact komposit polyester. Kekuatan impact komposit cenderung meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran partikel. Pada fraksi volume 50% kandungan partikel cangkang telur ayam, peningkatan nilai kekuatan impact disebabkan karena pada ukuran partikel terkecil yaitu 100 mesh memiliki permukaan kontak dengan matriks yang lebih luas sehingga menyebabkan pengikatan yang lebih baik. Kondisi ikatan yang baik ini membantu mencegah delaminasi atau pemisahan partikel dari matriks selama tumbukan sehingga meningkatkan kekuatan impact [21]. Dengan ukuran partikel yang lebih halus, kemungkinan lebih besar memperoleh distribusi partikel yang baik dan peningkatan tersebut dicapai melalui penyempurnaan struktur butiran [22] oleh karena itu penyerapan energi tumbukan lebih baik dan mengurangi resiko retakan yang signifikan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Nurhidayat dkk yang menyatakan semakin kecil ukuran partikel penguat berdampak meningkatnya kekuatan impact pada komposit[16].

Selanjutnya hasil rata-rata pengujian yang dikelompokkan untuk setiap kondisi ditampilkan dalam **Tabel 3** dan **Tabel 4**. kemudian dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh persamaan regresi hubungan antara fraksi volume dan ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impact komposit. Model regresi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Tabel 3 Rangkuman hasil uji impact berdasarkan fraksi volume

Fraksi Volume Partikel (%)	Kekuatan Impact (kJ/m ²)
0	1,09
10	1,34
30	1,78
50	3,06

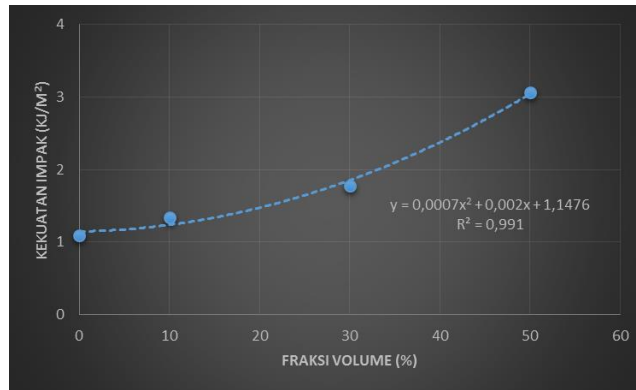
Tabel 4 Rangkuman hasil uji impact berdasarkan ukuran partikel

Ukuran Partikel (mesh)	Kekuatan Impact (kJ/m ²)
40	1,32
60	2,01
0,3	2,35
0,5	2,58

Model regresi kekuatan impact komposit berpenguat partikel cangkang telur ayam berdasarkan kandungan partikel dapat dilihat pada **Gambar 4** sebagai berikut:

$$Y=0,0007 X^2 + 0,002 X + 1,1476 \tag{1}$$

dimana Y adalah kekuatan impact (kJ/m²) dan X adalah kandungan partikel cangkang telur ayam (%). Koefisien determinasi (R²) persamaan regresinya adalah 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa persentase kadar partikel cangkang telur ayam 99% berpengaruh terhadap kekuatan impact material komposit.

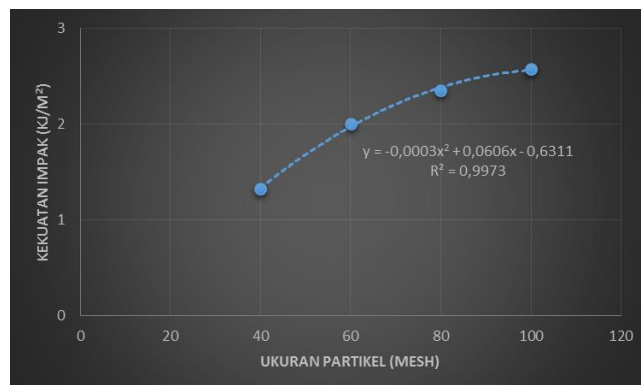


Gambar 4. Model regresi kekuatan impact komposit berpenguat partikel cangkang telur ayam berdasarkan fraksi volume partikel penguat

Model regresi kekuatan impact komposit berpenguat partikel cangkang telur ayam berdasarkan ukuran partikel ditunjukkan pada **Gambar 5** sebagai berikut:

$$Y=-0,0003 X^2 + 0,0606 X - 0,6311 \tag{2}$$

dimana Y adalah kekuatan impact (kJ/m²) dan X adalah ukuran partikel cangkang telur ayam (mesh). Koefisien determinasi (R²) persamaan regresi tersebut adalah 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel 99% dapat dijelaskan secara model matematis berpengaruh terhadap kekuatan impact material komposit. Dengan kata lain variabel ukuran partikel penguat pada material komposit penelitian ini 99% mampu menjelaskan variasi kekuatan impact.



Gambar 5. Model regresi kekuatan impact komposit berpenguat partikel cangkang telur ayam berdasarkan ukuran partikel penguat

Kedua model regresi tersebut dapat digunakan sebagai alternatif untuk simulasi menghitung kandungan dan ukuran partikel yang dibutuhkan untuk memperoleh kekuatan impact tertentu dari material komposit yang diisyaratkan aplikasi penggunaan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah menyelidiki pengaruh ukuran partikel cangkang telur ayam terhadap kekuatan impact komposit polyester, dimana resin murni memiliki kekuatan impact terendah yaitu $1,09 \text{ kJ/m}^2$, sedangkan komposit berpenguat partikel terkecil pada ukuran 100 mesh dengan fraksi volume terbesar yaitu 50% mempunyai kekuatan impact tertinggi sebesar $4,25 \text{ kJ/m}^2$. Dengan demikian disimpulkan bahwa kandungan dan ukuran partikel cangkang telur ayam memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan impact komposit polyester. Komposit dengan kandungan partikel cangkang telur ayam yang lebih tinggi dan berukuran lebih kecil cenderung memiliki kekuatan impact lebih tinggi daripada komposit partikel dengan kandungan yang lebih rendah dan ukuran yang lebih besar. Penting diingat bahwa penelitian ini adalah kontribusi awal dalam memahami topik ini, dan penelitian lanjutan diperlukan untuk memvalidasi temuan ini dalam berbagai kondisi dan aplikasi

Ucapan Terima Kasih

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana dan Laboratorium Uji Alat dan Mesin Pascapanen Balai Besar Pengujian dan Standar Instrumen Mekanisasi Pertanian atas fasilitas dan bantuan teknis yang berharga dalam menjalankan eksperimen dan pengumpulan data untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Gay, D., 2015, "Composite Materials Design and Applications," 3rd Edit. Boca Raton: CRC Press.
- [2] Chanda A. and Callaway C., 2018, "Tissue Anisotropy Modeling Using Soft Composite Materials," *Applied Bionics and Biomechanics*, vol. 2018, ID: 4838157, 2018, doi: 10.1155/2018/4838157
- [3] Fitri, M., Mahzan, S., Hidayat, I., Nurato, 2021, "The effect of coconut coir fiber powder content and hardener weight fractions on mechanical properties of an epr-174 epoxy resin composite," *Sinergi*, 25(3), 361-370.
- [4] Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Thyavihalli Girijappa, Y. G., Rangappa, S. M., Siengchin, S., 2022, "Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview," *Journal of Natural Fibers*, 19(11), 4132-4147.
- [5] Girijappa, Y. G. T., Rangappa, S. M., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S., 2020, "Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive," *Biodegradable Matrices and Composites*.
- [6] Owuamanam, S., Cree, D., 2020, "Progress of bio-calcium carbonate waste eggshell and seashell fillers in polymer composites: a review," *Journal of Composites Science*, 4(2), 70.
- [7] Boronat, T., Fombuena, V., Garcia-Sanoguera, D., Sanchez-Nacher, L., Balart, R., 2015, "Development of a biocomposite based on green polyethylene biopolymer and eggshell," *Materials & Design*, 68, 177-185.
- [8] Setiyawan, A. I., Karimy, M. F., Erwinda, Z., 2021, "Karakteristik Mikro Struktur Dan Komposisi Cangkang Telur Unggas Domestikasi Dengan Menggunakan SEM Dan XRF", In Prosiding Seminar Nasional Teknologi Agribisnis Peternakan (STAP) (Vol. 8, pp. 490-496).
- [9] Kumar, K. V., Pavendhan, R., Subramanian, G. G. R., Loganathan, T. G., 2020, "Effect of bio waste (conch shell) particle dispersion on the performance of GFRP composite," *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 7123-7135.
- [10] Shehu, U., Aponbiede, O., Ause, T., Obiodunukwe, E. F., 2014, "Effect of particle size on the properties of polyester/palm kernel shell (PKS) particulate composites," *J. Mater. Environ. Sci*, 5(2), 366-373.
- [11] Sarmin, S. N., Jawaid, M., Zaki, S. A., Ali, M. R., Fouad, H., Khiari, R., 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*, 1-13.
- [12] Nayak, S. Y., Srinivas Shenoy, H., Sharma, P., Aman, I., Dey, S., 2015, "Use of egg shell particulate as fillers in e-glass/epoxy composites," In Proceedings of international conference on mechanical engineering and industrial automation (pp. 21-25).
- [13] Irnawan, D., Karomah, B., 2019, "Kajian Ukuran Serbuk Komposit Limbah Cangkang Telur Terhadap Ketangguhan Impact," *Jurnal Arsitektur GRID*, 1(2).
- [14] Kumar, B. A., Saminathan, R., Tharwan, M., Vigneshwaran, M., Babu, P. S., Ram, S., Kumar, P. M., 2022, "Study on the mechanical properties of a hybrid polymer composite using egg shell powder based bio-filler," *Materials Today: Proceedings*, 69, 679-683.
- [15] Isnelia, N., 2011, "Multivariat Analisis Varians Berdistribusi Normal dengan Percobaan Faktorial," Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara.
- [16] Nurhidayat, A., Wijoyo, W., & Irnawan, D., 2022, "Kajian Variasi Sebuk Kelapa Komposit Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Mekanik," *Jurnal Teknosains Kodepena*, 3(1), 1-8.

- [17] ISO 179.,1993. “*Plastics–Determination of Charpy Impact Strength*”. International Organisation for Standardisation (ISO).
- [18] Fitri, M., Mahzan, S., Hidayat, I., & Nurato, N.,2021, ”The effect of coconut coir fiber powder content and hardener weight fractions on mechanical properties of an epr-174 epoxy resin composite,”*Sinergi*, 25(3), 361-370.
- [19] Sunardi, S., Fawaid, M., & Chumaidi, M.,2016,”Pemanfaatan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat papan partikel dengan variasi fraksi volume serat,”*Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 2(1)
- [20] Daulay, S. A., Wirathama, F., 2014,”Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Terhadap Sifat Kekuatan Bentur Komposit Epoksi Berpengisi Serat Daun Nanas,”*Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(3), 13-17.
- [21] Siraj, S., Al-Marzouqi, A. H., Iqbal, M. Z., Ahmed, W., 2022,” Impact of micro silica filler particle size on mechanical properties of polymeric nbased composite material”. *Polymers*, 14(22), 4830. 2022.
- [22] Setiawan, A., Savetlana, S., Ibrahim, G. A.,2013”Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Fly Ash Terhadap Kekuatan Impact Bahan Komposit Bermatriks Epoxy,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(4).