



KEKUATAN DAN MOMEN BENDING SERTA ENERGI IMPAK KOMPOSIT SERAT KULIT KERSEN AKIBAT VARIASI FRAKSI VOLUME

Tri Hartutuk Ningsih^{a*}, Anggra Fiveriati^b, Fikri Wahyu Irfani^c

^a Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

^b Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

^c Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: triningsih@unesa.ac.id

ABSTRACT

Composites are currently being used more and more, especially on composites that reinforce with natural fibers. The usage of natural fiber-reinforced composites is growing due to the need for durable, affordable, and simple-to-obtain materials. This study on cherry bark-based natural fiber reinforced composites used an epoxy matrix with Kersen bark fiber reinforcement and varied the volume of cherry bark fiber by 15%, 25%, 35%, and 45% to examine the effects on the bending and impact strength of the composites.

According to the study's findings, the volume percentage of cherry bark had an influence on the bending and impact strengths. The composite with a 35% volume percentage had the maximum bending strength, measuring 34.57 MPa and 12,366.67 N.mm at the bending moment. The lowest bending strength is 15% of the volume, with a bending strength of 26.79 MPa and bending moments of 8,166.67 N.mm. For composites with a volume proportion of 45%, the greatest absorbed energy is 2.415 J, and the highest impact strength is 14.626 J/mm². The cherry peel fiber composite, which included 15% cherry fiber, had the lowest impact energy (1.61 J) and lowest impact value (10,604.1 J/m²).

Keywords: natural fibers, volume fraction, impact, bending, and composites

Abstrak

Komposit saat ini semakin banyak digunakan, terutama pada komposit yang diperkuat dengan serat alam. Penggunaan komposit yang diperkuat serat alam semakin meningkat karena kebutuhan akan bahan yang tahan lama, terjangkau, dan mudah didapat. Penelitian komposit berbahan serat dengan bahan dasar batang kayu kersen ini menggunakan matrik epoksi dengan memvariasikan volume serat batang kayu kersen sebesar 15%, 25%, 35%, dan 45% untuk menguji pengaruh kekuatan bending, momen lentur dan kekuatan impact komposit. Komposit ini terbuat dari bahan alami serat batang kersen dengan mencampur epoksi sebagai matrik.

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa kekuatan bending dan impact dipengaruhi oleh fraksi volume kulit batang kersen. Komposit dengan persentase volume 35% memiliki kekuatan Bending tertinggi, dengan kekuatan bending 34,57 MPa dan momen lentur 12.366,67 N.mm. Persentase fraksi volume 15% memiliki kekuatan bending terendah yaitu sebesar 26,79 MPa dan 8.166,67 N.mm untuk momen lentur. Energi terserap maksimum untuk komposit dengan fraksi volume 45% tertinggi sebesar 2,415 J, dan harga kekuatan impact tertinggi sebesar 14.626 J/mm². Sedangkan komposit serat kulit kersen memiliki energi impact terendah sebesar 1,61 J dan nilai impact terendah sebesar 10.604,1 J/m², pada fraksi volume serat kersen sebesar 15%.

Kata Kunci: komposit, serat alami, fraksi volume, impact, bending.

1. PENDAHULUAN

Komposit yang terbuat dari serat alami digunakan untuk membuat bahan baru semakin populer dan digunakan oleh produsen automotive seperti mobil sebagai penguat bumper, panel, dan komponen kendaraan lainnya. Karena kualitasnya, komposit telah menarik perhatian dunia industri dan sederhana untuk direkayasa. Bahan yang disebut komposit terbuat dari campuran di mana sifat mekanik dari masing-masing elemen dipertahankan, ada berbagai pembentuk/jenis penyusun karena sifat materialnya. Bahan ini akan menciptakan material komposit baru yang berbeda. Menjadi bahan berbeda dalam karakteristik mekanis dari penentu unsur-unsur komponen (Jones, R.M. 1999).

Kekuatan serat penyusun yang berfungsi sebagai komponen penahan beban pada komposit sangat berpengaruh terhadap besarnya kekuatan komposit (Jonathan Oroh, 2013). Semakin besar kandungan seratnya, semakin kuat kompositnya selama matriks mengikat serat secara efektif. Gaya yang diterima oleh serat semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah serat sehingga meningkatkan kekuatan yang dapat ditahan (Budi Rahman, Bambang Riyanta, 2011).

Pada penelitian komposit serat alam ini digunakan matriks epoksi. Epoksi adalah zat yang merupakan sejenis resin yang dibuat melalui polimerisasi epoksi. Setelah dicampur dengan pengeras, epoksi akan berubah dari cair menjadi padat. Pada penelitian ini diharapkan penggunaan serat kulit batang kersen sebagai penguat dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Istilah "komposit" mengacu pada bahan baru bahan rekayasa yang terbuat dari dua atau lebih komponen yang sifat kimia dan fisiknya berbeda satu sama lain dan dipertahankan dalam bentuk akhir bahan (bahan komposit).

Bahan komposit dengan fitur dan kualitas mekanis yang berbeda dari bahan pembentuk akan dibuat dari campuran ini. Material komposit dapat didesain untuk memiliki kekuatan yang diinginkan dengan memodifikasi komposisi material pembentuk karena memiliki kualitas material konvensional pada umumnya dari proses pembentukan melalui proses pencampuran yang tidak homogen. Sistem multi-fase yang dikenal sebagai komposit memiliki kombinasi komponen matriks atau pengikat dengan karakteristik campuran.

2.2 Serat

Bahan komposit yang disebut komposit serat menggunakan serat sebagai penguat. Saat membuat komposit, serat dapat dipotong dan disusun secara acak (serat acak) atau dapat disusun memanjang (komposit searah), juga bisa dianyam. Dalam industri mobil dan penerbangan, komposit serat sering digunakan. Karena karakteristik kekakuan dan kekuatan tariknya yang tinggi, komposit ini sering digunakan. Namun, kelemahan struktur serat ini adalah bahwa serat komposit membuatnya kurang efektif terhadap tegangan transversal (Schwatz, 1984).

Kekuatan serat penyusun yang berfungsi sebagai komponen penahan beban pada komposit sangat berpengaruh terhadap besarnya kekuatan komposit (Jonathan Oroh, 2013). Karena tegangan yang diberikan pada komposit pertama diambil oleh matriks dan diteruskan ke serat, serat akan menahan beban hingga beban maksimum, yang sangat mempengaruhi apakah komposit memiliki kekuatan tinggi atau rendah (Vlack, 1995).

Serat alami dan serat sintesis adalah dua jenis serat utama yang digunakan dalam komposit. Serat yang dapat diperoleh langsung dari alam dikenal sebagai serat alami. Paling sering dalam bentuk serat yang tersedia baik dari tumbuhan maupun hewan.

2.3 Fraksi Volume

Rasio berat (fraksi berat) dan rasio volume adalah perbandingan yang biasanya digunakan dalam produksi komposit (fraksi volume). Ini karena satuan massa dan satuan volume biasanya digunakan untuk menghitung satuan matriks dan serat.

Persentase volume:

$$fraksi\ volume\ serat = \frac{V\ serat}{V\ komposit} \times 100\%$$

$$fraksi\ volume\ serat = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m}} \times 100\%$$

$$fraksi\ volume\ matrik = \frac{V\ matrik}{V\ komposit} \times 100\%$$

$$fraksi\ volume\ matrik = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m}} \times 100\%$$

(Valery, Evgency:2001,55)

.Keterangan :

m_m = massa matrik (gr)

m_f = massa serat (gr)

ρ_f = massa jenis serat (gr/mm^3)

m_f = massa jenis matrik(gr/mm^3)

2.3. Epoksi

Resin termoseting termasuk resin epoksi. Pada industri teknik, kimia, listrik, mekanik, dan sipil menggunakan resin epoksi untuk berbagai keperluan, seperti perekat (lem), pelapis cat, dan produk cetakan. Resin epoksi memiliki kekuatan tinggi serta ketahanan kimia yang baik.

Tabel 2.1 Perbedaan Karakteristik Resin Poliester dan Epoksi

Resin Poliester	Resin epoksi
Mudah mengeras apabila banyak katalis yang ditambahkan	Mengeras secara bertahap
Poliester cenderung berkekuatan rendah, rapuh	Cenderung Kuat, agak fleksibel dan memiliki adhesi daya rekat sangat bagus
Memiliki proses pengerasan yang cenderung lambat.	Pengerasan dengan campuran biasanya lebih lebih kimia aktif dan harus dilindungi dari atmosfer dan kelembaban.

(Sumber : Akovali, 2001:28)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio fraksi volume terhadap kekuatan lentur dan kekuatan impact komposit serat kersen dengan epoksi matriks. Untuk itu digunakan metode eksperimen, studi kuantitatif yang secara jelas menggambarkan hasil eksperimen laboratorium dan menganalisis data secara numerik.

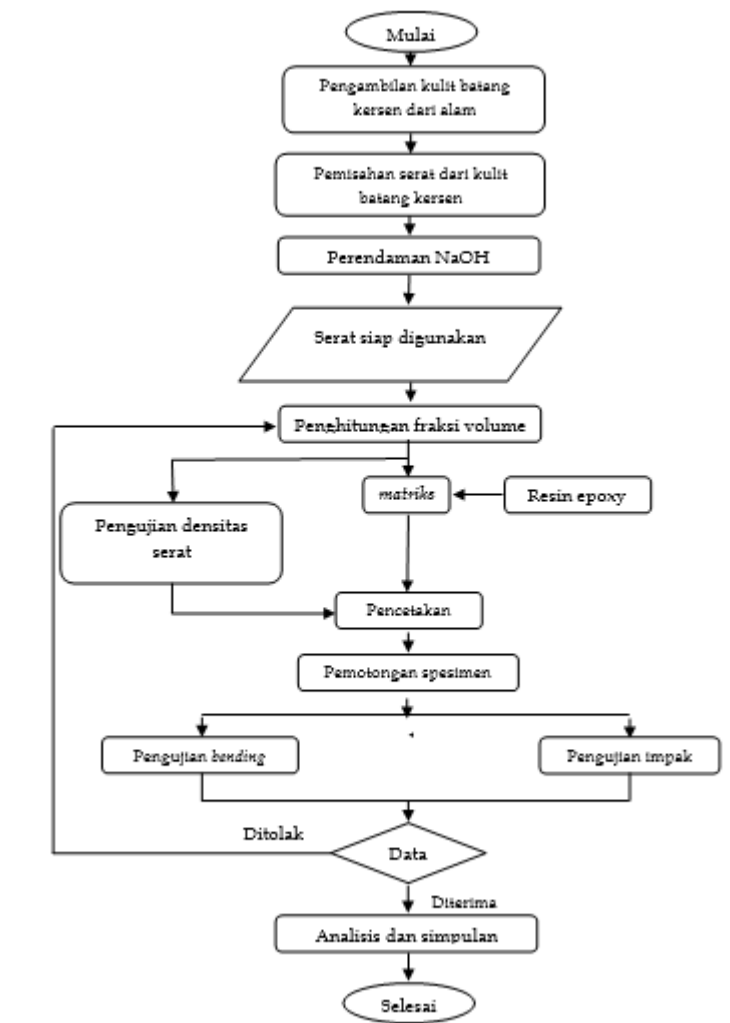
Penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan melalui manipulasi dan pengawasan terhadap produk yang diteliti. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio fraksi volume terhadap kekuatan bending dan kekuatan impact komposit serat kersen matriks epoksi.

3.1. Subyek penelitian

Penelitian ini memanfaatkan serat alam yaitu serat batang pohon kersen. Serat batang pohon kersen berlimpah di alam sebagai komposit polimer dengan matriks epoksi.

3.2 Desain studi

Dalam penelitian ini dikembangkan prosedur penelitian berikut untuk memudahkan peneliti mengumpulkan data dan menganalisis data dari garis besar prosedur kegiatan penelitian.



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

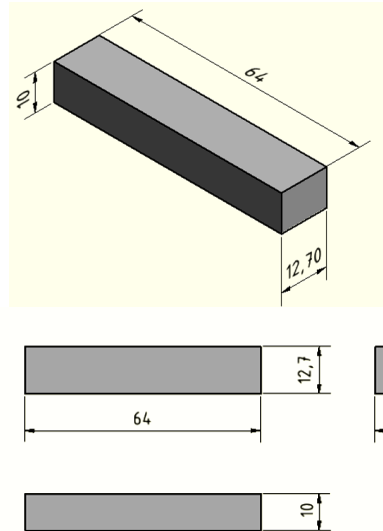
Pada penelitian ini serat dari batang pohon kersen digunakan sebagai penguat pada matrik komposit. Serat diambil dari bagian kulit batang yang di roll.



Gambar 4.1 Serat Kersen

4.1 Pengujian Bending

Sampel komposit dengan fraksi volume yang berbeda dari serat kulit batang kersen menggunakan resin epoksi diuji dalam dua pengujian yaitu uji bending/tekuk dan uji dampak. Hasil pengujian bending dan dampak ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berupa data dan perhitungan.



Gambar 4.2 Spesimen pengujian bending dengan standar ASTM D 790



Gambar 4.3 Permukaan Patahan hasil Pengujian Bending 15%, 25%, 35%, 45%

1. Hasil uji tekuk komposit

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat lentur komposit di bawah pengaruh fraksi volume serat kersen resin epoksi yang tersusun secara acak. Hasil pengujian ini juga digunakan untuk menentukan sifat *fracture* komposit, serta sifat lentur komposit. Informasi diberikan dalam bentuk beban maksimum.

Tabel 4.1 Hasil data uji bending

No	Fraksi Volume	Beban Maksimum (N)			Rata-Rata (N)
		Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
1	15 %	200	700	500	466,67
2	25 %	600	700	300	533.62
3	35 %	920	700	500	706,67
4	45 %	500	800	600	633,33

Dari uji bending diketahui beban maksimum dan kekuatan lentur dapat dihitung. Tes kelenturan dilakukan untuk menentukan sifat kelenturan komposit terhadap tekanan yang diberikan. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung kekuatan lentur komposit:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban /Load (N)

L = Panjang Span / *Support span*(mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

Spesimen dengan fraksi volume serat 15%

Diketahui :

Beban rata rata (P) : 466,67 N

Panjang span (L) : 70 mm

Lebar spesimen (b) : 1 mm

Tebal spesimen (d) : 15 mm

$$\begin{aligned}\text{Tegangan bending} &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \cdot 466,67 \cdot 70}{2 \cdot 12,7 \cdot 12^2} \\ &= \frac{96600}{6750} \\ &= 26,79 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Hasil kekuatan tekuk komposit dapat digunakan untuk menentukan momen lentur. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan momen tekuk:

$$M = \frac{1}{4} P \cdot L$$

M = Momen lentur

P = Beban maksimum

L = panjang span

Fungsi momen lentur adalah untuk mengidentifikasi kualitas lentur spesimen; jika nilai momen lenturnya kecil, maka benda lebih mudah patah atau rusak; sebaliknya, jika nilai momen lenturnya besar, maka benda tersebut lebih sulit untuk dipatahkan atau dirusak.

Fraksi Volume Serat 15% dalam Spesimen

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Tegangan Bending dan Moment lentur

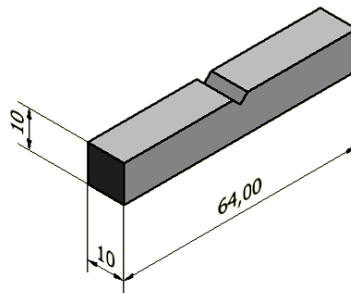
No	Sampel Uji Bending	Dimensi (mm)			Beban Maksimum (N)	Kekuatan Bending (Mpa)	Momen Lentur (Nmm)
		L	b	d			
1.	15%	1	70	12,7	12	200	11,48
		2	70	12,7	12	700	40,19
		3	70	12,7	12	500	28,71
		Rata-rata	70	12,7	12	466,67	26,79
2.	25%	1	70	12,7	12	600	34,45
		2	70	12,7	12	700	40,19
		3	70	12,7	12	300	17,22
		Rata-rata	70	12,7	12	533,33	30,62
3.	35%	1	70	12,7	13	920	45,01
		2	70	12,7	13	700	34,24
		3	70	12,7	13	500	24,46
		Rata-rata	70	12,7	13	706,67	34,57
		1	70	12,7	13	500	24,46
		2	70	12,7	13	800	39,14

4.	45%	3	70	12,7	13	600	29,35	10.500
		Rata-rata	70	12,7	13	633,33	30,98	11.083,33

Kekuatan lentur fraksi volume 15% diukur didapatkan 26,79 Mpa. Kekuatan lentur meningkat menjadi 30,62 MPa pada persen volume 25%. Nilai kekuatan lentur kemudian meningkat lagi, menjadi 34,57 MPa, dengan persentase volume 35%. Namun, nilai kekuatan lentur fraksi volume 45% turun menjadi 30,98 MPa. Momen lentur fraksi volume 15% adalah 8.166,67 N.mm. Momen lentur fraksi volume 25% adalah 9.333,33 N.mm. Momen lentur fraksi volume 35% adalah 12.366,67 Nmm. Momen lentur fraksi volume 45% adalah 11.083,33 N.mm.

4.2 Pengujian Impak

Untuk memastikan kekuatan tarik material, dilakukan pengujian impak. Kemampuan serat dan resin untuk menyerap energi dan menjaga bentuknya, terutama dari beban kejut, akan dievaluasi selama uji impak.



Gambar 4.4 Spesimen pengujian impak sesuai standar ASTM D 256



Gambar 4.5 Permukaan Patahan hasil Pengujian Bending 15%, 25%, 35%, 45%

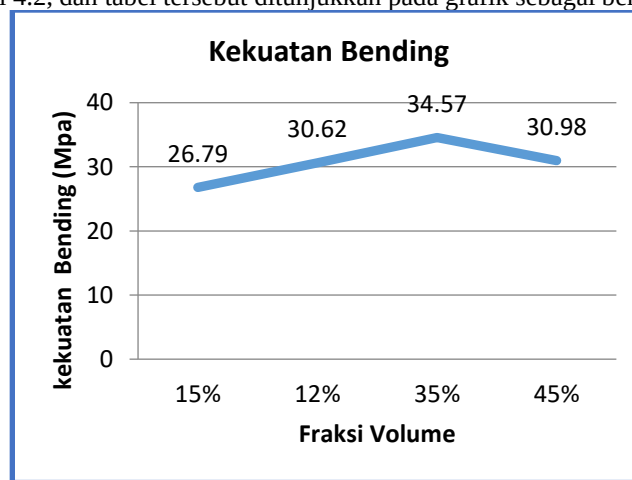
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Energi Impak dan Kekuatan Impak

No	Sampel Uji Impak		Sudut akhir (°)	Sudut awal (°)	Energi Impak (Joule)	Kekuatan impak (Joule / m²)
1	15%	1	137	150	1,616	10.604,1
		2	138	150	1,475	9.675,6
		3	136	150	1,760	11.550,0
		rata-rata	137	150	1,616	10.604,1
2	25%	1	136	150	1,760	11.550,0
		2	138	150	1,475	9.675,6
		3	134	150	2,056	13.493,5
		rata-rata	136	150	1,760	11.550,0
3	35%	1	133	150	2,208	13.375,7
		2	136	150	1,760	10.661,6
		3	135	150	1,907	11.550,7

4	45%	rata-rata	134,6667	150	1,957	11.850,6
		1	130	150	2,679	16.225,6
		2	134	150	2,056	12.455,5
		3	131	150	2,520	15.261,0
		rata-rata	131,6667	150	2,415	14.626,0

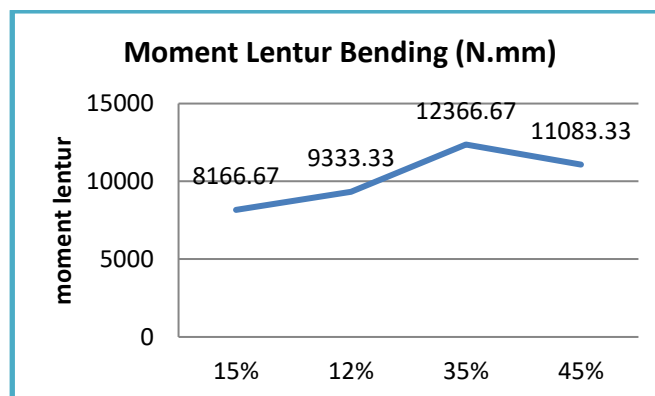
Energi impak didapatkan pada fraksi volume 15% diserap pada 1.616 J. Energi impak 1.760 J diserap pada persentase volume 25%. Energi tumbukan pada fraksi volume 35% diserap sebesar 1.957 J. Energi impak pada persentase volume 45% diserap sebesar 2.415 J. Kekuatan impak pada fraksi volume 15%: 10.604,1 J/m². Kekuatan impak fraksi volume 25%: 11.550,0 J/m². Kekuatan impak pada fraksi volume 35%: 11.850,6 J/m². 14.626,0 J/m² energi impak pada 45% persen fraksi volume.

Hasil eksperimen pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan bending. Hasil pengujian bending ditunjukkan pada Tabel 4.2, dan tabel tersebut ditunjukkan pada grafik sebagai berikut:



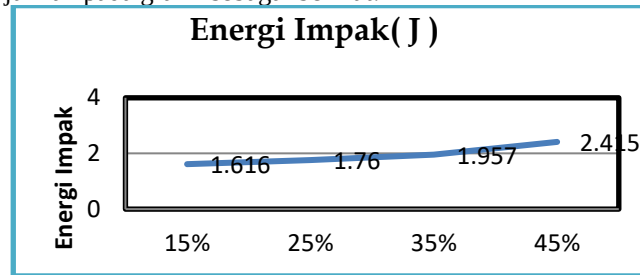
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Bending

Dari diagram 4.1 terlihat bahwa fraksi volume serat berpengaruh terhadap kekuatan bending. Kurva menunjukkan peningkatan nilai kekuatan bending dari fraksi volume 15% menjadi 35%, dan mengalami penurunan pada fraksi volume 45%. Dari hasil pengujian di atas terlihat bahwa kuat bending maksimum dan momen lentur maksimum pada fraksi volume 35% adalah 34,57 Mpa dan 12.366,67 N.mm. sedangkan kekuatan lentur dan momen lentur terendah pada fraksi volume 15% adalah sebesar 26,79 MPa dan 8.166,7 N.mm. Kekuatan lentur dan momen lentur meningkat secara bersamaan dengan peningkatan fraksi volume sebesar 15%-35% fraksi volume, namun mengalami penurunan pada fraksi volume 45%. Dari data hasil pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa fraksi volume serat batang kersen berpengaruh. Semakin banyak seratnya atau fraksi volumenya, semakin tinggi kekuatan bendingnya. Banyaknya serat meningkatkan kekuatan menahan tekanan yang diberikan pada komposit dan beban didistribusikan pada permukaan komposit.



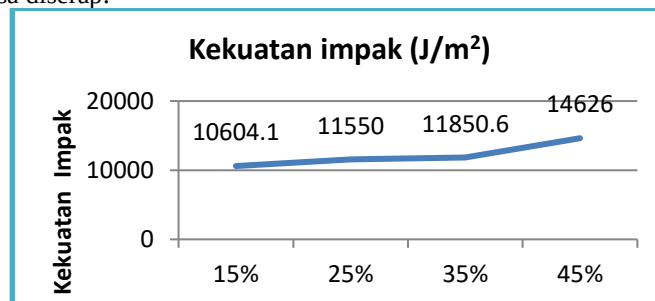
Gambar 4.2 Grafik Momen Bending

Pengaruh Fraksi Volume terhadap Kekuatan Impak. Hasil uji impak ditunjukkan pada Tabel 4.3, dan tabel tersebut ditunjukkan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4.3 Diagram Energi Impak

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa fraksi volume serat berpengaruh terhadap energi maksimum yang dapat diserap oleh komposit. Dari grafik di atas terlihat bahwa kemiringan kurva menunjukkan bahwa energi impact yang diserap oleh senyawa meningkat dengan bertambahnya jumlah fraksi volume. Dengan bertambahnya jumlah bagian volume, jumlah serat yang terkandung dalam komposit meningkat, sehingga beban yang diterapkan pada komposit dapat menyebar dan menopang serat. Semakin banyak serat, semakin banyak beban yang bisa diserap.



Gambar 4.4 Diagram Kekuatan Impact

Dari hasil pengujian dan grafik 4.4 di atas terlihat bahwa komposit batang kersen dengan fraksi volume 45% memiliki energi impact maksimum sebesar 2,41 J dan kekuatan impact maksimum sebesar 14.626 J/m². Sedangkan komposit serat kulit kersen dengan fraksi volume 15% memiliki energi impact terendah sebesar 1,61 J dan nilai impact terendah sebesar 10.604,1 J/m². Hasil pengujian di atas sebanding dengan penelitian sebelumnya oleh Fransisko Piri dan Melsiani Saduk (2017) yang mempelajari kekuatan lentur dan kekuatan impact komposit epoksi berserat daun lontar yang fraksi volume seratnya bervariasi dari 10%, 15%, 25%, 30%. Hasil pengujian bending dan impact menunjukkan bahwa nilai kelenturan dan kekuatan impact berbanding lurus.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data hasil pengujian dan perhitungan pengaruh fraksi volume matriks epoksi serat batang kersen terhadap kekuatan bending, momen lentur dan kekuatan impact, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Memvariasikan fraksi volume komposit serat batang kersen dengan matriks epoksi mempengaruhi kekuatan bending. Seperti yang dapat dilihat dari hasil kurva, menunjukkan peningkatan kurva pada fraksi volume 15%-35% dan kemudian penurunan pada fraksi volume 45%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan bending berbanding lurus terhadap fraksi volume.
2. Memvariasikan fraksi volume komposit serat batang kersen dengan matriks epoksi mempengaruhi kekuatan impact. Menunjukkan bahwa kurva terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa nilai impact berbanding lurus dengan fraksi volume.
3. Fraksi volume komposit serat kulit kersen yang optimal untuk kuat bending adalah 35%, dimana kekuatan bendingnya 34,57 MPa dan momen lenturnya 12.366,67 N.mm. Untuk fraksi volume pada pengujian impact yang optimal, terdapat fraksi volume 45% yang memiliki energi impact sebesar 2,41 J dan gaya impact maksimum sebesar 14.626 J/m².

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah jurnal ini bisa terbit, segala sesuatu untuk bisa berhasil harus diusahakan dengan fokus dan terpenting doa agar apa yang kita lakukan di ridhoi Allah. Terimakasih kepada keluarga kecil dan

keluarga besar yang selalu mendukung, institusi tempat bekerja kampus tercinta UNESA, rekan sejawat dan mahasiswa/mahasiswi yang saya cintai

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akovali G., 2001. Handbook of composite fabrication. Smithers Rapra Technology
- [2] Anindito, Jufra Daud, Yudy Surya Irawan. 2012. Pengaruh fraksi volume serat Gebang (Corypha Utan Lamarck) terhadap sifat mekanik komposit matrik epoksi. Politeknik Negeri Kupang Negeri Kupang
- [3] Buku Tahunan Standar ASTM. 2002. Metode Uji Standar Sifat Tarik. Amerika Society untuk Pengujian dan Material:
- [4] Philly, PA Francisco Piri, Melsiani Saduk. 2017. Analisis kekuatan lentur dan kekuatan impact komposit epoksi bertulang serat sawit. Politeknik Negeri Kupang:
- [5] Gibson, F.R. 1994 Prinsip Mekanisme Komposit. Edisi internasional. McGraw Hill Inc.:
- [6] New York. Jones, Robert M. 1999. Mechanics of Composite Materials
- [7] Usono. M. Budi Nur Rahman, Bambang Riyanta. 2011 Pengaruh fraksi volume serat dan waktu perendaman alkali terhadap kekuatan impact komposit serat poliester-arena. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta:
- [8] Machmudi, Mohammad Arif Irfa'i. 2016. Analisis kekuatan lentur dan kekuatan impact komposit berpenguat serat ijuk secara acak dengan resin poliester. Universitas Negeri Surabaya:
- [9] Nugroho, Mustaqim, Russoto. 2015. Analisis Sifat Mekanis Komposit Serat Tebu Dengan Matriks Resin Epoxy. Universitas Pancasakti: Tegal
- [10] Tegal. Oh Jonatan. 2013. Analisis Sifat Mekanik Komposit Sabut. Universitas Sam Ratulung:
- [11] Suartama, Pasek Nugraha, Rihendra. 2016. Pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat mekanik komposit matriks polimer poliester penguat serat Gebang. Sekolah Tinggi Pendidikan Ganesha: Singaraja.
- [12] Suherman, Wahid. 1987, Pengetahuan Bahan Teknik. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya: Surabaya
- [13] Schwartz, M.M. 1984. Composite Materials Handbook. McGraw-Hill Book Co: New York
- [14] Vlack, L.H. 1995. Ilmu dan Teknologi Material. Terjemahan Ir. Sriati Djaprie. Erlang: Jakarta