

Pengaruh Fraksi Volume dan Perlakuan Kalsinasi terhadap Sifat Mekanik Komposit Epoxy–Silicone Rubber Berpenguat Partikel Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*)

Hendri Hestiawan, Roni Firnando Simanungkalit, A. Sofwan F. Alqap

Program Studi Teknik Mesin Universitas Bengkulu

Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Bengkulu

*) Email : hestiawan@unib.ac.id

Abstrak. Limbah cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*) banyak ditemukan di wilayah pesisir dan umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fraksi volume partikel, perlakuan kalsinasi, serta variasi matriks epoxy–silicone rubber terhadap sifat mekanik komposit berpenguat partikel cangkang kerang mutiara. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode hand lay-up, menggunakan variasi fraksi volume 20% dan 30%, serta perbandingan matriks 80% epoxy, 70% epoxy, 40% epoxy–40% silicone rubber, dan 35% epoxy–35% silicone rubber. Perlakuan kalsinasi dilakukan pada suhu 500 °C selama 40 menit. Pengujian mekanik meliputi uji impak (ASTM D5942-96) dan uji tarik (ASTM D638-04). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume hingga 30% serta perlakuan kalsinasi mampu meningkatkan sifat mekanik komposit. Nilai kekuatan impak tertinggi sebesar 45,27 kJ/m² diperoleh pada spesimen 35% epoxy–35% silicone rubber dengan kalsinasi, sedangkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 37,09 MPa diperoleh pada komposisi 70% epoxy dengan perlakuan kalsinasi. Penambahan silicone rubber meningkatkan ketangguhan (impact strength) komposit, sementara dominasi epoxy mempertahankan kekuatan tarik. Temuan ini menunjukkan potensi limbah cangkang kerang mutiara sebagai bahan penguat alami untuk aplikasi komposit polimer ramah lingkungan.K.

Kata kunci: komposit, cangkang kerang mutiara, kalsinasi, fraksi volume, epoxy, silicone rubber.

1 Pendahuluan

Limbah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang masih menjadi tantangan serius di berbagai wilayah, terutama di kawasan pesisir. Salah satu limbah yang jumlahnya melimpah namun belum termanfaatkan secara optimal adalah limbah cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*). Selama ini, cangkang kerang mutiara umumnya hanya digunakan sebagai bahan kerajinan tangan, padahal kandungan utamanya berupa kalsium karbonat (CaCO₃) dengan struktur kristal aragonit dan kalsit

memiliki potensi besar sebagai bahan penguat (reinforcement) dalam pembuatan material komposit [1].

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan penyusun yang berbeda sifat fisik maupun kimianya, yaitu matriks dan penguat, yang apabila digabungkan akan menghasilkan material baru dengan karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan masing-masing bahan tunggalnya [2]. Keunggulan utama material komposit meliputi densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, serta biaya produksi yang relatif rendah dibandingkan material logam [3]. Dengan berkembangnya teknologi material, pemanfaatan limbah organik sebagai penguat komposit semakin banyak dikaji, baik untuk tujuan ekonomi, ekologis, maupun keberlanjutan lingkungan.

Cangkang kerang mutiara memiliki kandungan CaCO_3 lebih dari 95% yang berpotensi meningkatkan kekakuan dan kekuatan mekanik komposit [4]. Namun demikian, sifat rapuh material ini memerlukan kombinasi matriks yang memiliki elastisitas tinggi agar diperoleh material yang tangguh. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penggunaan campuran resin epoxy dan silicone rubber sebagai matriks. Resin epoxy dikenal memiliki kekuatan adhesi dan kekakuan yang tinggi, sementara silicone rubber memiliki elastisitas yang baik sehingga dapat meningkatkan ketangguhan dan ketahanan terhadap beban kejut [5], [6].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume partikel penguat dapat memperbaiki sifat mekanik komposit, terutama pada nilai kekuatan tarik dan impak [7], [8]. Selain itu, perlakuan panas atau kalsinasi terhadap partikel penguat dapat mengubah struktur kristal CaCO_3 menjadi CaO , yang berkontribusi pada peningkatan ikatan antar partikel dan matriks [9]. Namun, masih sedikit penelitian yang membahas secara spesifik pengaruh fraksi volume partikel cangkang kerang mutiara dan kombinasi matriks epoxy-silicone rubber terhadap karakteristik mekanik komposit.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fraksi volume partikel dan perlakuan kalsinasi cangkang kerang mutiara terhadap sifat mekanik komposit dengan matriks epoxy-silicone rubber. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material komposit ramah lingkungan berbasis limbah biomineral laut yang memiliki potensi aplikasi pada sektor otomotif dan industri manufaktur ringan.

2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*), resin epoxy, dan silicone rubber. Cangkang kerang mutiara berfungsi sebagai bahan penguat (reinforcement), sementara resin epoxy digunakan

sebagai matriks utama dan silicone rubber sebagai bahan tambahan matriks untuk meningkatkan elastisitas serta ketangguhan komposit. Resin epoxy dipilih karena memiliki kekuatan adhesi dan kekakuan tinggi, sedangkan silicone rubber memiliki kemampuan deformasi yang baik dan tahan terhadap beban kejut.

Cangkang kerang mutiara diperoleh dari daerah pesisir Bengkulu. Sebelum digunakan, cangkang dibersihkan dengan air untuk menghilangkan kotoran dan sisa jaringan organik, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 24 jam. Setelah kering, cangkang dihancurkan menggunakan hammer mill hingga menjadi butiran kecil dan dilanjutkan dengan proses penghalusan menggunakan ball mill sampai diperoleh partikel halus. Serbuk hasil penggilingan disaring menggunakan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.

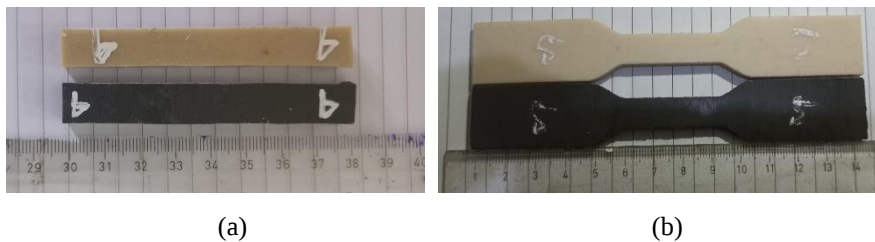
Sebagian serbuk diberi perlakuan kalsinasi pada suhu 500 °C selama 40 menit menggunakan furnace, sedangkan sebagian lainnya tidak diberi perlakuan panas sebagai pembanding. Tujuan kalsinasi adalah untuk menghilangkan kadar air, mengurangi kotoran, dan mengubah sebagian senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) menjadi kalsium oksida (CaO) yang memiliki reaktivitas lebih tinggi dan memperkuat ikatan antar partikel dengan matriks. Semua bahan kemudian disiapkan sesuai variasi komposisi yang telah direncanakan.



Gambar 1. Material penelitian yang digunakan dalam pembuatan komposit, terdiri atas cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*) sebagai bahan penguat, resin epoxy sebagai matriks utama, dan silicone rubber sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan elastisitas serta ketangguhan material..

2.2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode experimental laboratory melalui proses pembuatan komposit berpenguat partikel dengan teknik hand lay-up. Teknik ini dipilih karena sederhana, efisien, dan memungkinkan kontrol terhadap variasi komposisi bahan. Variasi fraksi volume partikel penguat yang digunakan adalah 20% dan 30%. Komposisi campuran matriks yang digunakan terdiri dari beberapa perbandingan, yaitu 80% epoxy, 70% epoxy, 40% epoxy–40% silicone rubber, dan 35% epoxy–35% silicone rubber.



Gambar 2. Spesimen (a) Uji Impak ; (b) Uji Tarik

Proses pencampuran dilakukan dengan mengaduk bahan penguat cangkang kerang mutiara ke dalam matriks epoxy dan silicone rubber hingga diperoleh campuran yang homogen. Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan logam sesuai ukuran standar pengujian mekanik. Proses curing dilakukan pada suhu ruang selama 24 jam untuk memastikan pengerasan sempurna sebelum spesimen dilepaskan dari cetakan.

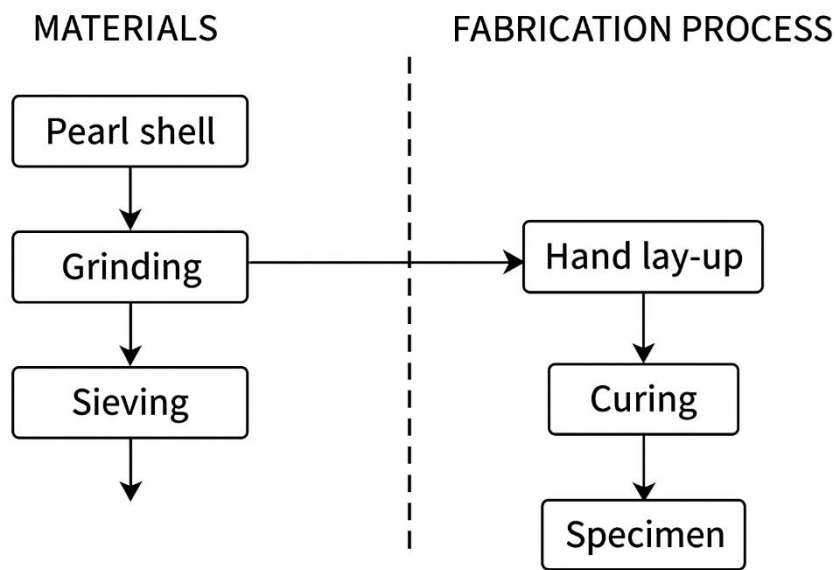
Uji mekanik yang dilakukan meliputi uji impact dan uji tarik. Pengujian impact dilakukan sesuai standar ASTM D5942-96 untuk mengukur kemampuan material dalam menyerap energi benturan, sedangkan pengujian tarik mengacu pada ASTM D638-04 untuk menentukan kekuatan tarik maksimum dan elastisitas material. Setiap variasi komposisi diuji sebanyak tiga spesimen untuk mendapatkan nilai rata-rata yang representatif. Hasil pengujian kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan pengaruh fraksi volume, perbandingan matriks, dan perlakuan kalsinasi terhadap sifat mekanik komposit. Selanjutnya, data dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi kecenderungan peningkatan atau penurunan sifat mekanik yang terjadi.

2.3. Proses Fabrikasi

Proses fabrikasi komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up. Partikel cangkang kerang mutiara yang telah dibersihkan dan dikeringkan dihancurkan, digiling, dan diayak menggunakan saringan 100 mesh. Sebagian partikel diberi perlakuan kalsinasi pada suhu 500 °C selama 40 menit, sedangkan sebagian lainnya tanpa perlakuan panas sebagai pembanding. Resin epoxy dan silicone rubber dicampur sesuai variasi komposisi (80%, 70%, 40%–40%, dan 35%–35%) kemudian ditambahkan partikel

cangkang kerang mutiara dengan fraksi volume 20% dan 30%. Campuran diaduk hingga homogen dan dituangkan ke dalam cetakan baja yang telah dilapisi release agent.

Proses curing dilakukan pada suhu ruang selama 24 jam hingga komposit mengeras sempurna. Spesimen hasil cetakan kemudian dipotong sesuai standar ASTM D638-04 untuk uji tarik dan ASTM D5942-96 untuk uji impak. Setiap variasi komposisi diuji tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif.



Gambar 3. Diagram Alir

2.5. Metoda Pengujian

Metoda pengujian pada penelitian ini meliputi dua jenis pengujian mekanik, yaitu uji impak dan uji tarik, yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume partikel, komposisi matriks, serta perlakuan kalsinasi terhadap kekuatan mekanik komposit ber-penguat partikel cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*).

Uji impak dilakukan mengacu pada standar ASTM D5942-96 dengan menggunakan alat impact tester tipe Charpy. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketangguhan material terhadap beban benturan. Energi benturan yang diserap dicatat dan dibagi dengan luas penampang spesimen pada titik patah untuk memperoleh nilai kekuatan impak (kJ/m^2).

Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM D638-04 dengan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) untuk menentukan kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas komposit. Spesimen ditarik secara aksial dengan kecepatan konstan hingga

mengalami kegagalan (putus), dan nilai gaya maksimum direkam untuk menghitung kekuatan tarik (MPa).

Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi komposisi, baik pada kondisi tanpa kalsinasi maupun dengan kalsinasi. Nilai rata-rata dari setiap hasil pengujian digunakan sebagai dasar analisis terhadap pengaruh variabel penelitian.

Tabel 1. Standar dan Parameter Pengujian Mekanik Komposit

Jenis Pengujian	Standar ASTM	Alat yang Digunakan	Parameter yang Diukur	Satuan	Jumlah Spesi- men per Variasi
Uji Impak	ASTM D5942-96	<i>Impact Tester</i> (Tipe Charpy)	Energi serap benturan	kJ/m ²	3
Uji Tarik	ASTM D638-04	<i>Universal Testing Machine</i>	Kekuatan tarik maksimum	MPa	3

3 Hasil dan Pembahasan

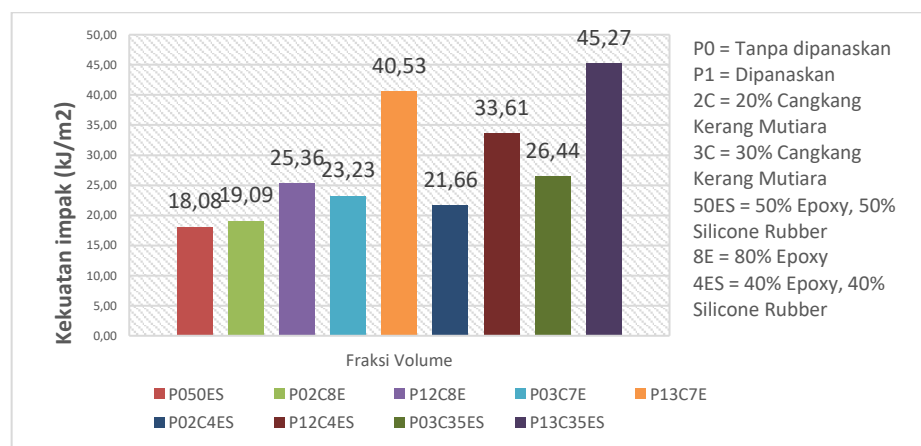
3.1. Hasil Uji Impak

Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume partikel cangkang kerang mutiara dan perlakuan kalsinasi berpengaruh signifikan terhadap kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan. Nilai kekuatan impak komposit meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume partikel penguat dari 20% menjadi 30%. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya partikel penguat yang berperan dalam menahan propagasi retak selama proses pembebanan.

Pada spesimen dengan perlakuan kalsinasi, nilai kekuatan impak tertinggi dicapai pada komposisi 35% epoxy dan 35% silicone rubber dengan fraksi volume 30%, yaitu sebesar 45,27 kJ/m². Sementara itu, nilai kekuatan impak terendah diperoleh pada komposisi 80% epoxy tanpa perlakuan kalsinasi dengan fraksi volume 20%, yaitu sebesar 19,09 kJ/m². Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan kalsinasi pada partikel cangkang mampu meningkatkan daya ikat antara partikel dengan matriks, karena proses pemanasan pada suhu 500 °C mengubah sebagian senyawa CaCO₃ menjadi CaO yang memiliki daya rekat lebih baik terhadap resin epoxy [1].

Selain itu, kombinasi penggunaan silicone rubber sebagai matriks tambahan berperan penting dalam meningkatkan nilai ketangguhan (impact toughness) komposit. Silicone rubber bersifat elastis dan mampu mendistribusikan tegangan secara merata saat material menerima beban kejut. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan kemampuan material dalam menyerap energi benturan dibandingkan dengan komposit bermatriks epoxy murni. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Sujana dan Widi [2], yang melaporkan bahwa penambahan silicone rubber hingga 30% volume mampu meningkatkan ketangguhan produk polimer hingga lebih dari 50%.

Peningkatan kekuatan impact pada komposit dengan fraksi volume 30% juga dikaitkan dengan distribusi partikel yang lebih merata serta adanya interaksi mekanis yang baik antara matriks dan partikel penguat. Semakin banyak partikel yang tersebar seragam dalam matriks akan mengurangi terjadinya rongga udara (void), sehingga energi benturan dapat terserap lebih efisien.



Gambar 4. Hasil Pengujian Impact

3.2. Hasil Uji Tarik

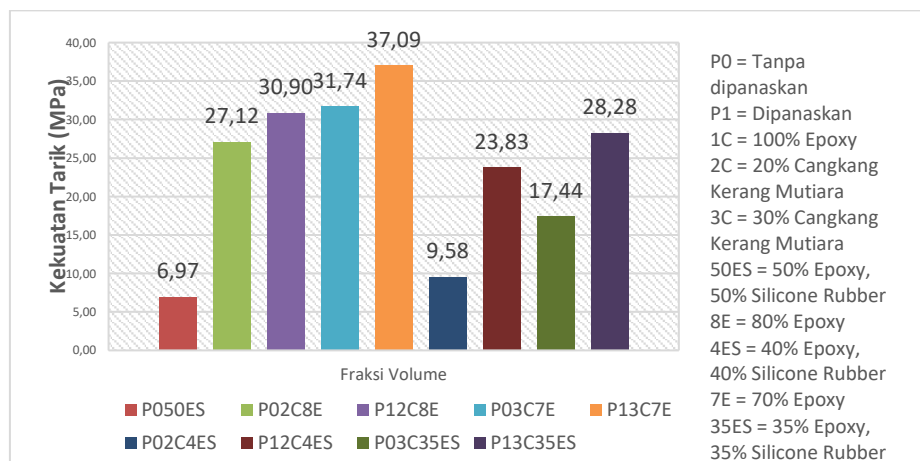
Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume partikel cangkang kerang mutiara dan variasi komposisi matriks memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan tarik komposit. Secara umum, peningkatan fraksi volume partikel hingga 30% menyebabkan kenaikan nilai kekuatan tarik, namun pada beberapa komposisi dengan kadar silicone rubber tinggi, terjadi sedikit penurunan kekuatan tarik.

Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan komposisi 70% epoxy dan fraksi volume partikel 30% dengan perlakuan kalsinasi, yaitu sebesar 37,09 MPa. Sebaliknya, nilai kekuatan tarik terendah dicapai pada komposisi 40% epoxy – 40% silicone rubber tanpa perlakuan kalsinasi pada fraksi volume 20%, dengan nilai 9,58 MPa. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh elastisitas silicone rubber yang menurunkan kekakuan material, sehingga kemampuan menahan beban tarik menjadi lebih rendah.

Hasil ini konsisten dengan penelitian Dwiki [3], yang menyatakan bahwa penambahan bahan karet ke dalam komposit dapat menurunkan nilai kekuatan tarik karena terbentuknya ruang kosong antar molekul dan lemahnya ikatan antar fasa. Namun, penurunan tersebut diimbangi oleh peningkatan ketangguhan dan fleksibilitas material, yang berguna untuk aplikasi yang membutuhkan daya serap energi tinggi, seperti komponen otomotif.

Perlakuan kalsinasi terbukti meningkatkan kekuatan tarik material secara signifikan. Proses ini memperbaiki karakteristik partikel penguat dengan menghilangkan air dan kotoran organik, serta meningkatkan interaksi adhesi antar fasa. Menurut Akhmad dkk. [4], partikel hasil kalsinasi memiliki pori-pori yang lebih kecil dan lebih reaktif, sehingga mampu berikatan lebih baik dengan matriks epoxy.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan fraksi volume hingga 30% dan perlakuan kalsinasi merupakan kombinasi optimal untuk memperoleh kekuatan tarik dan ketangguhan impact terbaik. Komposisi dengan epoxy dominan menghasilkan kekuatan tarik tinggi, sementara komposisi dengan tambahan silicone rubber memberikan ketangguhan yang lebih baik.



Gambar 5. Hasil Pengujian Tarik

3.3 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian

Perbandingan hasil uji impact dan tarik menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara kekuatan tarik dan ketangguhan impact. Spesimen dengan kandungan epoxy tinggi memiliki kekuatan tarik lebih besar namun ketangguhan impact yang lebih rendah, sedangkan spesimen dengan tambahan silicone rubber menunjukkan peningkatan ketangguhan impact tetapi penurunan kekuatan tarik.

Fenomena ini menunjukkan adanya kompromi antara kekakuan dan elastisitas pada komposit hibrida. Matriks epoxy memberikan kontribusi terhadap kekuatan dan kekakuan, sedangkan silicone rubber memberikan kontribusi terhadap kemampuan deformasi plastis saat menerima beban kejut. Oleh karena itu, rasio campuran 35% epoxy dan 35% silicone rubber dengan fraksi volume 30% partikel penguat dianggap sebagai kondisi paling optimal, di mana kedua sifat mekanik tersebut mencapai keseimbangan yang baik.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian (Impaks & Tarik)

Kode spesimen	Fraksi vol. partikel	Komposisi matriks (epoxy : SR)	Kalsinasi	Kekuatan impak (kJ/m ²)	Kekuatan tarik (MPa)
P02C8E	20%	80% epoxy : 0% SR	Tidak	19,09	27,12
P02C4ES	20%	40% epoxy : 40% SR	Tidak	21,66	9,58
P12C8E	20%	80% epoxy : 0% SR	Ya	25,38	30,90
P12C4ES	20%	40% epoxy : 40% SR	Ya	33,61	23,83
P03C7E	30%	70% epoxy : 0% SR	Tidak	23,23	17,44
P03C35ES	30%	35% epoxy : 35% SR	Tidak	26,44	23,83*
P13C7E	30%	70% epoxy : 0% SR	Ya	40,53	37,09
P13C35ES	30%	35% epoxy : 35% SR	Ya	45,27	28,28
P01C (ref)	—	100% epoxy (tanpa penguat)	—	148,28†	—
Epoxy+SR (ref)	—	epoxy + silicone (tanpa penguat)	—	18,08†	—

Pengaruh fraksi volume: Secara umum fraksi partikel yang lebih tinggi (30% vs 20%) cenderung meningkatkan nilai impak dan (pada kondisi tertentu) juga kekuatan tarik, menunjukkan kontribusi penguat partikel terhadap penyerapan energi dan kekuatan komposit.

Pengaruh kalsinasi: Perlakuan kalsinasi (500 °C, 40 menit) meningkatkan kedua sifat mekanik pada hampir semua komposisi — diduga karena peningkatan kemurnian/reaktivitas permukaan partikel sehingga adhesi partikel–matriks membaik.

Perbandingan epoxy vs epoxy+SR: Penambahan silicone rubber meningkatkan ketangguhan (impak) namun cenderung menurunkan kekuatan tarik dibandingkan matriks epoxy dominan. Hal ini terlihat mis. P13C35ES (impak tertinggi 45,27 kJ/m²) tetapi kekuatan tarik tertinggi ditunjukkan oleh P13C7E (37,09 MPa) yang dominan epoxy.

Catatan validitas data: Beberapa angka di naskah (mis. nilai impak untuk P01C = 148,28 kJ/m²) tampak tidak konsisten secara relatif — saya sarankan untuk meninjau kembali tabel hasil mentah (raw data) dan unit pengukuran untuk memastikan tidak ada salah ketik atau unit yang tercampur.

4 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa limbah cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*) memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit polimer yang ramah lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume partikel hingga 30% mampu meningkatkan sifat mekanik komposit, baik pada kekuatan tarik maupun ketangguhan impak. Perlakuan kalsinasi pada suhu 500 °C selama 40 menit juga memberikan efek positif terhadap peningkatan daya ikat antara partikel dengan matriks, sehingga menghasilkan struktur komposit yang lebih homogen dan kuat. Komposisi matriks berpengaruh nyata terhadap perilaku mekanik material; matriks dengan dominasi resin epoxy menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, sedangkan penambahan silicone rubber meningkatkan kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan. Nilai kekuatan impak tertinggi dicapai pada komposisi 35% epoxy dan 35% silicone rubber dengan fraksi volume partikel 30%, yaitu sebesar 45,27 kJ/m², sedangkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 37,09 MPa diperoleh pada komposisi 70% epoxy dengan perlakuan kalsinasi. Dengan demikian, kombinasi antara resin epoxy, silicone rubber, dan partikel cangkang kerang mutiara hasil kalsinasi terbukti mampu menghasilkan komposit yang kuat, tangguh, dan ekonomis. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah cangkang kerang mutiara berpotensi dikembangkan sebagai bahan penguat alami untuk aplikasi pada industri otomotif, peralatan rumah tangga, maupun produk rekayasa ringan lainnya.

References

1. M. Muhajir, A. Mizar, dan S. Agus, "Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak," *J. Pendidikan Teknik Mesin*, Universitas Negeri Malang, 2016.
2. N. Nayiroh, *Teknologi Material Komposit*, Jakarta: Tidak diterbitkan, n.d.
3. P. C. Southgate dan J. S. Lucas, *The Pearl Oyster*, Oxford, UK: Elsevier, 2008.
4. G. S. Kusuma, "Sifat Mekanik Komposit Partikel Cangkang Kerang Darah Bermatriks Polyester dengan Komposisi Fraksi Volume Penguat 5%, 15%, dan 25%," *Thesis*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, 2018.
5. T. Addriyanus dan H. Halimatuddahlia, "Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Kulit Kerang Darah terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Bentur Komposit Epoxy-PS," *J. Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 4, pp. 8–12, 2015.
6. W. Sujana dan I. K. A. Widi, "Pemanfaatan *Silicone Rubber* untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal," *Teknik Mesin*, ITN Malang, 2014.
7. J. Berthelot, *Composite Materials – Mechanical Behavior and Structural Analysis*, Singapore: Springer, 1997.
8. B. M. Deya'a, F. M. Hussein, dan I. G. Dway, "Studying the Impact Strength of Epoxy with TiO_2 and MgO_2 Composite," *Engineering and Technology Journal*, vol. 29, no. 10, 2011.
9. I. G. N. R. W. dan I. K. A. Widi, "Analisa Uji Tarik dan Uji Impak Komposit Penguat Karbon, Campuran Epoxy–Karet Silikon 30%, 40%, 50%, Rami, Anyaman Kawat Matrik Epoxy," *Fakultas Teknik Industri*, ITN Malang, 2014.
10. A. Haryati, S. Anis, dan M. S. Wibowo, "Ekstraksi Kalsium Karbonat (CaCO_3) dari Bahan Dasar Cangkang Kerang Ale-ale (*Meretrix meretrix*) pada Temperatur Kalsinasi 500°C ," *FMIPA*, Universitas Tanjungpura, 2019.
11. M. Olivia dan R. Oktaviani, "Properties of Concrete Containing Ground Waste Cockle and Clam Seashells," *Riau University Journal of Civil Engineering*, 2017.
12. M. S. Nehemia, "Sifat Mekanik Komposit Partikel Cangkang Kerang Darah Bermatriks Polyester dengan Komposisi Fraksi Volume Pengisi 10%, 20%, dan 30%," *Skripsi*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, 2017.
13. H. O. Dwiki, "Studi Sifat Mekanik dan Ketahanan Termal Komposit Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Serbuk Karet Ban Bekas Sebagai Alternatif *Green Aggregate* untuk Chip Seal Pavement," *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
14. K. Akhmad, M. Nizar, S. Rijal, R. Bagas, dan W. Setyarsih, "Studi Pengaruh Variasi Suhu Kalsinasi terhadap Kekerasan, Bentuk Morfologi, dan Analisis Porositas Nanokomposit CaO/SiO_2 untuk Aplikasi Bahan Biomaterial," *FMIPA Fisika*, Universitas Negeri Surabaya, 2014.