



Pengaruh matrik resin-*epoxy* terhadap kekuatan impact dan sifat fisis komposit serat nanas

Ade Irvan Tauvana*, Syafrizal, Mokhamad Is Subekti

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Enjinering Indorama,

Kab. Purwakarta, Jawa Barat, 41152, Indonesia.

Email: ade.irvan@pei.ac.id

Abstrak

Serat daun nanas saat ini banyak digunakan dalam industri – industri mebel dan kerajinan rumah tangga karena selain mudah didapat, murah, tidak membahayakan kesehatan serta dapat mengurangi polusi lingkungan. Pemanfaatan sebagai serat penguat komposit mampu mengatasi permasalahan lingkungan. Pemilihan resin *epoxy* sebagai bahan dasar disebabkan kekuatan dan kekakuan *epoxy* resin lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan impact pada serat nanas yang bermatrik resin-*epoxy* dan mekanisme perpatahan benda uji diamati dengan foto makro. Spesimen uji menggunakan serat nanas dengan fraksi volume, 10%, 30% dan 50% dan matrik resin *epoxy* dan hardener sebagai pengerasnya. Benda uji dibuat dengan cara dituang dan mika sebagai cetakan. Pengujian mekanis dengan menggunakan pengujian impact, Pengujian fisis dengan menggunakan foto struktur makro. Hasil dari penelitian impact diperoleh harga impact tertinggi pada fraksi volume 50% yaitu sebesar 0.76 J/mm^2 . Hal ini terjadi karena pada fraksi volume serat 50% selain pendistribusian gaya yang merata oleh matrik juga didukung oleh serat yang ideal. Dari hasil penelitian di atas didapat bahwa fraksi volume serat yang optimum terletak pada fraksi volume 50%.

Kata kunci: *serat, nanas, impact, resin, epoxy*

Abstract

Pineapple leaf fiber is currently widely used in furniture and handicraft industries because it is easy to obtain, inexpensive, does not endanger health, can reduce environmental pollution so that later on as a composite reinforcing fiber can overcome environmental problems. The choice of epoxy resin as a base material is caused the strength and stiffness of Epoxy resins is greater compared to other types of polymers. This study was intended to see the impact strength of pineapple fibers resin-epoxy and the fracture material of the specimen with macro photographs. The test specimens used pineapple fiber with volume fraction, 10%, 30%, 50% and epoxy resin matrix and hardener as hardener. The specimen is made by casting and mica as a mold. Mechanical testing using impact test, Physical test using photo macro structure. The result of the impact study obtained the impact price on the fraction of 50% volume that is equal to 0.76 J / mm^2 , this occurs because the fraction of fiber volume of 50% in addition to the distribution of the uniform force by the matrix is also supported by the ideal fiber, from the results of the above research In Can the optimum fiber volume fraction is at 50% volume fraction.

Keyword: *fiber, pineapple, impac, resin, efoxy*

1. Pendahuluan

Bidang material komposit akhir-akhir ini terus mendapat perhatian yang serius dari para ilmuwan sehingga hampir setiap hari produk baru maupun inovasi dan modifikasi produk yang telah ada terus bermunculan. Hal itu disebabkan material komposit diperlukan di segala bidang, seperti bidang elektronik, transportasi, kedokteran/medis, biologi, dan sebagainya. Sehingga para peneliti dituntut untuk terus menghadirkan produk terbaik yang dibutuhkan di pasaran.

Komposit adalah perpaduan 2 material atau lebih yang berbeda fasa, yang menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik daripada komponen penyusunnya. Ikatan antar partikel dan interaksi yang terjadi antar komponen penyusunnya

merupakan hal yang mempengaruhi secara langsung sifat mekanik pada komposit yang dihasilkan. Material komposit tersusun atas matriks (fase keras) dan bahan penguat, yang dapat berupa serat, silica, clay, dan sebagainya. Dengan penambahan bahan penguat pada konsentrasi tertentu, dapat menghasilkan sifat mekanik, termal dan struktur yang lebih baik dibandingkan sifat material penyusunnya[1][2].

Dari sekian banyak resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang banyak digunakan yaitu *polyester*, *vinil ester*, dan *epoxy*. Dalam penelitian ini digunakan resin *epoxy*. Pemilihan resin *epoxy* sebagai bahan dasar disebabkan kekuatan dan kekakuan *epoxy* resin lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lainnya. *Epoxy* atau *poliepoxy*

merupakan suatu polimer *thermosetting* yang umumnya dihasilkan dari reaksi antara *epichlorohydrin* dan *bisphenol-A* [3].

Komposit dari bahan serat (*fibrous composite*) terus diteliti dan dikembangkan guna menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam. Hal ini disebabkan sifat dari komposit serat yang kuat, dan mempunyai berat yang lebih ringan dibandingkan dengan logam, komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi satu material baru yang berbeda, dan memiliki *properties* lebih baik dari keduanya [4].

Resin *epoxy* mengandung struktur *epoxy* atau *oxirene*. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan. Resin *epoxy* jika direaksikan dengan *hardener* akan membentuk polimer *crosslink*. *Hardener* untuk sistem *curing* pada temperatur ruang dengan resin *epoxy* pada umumnya adalah senyawa poliamida yang terdiri dari dua atau lebih grup amina [5].

Keunggulan dari matriks *epoxy* resin yaitu memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada *polyester* pada keadaan basah. Selain itu, *epoxy* memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik [6].

Daun nanas sebagai serat penguat serat nanas terdiri atas selulosa dan non selulosa yang diperoleh melalui penghilangan lapisan luar daun secara mekanik. Lapisan luar daun berupa pelepah yang terdiri atas sel kambium, zat pewarna yaitu klorofil, *xanthophyl* dan *carotene* yang merupakan komponen kompleks dari jenis tanin, serta lignin yang terdapat di bagian tengah daun. Selain itu, lignin juga terdapat pada lamela dari serat dan dinding sel serat. Serat yang diperoleh dari daun nanas muda kekuatannya relatif rendah dan seratnya lebih pendek dibanding serat dari daun yang sudah tua [7].

Fraksi volume 70% matriks polyester dan 30% serat daun nanas, dengan metode hand lay up, hasil pengujian didapat nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh komposit dengan arah sudut 45° rata – rata kuat tariknya 34.8 Mpa dan rata – rata modulus elastisitasnya 6088.16 Mpa, sedangkan nilai kekuatan uji bending tertinggi pada sudut 22.50° dengan nilai rata – rata 144.08 Mpa dan nilai uji impact tertinggi pada sudut 45° dengan nilai 0.0375 joule/mm² [8].

Komposit dengan massa serat daun nanas memiliki kuat lentur (*Flexural Strength*) tertinggi dibandingkan komposit dengan massa 1,2 g dan 1,7g. Pernyataan ini didukung dari hasil uji lentur komposit dengan menggunakan alat Testometric M500-25CT. Komposit dengan massa serat daun nanas 0,7 g memiliki kuat lentur tertinggi yaitu 5,74 MPa [9].

Kelebihan *epoxy* dibandingkan dengan resin lain yaitu sifat mekanik dan termal yang tinggi, sangat tahan terhadap air, penyusutan sangat rendah, usia pakai lama, tahan temperatur hingga 220 °C, daya tahan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, sifat-sifat listrik yang baik, kuat dan daya lekat pada gelas dan logam yang baik [9].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan impact pada serat nanas yang bermatrik resin-*epoxy* dan mekanisme perpatahan benda uji diamati dengan foto makro.

2. Sifat Fisik dan Mekanik Komposit

2.1 Kekuatan Fisik dan Mekanik

Sifat fisik meliputi volume dan densitas serta kekuatan mekanik yaitu kekuatan impact (tumbuk) diuraikan sebagai berikut:

2.1.1 Fraksi Volume

Jumlah kandungan serat dalam komposit, merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit berpenguat serat. Jumlah serat serta karakteristik dari serat tersebut merupakan salah satu elemen kunci dalam analisis mikromekanik komposit. Untuk memperoleh komposit berkekuatan tinggi, distribusi serat dengan matrik harus merata pada proses pencampuran agar mengurangi timbulnya *void*. Untuk menghitung fraksi volume, parameter yang harus diketahui adalah berat jenis matrik, berat jenis serat, berat komposit dan berat serat. Adapun fraksi volume ditentukan dengan persamaan [4]. :

Diasumsikan volume *void* (V_v) = 0

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{V_c} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

w_f, w_m = fraksi berat serat dan matriks

ρ_f, ρ_m = densitas serat dan matriks (gr/cm³)

v_f, v_m = fraksi volume serat dan matriks (cm³)

2.1.2 Pengujian Mekanik (pengujian impact)

Uji Impact Ketangguhan komposit dapat diketahui dengan menggunakan uji impact (*impact test*). Uji ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau kemampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah (*toughness*). [1] Kekuatan impact benda uji dihitung dengan menggunakan Persamaan:

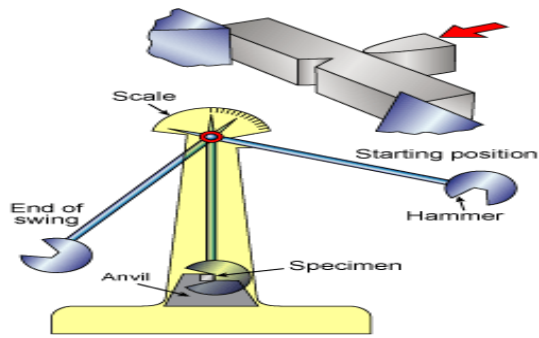
W = energi terserap benda uji (J)

b_i = lebar benda uji impact (mm)

h_i = tebal benda uji impact (mm)

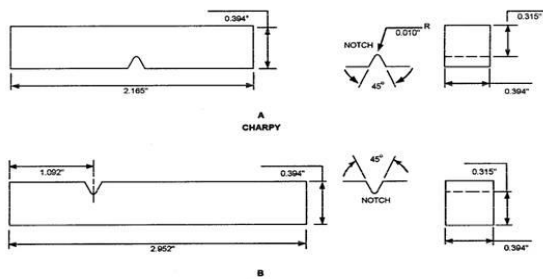
Uji impact adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*) Pada uji impact terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial.. Proses penyerapan energi ini akan diubah menjadi berbagai respon material, yaitu:

- Deformasi plastis
- Efek Hysteresis
- Efek Inersia [3]



Gambar 1. Skematik peralatan uji impact [1]

Nilai pembebanan uji impact diperoleh dari tumbukan palu pendulum yang dilepas pada ketinggian "h". Ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak takikan pada specimen hingga patah.



Gambar 2. Spesimen Uji Standar ASTM [11]

Berdasarkan gambar 2 pengujian impact dilakukan berdasarkan standar ASTM D256-00. Spesimen *Charpy* berbentuk batang dengan penampang melintang berbentuk bujur sangkar dengan takikan "v".

Ada dua macam metoda pengujian impact, yaitu Metoda *Charpy* dan Metoda *Izod*. Perbedaan *Charpy* dengan *Izod* adalah peletakan specimen. Pengujian dengan menggunakan *Charpy* lebih akurat karena pada *Izod*, pemegang specimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya. Faktor yang mempengaruhi kegagalan material pada pengujian impact adalah

a. Notch

Notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah yang lancip sehingga material lebih mudah patah. Selain itu *notch* juga akan menimbulkan triaxial stress. *Triaxial stress* ini sangat berbahaya karena tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan material menjadi getas. Sehingga tidak ada tanda-tanda bahwa material akan mengalami kegagalan.

b. Temperatur

Pada temperatur tinggi material akan getas karena pengaruh vibrasi elektronnya yang semakin rendah, begitupun sebaliknya.

c. Strainrate

Jika pembebanan diberikan pada *strain rate* yang biasa-biasa saja, material akan sempat mengalami deformasi plastis, karena pergerakan atomnya (dislokasi). Dislokasi akan bergerak

menuju ke batas butir lalu kemudian patah. Namun pada uji impact, *strain rate* yang diberikan sangat tinggi sehingga dislokasi tidak sempat bergerak, apalagi terjadi deformasi plastis sehingga material akan mengalami patah transgranular, patahnya ditengah-tengah atom, bulan di batas butir. karena dislokasi tidak dapat bergerak ke batas butir.

Kemudian, dari hasil percobaan akan didapatkan energi dan temperatur. Dari data tersebut, kita akan buat diagram harga impact terhadap temperatur. Energi akan berbanding lurus dengan harga impact. Kemudian kita akan mendapatkan temperatur transisi. Temperatur transisi adalah *range temperature* dengan sifat material dapat berubah dari getas ke ulet jika material dipanaskan. Temperatur transisi ini bergantung pada berbagai hal, salah satunya aspek metalurgi material, yaitu kadar karbon. Material dengan kadar karbon yang tinggi akan semakin getas, dan harga impactnya kecil sehingga temperatur transisinya lebih besar

$$HI = \frac{E_{serap}}{A} \tag{2}$$

dimana:

- HI = Harga impact (J/mm²)
- E_{serap} = Energi yang terserap (J)
- A = Luas dibawah takik (mm²)

3. Metodologi Penelitian

Pengujian impact specimen komposit dilakukan di laboratorium material Program Studi Teknik Mesin Politeknik Enjinerung Indorama. Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah gelas ukur, kuas, timbangan digital, jangka sorong, gergaji tangan, kikir, cutter, dan cetakan, sedangkan bahan yang digunakan yaitu serat nanas, epoxy, katalis kit, atau wax.

Tahap awal penelitian adalah mempersiapkan serat nanas. Proses persiapan dilakukan diambil dari daun nanas yang sudah tua kemudian dipisahkan seratnya dan dijemur diterik matahari sampai kering, setelah kering dipotong dengan panjang yang telah disesuaikan dengan cetakan lalu timbang sesuai fraksi volume partikel (V_f) yaitu 10%, 30% dan 50% dengan fraksi volume mengikuti cetakan. Langkah berikutnya adalah serat nanas tersebut kita campur dengan epoxy dan katalis sebagai pengeras sesuai ukuran. dengan perbandingan antara katalis dan hardener 2:1.

Tahapan kedua adalah proses pembuatan specimen Tuangkan campuran tersebut ke dalam cetakan, yang sebelumnya cetakan tersebut dioleskan kit atau wax sampai merata. Pengeringan dengan membiarkan proses pengerasan terjadi secara alami yang dilakukan kira-kira 1 jam dan dilarang dibawah sinar matahari langsung dan apabila masih belum benar-benar kering maka proses pengeringan dapat dilakukan lebih lama. Proses pengambilan hasil pencetakan benda uji komposit dari cetakan yaitu dengan menggunakan cutter atau pisau dengan pelan-pelan agar specimen tidak patah atau rusak. Setelah benda uji kering lalu ukur dengan menggunakan

pengaris atau dengan jangka sorong sesuai dengan ukuran spesimen uji impak sesuai yaitu panjang 64 mm x lebar 10,16 mm x tinggi 12,27 mm. Kemudian potong dengan menggunakan gergaji tangan dan haluskan dengan menggunakan kikir tangan halus.

Mesin yang digunakan dalam pengujian adalah Universal Impact Tester Machine tipe HT- 8041. jenis patahan terhadap beban dinamik. Pengujian impak menggunakan benda uji yang diberi takikan (*notch*) dengan kedalaman 2 mm dan esarnya yang diukur dalam pengujian ini ialah harga impak (energi per satuan luas). Pada umumnya beban menunjukkan sifat getas (*brittle*). Spesimen pengujian impak dibentuk menurut standar ASTM D256-00[10].

Untuk mengetahui jenis atau bentuk patahan menggunakan foto makro dengan menggunakan kamera digital 8.1 Mega pixel .

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Perbandingan Berat Serat dengan Fraksi Volume (Vf)

Berikut ini tabel 1 hasil penimbangan serat dengan menggunakan timbangan digital dimana untuk menentukan berat serat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Diketahui fraksi volume (Vf) sebesar 10 %, massa jenis serat nanas (ρ_f) 1,04 g/cm³(didapatkan dari tabel massa jenis berbagai serat alam) dan volume komposit (Vc) 1400 cm³ dicari berat serat yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan dibawah ini maka berat serat dapat dicari

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{V_c (p \times l \times t)} \times 100\%$$

$$10\% = \frac{W_f / 1,04 \text{ gr/cm}^3}{1400 \text{ cm}^3} \times 100\%$$

$$= \frac{10\% \cdot 1,04 \text{ gr/cm}^3}{1400 \text{ cm}^3} \times 100\%$$

$$= 0,74 \text{ gr}$$

Dengan menggunakan persamaan dan perhitungan yang sama seperti di atas maka berat serat dapat diketahui seperti pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Data hasil penimbangan serat nanas

No	Fraksi Volume (Vf) %	Berat Serat (gr)
1	10	0,74
2	30	2,22
3	50	3,71

Spesimen uji impak dibuat mengikuti standar ASTM D-265-00 dimana prosesnya adalah sebagai berikut : spesimen mempunyai dimensi 64 mm x 10,16 mm x 12,27 mm dengan menggunakan V note dengan sudut 22,5⁰ . serat dipotong sesuai dengan lebar cetakan dengan koposisi seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Data pembuatan benda uji

No	Fraksi Volume (Vf) %	Berat Serat (gr)	Perbandingan		Waktu (t) Pembekuan (Menit)
			Resin Epoksi	Katalis	
1	10	0,74	2	1	60
2	30	2,22	2	1	60
3	50	3,71	2	1	60

Berikut ini data dan hasil perhitungan dari pengujian impak dengan menggunakan material komposit serat nanas dan data hasil perhitungan yang lainnya dapat dilihat pada tabel 3.

Spesimen uji Impak 1

Diketahui :

Bahan = komposit serat nanas fraksi volume 10
 Luas Penampang Spesimen uji (A= L x T_T) = 124,2mm

Energi Potensial (Ep) : 95 Joule

Harga Impak (HI):

$$HI = E_p / A \quad \text{J/mm}^2$$

$$E_p = 95 \text{ Joule}$$

$$A = 124,2 \text{ mm}^2$$

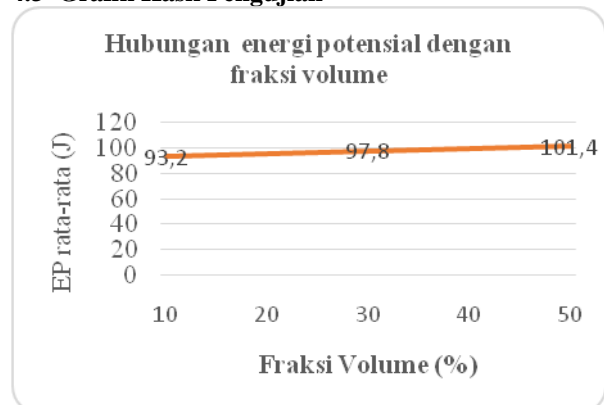
$$\text{Jadi} \quad HI = 95 \text{ Joule} / 124,2 \text{ mm}^2 = 0,76 \text{ J/mm}^2$$

4.2 Data Hasil Pengujian Impak

Tabel 3. Data hasil pengujian Impak

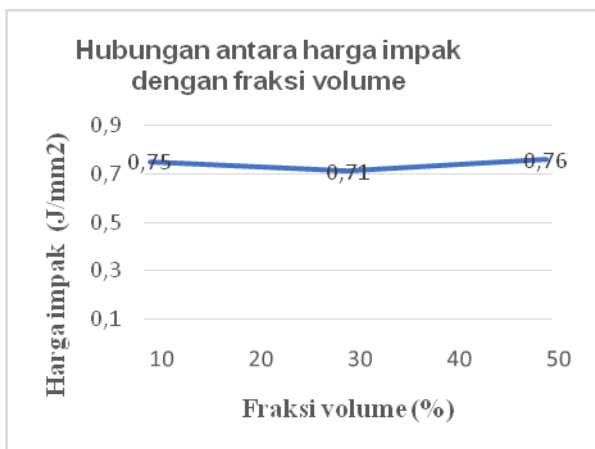
Fraksi Volume (%)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Panjang (mm)	Kedalaman Takik (mm)	Tinggi bawah Takik (mm)	Luas penampang di bawah takik (mm ²)	Ep (Joule)	HI (J/mm ²)	Ep Rata-rata (J)	HI Rata-rata (J/mm ²)	
10	1	12,2	10,3	56	2	10,1	124,2	95	0,76	93,2	0,75
	2	12,2	10,3	58	2	10,1	124,2	100	0,80		
	3	10,2	10,1	56	2	10,3	105,2	98	0,93		
	4	12,8	10,3	59	2	10,2	131,8	90	0,62		
	5	12,7	10,1	56	2	10,1	128,3	83	0,64		
30	1	12,3	10,1	64	2	10,3	126,6	100	0,78	97,8	0,71
	2	12,9	10,3	64	2	10,9	140,6	98	0,67		
	3	12,7	10,3	64	2	10,7	135,8	97	0,71		
	4	12,8	10,2	64	2	10,8	138,2	95	0,68		
	5	13,0	10,3	64	2	11,0	133,9	99	0,73		
50	1	12,4	10,2	64	2	10,4	128,9	100	0,77	101,4	0,76
	2	12,3	10,3	64	2	10,3	126,7	105	0,82		
	3	12,7	10,2	64	2	10,7	135,8	107	0,78		
	4	13,0	10,3	64	2	11,0	143,0	112	0,78		
	5	12,8	10,2	64	2	10,8	138,2	83	0,68		

4.3 Grafik Hasil Pengujian



Gambar 4. Grafik Energi Potensial Rata-rata Vs Fraksi Volume

Dari data pengujian impact, energi potensial yang serap rata-rata pada spesimen uji yang paling tinggi adalah untuk nilai fraksi volume 50% yaitu 101,4 J/mm² dan paling rendah adalah 10% yaitu 93,2 J/mm².



Gambar 5. Grafik Harga Impact Rata-rata Vs Fraksi Volume.

Berdasarkan gambar 5 penambahan fraksi volume dapat menaikkan kekuatan impact pada serat nanas. Kekuatan impact rata-rata tertinggi sebesar 50% yaitu 0.97 J/mm² dan kekuatan impact yang terendah 30% yaitu 0.71 J/mm². Dari data tersebut diatas maka dapat dilihat bahwa kekuatan impact terbesar ada pada fraksi volume 50 % .

4.4 Foto Makro hasil Pengujian Impact

Foto patahan permukaan spesimen uji impact



Gambar 6. Patahan Spesimen Uji impact serat nanas Fraksi Volume 10 %.



Gambar 7. Patahan Spesimen Uji impact serat nanas Fraksi Volume 30%



Gambar 8. Patahan Spesimen Uji impact serat nanas Fraksi Volume 50 %

Pada pengamatan struktur makro yang

dilakukan pengamatan adalah pada bentuk cacat hasil pencetakan spesimen, pada hasil cetakan spesimen pada spesimen fraksi volume 30 % terdapat cacat lubang ini disebabkan adanya udara yang terjebak pada waktu penuangan yang kurang merata patahan patahan benda uji impact fraksi volume 10% menunjukkan patahan yang berserat. Patahan ini disebabkan dugaan sementara karena pencampuran antra resin epoxy dengan pengeras perbandingannya tidak seimbang dan ada kemungkinan karena serat yang belum kering secara merata jadi menimbulkan patahan berserat setelah pengujian impact. Dan kemungkinan yang lainnya kurangnya waktu pembekuan sehingga spesimen masih lunak sebageian, sedangkan pada fraksi volume 30% dan 50 % menunjukkan patahan getas ini dilihat dari bentuk patahan yang merata. Spesimen tidak menunjukkan adanya lunak pada bagian dalam spesimen dan pada fraksi volume ini tidak ada cacat pada spesimen. Harga impact menunjukkan harga tertinggi pada fraksi volume 50 % . Penurunan kekuatan impact komposit ini disebabkan karena jumlah serat sebagai pengisi semakin banyak, sedangkan jumlah matriks semakin menurun sehingga resin epoksi sebagai matriks tidak dapat membahasi seluruh permukaan serat sehingga akan memicu pembentukan fraksi kosong (void) di dalam struktur komposit.[12].

5. Kesimpulan

Sebagaimana telah dikemukakan pada pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai impact tertinggi terdapat pada spesimen uji impact fraksi volume 50 % , sebabkan jumlah serat yang terkandung pada fraksi volume 50 % lebih banyak sehingga kekuatan komposit serat nanas lebih tinggi. yaitu sebesar 0.76 J/mm²

Referensi

- [1] Callister, W. D., *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah : John Willey and Sons, Inc, 2007.
- [2] Hartono, Rifat. M., Handoko., *Pengenalan Teknik Komposit*. Yogyakarta: Deep Publisher, 2016.
- [3] Diharjo, K., Triyono T., *Material Teknik*, Buku Pegangan Kuliah. 2000
- [4] J. Sarjito, "Analisa Teknis Penggunaan Serat Kulit Rotan Sebagai Penguat Pada Komposit Polimer Dengan Matriks Polyester Yukalac 157 Ditinjau Dari Kekuatan Tarik dan Kekuatan Tekuk," *J. Teknik Perkapalan*, vol. 30, no. 3, pp. 191-197, 2009.
- [5] S. A.Daulay, F. W, "Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Terhadap Sifat Kekuatan Bentur Komposit Epoksi Berpengisi Serat Daun Nanas," *J. Teknik Kimia USU*, vol. 3, no. 3, pp. 13-17, 2014

- [6] Darmansyah, "Evaluasi Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Komposit Serat/Resin Berbahan Dasar Serat Nata De Coco Dengan Penambahan Nanofiller," Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Kimia UI, Depok, 2010.
- [7] Hadi, J. Sarjito, P. Manik, "Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tarik, Bending Dan Impact," *J. Teknik Perkapalan*, vol.4, no. 1, Jan. 2016.
- [8] S. H.Firman, Muris, S. Junaedi, "Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Komposit Serat Daun Nanas-Epoxy Ditinjau Dari Fraksi Massa Dengan Orientasi Serat Acak," *J. Sains dan Pendidikan Fisika*, vol. 11, no. 2, pp.185–191, Agt, 2015.
- [9] H. Fahmi, H. Hermansyah, "Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Resin Polyester/ Serat Daun Nanas Terhadap Kekuatan Tarik," *J. Teknik Mesin*, vol. 1, pp. 46-52, Okt, 2011.
- [10] ASTM D 256-00, "*Standard Test Methods For Determining the izod pendulum impact resistance of Plastics*" Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials
- [11] ASTM D 790-02, "*Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*" Philadelphia, PA : American Society for Testing and Materials.
- [12] S. Husseinsyah , M. Mostapha, "The Effect of Filler Content on Properties of Coconut Shell Filled Polyester Composites," *Malaysian Polymer J.*, vol. 6, no. 1, pp. 87-97, 2011.