

Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang

Achmad Jusuf Zulfikar^{1*}, M. Yusuf R. Siahaan², Ade Irwan³, Fadly A. Kurniawan Nasution⁴, Din Aswan A. Ritonga⁵

^{1,2)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area

^{3,4)} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara

⁵⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Harapan Medan

Telp.(061) 7360168 Fax. (061) 7368012

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

ABSTRACT

Shellfish is one of the sources of natural wealth that is quite abundant and easy to obtain in the province of Sumatera Utara. In this study, shellfish will be used as an alternative raw material for the manufacture of water pipes. This study aims to obtain the average strength of the material against the bending and compressive loads imposed on the outer surface of the water pipe, calculate the distribution of the test result data by the Probability Density Function (PDF) method, and calculate the contribution of clamshell powder to the bending and compressive strength of the water pipe with the Anova and Tukey methods. Specimens are molded in the form of 2" water pipes according to SNI standards 06-0084-2002. Bending and pressing testing using ASTM D7264 and ASTM D695 respectively. Processing the distribution of test data using the PDF method, the calculation of variable contributions using the Anova method, and the comparison between variables with the Tukey method. The result obtained the best bending strength at a composition of 10% by weight, namely 3.3177 MPa, and the best compressive strength at a composition of 50% by weight of 4.37 MPa. Based on the calculations of the Anova and Tukey methods, the application of clamshell powder significantly affects the bending strength compared to its compressive strength, which is the composition of 10% by weight.

Keywords: Water Pipe, Composite Material, Clam Shell Powder, Bending Strength, Compressive Strength, Anova

PENDAHULUAN

Pada saat ini, dalam kehidupan sehari-hari hampir tidak ada yang tidak bersinggungan dengan pipa air yang berfungsi untuk mengalirkan atau memindahkan fluida cair baik di rumah tinggal, perkantoran, rumah sakit, pabrik, dan lain-lain. Pada umumnya, pipa air yang ditemukan dan dipergunakan oleh masyarakat ialah yang terbuat dari bahan plastik (polimer) dan logam (besi, tembaga, aluminium, dll). Sejalan dengan perkembangan Industri, bahan baku pipa air mulai mengalami berbagai kendala seperti isu lingkungan hidup, keterbatasan bahan mentah, proses produksi yang mahal, dll. Oleh karena itu, diperlukan suatu kegiatan inovasi untuk menemukan bahan alternatif yang lebih murah dan ramah lingkungan.

Kerang adalah salah satu biota yang banyak dijumpai di perairan Indonesia. Jenis kerang bulu (*anadara antiquata*) adalah jenis kerang yang banyak dijumpai yang di perairan Asia tenggara, Asia Timur hingga Australia yang umumnya mudah dijumpai dalam lumpur-lumpur berpasir pada kedalaman 5-50 meter [1]. Bentuk kulit kerang biasanya simetri bilateral yang memiliki sebuah mantel yang terdiri dari daun telinga atau cuping dan cangkang setangkep. Mantel dilekatkan ke cangkang kerang oleh sederetan otot yang menghasilkan garis pada mantel. Fungsi dari permukaan luar mantel adalah mensekresi zat organik cangkang kerang dan menimbun kristal-kristal kalsit atau kapur. Cangkang kerang menebal saat hewan semakin tua [2].

Menurut Kalesaran dkk (2018), kulit kerang mengandung bahan-bahan mineral antara lain kalsium, silika, besi, magnesium, dan aluminium [3]. Komposisi kandungan bahan-bahan mineral tersebut diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kimia kulit kerang [3]

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

Dalam dunia industri, bahan komposit berarti penggabungan atau pencampuran antara dua atau lebih bahan yang berbeda fasa yang kemudian digabung menjadi satu bahan baru, tetapi karakteristik mekaniknya masih tetap didominasi oleh bahan-bahan penyusunnya. Bahan ini terdiri dari dua fase yaitu fase cair (matriks) dan fasa padat (serat/penguat). Matriks berfungsi sebagai pengikat serat/penguat, sedangkan serat adalah tulang punggung kekuatan dari bahan komposit [4]. Dalam studi ini, resin thermoset epoksi dipergunakan sebagai matrik dan serbuk kulit kerang sebagai penguatnya. Pemilihan resin ini disebabkan bahan ini tidak beracun sehingga tidak membahayakan bagi pengguna dan lingkungan hidup.

Produksi pipa dimulai ketika manusia mulai membutuhkan suatu alat yang dapat memindahkan aliran air dari suatu tempat ketempat lainnya tanpa mengangkutnya dengan menggunakan tenaga manusia. Di kota-kota di zaman abad pertengahan digunakan kayu gelonggongan yang dilubangi yang berfungsi memenuhi kebutuhan air di kota [5]. Pada abad ke-19, penggunaan pipa dari bahan besi sudah mulai umum dipergunakan di Inggris dan Perancis. Pipa besi dari bahan besi tuang pertama sekali dibangun di Philadelphia pada tahun 1817 dan untuk kota New York pada tahun 1832. Lebih lanjut, pipa digunakan untuk mengangkut bahan bakar (minyak dan gas) dimulai di Inggris dengan menggunakan lembaran besi yang dibentuk menggunakan cetakan silinder khusus dan kemudian pada sisi-sisinya diberi sambungan las. Pada tahun 1887, di Amerika dibuatlah pipa pertama berbahan baja oleh sebuah perusahaan bernama Betlehen Steel. Pada abad ke 19, pipa seamless (tanpa cela/sambungan) dicoba untuk di produksi untuk memperbaiki performa pipa. Proses pembuatan pipa jenis ini pertama sekali dikembangkan di Jerman dengan proses yang di namakan *Mannesmann Process*. Memasuki abad ke 20, pipa seamless mulai digunakan di Inggris dan Amerika. Memasuki abad ke 20, pipa seamless mulai dibutuhkan di berbagai keperluan di berbagai belahan dunia menyusul revolusi industri yang melahirkan teknologi otomotif, pengolahan minyak, pengaliran minyak, sumur bor, serta pembangkit tenaga (boiler). Pada waktu itu konsumsi dunia terhadap produksi pipa dari bahan besi dan baja mencakup hampir 14 persen dari penggunaan baja mentah di seluruh dunia dan akan terus berkembang seiring dengan pertumbuhan industri serta meningkatkan populasi [6], [7].

Memasuki abad ke-21, untuk beberapa keperluan pengaliran fluida yang tidak memerlukan kekuatan dan suhu kerja yang cukup tinggi maka dikembangkan dan diproduksi pipa dari jenis polimer. Pipa jenis ini memiliki karakteristik fisik yang lebih ringan, mudah perawatan, dan relative lebih murah [xx]. Beberapa jenis pipa polimer yang banyak dijumpai ialah dari bahan Poly Vinyl Chloride (PVC) dan high-density polyethylene (HDPE) [8], [9]. Akan tetapi, isu lingkungan hidup dan pembatasan penggunaan produk dari bahan-bahan kimia yang berbahaya menyebabkan biaya produksi pipa dari bahan-bahan tersebut menjadi meningkat sehingga berdampak kepada harga jualnya dan ketersediaan bahan bakunya [10], [11]. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi dibidang ilmu material untuk menggunakan bahan-bahan alami yang melimpah dan mudah diperoleh seperti kulit kerang dalam proses pembuatan pipa air.

Dalam setiap percobaan ataupun pengujian terhadap suatu parameter tertentu, meskipun pengambilan data dilakukan pada objek dan prosedur yang sama, maka akan selalu ada perbedaan variasi data hasil yang diperoleh dari proses pengujian tersebut. Hal ini tidak bisa dihindari disebabkan oleh faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi hasil pengukuran sehingga variasi tersebut terjadi. Variasi data selalu ada dan berdasarkan variasi tersebut dibuat penilaian terhadap data-data hasil pengujian yang diperoleh [12], [13]. Percobaan yang menghasilkan hasil yang

Copyright©2022 Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. This is an open acces article under the CC-BY-SA licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

berbeda, meskipun diulang dengan cara yang sama setiap waktu, disebut percobaan acak (*random experiment*). Himpunan semua hasil yang mungkin dari suatu percobaan acak disebut ruang sampel (*sample space*) dari percobaan tersebut yang dilambangkan dengan S. Pada kenyataannya, ruang sampel sering ditentukan berdasarkan tujuan analisis [14].

Data hasil dari suatu pengujian/pengukuran selalu tersebar (terdistribusi) membentuk fungsi distribusi tertentu. Sekumpulan data dikatakan dapat mewakili populasinya apabila variasi data hasil pengujian/pengukuran tersebut terdistribusi dalam jangkauan yang cukup dekat dengan rata-ratanya. Distribusi data jenis ini disebut dengan data terdistribusi normal [15].

Probability Density Function (PDF) atau fungsi kepadatan probabilitas dari suatu variabel acak kontinu adalah fungsi yang menggambarkan peluang relatif untuk variabel acak ini untuk mengambil nilai yang diberikan [16]. Probabilitas distribusi data dari variabel acak dapat ditentukan secara matematis dengan menggunakan suatu fungsi $f(x)$. Fungsi PDF digunakan dalam bidang ilmu rekayasa untuk menjelaskan suatu sistem fisik. Rumus PDF pada suatu variabel acak X dihitung menggunakan persamaan (1), dimana μ ialah rata-rata data uji, σ ialah standar deviasi, dan σ^2 ialah variasi [17].

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

Banyak eksperimen faktor tunggal memerlukan lebih dari dua level faktor yang harus dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil yang lengkap [xx]. Sebagai contoh, seorang insinyur Mesin mungkin ingin menyelidiki lima metode perlakuan bahan yang berbeda dan menentukan perlakuan yang terbaik yang dapat direkomendasikan untuk aktifitas selanjutnya. Oleh karena itu, *Analysis of Variance* (sering disingkat ANOVA) dapat digunakan untuk membandingkan cara ketika ada lebih dari dua level faktor tunggal [4], [18], [19].

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan sehubungan dengan topik penelitian ini. Addriyanus dkk (2015) telah melakukan penyelidikan tentang pengaruh pemberian serbuk kulit kerang terhadap kekuatan mekanik bahan komposit. Dalam penyelidikan tersebut, serbuk kulit kerang divariasikan dalam beberapa komposisi dari 10% hingga 50% berat spesimen [20]. Saputra dkk (2017) telah melakukan penyelidikan terhadap bahan komposit yang diperkuat dengan partikel kulit kerang. Dalam penyelidikan tersebut, partikel kulit kerang divariasikan berdasarkan komposisi 10%, 20%, dan 30% dari volume spesimen [21]. Ginting dkk (2016) telah melakukan penyelidikan terhadap serat fisik bahan komposit diperkuat serbuk kulit kerang. Dalam penyelidikan tersebut, komposisi serbuk kulit kerang divariasikan dari 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% berat spesimen [22].

Dalam studi ini, serbuk kulit kerang akan digunakan sebagai bahan penguat komposit epoksi yang selanjutnya akan dicetak menjadi pipa air sesuai standar SNI 06-0084-2002. Tujuan penyelidikan ini ialah mendapatkan kekuatan rata-rata bahan terhadap beban lentur dan tekan yang dikenai ke permukaan luar pipa air, menghitung distribusi data hasil uji dengan metode PDF, dan menghitung kontribusi serbuk kulit kerang terhadap kekuatan lentur dan tekan pipa air dengan metode Anova dan Tukey.

METODE PENELITIAN

Studi ini dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Terpadu, Universitas Sumatera Utara. Bahan yang digunakan ialah serbuk kulit kerang yang diperoleh dari wilayah Kabupaten Batubara, Propinsi Sumatera Utara. Bahan matriks dari resin epoksi yang dibeli dari toko bahan kimia di kota Medan, Sumatera Utara. Komposisi yang digunakan dalam studi ini ialah 10%, 30%, dan 50% serbuk kulit kerang. Proses penyelidikan dilakukan dalam skala Laboratorium dengan menggunakan cetakan pipa 2" sesuai standar SNI 06-0084-2002. Pengujian lentur dan tekan menggunakan standar uji ASTM D7264 dan ASTM D695 secara berturut-turut. Pengujian

kekuatan spesimen tersebut menggunakan mesin uji universal (UTM) dengan kapasitas 300 kN seperti diperlihatkan pada gambar 1.

Pada masing-masing pengujian dilakukan total 9 kali pengujian dengan perincian 3 kali untuk komposisi 10%, 3 kali untuk komposisi 30%, dan 3 kali juga untuk komposisi 50%. Dengan demikian, secara keseluruhan akan diperoleh 9 data uji lentur dan 9 data uji tekan. Lebih lanjut, data-data tersebut dihitung distribusi normalitasnya dengan menggunakan metode PDF. Apabila data-data hasil uji terbukti terdistribusi secara normal, yaitu data-data hasil uji pada masing-masing variasi mendekati nilai rata-ratanya, maka data-data tersebut dapat diterima sebagai data yang valid. Artinya data-data tersebut diasumsikan mewakili dari data-data sampel.



Gambar 1. UTM jenis hidrolik model WEW-300D kapasitas 300 kN

Kontribusi serbuk kulit kerang terhadap kekuatan lentur dan tekan pipa air diuji dengan menggunakan perhitungan metode Anova dengan tingkat kepercayaan data pengujian ditargetkan hingga 95% ($\alpha = 0,05$). Sebelum dilakukan perhitungan Anova, galat error data diuji dengan menggunakan metode residual data [xx] untuk memastikan bahwa error pembacaan data tidak terlalu besar sehingga dapat mempengaruhi hasil perhitungan Anova. Hipotesis awal pada studi ini mengasumsikan bahwa pemberian serbuk kulit kerang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan pipa air. Hipotesis ini akan ditolak apabila nilai distribusi hasil Anova (P-value) lebih besar dibandingkan dengan nilai error yang diizinkan (α).

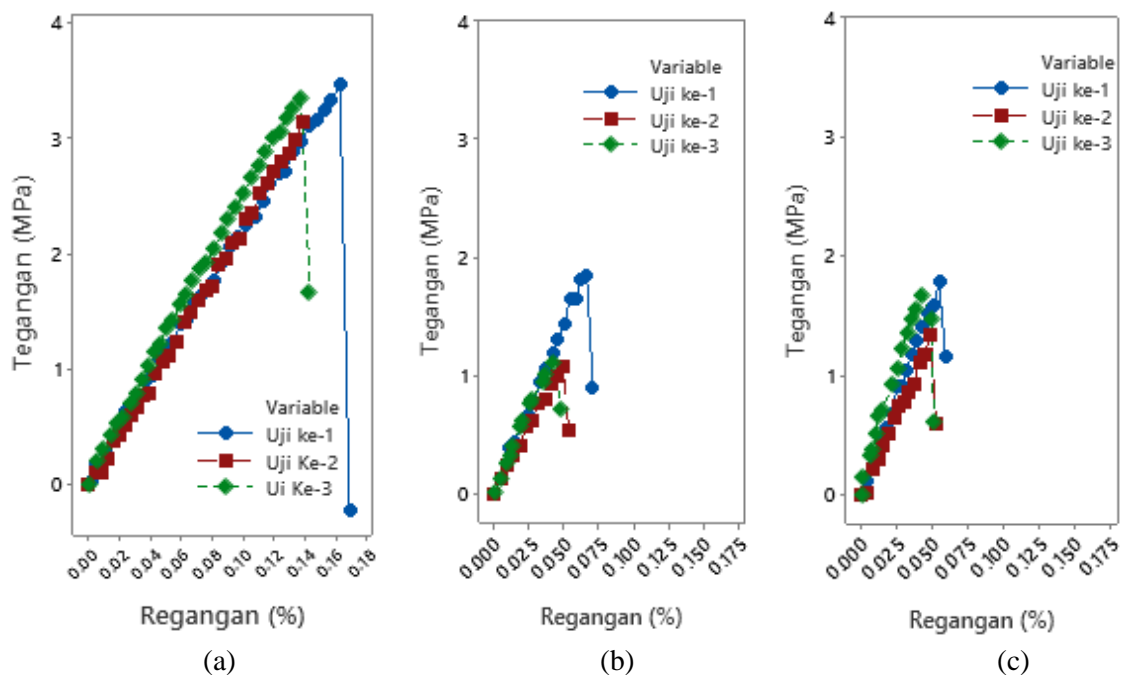
HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik kekuatan lentur dan tekan pipa air komposit dari bahan serbuk kulit kerang diperlihatkan pada gambar 2 dan 3. Hasil uji distribusi normalitas terhadap data-data hasil uji lentur dan tekan diperlihatkan pada gambar 4 dan 5. Berdasarkan grafik normalitas yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5 terlihat bahwa data-data hasil uji terdistribusi secara normal mendekati nilai rata-ratanya. Dengan demikian, data-data hasil uji baik dari pengujian kekuatan lentur maupun kekuatan tekan pada studi ini dinyatakan mewakili sampel uji berdasarkan hasil uji fungsi kerapatan probabilitas. Oleh karena itu, data-data hasil uji tersebut terbukti valid untuk analisis variasi.

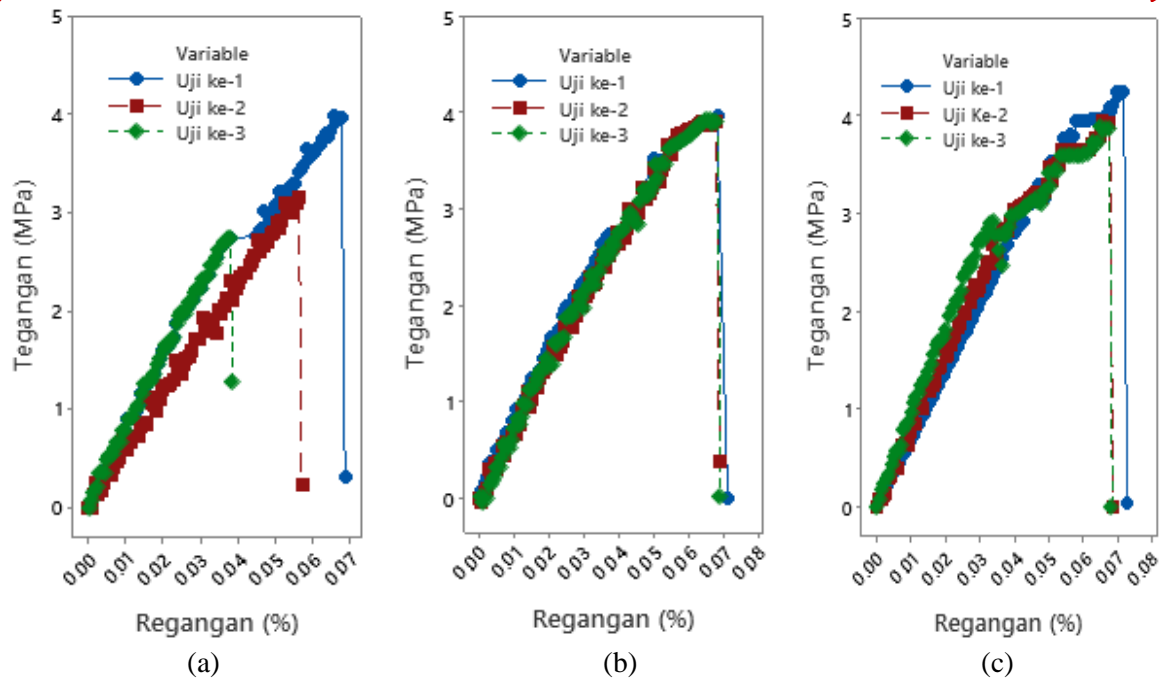
Berdasarkan gambar 2, kekuatan lentur pada komposisi serbuk kerang 10% (gambar 2.a) memperlihatkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi 30% (gambar 2.b) dan 50% (gambar 2.c). Hal ini didukung dengan grafik kekuatan lentur rata-rata yang diperlihatkan pada gambar 6. Bentuk grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa bahan komposit yang dihasilkan dengan bahan pengisi serbuk kulit kerang bersifat getas. Lebih lanjut, peningkatan

komposisi serbuk kulit kerang menyebabkan sifat bahan pipa air menjadi bertambah getas sehingga menurunkan kekuatannya. Dengan demikian, komposisi terbaik untuk pipa air dari bahan komposit serbuk kulit kerang untuk kekuatannya terjadi pada komposisi 10%.

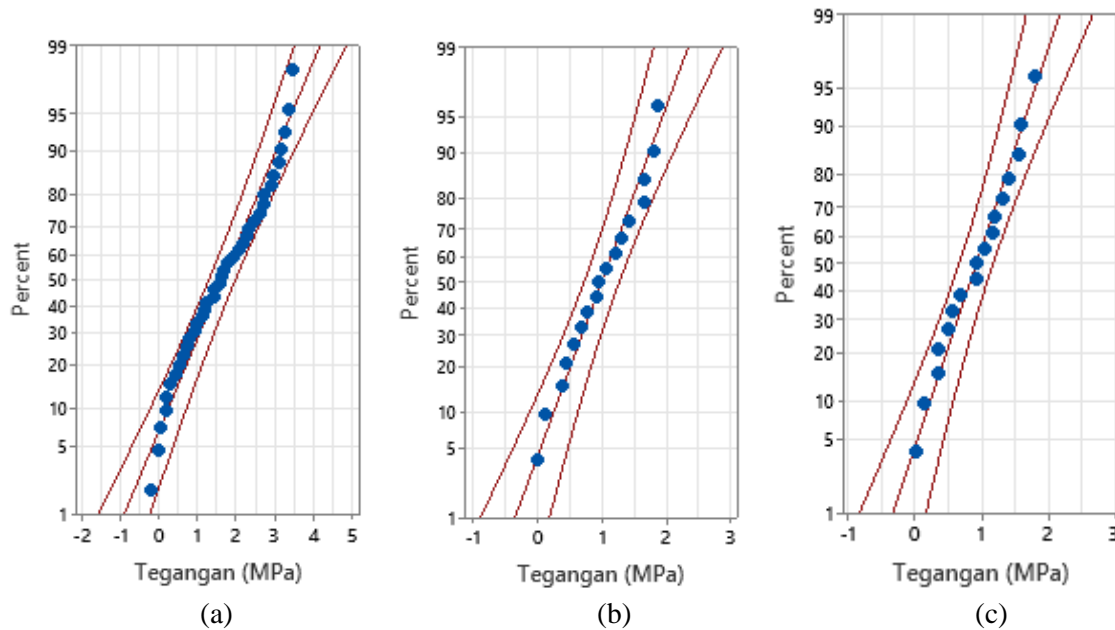
Berdasarkan gambar 3, kekuatan tekan pipa air dari bahan komposit serbuk kulit kerang tidak memperlihatkan yang cukup signifikan antara masing-masing komposisi serbuk kulit kerang dibandingkan dengan kekuatannya. Grafik pada komposisi 10% (gambar 3.a), 30% (gambar 3.b), dan 50% (gambar 3.c) menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang hampir sama pada masing-masing pengujian/perulangan. Akan tetapi, kekuatan tekan yang lebih besar dari komposisi yang lain terjadi pada komposisi serbuk kulit kerang sebesar 50% (gambar 3.c). Hal ini didukung oleh grafik kekuatan tekan rata-rata yang diperlihatkan pada gambar 6. Lebih lanjut, pada komposisi 50% jumlah serbuk kulit kerang memenuhi hampir seluruh matriks komposit sehingga meningkatkan kepadatannya. Dengan demikian, serbuk kulit kerang memberikan kekuatan yang cukup baik terhadap beban tekan.



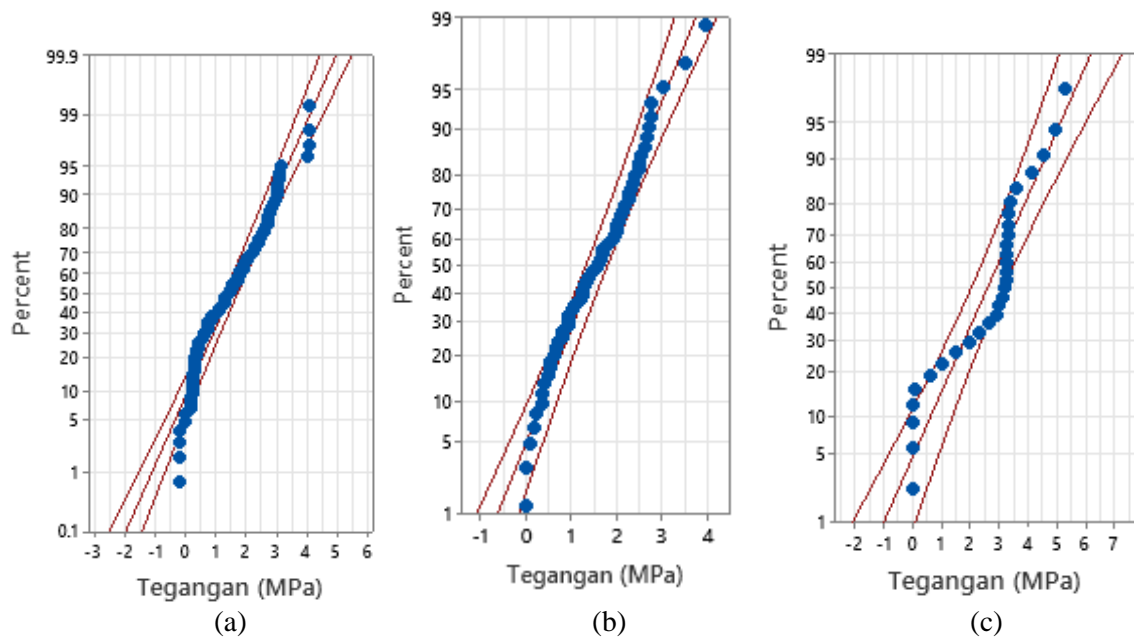
Gambar 2. Kekuatan lentur pipa air berdasarkan komposisi serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30% dan (c) 50%



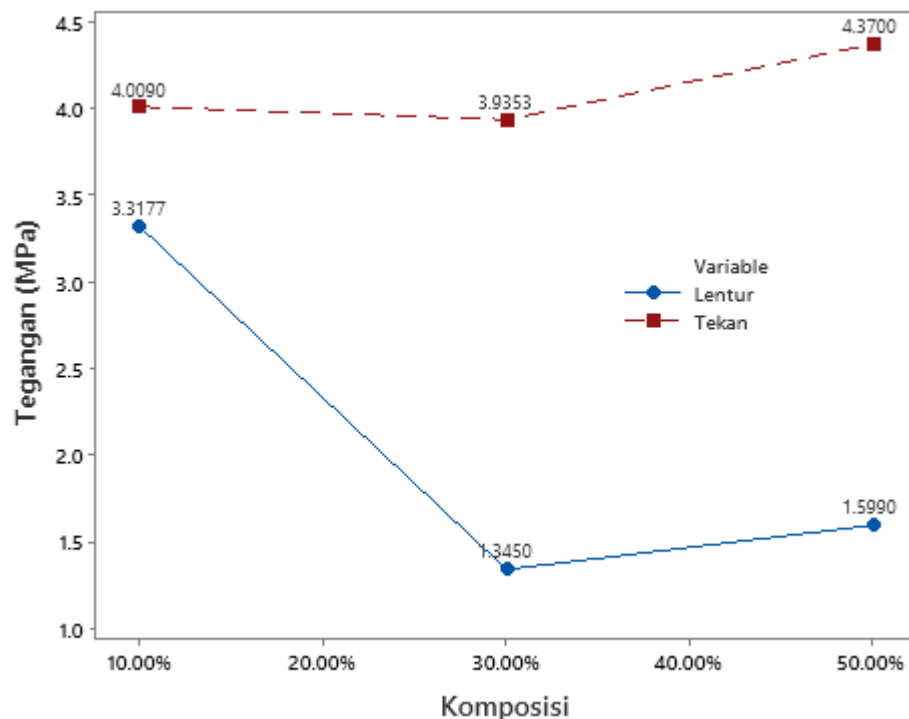
Gambar 3. Kekuatan tekan pipa air berdasarkan komposisi serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



Gambar 4. Distribusi normal data hasil uji lentur pada komposisi serbuk kulit kerang: (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%



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



Gambar 6. Kekuatan rata-rata pipa air komposit serbuk kulit kerang

Pemberian serbuk kulit kerang sebagai bahan penguat pada manufaktur pipa air dapat menjadi bahan alternatif baru pengganti bahan-bahan kimia berbahaya. Hal ini terbukti berdasarkan hasil pengujian lentur dan tekan yang telah dibahas pada alenia sebelumnya. Akan tetapi, kontribusi bahan ini terhadap kekuatan pipa air dari hasil uji lentur dan tekan yang dilakukan perlu diuji,

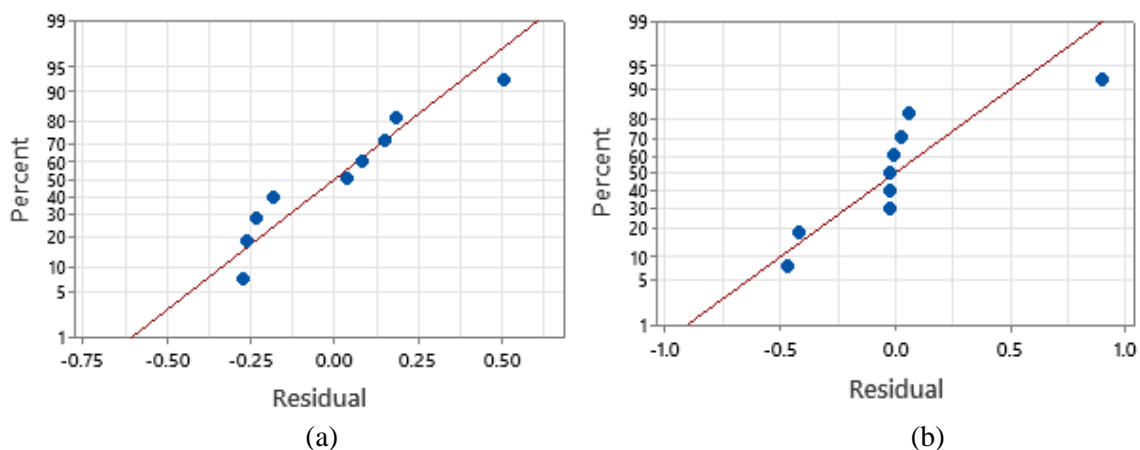
sehingga diperoleh informasi yang saintifik untuk membuktikan kontribusi serbuk kulit kerang terhadap kekuatan pipa air.

Pada umumnya, pengujian terhadap kontribusi suatu bahan untuk mengetahui pengaruh dan dampaknya terhadap karakteristik suatu bahan baru dilakukan dengan menguji variasi yang terjadi berdasarkan hasil pengujian. Pada studi ini, Analisis yang digunakan ialah metode Anova. Sebelum dilakukan Anova, perlu diuji distribusi data hasil uji berdasarkan error yang diperoleh pada masing-masing data, dalam hal ini ialah data tegangan lentur dan tekan. Hasil pengujian tersebut diperlihatkan pada gambar 7.

Berdasarkan grafik distribusi normal data uji yang ditunjukkan pada gambar 7, galat error sampel uji lentur maksimum hanya sebesar 0,5 yaitu hingga 92% dari data uji (gambar 7.a). Sedangkan pada uji tekan nilai galat error sampel maksimum 0,89 yaitu sama-sama 92% juga dari data uji (gambar 7.b). Nilai ini masih dibawah toleransi yang ditetapkan yaitu maksimum 2. Dengan demikian, data-data uji tersebut dapat dihitung nilai variasinya untuk mendapatkan signifikansi kontribusi pemberian serbuk kulit kerang pada pembuatan pipa air.

Hasil perhitungan Anova pada pengujian lentur dan tekan diperlihatkan pada tabel 2 dan 3. Berdasarkan tabel 2, pada nilai kepercayaan data hingga 95%, level atau variasi pengujian sebanyak 3 kali, yaitu 10%, 30%, dan 50% serbuk kulit kerang, dan jumlah data pengujian sebanyak 9 kali perulangan, diperoleh nilai fungsi probabilitas P-value ialah 0,000. Nilai ini lebih kecil dari error data yang diizinkan yaitu $\alpha = 0,05$. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan Anova, pemberian serbuk kulit kerang memberikan kontribusi yang baik bagi kekuatan lentur pipa air.

Berdasarkan tabel 3, pada nilai kepercayaan data mencapai 95%, level atau variasi pengujian berdasarkan komposisi sebanyak 3, yaitu 10%, 30%, dan 50% serbuk kulit kerang, dan jumlah pengujian sebanyak 9 kali perulangan, diperoleh nilai fungsi Probabilitas P-value ialah 0,491. Nilai ini lebih besar dibandingkan nilai $\alpha = 0,05$. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan Anova, pemberian serbuk kulit kerang tidak memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap kekuatan tekan pipa air.



Gambar 7. Distribusi error data sampel hasil uji: (a) lentur dan (b) tekan

Tabel 2. Hasil Anova untuk data uji lentur

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Komposisi	2	6.9079	3.45394	37.52	0.000
Error	6	0.5523	0.09205		
Total	8	7.4602			

Tabel 3. Hasil Anova untuk data uji tekan

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Komposisi	2	0.3252	0.1626	0.80	0.491

Variasi	DOF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Error	6	1.2161	0.2027		
Total	8	1.5413			

Berdasarkan hasil perhitungan Anova menunjukkan bahwa bahan komposit serbuk kulit kerang memberikan dampak yang signifikan terhadap kekuatan lentur pipa air. Lebih lanjut lagi, perhitungan perbandingan nilai rata-rata antara masing-masing komposisi serbuk kulit kerang pada masing-masing tegangan lentur dengan menggunakan metode *Tukey* diperlihatkan pada tabel 4. Berdasarkan tabel 4, nilai error data (P-value) pada perbandingan komposisi serbuk kulit kerang 30% (L30) dan 10% (L10) lebih kecil dari nilai error data yang diizinkan yaitu $\alpha = 0,05$ (5%). Nilai P-value pada perbandingan komposisi serbuk kulit kerang 50% (L50) dan L10 juga masih kecil dibandingkan dengan α . Akan tetapi, Nilai P-value pada perbandingan komposisi serbuk kulit kerang L50 dan L30 lebih besar dari nilai α . Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa komposisi terbaik terdapat pada 10% serbuk kulit kerang. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian serbuk kulit kerang pada pembuatan pipa air harus maksimum tidak boleh melebihi 10% dari berat keseluruhan spesimen.

Tabel 4. Hasil uji perbandingan komposisi metode Tukey

Perbedaan Level Komposisi	Perbedaan rata-rata	Perbedaan Error	T-Value	Adjusted P-Value
L30 - L10	-1.972	0.248	-7.96	0.001
L50 - L10	-1.718	0.248	-6.94	0.001
L50 - L30	0.254	0.248	1.03	0.589

Hasil studi yang telah dilaksanakan tersebut berbeda dengan hasil penyelidikan oleh Addriyanus dkk (2015) yang menggunakan bahan serbuk kulit kerang sebagai bahan penguatnya. Berdasarkan hasil studi tersebut diperoleh bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada variasi komposisi 30% berat serbuk kulit kerang yaitu sebesar 5,5 MPa [20]. Saputra dkk (2017) telah melakukan penyelidikan yang serupa dan hasilnya pemberian serbuk kulit kerang menurunkan kekuatan mekanik bahan hingga lebih dari 60% [21]. Ginting dkk (2016) melaporkan bahwa pemberian serbuk kulit kerang yang terlalu banyak (lebih dari 30% berat) justru akan menyebabkan penurunan sifat mekaniknya dan menyarankan pemberian bahan-bahan penguat lain untuk meningkatkan performa bahan yang dihasilkan [22]. Berdasarkan hasil studi dari beberapa peneliti sebelumnya dan dibandingkan dengan hasil studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemberian serbuk kulit kerang sebagai bahan tunggal penguat komposit tidak mampu menghasilkan bahan komposit dengan sifat mekanik yang baik. Berdasarkan hasil studi tersebut juga diperoleh bahwa diperlukan bahan lain sebagai hibrid untuk menghasilkan bahan komposit dengan sifat mekanik yang lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan lentur dan tekan terhadap pipa air dari bahan komposit serbuk kulit kerang diperoleh kekuatan rata-rata pada masing-masing variasi komposisi sbb: untuk kekuatan lentur 10%, 30%, dan 50% diperoleh kekuatan rata-rata 3,3177 MPa, 1,3450 MPa, dan 1,5990 MPa secara berturut-turut. Untuk kekuatan tekan pada variasi komposisi yang sama ialah 4,0090 MPa, 3,9353 MPa, dan 4,37 MPa secara berturut-turut. Distribusi data hasil uji lentur dan tekan seperti diperlihatkan pada gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa data-data hasil uji tersebut terdistribusi secara normal, yaitu tersebar pada daerah $\mu - \sigma \leq x \leq \mu + \sigma$. Dengan demikian, nilai hasil uji dinyatakan valid dan diasumsikan mewakili data sampel sebab nilai-nilai hasil uji mendekati nilai rata-ratanya. Berdasarkan hasil perhitungan Anova membuktikan bahwa pemberian serbuk kulit kerang efektif meningkatkan kekuatan lentur, sebab error data yang dihasilkan dibawah 5%. Sementara untuk beban tekan, hasil perhitungan Anova membuktikan bahwa pemberian serbuk

Copyright©2022 Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. This is an open acces article under the CC-BY-SA licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

kulit kerang tidak begitu signifikan bisa meningkatkan kekuatan tekannya. Berdasarkan hasil perhitungan metode Tukey, variasi komposisi yang memberikan peningkatan performa kekuatan lentur adalah pada 10% berat spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan komposisi serbuk kulit kerang menyebabkan bahan semakin getas sehingga berdampak pada penurunan kekuatan lentur dan tekannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haeruddin, D. Suprpto, and S. Rudiyantri, "Analisis Mutu Sedimen Habitat Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Reburial Test," *Indones. J. Fish. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 81–85, 2017.
- [2] K. T. Pursetyo, W. Tjahjaningsih, H. Pramono, and ., "Perbandingan Morfologi Kerang Darah di Perairan Kenjeran dan Perairan Sedati," *J. Ilm. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 7, no. 1, pp. 31–33, 2015.
- [3] 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.
- [4] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 334–340, 2020.
- [5] M. K. Buragohain, *Composite Structures*. New York: Taylor & Francis, 2017.
- [6] H. Huang, Y. Yuan, W. Zhang, and Z. Gao, "Bond behavior between lightweight aggregate concrete and normal weight concrete based on splitting-tensile test," *Constr. Build. Mater.*, vol. 209, pp. 306–314, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.125.
- [7] 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.
- [8] Y. Solahudin, Rusmalah, and I. Muhlisin, "Perbaikan Kualitas Produk Pipa HDPE dengan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) Dan Fault Tree Analysis (FTA) DI PT . ICMI," in *Seminar Nasional Teknik Industri, Universitas Pamulang*, 2021, no. 1, pp. 92–102.
- [9] 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.
- [10] A. Marta, A. S. Yusman, and R. Harahap, "Kebutuhan Air Minum Nagari Malampah Kecamatan Tigo Nagari Kabupaten Pasaman," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. Vol. 2, no. No. 2, pp. 26–34, 2021.
- [11] 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>.
- [12] S. A. Pratama and R. I. Permatasari, "Pengaruh Penerapan Standar Operasional Prosedur Dan Kompetensi Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Divisi Ekspor Pt. Dua Kuda Indonesia," *J. Ilm. M-Progress*, vol. 11, no. 1, pp. 38–47, 2021.
- [13] 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.
- [14] U. Usmani, "Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas Dan Uji Normalitas)," *Inov. Pendidik.*, vol. 7, no. 1, pp. 50–62, 2020, doi: 10.31869/ip.v7i1.2281.
- [15] P. K. Dewa, M. I. Putri, and H. Santono, "USULAN PERBAIKAN SISTEM INVENTORI DI Café ABC UNTUK MEMINIMASI KERUGIAN DENGAN MEMPERHATIKAN EKSPEKTASI KEUNTUNGAN," *J. Ekon. dan Bisnis*, vol. 10, no. 2, pp. 535 – 547, 2022.
- [16] A. Basuki, "Fungsi Kepadatan Probabilitas," in *Statistika dan Probabilitas*, 2004, pp. 1–12.
- [17] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*. New

- York: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [18] 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.
- [19] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar, and A. Ginting, “Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures : A Review,” in *Materials Science and Engineering*, 2020, p. 13, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012135.
- [20] Addriyanus, Tommy, and Halimatuddahlia, “PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN SERBUK KULIT KERANG DARAH (ANADORA GRANOSA) TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN BENTUR DARI KOMPOSIT EPOKSI-PS/SERBUK KULIT KERANG DARAH,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 4, pp. 8–12, 2015.
- [21] ARIEL TIRZA EDY SAPUTRA, “SIFAT MEKANIK KOMPOSIT PARTIKEL CANGKANG KERANG DARAH BERMATRIKS POLIESTER JUSTUS 108 MENGGUNAKAN FRAKSI VOLUME 10%, 20% DAN 30%,” 2017.
- [22] M. H. S. Ginting, N. H. Siregar, F. Suwito, and B. Tanujaya, “Pengaruh Komposisi Kulit Kerang Darah (Anadara granosa) terhadap Kerapatan, Keteguhan Patah Komposit Partikel Poliester,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November, pp. 1–7, 2016.