

Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Sudut Filler Karbon Pada Polymer Matrix Composite Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact

R. Achmad Supriyadi¹, Vuri Ayu Setyowati², Afira Ainur Rosidah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

e-mail: achmadsupriyadi1025@gmail.com

ABSTRACT

Composites are materials that are formed from two or more materials so as to produce composites that have different mechanical properties and characteristics. This study aims to determine the effect of the number of layers and the orientation of the carbon fiber in the composite on the impact strength and tensile strength of the composite. This study uses carbon fiber as a filler and polyester as matrix. The composition of the composites used the laminate composite preparation method. The result of the effect of the number of layers on the impact strength and the greatest tensile strength occurs in the increase in the number of layers in the composite, because the increasing number of layers or the volume fraction in the material increases the impact and tensile strength. Tensile test using ASTM D-3039 standard. The highest tensile strength of the composite in the 2 layer 60° is 141.7 Mpa, while the lowest tensile strength at the 3 layer 60° is 72.40 Mpa. Identification of the cross-sectional fracture shows that the failure occurs in the separation of the fiber by the matrix (fiber pull out) and the layer between the broken matrix fibers (delamination). Impact testing using the ASTM D-6110 standard. The highest impact strength of 3 layers with 90° angle is $10.7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$ and the lowest impact strength is $3.6 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$ for 3 layer and 45° of filler orientation.

Keywords: Carbon fiber, angular orientation, layer, impact, tensile.

ABSTRAK

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material sehingga menghasilkan komposit dengan sifat serta karakteristik mekanik yang berbeda. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh jumlah layer dan orientasi sudut serat karbon pada komposit terhadap kekuatan impact dan kekuatan tarik pada komposit. Penelitian ini menggunakan serat karbon sebagai filler. Pada matrik menggunakan polyester. Penyusunan komposit menggunakan metode penyusunan komposit laminat. Hasil dari pengaruh jumlah layer terhadap kekuatan impact dan kekuatan tarik terbesar terjadi pada peningkatan jumlah layer pada komposit, karena semakin bertambahnya jumlah layer atau bertambahnya volume fraksi pada material tersebut kekuatan impact dan tarik semakin meningkat. Standart pengujian tarik yang digunakan adalah ASTM D-3039. Berdasarkan hasil pengujian tarik, kekuatan komposit terbesar pada variasi 2 layer 60° sebesar 141,7 Mpa, sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi 3 layer 60° sebesar 72,40 Mpa. Identifikasi bagian fraktur menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan sering terjadi ialah pemisahan serat oleh matriks (*fiber pull out*) serta pemisahan lapisan antara serat matriks yang putus (*delamination*). Pengujian impact menggunakan standar ASTM D-6110. Hasil tertinggi pada variasi 3 layer sudut 90° sebesar $10,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$ sedangkan kekuatan Impact terendah pada variasi 3 layer 45° sebesar $3,6 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$.

Kata kunci: Serat karbon, orientasi sudut, layer, impact, tarik.

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri manufaktur, perkembangan teknologi material semakin maju dan bervariasi. Kebutuhan material dengan karakteristik tertentu semakin meningkat. Permintaan yang terus meningkat untuk material dengan properti khusus. Berbagai bahan telah digunakan serta penelitian lebih lanjut telah dilakukan untuk mendapatkan bahan yang sesuai, salah satunya ialah bahan komposit. Berdasarkan kekuatan dan kelebihan lainnya dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan, sehingga mendorong penggunaan material komposit sebagai pengganti material

logam dalam berbagai produk yang diproduksi di industri khususnya manufaktur. Bahan komposit adalah bahan yang dibuat dari dua material maupun lebih yang membentuk satu komponen [1].

Pada umumnya, material komposit menggunakan matriks *Polyester*. Kecuali bahan pengikat (*Matrix*) komposit juga menggunakan bahan penguat, bahan yang sering digunakan ialah serat yang berasal dari bahan yang kuat, kaku, serta rapuh. Serat yang digunakan sebagai penguat pada material komposit ialah serat sintetis maupun serat alam. Serat sintetis ialah serat anorganik yang telah diolah dengan bahan kimia tertentu, antara lain serat *Fiber glass*, serat karbon serta serat asbes, sedangkan serat alam ialah serat yang didapat secara langsung dari alam, baik dari tumbuhan maupun hewan seperti, serat rami (*knaf*), serat aren, pandan, ijuk, serta sabut kelapa. Serat karbon sendiri memiliki keunggulan antara lain ketahanan terhadap korosi, bentuk yang mudah sesuai kebutuhan, lebih ringan serta kuat dari logam, sehingga serat karbon dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit polimer berpenguat serat sintetis. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh orientasi filler dan jumlah layer serat karbon pada polymer matriks komposit terhadap kekuatan tarik dan impact. Berdasarkan uraian diatas, maka rumusan masalah penelitian ini ialah bagaimana pengaruh orientasi filler serat karbon pada polymer matriks terhadap kekuatan impact dan uji tarik.

Penelitian tentang inovasi material komposit dengan penggunaan serat E-glass juga dilakukan untuk aplikasi panel interior automotive. Penelitian tersebut menganalisa bagaimana pengaruh fraksi volume kombinasi serat E-glass dan serat kenaf terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impact bermatrik Polyester. Dengan variasi fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Dari penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa peningkatan fraksi volume serat, meningkatkan kekuatan tarik yang lebih tinggi komposit yang diperkuat serat kenaf dan serat E-glass (komposit hibrid). Kekuatan tarik meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume serat. Dengan hasil yang didapatkan pada fraksi volume 10% sebesar 952,6 Mpa, pada fraksi volume 20% sebesar 1122,6 Mpa, pada fraksi volume 30% sebesar 1034,9 Mpa, pada fraksi volume 40% sebesar 987,7 Mpa, dan pada fraksi volume 50% sebesar 1222,6 Mpa [2].

TINJAUAN PUSTAKA

Komposit ialah material hasil dari kombinasi dua atau lebih komponen yang berbeda, yang bertujuan untuk mendapatkan beberapa sifat fisik serta mekanik yang baik, bukan sifat masing-masing bahan[1]. Bahan komposit ialah dua atau lebih bahan berbeda yang digabungkan menjadi bahan bermanfaat secara makroskopis. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (*modulus density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari pada logam.

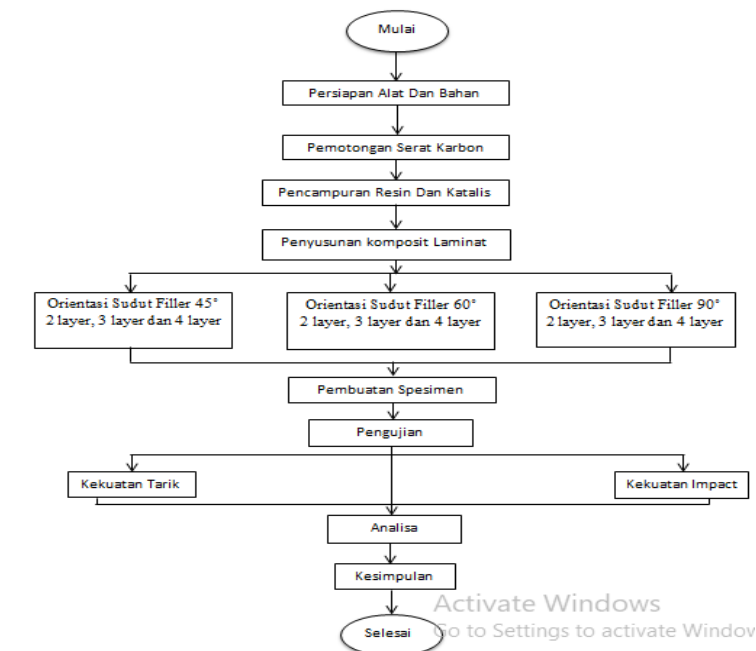
Komponen komposit terdiri dari penguat serta matrik. Material komposit memiliki karakteristik yang lebih baik dari pada logam, bahan komposit memiliki sifat kekuatan tinggi, kekuatan lelah yang baik, kekuatan spesifik serta kekakuan jenis *modulus young density* lebih tinggi dari logam, ketahanan korosi, sifat isolator panas serta suara, dan dapat digunakan sebagai penghambat listrik yang baik serta dapat digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang disebabkan oleh beban dan korosi [3]. Secara garis besar terdapat 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakan, yaitu *Fibrous Composites* (Komposit Serat) merupakan jenis komposit yang terdiri dari satu laminasi atau satu lapis dengan menggunakan penguat serat atau fiber. Serat yang digunakan dapat berupa serat glass, serat karbon, serat aramid (*poly aramide*)[4]. *Laminated Composites* (Komposit Laminat) merupakan material komposit yang terdiri dari dua atau lebih lapisan, setiap lapisan memiliki karakteristiknya sendiri[1]. *Particulate Composites* (Komposit Partikel), material komposit yang menggunakan partikel maupun bubuk sebagai bahan penguat serta didistribusikan secara seragam dalam matriks[5].

Sifat mekanik material komposit meliputi Kegetasan atau *Brittleness*, sifat ini menunjukkan bahwa tidak ada deformasi plastis sebelum suatu bahan rusak[6]. Ketangguhan atau *Toughness*, sifat material ini memiliki keunggulan karena mampu menahan benturan tinggi maupun beban

kejut. Kekuatan atau *Strength*, sifat material ini ditentukan oleh tegangan terbesar yang dapat direntangkan material sebelum akhirnya pecah. Keuletan atau *Ductility*, sifat material ini dapat berubah bentuk dibawah beban tarik sebelum putus. Kekakuan atau *Stiffness*, sifat material ini merupakan kemampuan material untuk menahan terjadinya deformasi. Elastisitas atau *Elasticity*, sifat material ini ialah kemampuan material untuk kembali kedimensi aslinya setelah beban dilepas maupun dihilangkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat komposit antara lain Faktor Serat, Letak Serat, Panjang Serat, Bentuk Serat, Faktor Matrik [5].

METODE

Metode penelitian ini menggunakan studi eksperimental (*experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui besar kecilnya kekuatan tarik dan kekuatan impact untuk orientasi sudut dan jumlah bahan pengisi. Bahan komposit yang terbuat dari poliester bertulang serat karbon yang akan banyak digunakan di industri manufaktur dan otomotif, misalnya untuk produksi bodi dan komponen mobil. Bahan utama dalam penelitian ini adalah resin poliester tak jenuh (UP) *Yukalac 157 BTQN-EX* sebagai matriks dan serat karbon. Katalis yang digunakan ialah katalis *Methy Ethyl Ketone Peroxide* (MEKPO) dalam bentuk cair, berwarna transparan. Keunggulan dari katalis sendiri ialah percepatan proses pengeringan (pengerasan) material matriks komposit.



Gambar 1 diagram alir

Penimbangan filler dan matriks sebagai langkah awal pembuatan material komposit. Cetakan komposit diolesi *Wax Mold Release* pada permukaan cetakan yang terbuat dari aluminium agar komposit tidak menempel dengan cetakan. Pencampuran resin dan katalis dilakukan dengan komposisi perbandingan 40:1. *Filler* dan *matriks* yang telah ditimbang selanjutnya dimasukkan dalam cetakan dengan orientasi serat 45°, 60° dan 90°. Selanjutnya tutup cetakan dengan plastik tebal dan diberikan beban, agar komposit padat. Material komposit dibiarkan hingga mengering selama ± 5 jam, kemudian komposit dikeluarkan dari cetakan. Setelah spesimen uji jadi potong

spesimen dengan kikir dan diampas disetiap sisi spesimen uji agar tidak kasar. Spesimen uji yang telah didapat dilakukan pengujian diantaranya: Pengujian Tarik, Pengujian Impact. Setelah spesimen dilakukan pengujian tarik, pengujian impact, spesimen di analisa untuk mengetahui variasi spesimen terbaik.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisa data kualitatif deskriptif. Kualitatif deskriptif yaitu mendeskripsikan data dengan sistematis, faktual dan keakuratan hasil pengujian yang diperoleh [7]. Dalam penelitian ini analisis dilakukan dengan cara mengambil data dari alat ukur, sehingga hasil dari pengukuran dapat dimasukkan dalam bentuk tabel, serta dihitung secara teoritis, dan hasil penelitian dapat disajikan dalam bentuk grafik. Analisis ini digunakan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik serta impact, pengaruh komposit poliester berpenkuat serat karbon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

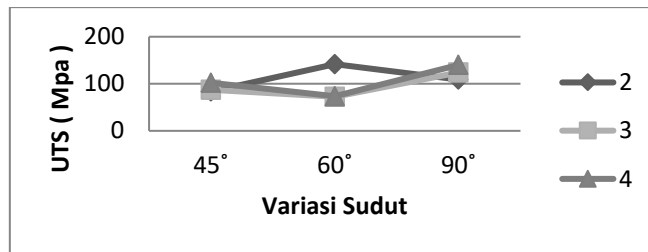
Analisa pengaruh orientasi filler dan jumlah layer serat karbon pada polymer matrix komposit terhadap kekuatan tarik. Penelitian material komposit *Fiberglass* dengan variasi layer dengan orientasi sudut. Pada pengujian tarik standart pengujian menggunakan ASTM D-3039 setelah semua data didapat, dilakukan pengolahan data dan perhitungan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Tarik.

Sudut Filler	Jumlah Layer	A ₀ mm ²	L ₀ Mm	L _f Mm	P _{max} (N)	(ε) %	UTS (σ) Mpa	E (GPa)
45°	2	27	138	151	230	9,42	83,57	0,88
	3	27	138	139	240	0,72	87,2	8,30
	4	36	138	139,7	375	1,23	102,18	12,11
60°	2	27	138	141	390	2,17	141,7	6,25
	3	42	138	143,2	310	3,77	72,40	1,92
	4	42	138	139,6	315	1,16	73,57	6,34
90°	2	27	138	141,8	300	2,75	109	3,96
	3	36	138	139	455	0,72	123,98	17,21
	4	42	138	138,5	600	0,36	140,14	38,92

Tabel 2 Tensile Strength

Sampel	Jumlah Layer	A ₀ mm ²	P _{max} (N)	UTS (σ) Mpa
45°	2	27	230	83,57
	3	27	240	87,2
	4	36	375	102,18
60°	2	27	390	141,7
	3	42	310	72,40
	4	42	315	73,57
90°	2	27	300	109
	3	36	455	123,98
	4	42	600	140,14

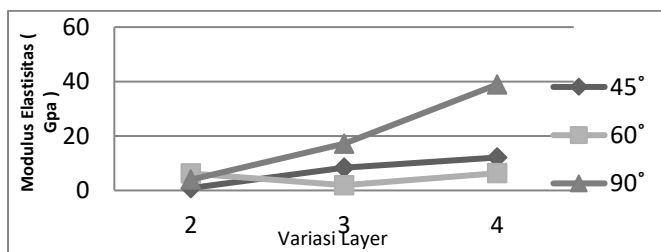


Gambar 2 Grafik uji tarik komposit

Untuk pembuatan komposit lapisan / layer pada filler digunakan variasi 2, 3, dan 4 layer dan untuk pembagian antara matriks dan filler tiap lapisan berbeda dengan penempatan sudut orientasi pada filler berbeda juga yaitu sudut $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$, dan $\pm 90^\circ$. Hal ini menyebabkan pengujian memiliki kekuatan tarik dan regangan yang berbeda – beda, untuk kekuatan tarik 2 lapis dengan sudut 45° memiliki kekuatan tarik sebesar 80,90 Mpa, dan sudut 60° sebesar 141,60 Mpa, dan sudut 90° sebesar 108,95 Mpa. Untuk kekuatan tarik 3 lapis dengan sudut 45° memiliki kekuatan tarik 87,19 Mpa, sudut 60° sebesar 72,37 Mpa dan sudut 90° 123,95 Mpa. Untuk 4 lapis dengan sudut 45° memiliki kekuatan tarik 102,18 Mpa, sudut 60° sebesar 73,54 Mpa, dan sudut 90° sebesar 140,13 Mpa. Dari pengujian tarik dengan berbagai variasi layer terdapat penurunan kekuatan uji tarik yaitu terdapat pada layer 3 layer sudut 60° dan 4 layer sudut 60° . Hal itu dikarenakan penurunan kekuatan komposit disebabkan kurang seragamnya kondisi serat dan ketidak rataannya campuran resin polyester dan serat karbon pada cetakan, Penurunan kekuatan komposit juga dikarenakan oleh adanya void/lubang pada komposit yang menyebabkan kerusakan yang lebih dahulu sebelum terjadi pengujian. Untuk komposit yang memiliki kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut 60° pada jumlah layer yaitu 2 layer. Hal ini dikarenakan patahan dari pengujian tarik tidak sesuai gauge length dan membuat waktu pengujian tarik cekam memakan kerak terlebih dahulu dan membuat proses necking gagal pada daerah yang diinginkan.

Modulus Elastisitas

Tolak ukur yang umum dan sifat elastisitas suatu bahan adalah pengertian dari modulus elastisitas. Makin besar nilai modulus elastisitasnya benda, maka makin kecil regangan elastis yang dapat dihasilkan dari pemberian tegangan. Nilai tegangan memiliki nilai yang sama dengan modulus elastisitas, jika nilai modulus naik sama juga dengan nilai tegangan.

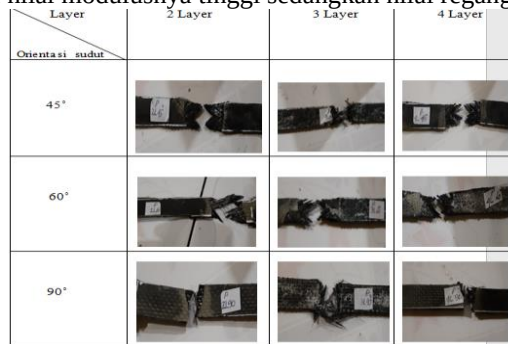


Gambar 3 Grafik Modulus Elastisitas uji tarik komposit

Hasil kekuatan tarik 2 layer serat karbon pada sudut 45° menghasilkan kekuatan tarik sebesar 0,85 Gpa, pada sudut 60° menghasilkan kekuatan tarik 6,25 Gpa, dan sudut 90° menghasilkan kekuatan tarik 3,96 Gpa. Pada komposit variasi 2 layer dan sudut menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi pada sudut 60° . Dari gambar 2 Grafik modulus elastisitas uji tarik komposit, hasil kekuatan tarik 3 layer serat karbon pada sudut 45° menghasilkan kekuatan tarik

sebesar 8,30 Gpa, pada sudut 60° menghasilkan kekuatan tarik 1,91 Gpa, dan pada sudut 90° menghasilkan kekuatan tarik 17,21 Gpa. Pada komposit variasi 3 layer dan sudut menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi pada sudut 90°. Dari Gambar 2 grafik modulus elastisitas uji tarik komposit, hasil kekuatan tarik 4 layer serat fiber woven pada sudut 45° menghasilkan kekuatan tarik sebesar 32,28 Gpa, pada sudut 60° menghasilkan kekuatan tarik 6,34 Gpa, dan pada sudut 90° menghasilkan kekuatan tarik 38,92 Gpa. Untuk nilai grafik tertinggi terdapat pada sudut 90°.

Dari hasil modulus elastisitas pengujian tarik variasi 2 layer, 3 layer dan 4 layer dengan variasi sudut 45°, 60°, dan 90° mendapatkan hasil terbaik adalah pada variasi 4 layer dengan sudut 90° dengan nilai 38,92 Gpa dan untuk nilai terendah terdapat pada variasi 2 layer dengan sudut 45° dengan hasil 0,88 Gpa. Untuk variasi 4 layer dengan sudut 90° memiliki nilai tegangan yang tinggi dari sudut lainnya, hal ini sesuai dengan sifat modulus elastisitas yang dimana jumlah nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai modulus dan nilai regangannya juga lebih kecil dari nilai modulus elastisitasnya. Maka dapat disimpulkan untuk variasi 4 layer dengan sudut 90° memiliki sifat getas karena nilai modulusnya tinggi sedangkan nilai regangannya (ϵ) rendah.

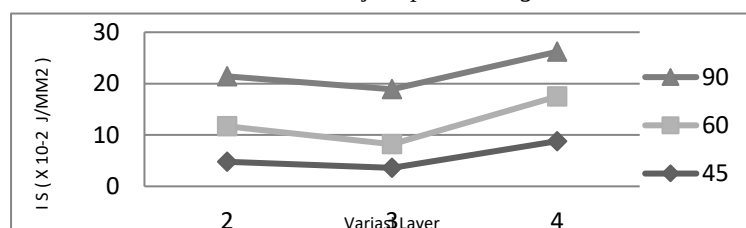


Gambar 4 Hasil Spesimen Variasi Orientasi Sudut dan Jumlah Layer dari Pengujian Tarik

Mengetahui pengaruh orientasi filler dan pengaruh jumlah layer pada komposit terhadap kekuatan impact. Penelitian komposit ini menggunakan *serat karbon bonded double bias* dengan variasi orientasi sudut dan jumlah layer. Pada pengujian *impact* standar pengujian menggunakan ASTM D- 6110 dan alat *impact* yang menggunakan jenis *charpy*. Setelah semua data didapat, dilakukan pengolahan data dan perhitungan.

Sudut Filler	Jumlah Layer	A_0 mm ²	A (°)	β (°)	m (kg)	R (m)	Is (J/mm ²)
45°	2	127,81	30	25	26,2	0,75	$4,8 \times 10^{-2}$
	3	128,84	30	26	26,2	0,75	$3,6 \times 10^{-2}$
	4	129,10	30	21	26,2	0,75	$8,8 \times 10^{-2}$
60°	2	128,56	30	23	26,2	0,75	$6,9 \times 10^{-2}$
	3	132,26	30	25	26,2	0,75	$4,6 \times 10^{-2}$
	4	131,07	30	21	26,2	0,75	$8,7 \times 10^{-2}$
90°	2	129,00	30	20	26,2	0,75	$9,7 \times 10^{-2}$
	3	127,54	30	19	26,2	0,75	$10,7 \times 10^{-2}$
	4	130,375	30	21	26,2	0,75	$8,7 \times 10^{-2}$

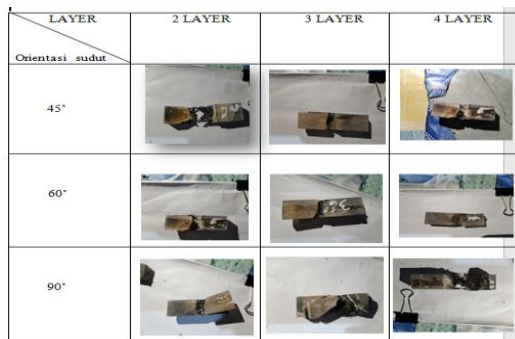
Tabel 3 Data Hasil Uji *Impact Strength*



Gambar 5 Grafik *Impact Strength*

Pembahasan Kekuatan Impact

Setelah pengujian terdapat nilai uji *impact* yang dimana variasi susunan 2 layer dengan sudut 45° memiliki nilai $4,8 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, sudut 60° memiliki nilai $6,9 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, dan 90° memiliki nilai $9,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$. Dimana variasi susunan 3 layer dengan sudut 45° memiliki nilai $3,6 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, sedangkan sudut 60° layer memiliki nilai $4,6 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, dan sudut 90° memiliki nilai $10,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$. Dimana variasi susunan 4 layer dengan sudut 45° memiliki nilai $8,8 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, sedangkan sudut 60° memiliki nilai $8,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$, dan sudut 90° memiliki nilai $8,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$. Dari hasil nilai tersebut grafik menunjukkan hasil pengujian mendapatkan kenaikan dan penurunan. Penurunan terjadi pada orientasi sudut 45° dengan variasi 3 layer, orientasi sudut 60° dengan variasi 3 layer, hasil tersebut dikarenakan pada proses manufaktur, pada saat pembuatan komposit kurang penekanan dan membuat terjadinya *deliminasi* atau matrik dan filler tidak merata dan menyebabkan kekuatan *impact* menurun. Dari hasil nilai pada grafik menunjukkan nilai kenaikan terjadi pada orientasi sudut 90°. Arah serat 90° memiliki arah transversal, dikarenakan serat karbon memiliki arah *bidirectional* dapat menahan patahan horizontal [5]. [Untuk variasi 3 layer dengan sudut 90° mengalami kenaikan nilai.



Gambar 6 Hasil Spesimen Variasi Orientasi Sudut dan Jumlah Layer dari Pengujian Impact

Gambar di atas spesimen yang sudah mengalami pengujian *impact* terdapat dua jenis bentuk *impact* yang dimana benda uji specimen hancur sebagian sehingga menyebabkan specimen hampir terbelah dan ada yang hancur semua yang menyebabkan specimen terbelah menjadi dua. Contoh bentuk *impact* hancur sebagian dan terbelah menjadi dua dapat dilihat pada Gambar 6 specimen yang terbelah menjadi dua terjadi karena patahan getas, patahan getas terjadi karena tanpa deformasi yang cukup besar dan mengalami perambatan retak yang cepat. Retak seperti itu disebut retak tidak stabil dan perambatan retak begitu dimulai akan berlanjut kontinyu secara spontan tanpa penambahan tegangan yang bekerja [8].

KESIMPULAN

Dari hasil analisa pengujian komposit dan pembahasan data yang diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa berdasarkan hasil pengujian tarik mendapatkan hasil paling baik yaitu variasi serat 2 layer dan arah sudut 60°, dengan hasil 141,60 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada variasi serat 3 layer dan arah sudut 60°, dengan hasil nilai 72,37 Mpa. Semakin banyak serat yang disusun maka semakin tinggi kekuatan tariknya dan semakin besar arah sudut maka semakin besar nilai kekuatan tarainya dikarenakan arah serat searah dengan arah pembebanan. Tetapi, pada hasil pengujian tarik untuk variasi serat 2 layer memiliki nilai tertinggi

karena patahan tidak sesuai titik yang diinginkan. Bentuk kegagalan komposit polyester berbeban serat karbon pada uji tarik serat mengalami putus dari komposit (*fiber pull out*) serta matriks putus karena matriks tidak mampu menahan beban yang diberikan (*delamination*)

Pada pengujian impact mendapatkan hasil paling baik yaitu variasi serat 3 layer dan arah sudut 90°, dengan hasil $10,7 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$. Sedangkan nilai impact terendah pada variasi 3 layer dan arah sudut 45°, dengan hasil nilai $3,6 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$. Pada pengujian impact arah serat dan jumlah layer sangat berpengaruh pada nilai impact. Terjadi karena arah serat 90° memiliki arah transversal, dikarenakan serat karbon memiliki arah *bidirectional* dapat menahan patahan horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Robert, *Mechanics of Composite Material*. 1999.
- [2] A. Hariyanto, "Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Impak Pada Rekayasa Dan Manufaktur Bahan Komposit Hybrid Berpenguat Serat E-Glass Dan Serat Kenaf Bermatrik Polyester," *Pros. SNST Fak. Tek.*, 2015.
- [3] Sirait, "Material Komposit Berbasis Polimer.," 2010.
- [4] R. F. Gibson, *Principle of composite material mechanic*. New York: International Book Company., 1994.
- [5] M. M. Schwartz, *Composite Materials Handbook*. New York: Hill Inc, 1984.
- [6] Amyrezaa, "Sifat Mekanik Materil.," 2015.
- [7] Sugiono, "Metode Penelitian Kuantitatif, kualitatif dan R&D.," *Bandung Alf.*, 2016.
- [8] E. H. PURWANTO, *SIFAT FISIS DAN MEKANIS FRAKSI VOLUME 5%,10%,15%,20%,25% CORE ARANG BAMBU APUS PADA KOMPOSIT SANDWICH DENGAN CARA TUANG*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2009.