

Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang

Achmad Jusuf Zulfikar^{1*}, Din Aswan A. Ritonga², Siswo Pranoto³, Fadly A. Kurniawan Nasution⁴, Zainal Arif⁵, Junaidi⁶

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan

^{2,6)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Harapan Medan, Medan

³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Pekanbaru, Riau

⁴⁾ Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan

⁵⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Langsa, Aceh Timur

*Email: zulfikar@staff.uma.ac.id

ABSTRACT

In recent decades, the development of composite material technology has continued to increase rapidly and has been used for various applications as an alternative material to replace metal. In line with growing environmental issues, the utilization of natural materials which are abundant in nature and easy to find is the main priority for composite building materials. In this study, shell powder was used as a reinforcing material for epoxy polymer composites. The aims of this study were to obtain the average compressive, tensile, and flexural strength of shell powder-reinforced polymer composite materials, to calculate the distribution of test results using the PDF method, and to calculate the contribution of shell powder to the mechanical properties mentioned using the ANOVA method. The tensile, compressive, and flexural test specimens follow the test specimen standards of ASTM D638, ASTM D7264, and ASTM D695 respectively. The composition of shell powder consists of 10%, 30%, and 50%. Testing of these mechanical properties using a UTM-type hydraulic test equipment model WEW-300D with a capacity of 300 kN. The test results show an increase in the mechanical properties of the material. The increase occurred in compressive and flexural strength where the composition was given up to 30% and 50%, namely between 120 – 125 MPa. However, increasing the composition of shell powder at 30% and 50% actually resulted in a decrease in tensile strength between 12 – 9 MPa. Finally, based on the results of ANOVA analysis, it was shown that the addition of shell powder as a reinforcement for polymer composites significantly improved their mechanical properties.

Keywords: Mechanical Strength of Materials, Materials of Polymer Composites, Shell Powder, Analysis of ANOVA

PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade, bahan komposit telah berkembang pesat dan memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi bahan. Bahan ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan-bahan lain, antara lain: bobot yang lebih ringan, mudah dibentuk, biaya produksi yang lebih murah, dan tahan terhadap arus listrik [1]–[3]. Selain itu, proses pencampuran bahan-bahan penyusunnya yang relatif lebih mudah menyebabkan bahan ini terus mengalami perkembangan dengan variasi-variasi dari bahan-bahan sintetik dan alami [4]–[6]. Dalam studi ini, penyelidikan bahan komposit polimer dengan bahan pengisi dari serbuk kulit kerang menjadi suatu tantangan tersendiri dimana tidak semua bahan polimer dapat menyatu dengan baik dengan bahan-bahan yang mengandung kapur seperti kulit kerang. Dengan demikian, studi ini berpotensi besar dalam mengembangkan dan menaikkan nilai jual kulit kerang yang tersedia cukup melimpah di wilayah pantai.

Ketika dua atau lebih bahan dengan fase yang berbeda dicampur atau dicampur dalam pengaturan industri untuk membuat bahan baru, elemen komponen masih mendominasi sifat mekanik produk akhir [7]–[9]. Komponen ini terdiri dari matriks cair dan serat/penguat padat. Serat berfungsi sebagai dasar kekuatan bahan komposit, dan matriks berfungsi sebagai pengikat dan penguat serat [10]. Dalam penelitian ini, resin epoksi termoset berfungsi sebagai matriks dan

serbuk cangkang sebagai penguat. Karena tidak beracun dan aman bagi lingkungan dan penggunaannya, resin ini dipilih.

Kerang merupakan salah satu biota yang sering dijumpai di perairan Indonesia. Di lautan Asia Tenggara, Asia Timur, dan Australia, kima ini (anadara antiquata) adalah sejenis kima yang biasanya mudah ditemukan di lumpur berpasir pada kedalaman 5–50 meter [11]. Bentuk cangkang biasanya simetris bila dipasangkan dengan mantel yang terdiri dari daun telinga atau lobus. Otot lapisan mantel, yang banyak, menahan mantel ke cangkang kerang. Fungsi mantel luar adalah untuk mengumpulkan kristal kalsit atau kapur dan menghilangkan bahan organik dari cangkangnya. Seiring bertambahnya usia, kerang mengembangkan cangkang yang lebih tebal. Kerang mengandung mineral seperti kalsium, silika, besi, magnesium, dan aluminium, menurut Kalesaran et al. (2018). Tabel 1 menampilkan susunan komponen mineral.

Tabel 1. Komposisi bahan kimia dalam kulit kerang [11]

Senyawa	Persentase (% wt)
CaO	66,70
SiO ₂	7,88
Fe ₂ O ₃	0,03
MgO	22,28
Al ₂ O ₃	1,25

Nilai tegangan tertinggi yang dapat ditolerir oleh luas penampang A terkecil spesimen selama pengujian dalam satuan luas dikenal sebagai kuat tekan [12]–[14]. Pada batang uji yang merupakan komponen yang akan memikul beban F kemudian mengalami perubahan panjang atau dimensi, dilakukan uji tekan. Persamaan (1) digunakan untuk menghitung kuat tekan S.

$$S = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Pada dasarnya, kekuatan tarik suatu bahan terjadi akibat beban tarik yang arahnya keluar dari batang uji pada suatu luas penampang batang A. Oleh karena itu, kekuatan tarik bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) juga. Perbedaan arah pada masing-masing pembebanan menyebabkan pola kerusakan yang berbeda pada spesimen uji. Pada kondisi tekan, spesimen cenderung mengalami kegagalan akibat gaya geser. Sedangkan pada kondisi pembebanan tarik, spesimen akan mengalami kegagalan tarik dengan bentuk kerusakan yang melintang terhadap arah sumbu pembebanan [15].

Akan selalu ada perubahan dan variasi data yang diterima dari proses pengujian, meskipun item dan teknik yang identik digunakan dalam setiap percobaan atau pengujian parameter tertentu [16]. Penyebab yang tidak dapat dihindari adalah elemen lain yang dapat mengubah hasil pengukuran dan menghasilkan perbedaan ini. Interpretasi temuan tes tergantung pada variansi ini karena selalu ada perbedaan dalam data. Eksperimen acak adalah eksperimen yang, ketika dilakukan lagi, menghasilkan hasil yang berbeda secara konsisten. Ruang sampel percobaan, yang diwakili oleh huruf S, adalah himpunan semua hasil potensial. Bahkan, ruang sampel seringkali ditentukan oleh tujuan analisis [17].

Temuan data tes atau pengukuran selalu disebar (didistribusikan) untuk menciptakan fungsi distribusi tertentu. Jika penyimpangan dalam data pengujian/pengukuran tersebar dalam rentang yang cukup dekat dengan rata-rata, kumpulan data dikatakan mewakili populasi. Distribusi data semacam ini dikenal sebagai data terdistribusi secara teratur [18].

Fungsi densitas probabilitas variabel acak kontinu (PDF) menyatakan kemungkinan proporsional bahwa nilai tertentu akan ditetapkan padanya. Secara matematis, fungsi f(x) dapat digunakan untuk menentukan distribusi probabilitas data menggunakan variabel acak. Fungsi PDF digunakan dalam rekayasa untuk menggambarkan sistem fisik [19]. Rumus PDF untuk variabel acak X dibuat dengan menggunakan persamaan (2), dimana adalah rata-rata data uji, adalah standar deviasi, dan 2 adalah variasi.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Untuk hasil yang komprehensif dalam banyak pengujian faktor tunggal, lebih dari dua tingkat faktor harus diperhitungkan. Misalnya, seorang insinyur mesin mungkin ingin melihat ke dalam lima teknik pengolahan bahan yang berbeda dan memilih yang terbaik untuk disarankan untuk aktivitas di masa mendatang. Oleh karena itu, ketika terdapat lebih dari dua level dari satu komponen, *Analysis of Variance* (biasa disingkat ANOVA) dapat digunakan untuk membandingkan rata-rata [20].

Beberapa penelitian sebelumnya telah dikerjakan oleh beberapa peneliti untuk menyelidiki sifat mekanik bahan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang. Umam dkk. (2019) telah melakukan penyelidikan tentang pengaruh serbuk cangkang kerang terhadap kekuatan lentur dan tekan papan partikel dengan menggunakan variasi campuran cangkang keras dan serat kaca [21]. Nayiroh dkk. (2021) telah melakukan penyelidikan tentang kekuatan tarik bahan komposit polimer yang diperkuat serbuk cangkang kerang dengan variasi terhadap fraksi volum serbuknya [22]. Nayan dkk. (2022) telah melakukan penyelidikan tentang kekuatan tarik bahan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang dengan membandingkannya terhadap bentuk mikro strukturnya [23]. Zulfikar dkk. (2022) telah melakukan penyelidikan tentang kekuatan tekan dan lentur pipa air dari bahan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang [24].

Dalam studi ini, serbuk kulit kerang akan digunakan sebagai bahan penguat komposit epoksi. Tujuan penyelidikan ini ialah mendapatkan kekuatan tekan, tarik, dan lentur rata-rata bahan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang, menghitung distribusi data hasil uji dengan metode PDF, dan menghitung kontribusi serbuk kulit kerang terhadap sifat-sifat mekanik yang telah disebutkan dengan metode Anova.

METODE PENELITIAN

Laboratorium Riset Terpadu, Universitas Sumatera Utara menjadi lokasi penelitian ini. Bahan yang digunakan adalah serbuk cangkang yang diperoleh dari Kabupaten Batubara Provinsi Sumatera Utara. Bahan matriks resin epoksi diperoleh dari toko kimia di kota Medan Sumatera Utara. Dalam penyelidikan ini, bubuk cangkang digunakan dalam komposisi 10%, 30%, dan 50% berat. Standar uji yang digunakan untuk uji tarik, lentur, dan tekan masing-masing adalah ASTM D638, D7264, dan D695. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1, spesimen diuji menggunakan mesin uji universal (UTM) dengan kapasitas 300 kN.

Sebanyak sembilan pengujian, tiga untuk komposisi 10%, tiga untuk komposisi 30%, dan tiga lagi untuk komposisi 50%, dilakukan untuk setiap pengujian. Secara total, sembilan data uji tarik, sembilan data uji lentur, dan sembilan data uji kompresi akan dikumpulkan. Selain itu, metode PDF digunakan untuk menentukan distribusi normal dari data ini. Hasil pengujian dapat dikatakan sebagai data yang reliabel jika terbukti berdistribusi teratur, artinya hasil pengujian untuk setiap variasi mendekati nilai rata-rata. Hal ini menunjukkan bahwa diasumsikan data secara akurat mewakili data sampel.

Pendekatan ANOVA digunakan untuk menentukan apakah serbuk cangkang memberikan kontribusi terhadap kualitas mekanik, dengan target tingkat kepercayaan hingga 95% ($\alpha = 0,05$). Untuk memastikan bahwa kesalahan pembacaan data tidak terlalu signifikan berdampak pada hasil perhitungan ANOVA, kesalahan kesalahan data dievaluasi menggunakan metode data residual sebelum perhitungan ANOVA [20]. Premis awal dari penyelidikan ini adalah bahwa sifat mekanik tidak akan terpengaruh secara signifikan oleh pemberian bubuk cangkang. Jika nilai distribusi hasil ANOVA (P-value) lebih tinggi dari nilai kesalahan yang diijinkan (α), maka hipotesis ini akan ditolak [25].



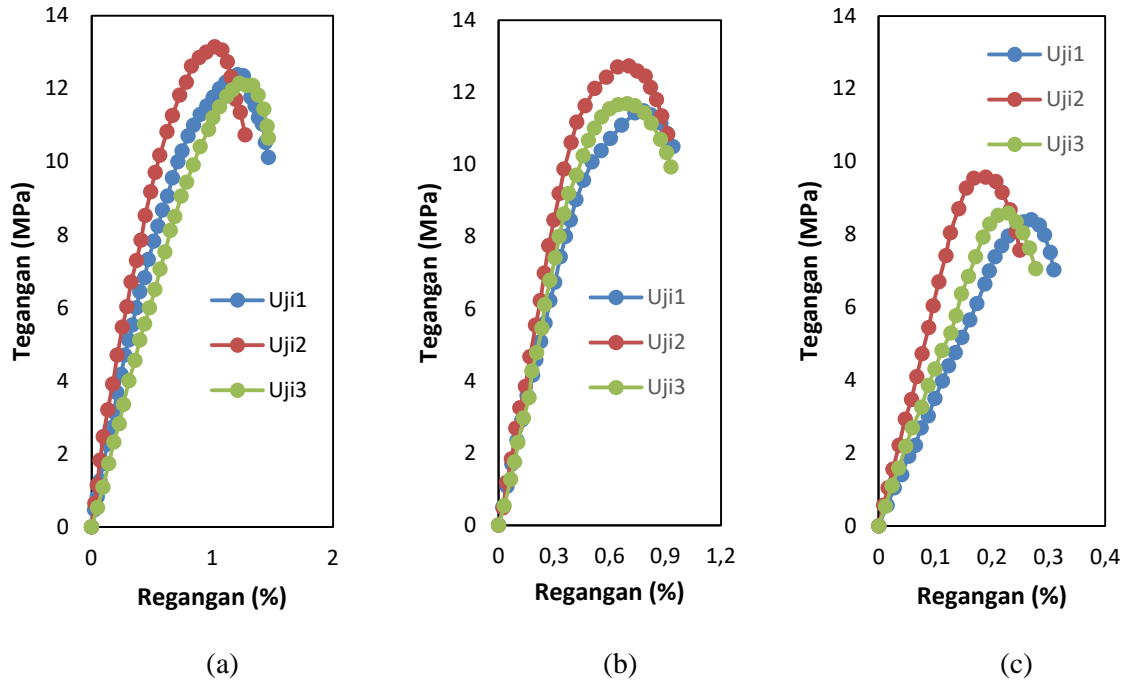
Gambar 1. Mesin uji UTM hidrolik 300 kN model WEW-300D

HASIL DAN PEMBAHASAN

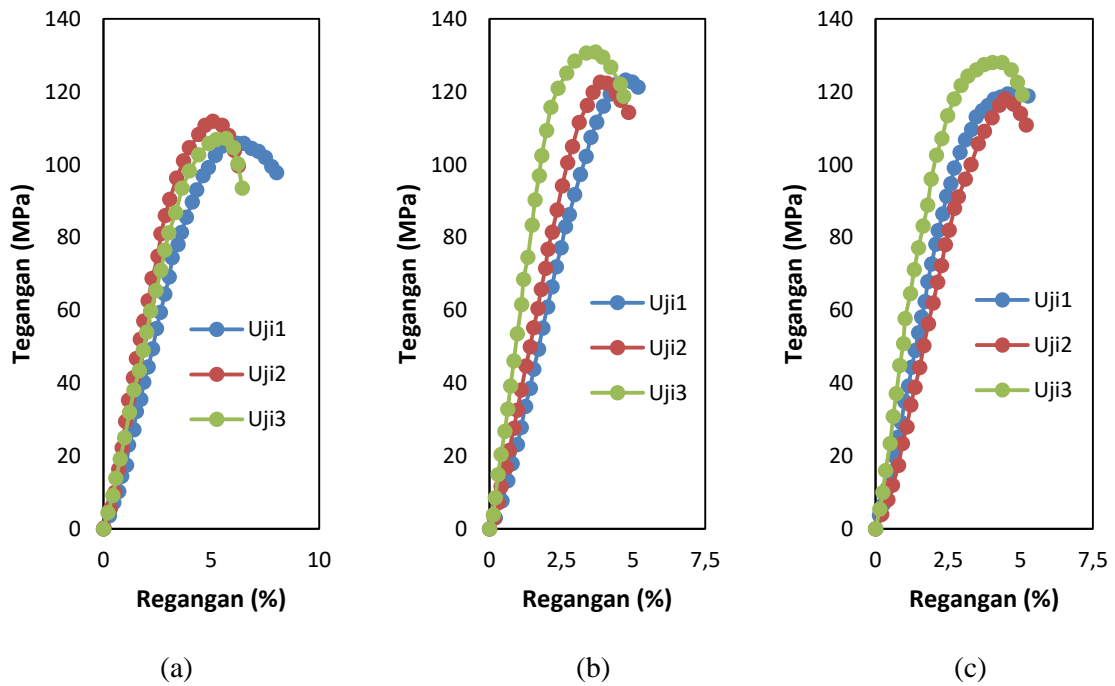
Gambar 2, 3, dan 4 menggambarkan grafik kekuatan tarik, tekan, dan lentur bahan komposit polimer yang diperkuat bubuk cangkang. Gambar 5, 6, dan 7 juga menampilkan hasil uji distribusi normalitas untuk data uji kekuatan dengan urutan tarik, tekan, dan tekuk. Grafik normalitas menunjukkan bahwa data hasil pengujian berdistribusi normal dan cukup mendekati nilai rata-rata. Oleh karena itu, berdasarkan temuan uji fungsi kepadatan probabilitas, dapat dikatakan bahwa sampel uji diwakili oleh data dari uji kuat tarik, tekan, dan lentur dalam penelitian ini. Hasilnya, data hasil tes valid untuk analisis ANOVA.

Menurut gambar 2, kekuatan tarik komposisi serbuk cangkang 10% dan 30% (gambar 2.a dan b) hampir sama dengan komposisi 50% dan lebih besar (gambar 2.c). Kekuatan tarik rata-rata adalah 12,56 MPa pada 10%, 11,96 MPa pada 30%, dan 9,18 MPa pada 50%. Selain itu, kekuatan tekan komposisi serbuk cangkang 30% dan 50% (gambar 3.b dan c) lebih tinggi daripada campuran 10% (gambar 3.a). Komposisi serbuk cangkang 10%, 30%, dan 50% memiliki kuat tekan rata-rata masing-masing sebesar 108,29 MPa, 125,56 MPa, dan 121,8 MPa. Terakhir, dibandingkan dengan komposisi 10% (Gambar 4.a), kekuatan lentur rata-rata komposisi serbuk cangkang 30% dan 50% (Gambar 4.b dan c) lebih tinggi. Komposisi serbuk cangkang 10%, 30%, dan 50% memiliki kekuatan lentur rata-rata masing-masing sebesar 33,26 MPa, 71,48 MPa, dan 84,14 MPa. Grafik kuat tekan rata-rata pada Gambar 8 mendukung hal ini.

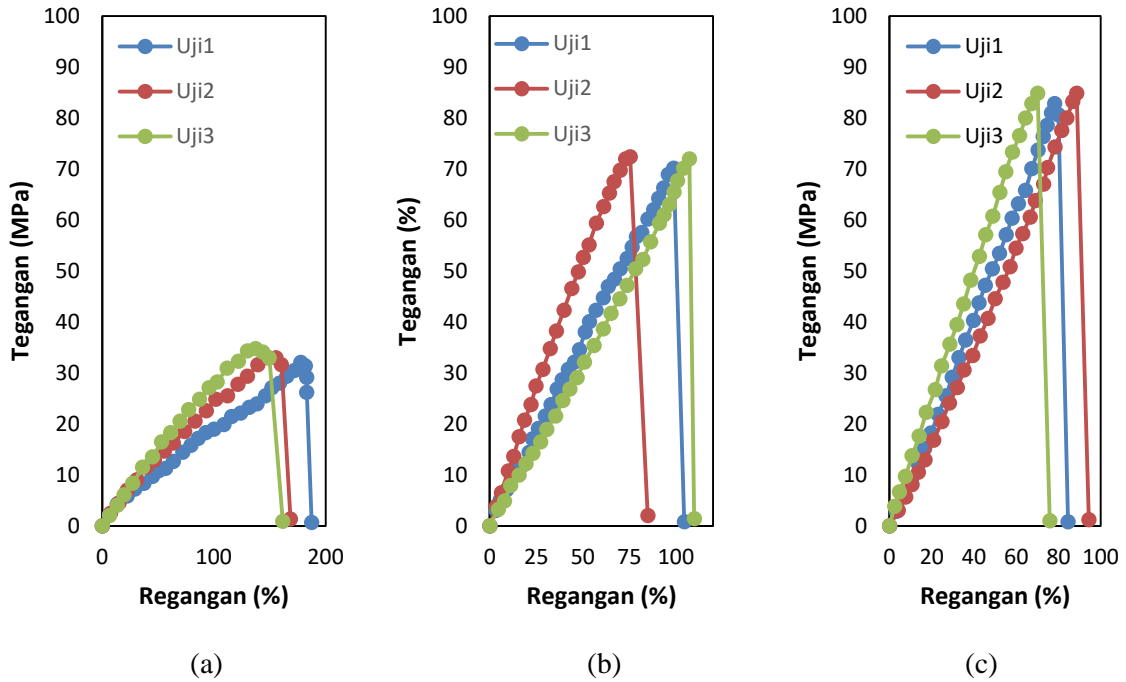
Berdasarkan gambar 8, kekuatan tekan dan lentur rata-rata bahan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang mengalami peningkatan yang berbanding lurus dengan penambahan beratnya. Sebaliknya, kekuatan tarik bahan ini justru mengalami penurunan dengan penambahan komposisi berat serbuk kerang Hal ini mengindikasikan bahwa bahan komposit jenis ini memiliki respon yang cukup baik terhadap arah pembebanan menuju benda dan juga tegak lurus terhadap sumbu pembebanan. Karakteristik mekanik ini mirip dengan bahan beton yang juga cukup baik terhadap kondisi beban tekan dan lentur, tetapi tidak memiliki respon yang baik terhadap beban tarik [3], [8].



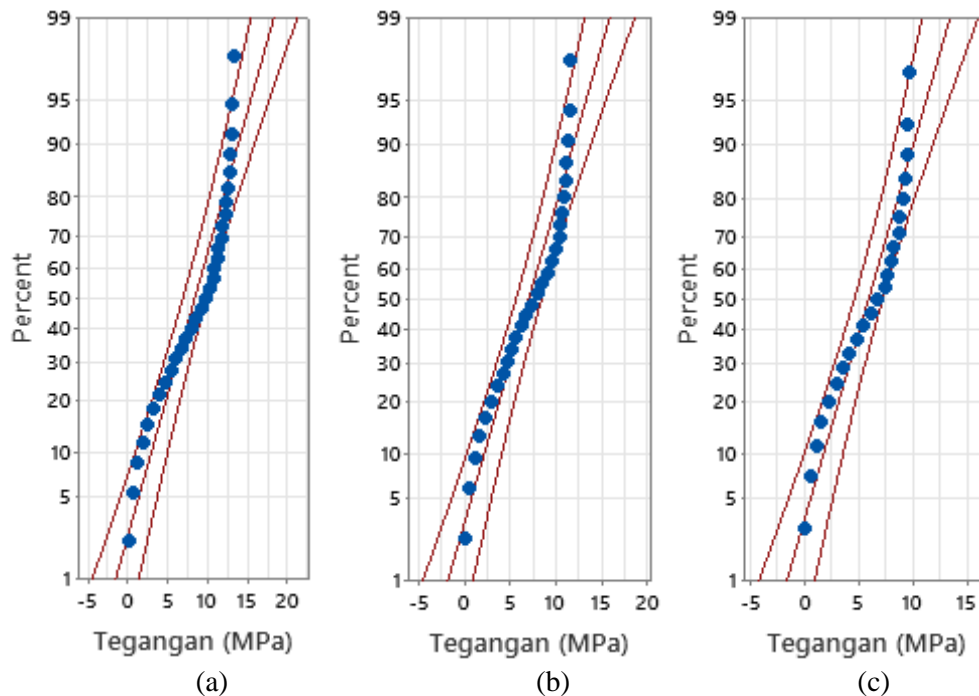
Gambar 2. Kekuatan tarik komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30% dan (c) 50%



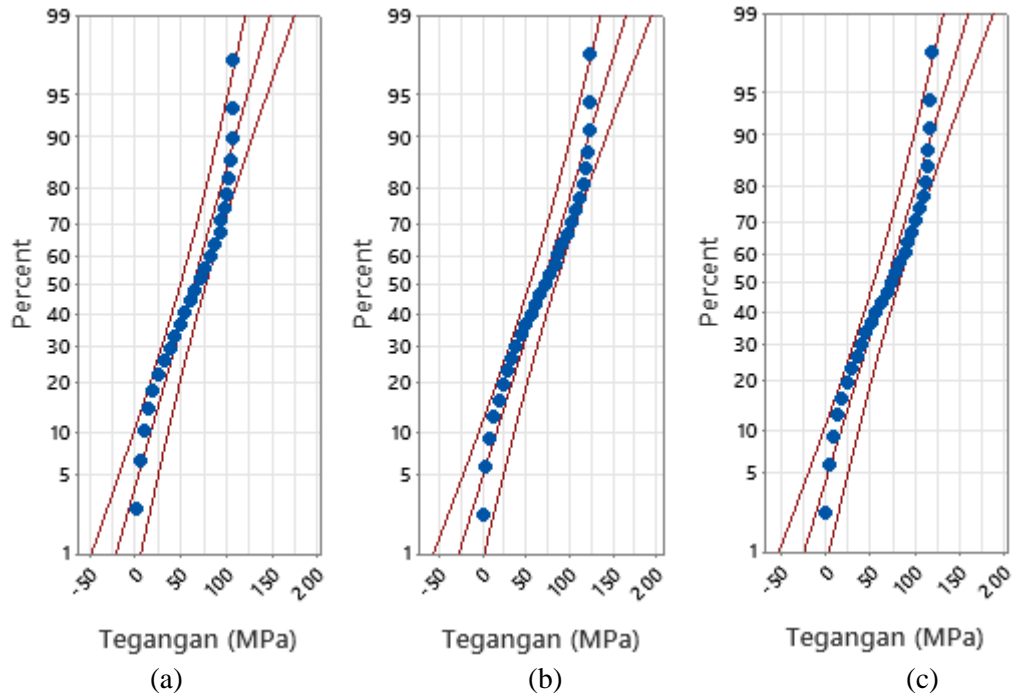
Gambar 3. Kekuatan tekan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



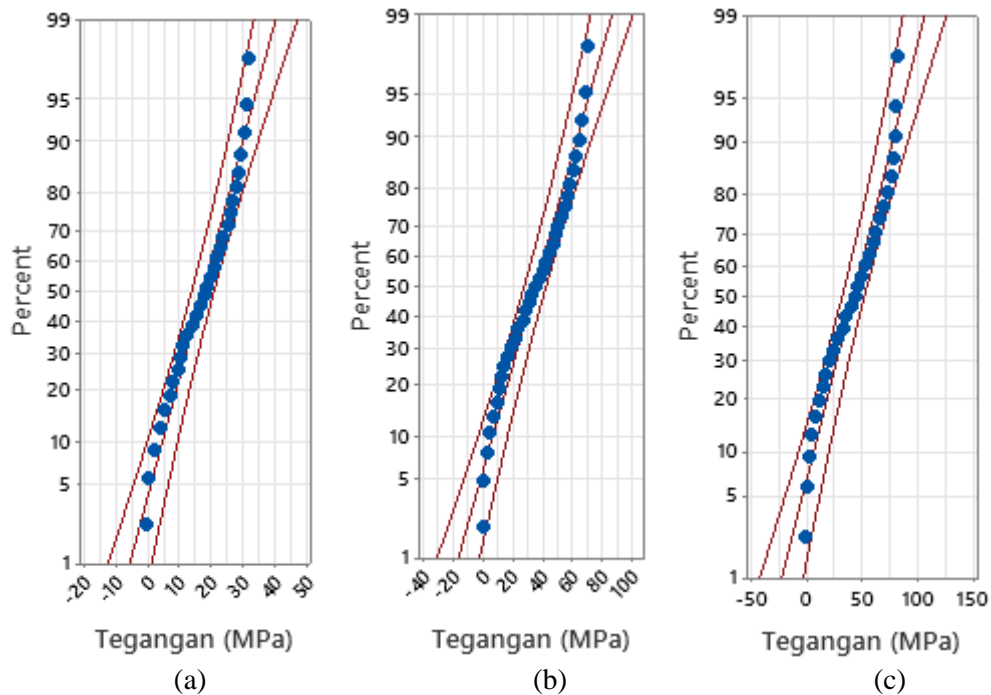
Gambar 4. Kekuatan lentur komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



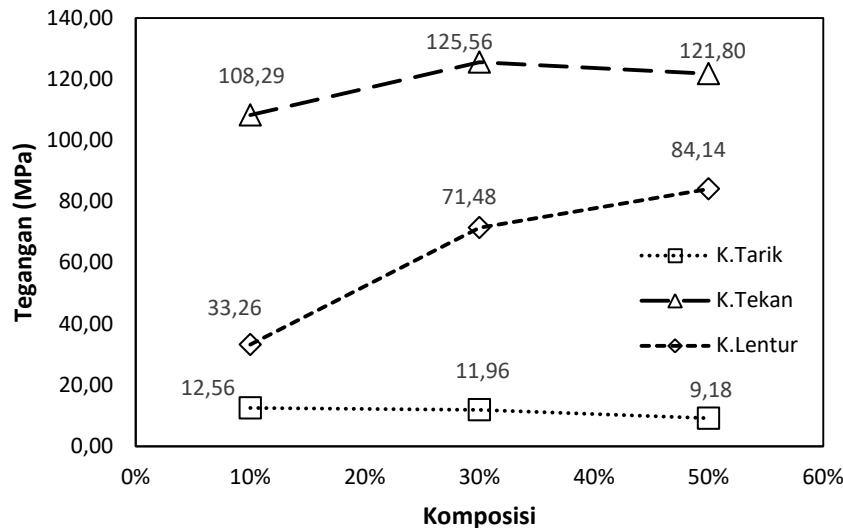
Gambar 5. Distribusi normal data hasil uji tarik komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang pada komposisi: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



Gambar 6. Distribusi normal data hasil uji tekan komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang pada komposisi: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



Gambar 7. Distribusi normal data hasil uji lentur komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang pada komposisi: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



Gambar 8. Kekuatan rata-rata komposit polimer diperkuat serbuk kulit kerang

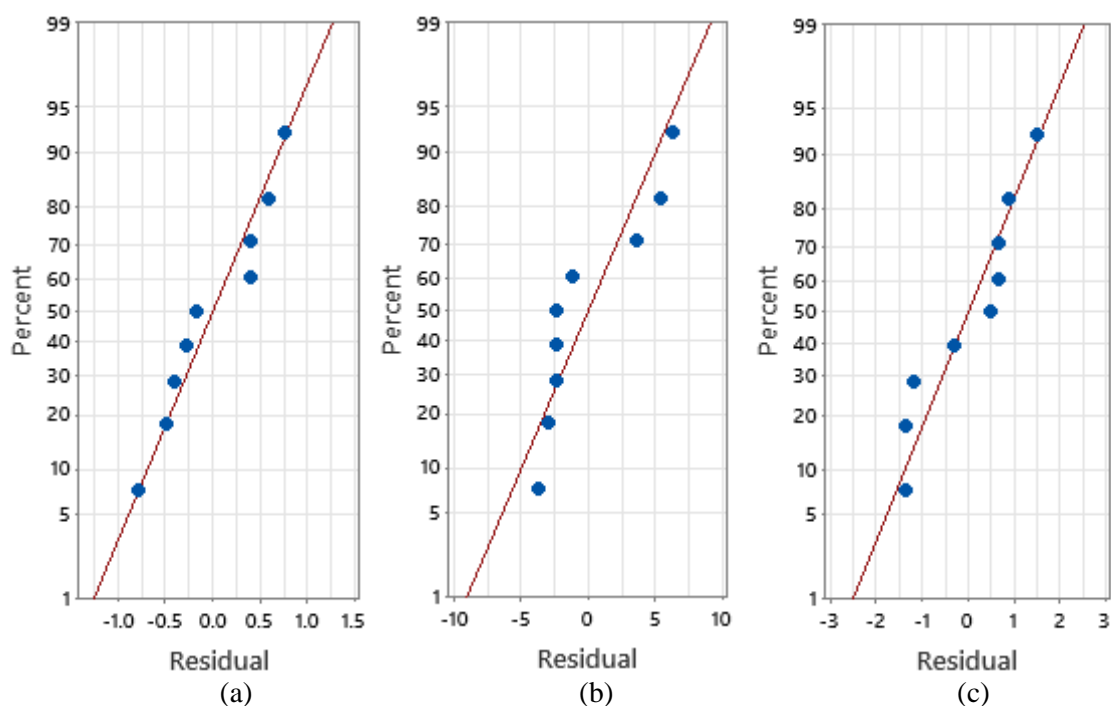
Pemberian serbuk kulit kerang sebagai bahan penguat pada jenis bahan komposit polimer terbukti meningkatkan kekuatan tekan dan lenturnya. Akan tetapi, justru semakin menurunkan kekuatan tarik bahan tersebut. Hal ini dibuktikan berdasarkan hasil pengujian tekan dan lentur yang diperlihatkan pada gambar 8. Oleh karena itu, kontribusi serbuk kerang ini terhadap kekuatan-kekuatan mekanik tersebut perlu diuji untuk mendapatkan informasi yang lebih saintifik. Dengan demikian, kontribusi serbuk kulit kerang terhadap bahan komposit polimer dapat dibuktikan.

Biasanya, penting untuk menganalisis kontribusi bahan dengan menguji dan menganalisis perubahannya untuk menentukan pengaruh dan dampak bahan berdasarkan variasinya. Oleh karena itu, metode analisis Anova digunakan dalam penyelidikan ini. Dalam situasi ini, data tegangan tarik, tekan, dan lentur diperlukan untuk menilai distribusi data hasil pengujian berdasarkan kesalahan (error) yang diperoleh pada masing-masing data. Analisis ini harus dikerjakan sebelum melakukan analisis Anova. Gambar 9 menampilkan hasil tes kesalahan tersebut.

Menurut grafik Gambar 9, kesalahan sampel uji tarik hanya 0,445%, mencakup hingga 92% dari data uji (Gambar 9.a). Juga, kesalahan kesalahan sampel uji kompresi adalah 0,223% dan mencakup hingga 92% dari data uji (gambar 9.b). Selain itu, hingga 92% dari data uji termasuk kesalahan kesalahan untuk sampel uji lentur, yaitu 0,853% secara keseluruhan (gambar 9.c). Hasil tersebut masih di bawah toleransi maksimal 2% yang diberikan. Untuk menghitung variasi dan menentukan relevansi kontribusi serbuk cangkang ke komposit polimer, hasil pengujian harus memenuhi persyaratan untuk kesalahan yang diijinkan.

Pada Tabel 2, 3, dan 4, masing-masing, hasil perhitungan ANOVA untuk uji tarik, tekan, dan tekuk ditampilkan. Fungsi probabilitas P-value ditentukan sebesar 0,001 berdasarkan Tabel 2, dengan nilai kepercayaan data hingga 95%, level, modifikasi pengujian tiga kali yaitu 10%, 30%, dan 50% serbuk cangkang, dan jumlah data uji menjadi sembilan pengulangan. Jumlah ini kurang dari kesalahan data yang diizinkan, yaitu $\alpha = 0,05$. Sebagai konsekuensinya, penggunaan serbuk cangkang terbukti memberikan kontribusi yang baik terhadap kekuatan tarik komposit polimer berdasarkan temuan perhitungan ANOVA. Selain itu, berdasarkan Tabel 3 dan tingkat kepercayaan data 95%, tingkat atau variasi pengujian berdasarkan komposisi ditetapkan 3, yaitu serbuk cangkang 10%, 30%, dan 50%, dan jumlah pengujian adalah ditetapkan pada 9 pengulangan. Ini menghasilkan nilai fungsi probabilitas. 0,008 adalah nilai-P. Jumlah ini kurang dari jumlah 0,05. Dimasukkannya bubuk cangkang sangat meningkatkan kekuatan tekan komposit polimer, menurut temuan perhitungan ANOVA. Nilai fungsi probabilitas P akhirnya ditentukan dengan menggunakan tabel 4, dengan nilai kepercayaan data 95%, kadar atau variasi pengujian berdasarkan komposisi menjadi 3, yaitu serbuk cangkang 10%, 30%, dan 50%. dan jumlah ulangan sebanyak 9 kali. sama dengan 11×10^{-9} . Jumlah ini kurang dari $\alpha = 0,05$. Dimasukkannya bubuk

cangkang sangat meningkatkan kekuatan lentur komposit polimer, menurut temuan perhitungan ANOVA.



Gambar 9. Distribusi error data sampel hasil uji: (a) tarik, (b) tekan, dan (c) lentur

Tabel 2. Hasil Anova untuk data uji tarik

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Komposisi	2	19.473	9.7365	24.88	0.001
Error	6	2.348	0.3914		
Total	8	21.821			

Tabel 3. Hasil Anova untuk data uji tekan

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Komposisi	2	494.6	247.32	12.19	0.008
Error	6	121.7	20.29		
Total	8	616.4			

Tabel 4. Hasil Anova untuk data uji lentur

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Komposisi	2	4210.39	2105.20	1347.58	0.00000011
Error	6	9.37	1.56		
Total	8	4219.76			

Temuan dari analisis saat ini berbeda dari studi oleh Nayan et al. (2022), yang menggunakan serbuk cangkang 200 mesh sebagai bahan penguat. Menurut temuan penyelidikan ini, kekuatan tarik maksimum ditemukan terjadi pada 103 MPa, atau variasi komposisi 40% berat serbuk cangkang [23]. Temuan analisis ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Nayiroh et al (2021). Berdasarkan temuan pengujian tersebut, diketahui bahwa perbedaan komposisi 40% berat serbuk cangkang atau 39,77 MPa juga menyebabkan terjadinya kuat tarik maksimum [22]. Namun, temuan analisis ini menguatkan studi yang dilakukan oleh Umam et al (2019). Berdasarkan temuan pengujian tersebut, diketahui bahwa material komposit dengan tulangan serbuk cangkang memiliki

kekuatan tekan dan lentur yang lebih tinggi, mencapai kekuatan maksimum sebesar 48,35 MPa dan 11,27 MPa pada komposisi 30% [21].

KESIMPULAN

Kekuatan rata-rata ditentukan untuk setiap variasi komposisi sebagai berikut: untuk kekuatan tarik pada komposisi 10%, 30%, dan 50% ditentukan kekuatan rata-rata masing-masing sebesar 12,56 MPa, 11,96 MPa, dan 9,18 MPa. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, tekan, dan lentur material komposit polimer bertulang cangkang serbuk. Kekuatan rata-rata adalah 108,29 MPa, 125,56 MPa, dan 121,8 MPa untuk kuat tekan komposisi masing-masing 10%, 30%, dan 50%. Kekuatan rata-rata komposisi 10%, 30%, dan 50% masing-masing adalah 33,26 MPa, 71,48 MPa, dan 84,14 MPa untuk kekuatan lentur. Hasil pengujian tarik, tekan, dan lentur berdistribusi normal yaitu tersebar pada daerah $\mu - \sigma \leq x \leq \mu + \sigma$ yang ditunjukkan dengan sebaran data pada Gambar 5, 6, dan 7. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai hasil tes cukup mendekati nilai rata-rata. Akibatnya, nilai hasil tes dianggap valid dan diambil untuk mencerminkan data sampel. Dimasukkannya serbuk cangkang sangat meningkatkan kekuatan tarik, tekan, dan lentur material komposit polimer, seperti yang ditunjukkan oleh hasil perhitungan Anova, dimana nilai signifikansinya cukup tinggi dan kesalahan data yang dihasilkan kurang dari 5%. Dengan demikian, penambahan komposisi serbuk kulit kerang pada bahan komposit polimer dapat menyebabkan perubahan sifat-sifat mekaniknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Penelitian Terpadu, Universitas Sumatera Utara dan Laboratorium Material Teknik, Universitas Medan Area atas fasilitas dan dukungannya dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. S. Kumar. and K. V. Allamraju., “Experimental study and characterization of glass, jute & sisal fiber reinforced polymer matrix composites,” *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 941–948, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.003.
- [2] D. A. Siregar and A. J. Zulfikar, “Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 20–25, 2022.
- [3] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, “Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova,” *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022.
- [4] W. Ouarhim, H. Essabir, M. O. Bensalah, D. Rodrigue, R. Bouhfid, and A. el kacem Qaiss, “Hybrid composites and intra-ply hybrid composites based on jute and glass fibers: A comparative study on moisture absorption and mechanical properties,” *Mater. Today Commun.*, vol. 22, no. March 2019, pp. 48–57, 2020, doi: 10.1016/j.mtcomm.2019.100861.
- [5] A. T. Muzakir, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, “Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi,” *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2022.
- [6] N. Hidayat, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, “Analisis Kekuatan Tekan Struktur Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Laminat Hibrid Jute E-glass Epoksi Eksperimental dan ANOVA,” *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 37–44, 2022.
- [7] B. K. Sriranga, L. J. Kirthan, and G. Ananda, “The mechanical properties of hybrid laminates composites on epoxy resin with natural jute fiber and S-glass fibers,” in *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 46, pp. 8927–8933. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.363.
- [8] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar, and A. Ginting, “Fiber Reinforced Polymer Composite as a

- Strengthening of Concrete Structures: A Review,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1003, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012135.
- [9] Iswandi, A. B. Sulong, and T. Husaini, “Effects of Graphite/Polypropylene on the Electrical Conductivity of Manufactured Bipolar Plate,” *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 1–7, 2019.
- [10] A. J. Zulfikar and M. Y. R. Siahaan, “Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/8068>
- [11] O. J. Kalesaran, C. Lumenta, R. Rompas, and G. Mamuaya, “Komposisi mineral cangkang kerang mutiara Pinctada margaritifera di Sulawesi Utara,” *J. Budid. Perair.*, vol. 6, no. 1, pp. 25–30, 2018, doi: 10.35800/bdp.6.1.2018.24126.
- [12] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials*, 8th ed. New York: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [13] Iswandi, J. Sahari, and A. B. Sulong, “Effects of different particles sizes of graphite on the engineering properties of graphites/polypropylene composites on injection molding application,” *Key Eng. Mater.*, vol. 471–472, pp. 109–114, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109.
- [14] Iswandi, J. Sahari, A. B. Sulong, and T. Husaini, “Critical Powder Loading and Rheological Properties of Polypropylene/Graphite Composite Feedstock for Bipolar Plate Application,” *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 687–696, 2016, doi: 10.17576/mjas-2016-2003-30.
- [15] J. M. Gere, *Mechanics of Materials*, 6th ed. New York: Thomson Learning, Inc., 2017.
- [16] and G. R. D. Montgomery, *Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition Yuliarman.*, 6th ed. New York, 2017.
- [17] H. Arsham and M. Lovric, “Bartlett’s Test,” *Int. J. Stat. Syst.*, vol. 12, no. October, pp. 1–4, 2020.
- [18] N. A. Mohd Radzuan, A. B. Sulong, and Iswandi, “Effect of multi-sized graphite filler on the mechanical properties and electrical conductivity,” *Sains Malaysiana*, vol. 50, no. 7, pp. 2025–2034, 2021, doi: 10.17576/jsm-2021-5007-17.
- [19] A. Basuki, “Fungsi Kepadatan Probabilitas,” in *Statistika dan Probabilitas*, 2004, pp. 1–12.
- [20] W.-H. Chen, M. C. Uribe, E. E. Kwon, K.-Y. A. Lin, and Y.-K. Park, “A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM),” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 169, no. 1, pp. 112–123, 2022.
- [21] M. K. Umam, L. Noerochim, and S. T. Wicaksono, “Pengaruh Komposisi Filler Limbah Cangkang Kerang dan Fiberglass terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Partikel Semen,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 118–123, 2019.
- [22] N. Nayiroh and Kusairi, “Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volum Filler Terhadap Sifat Mekanik Komposit Matriks Polimer (PMC) Berpenguat Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis* L.),” *Wahana Fis.*, vol. 6, no. 1, pp. 48–58, 2021.
- [23] A. Nayan and T. Hafli, “ANALISA STRUKTUR MIKRO MATERIAL KOMPOSIT POLIMER BERPENGUAT SERBUK CANGKANG KERANG,” *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–24, 2022.
- [24] A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, A. Irwan, F. A. K. Nasution, and D. A. A. Ritonga, “Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 2, pp. 83–93, 2022.
- [25] M. Zhou, P. Wei, and L. Deng, “Research on the factorial effect of science and technology innovation (STI) policy mix using multifactor analysis of variance (ANOVA),” *J. Innov. Knowl.*, vol. 7, no. 4, pp. 100–114, 2022.