

PEMANFAATAN SERAT ALAM DAN SERAT SINTETIS SEBAGAI MATERIAL BILAH *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE*

Crodita Bangkit Wiranegara¹, Xander Salahudin², Sri Hastuti³

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tidar

Email: croditabwn@gmail.com

ABSTRAK

Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan mesin turbin angin. Komponen penting pada turbin angin salah satunya yaitu bilah. Material bilah berbahan dasar kayu sering mengalami permasalahan berupa pelapukan yang disebabkan adanya cuaca ekstrem dan pengaruh partikel atau debu. Maka, diperlukan material alternatif yang lebih kuat namun lebih ringan yaitu material komposit. Komposit yang digunakan adalah komposit *hybrid* (serat *abaca*-serat *e-glass CSM/epoxy*). Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh varian fraksi volume serat pada komposit *hybrid* (serat *abaca* dan serat *e-glass CSM/epoxy*) bersusun acak-lurus-acak terhadap sifat mekanik dan sifat fisiknya. Proses pembuatan komposit menggunakan metode *press molding*. Pengujian impak dilakukan menggunakan standar ASTM E-23 dan pengujian bending menggunakan standar ASTM D790-02. Hasil dari penelitian ini didapat nilai ketangguhan impak tertinggi pada varian fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy* sebesar 0,035J/mm², kemudian nilai kekuatan bending tertinggi pada varian fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* sebesar 151,96N/mm² dan memiliki nilai optimum modulus elastisitas bending sebesar 6313,24MPa. Hasil foto penampang patahan pada spesimen dapat diketahui bahwa kegagalan atau cacat yang terjadi pada patahan adalah adanya serat yang terlepas atau *fiber pull out* akibat ikatan yang lemah antara matriks dan serat, serta adanya celah pada *interface* akibat kegagalan matriks mengikat serat, terdapat rongga udara (*void*) dan terjadinya penumpukan serat.

Kata kunci: turbin angin, *abaca*, komposit, *fiberglass*

ABSTRACT

Wind energy can be converted into electrical energy using a wind turbine engine. One of the important components in wind turbines is blades. Wood-based blade materials often experience problems in the form of weathering caused by extreme weather and the influence of particles or dust. So, we need an alternative material that is stronger but lighter, namely composite material. The composite used is a hybrid composite (abaca fiber-e-glass CSM/epoxy fiber). This study was conducted to determine the effect of fiber volume fraction variance on hybrid composites (abaca fiber and CSM/epoxy e-glass fiber) in random arrangement on their mechanical and physical properties. The composite manufacturing process uses the press molding method. The impact test was carried out using the ASTM E-23 standard and the bending test using the ASTM D790-02 standard. The results of this study obtained the highest impact toughness value in the fiber volume fraction variant 17.5%-abaca:17.5%-fiberglass:65%-epoxy of 0.035J/mm², then the highest bending strength value was in the fiber volume fraction variant 27, 5%-abaca:27.5%-fiberglass:45%-epoxy of 151.96N/mm² and has the optimum value of bending elasticity modulus of 6313.24MPa. The results of the cross-sectional photo of the fracture on the specimen can be seen that the failure or defects that occur in the fracture are the presence of loose fibers or fiber pull outs due to a weak bond between the matrix and the fiber, as well as the presence of gaps in the interface due to failure of the matrix to bind the fibers, there are air voids (voids).) and the occurrence of fiber accumulation.

Keywords: wind turbine, *abaca*, composite, *fiberglass*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan di daerah Ciheras Tasikmalaya, Jawa Barat masih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan operasional. Energi yang dimanfaatkan adalah energi angin, dari energi angin ini nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan alat yang sering disebut turbin angin. Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui mekanisme turbin angin dimana angin akan diserap oleh bilah, kemudian terjadinya putaran bilah turbin yang menghasilkan torsi untuk memutar generator selanjutnya diubah menjadi energi listrik. PLTB berskala mikro yang dibangun dekat Pantai Cipatujah, Tasikmalaya-Jawa Barat oleh Tim Lentera Angin Nusantara menggunakan turbin angin sejak Januari tahun 2012. Turbin angin yang dipakai untuk menghasilkan energi listrik bertipe HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan menggunakan material bilah berbahan dasar kayu pinus atau kayu mahoni [30].

Komponen penting dalam sistem pembangkit listrik pada turbin angin adalah rotor dan bilah. Rotor adalah alat yang mengkonversi gerak translasi dan gerak lurus arus angin menjadi gerak putar poros sedangkan bilah merupakan baling-baling yang berperan untuk menangkap angin. Sebagai bagian penting dalam pembangkit listrik dan berhadapan langsung dengan angin, material bilah berbahan dasar kayu sering mengalami permasalahan berupa pelapukan yang disebabkan adanya cuaca ekstrim dan pengaruh partikel atau debu yang terbawa oleh angin laut. Akibat dari tumbukan dengan partikel yang terbawa oleh angin, seringkali bilah mengalami masalah berupa pengikisan dipermukaan yang dapat mengakibatkan tidak optimalnya fungsi bilah. Oleh karena itu, diperlukan material alternatif yang lebih kuat namun lebih ringan yaitu material komposit. Diharapkan dengan menggunakan material komposit umur penggunaan bilah menjadi lebih lama. Komposit memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan kayu diantaranya sifat mekanik dan fisik yang baik, tidak terkorosi, tahan cuaca, dan densitas rendah. Bahan komposit mempunyai kelebihan dari segi versatility (berdaya guna).

Komposit *hybrid* merupakan gabungan lebih dari satu penguat dengan matriks supaya dapat mengganti kekurangan dan menggabungkan kelebihan dari masing-masing penguatnya. Keuntungan menggabungkan bahan komposit serat adalah lebih murah, lebih ringan, dan lebih kuat. Pada Penelitian sebelumnya pemanfaatan serat alam untuk aplikasi turbin angin juga pernah dilakukan oleh Laksono dkk, tentang pengaruh komposisi pengisi pada serat alam kayu galam bentuk serutan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur komposit poliester sebagai material aplikasi bilah kincir angin. Hasil dari penelitian didapat nilai tertinggi yang dicapai yaitu 70% serat pada semua uji mekanik. Didapatkan nilai kekuatan tarik berada sebesar 13,07 N/mm², kekuatan tekuk optimum 36,8 N/mm² dan nilai optimum dari kekuatan dampak sebesar 590,39 N/mm². Hasil kelenturan dan kekuatan dampak pada kayu galam-poliester sudah memenuhi syarat sebagai aplikasi bilah kincir angin [15].

Serat abaca merupakan serat alam yang memiliki karakteristik khusus, seperti memiliki kandungan selulosa yang tinggi, sifat mekanik yang sangat baik dan terutama pada modulus kuat tarik yang baik dibandingkan serat alam lainnya. Serat abaca ini diambil dari batang pohon pisang abaca. Disisi lain, keunggulan pemakaian serat abaca yaitu mudah didapat, murah, dan dapat mengurangi polusi lingkungan (*biodegradable*). Serat abaca juga tahan terhadap asam dan garam laut dan sering kali digunakan sebagai tali pada perahu untuk bersandar. Karakteristik serat abaca ini dapat dieksplorasi sebagai bahan penyusun komposit yang sangat potensial. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Panggabean dan Gustap Hasudungan, mengenai analisis kekuatan material komposit berpenyusun serat abaca pada arah orientasi [0/90/45] untuk aplikasi badan kapal. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa komposit berpenguat serat abaca memiliki nilai kekuatan lentur 139,26 MPa dan nilai modulus lentur 7567,8 MPa serta nilai kekuatan tarik 28,38 MPa pada fraksi volume serat 30%. Pada penelitian ini juga menunjukkan kaitan hubungan antara modulus young dengan

kenaikan fraksi volume serat [20]. Pada penelitian ini, serat alam yang digunakan yaitu serat abaca dan serat sintetisnya adalah serat *e-glass chopped strand mat* dengan berpenguat resin *epoxy* diharapkan dapat menghasilkan komposit alternatif. Dengan memvariasi fraksi volume serat abaca dan serat *e-glass chopped strand mat* diharapkan mendapatkan hasil kekuatan mekanik komposit *hybrid* yang optimal dari penelitian sebelumnya untuk mendukung pemanfaatan serat alam dan serat sintetis sebagai material bilah.

METODE

Bahan yang digunakan:

- Serat *abaca* untuk penguat matriks.
- Serat *e-glass csm* untuk penguat matriks.
- Resin *epoxy* dan *hardener* untuk matriks.
- Wax (*mirror glaze*) untuk memudahkan membuka cetakan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari:

- Mistar, untuk pengukuran dimensi dari spesimen.
- Cetakan kaca, sebagai media pembuatan spesimen.
- Gelas ukur, untuk mengukur volume resin dan serat.
- Wadah, sebagai tempat pencampuran resin, serat dan *hardener* (katalis).
- Timbangan digunakan untuk menimbang seberapa berat resin dan serat yang akan dicampur dalam proses pembuatan komposit sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan.
- Lem kaca (*silicone glass*)
- Gunting, silet, penggaris, dan jangka sorong.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Impak

Pengujian impact dilakukan dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* kemudian diambil nilai rata-rata dari setiap variasi. Pada penelitian ini didapat hasil perhitungan nilai ketangguhan impact dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan

h. Amplas dan gurinda potong, untuk meratakan dan memotong spesimen sesuai ukuran standar.

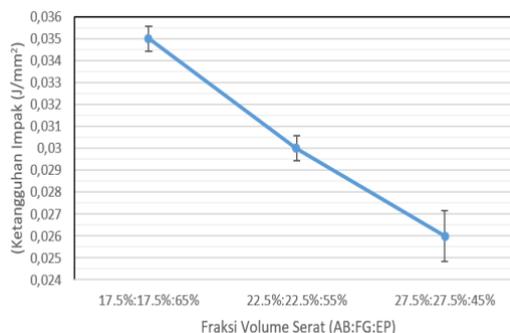
Variabel terkait:

- Variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*
- Variasi fraksi volume serat 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy*
- Variasi fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy*

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dengan kondisi yang terkendali dengan pembuatan spesimen komposit *hybrid* yang memvariasikan fraksi volume serat komposit kemudian dilakukan pengujian bending dan pengujian impact pada spesimen komposit *hybrid* setelah itu melakukan pengamatan patahan spesimen melalui foto makro. Teknik analisa data dalam penelitian ini menggunakan analisis data deskriptif yaitu menggambarkan hasil penelitian secara grafis dalam table, histogram, dan grafik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik komposit *hybrid epoxy* berpenguat serat *abaca* dan serat *e-glass chopped strand mat* dengan varian fraksi volume serat: 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy*, dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* dengan menggunakan uji bending serta uji impact guna mengetahui kekuatan mekanik dari komposit tersebut. Jenis metode produksi komposit yang digunakan adalah *compression molding* dengan vakum dilanjutkan penekanan selama 24 jam.

27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* dengan hasil rata-rata dari masing-masing yaitu 0,035 J/mm², 0,030 J/mm², dan 0,026 J/mm². Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai ketangguhan impact rata-rata tertinggi terdapat pada variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, sebesar 0,035 J/mm², sedangkan ketangguhan impact rata rata terendah terdapat pada variasi fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* sebesar 0,026 J/mm². Hasilnya kemudian disajikan dalam grafik untuk mengetahui pengaruh varian fraksi volume serat abaca

dan serat *e-glass* terhadap ketangguhan impak komposit *hybrid* sesuai gambar 3.1



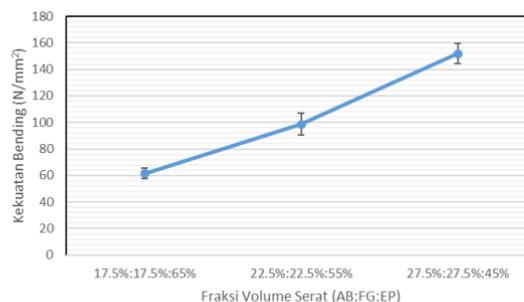
Gambar 3.1 Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Ketangguhan Impak

Berdasarkan ketangguhan impak yang diperoleh pada penelitian ini bahwa, jumlah fraksi volume berpengaruh terhadap ketangguhan impak. Semakin bertambahnya jumlah fraksi volume maka akan semakin tinggi. Hal ini relevan dengan pernyataan [26], dimana jumlah fraksi volume serat tidak sebanding dengan jumlah resin yang ada didalam komposit maka akan menyebabkan komposit menjadi getas dan penurunan ketangguhan impak. Penurunan nilai ketangguhan impak disebabkan karena pada variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy penyusunan serat dapat memenuhi cetakan dengan lebih merata maka serat dapat terikat oleh matriks dengan lebih baik dan serat mampu memberikan sisa ruang yang cukup sehingga matriks dapat mengikat ke seluruh bagian serat. Pada variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy, ketangguhan impak mengalami penurunan karena terdapat *void* pada komposit yang membuat ikatan antara matrik dan serat menjadi kurang sempurna dan membuat nilai ketangguhan impak menjadi berkurang. Pada variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy terjadi penurunan nilai ketangguhan impak karena penyusunan serat yang tidak merata sehingga terdapat ruang yang tidak terisi serat dan membuat ikatan antara serat dan matriks menjadi lemah.

Hasil Pengujian Bending

Hasil pengujian kekuatan bending komposit rata-rata dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar

61,50 N/mm², pada variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar 98,66 N/mm², dan pada variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar 151,96 N/mm². Selanjutnya, pengaruh fraksi volume serat abaca dan serat *e-glass* terhadap kekuatan bending disajikan dalam grafik pada gambar 3.2



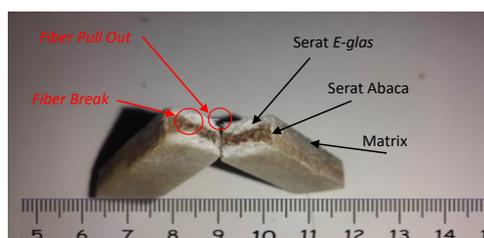
Gambar 3.2 Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bending

Berdasarkan gambar 2. dapat diketahui bahwa kekuatan bending rata rata naik seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat abaca dan serat *e-glass*. Kenaikan nilai kekuatan bending disebabkan karena pada variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy penyusunan serat dapat terdistribusi secara merata sehingga serat dapat terikat oleh matriks dengan lebih baik dan serat mampu memberikan sisa ruang yang cukup sehingga matriks dapat mengikat ke seluruh bagian serat. Pada variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy terjadi penurunan kekuatan bending yang disebabkan karena terjadinya pengurangan fraksi volume serat. Pengurangan fraksi volume serat tersebut menyebabkan matriks kurang terdistribusi secara merata sehingga serat yang berada ditengah menjadi tidak terlapisi matrik dengan baik dan ikatannya menjadi lemah. Selain itu, adanya *void* pada komposit bagian dalam yang mengakibatkan serat tidak kuat menahan beban yang diberikan. Hal ini mengakibatkan serat tidak terikat sempurna dengan matrik, dibuktikan dengan banyaknya serat yang tercabut (*fiber pull out*). Perbedaan kekuatan bending rata-rata dari ketiga variasi disebabkan oleh kenaikan volume serat yang digunakan, distribusi serat dan resin yang merata

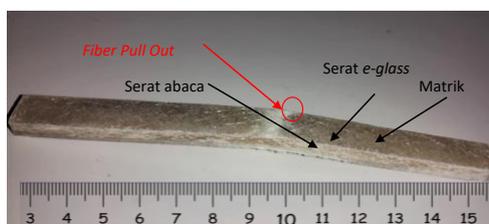
sehingga ketika komposit menerima beban kekuatannya menjadi tinggi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian terdahulu, dimana serat yang terputus (fiber break) mengindikasikan bahwa matrik masih mampu bekerja sama menerima beban dengan baik dan fiber pull out dapat mejadi indikasi kurang kuatnya ikatan antara serat dengan matrik [15].

Foto Makro

Tujuan dilakukan foto penampang patah adalah untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada komposit. Selain itu, foto penampang patah bertujuan untuk melihat karakteristik patahan hasil sesudah pengujian ketangguhan impak dan pengujian kekuatan bending. Foto penampang patah diambil menggunakan kamera handphone Sony menggunakan pembesaran 8x. Hasil dari foto penampang patah dapat dilihat pada gambar 3. dan 4.



Gambar 3. Foto Makro Spesimen Uji Impak



Gambar 4. Foto Makro Spesimen Uji Bending

Secara umum bentuk patahan uji impak pada variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy, 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy dan 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy terdapat bentuk patahan serat yang tercabut (fiber pull out) dikarenakan distribusi serat dan resin belum merata sehingga terdapat beberapa rongga udara yang mengakibatkan ikatan lemah antara matriks dan serat, serta adanya celah pada interface akibat kegagalan matriks mengikat serat. Selain itu pada bentuk patahan uji bending secara umum

memiliki bentuk patahan yang serat putus (fiber break). Hal itu dikarenakan penambahan fraksi volume serat sehingga memberikan sifat penguatan terhadap matrik yang lebih kuat karena serat yang digunakan lebih banyak pada specimen yang menyebabkan komposit tersebut dapat menahan beban dengan baik. Semakin banyak jumlah serat yang terdapat dalam komposit, secara teori akan lebih kuat karena serat tersebut berfungsi sebagai penguat. Selain itu dengan adanya serat yang terputus (fiber break) mengindikasikan bahwa matrik masih mampu bekerja sama menerima beban dengan baik. Hal tersebut dibuktikan dengan kenaikan kekuatan bending seiring dengan pertambahan jumlah serat, dimana variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi dibandingkan dengan variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy dan variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass: 65%-epoxy.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa maka didapatkan kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata ketangguhan impak komposit menurun seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat abaca dan serat e-glass dengan hasil pengujian fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy sebesar 0,035 J/mm², fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy sebesar 0,030 J/mm² dan fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy sebesar 0,026 J/mm²
2. Nilai rata-rata kekuatan bending komposit meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat abaca dan serat e-glass dengan hasil pengujian fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy. sebesar 61,50 N/mm², fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy sebesar 98,66 N/mm² dan fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxysebesar 151,96 N/mm² dan memiliki nilai optimum

modulus elastisitas bending sebesar 6313,24 MPa.

3. Hasil foto penampang patahan pada spesimen dapat diketahui bahwa kegagalan atau cacat yang terjadi pada patahan adalah adanya serat yang terlepas atau *fiber pull out* akibat ikatan yang lemah antara matriks dan serat, serta adanya celah pada *interface* akibat kegagalan matriks mengikat serat, terdapat rongga udara (*void*) dan terjadinya penumpukan serat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arisno, D., "Uji Karakteristik Serat Abaca Anyaman 3D pada Fraksi Volume (30%, 40%, 50%, 60%) "(Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta) 2009.
- [2] ASTM D 256-03., "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics" 2004.
- [3] ASTM D 790-03., "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials" 2003.
- [4] Bakri, B., Chandrabakty, S., Alfriansyah, A., dan Tahir, M., "Pengaruh Lingkungan Komposit Serat Sabut Kelapa Untuk Aplikasi Baling-Baling Kincir Angin". Jurnal MEKANIKAL, 5.1, 2014.
- [5] Banowati, L., Sari, P. dan Hadi, B.K., "Comparison Analysis of Abaca Fiber/Polyester and Abaca-E-glass/Polyester Hybrid Composites to Impact Strength and Its Application to Ballistic". In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1173, No. 1, p. 012068). IOP Publishing, 2021.
- [6] Basyarahil, Z. I., "Karakterisasi dan Proses Manufaktur Komposit Polypropylene Berpenguat Serat *Dendrocalamus* asper untuk Aplikasi Ruang Mesin Otomotif". Tugas Akhir. Program Studi S1 Teknik Material, Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, 2017.
- [7] Cahyono, M. A., Nf, H., Tinggi, S., dan Adisutjipto, T., "Analisis Pemilihan Desain Struktur dan Pembuatan Purwarupa Bilah Turbin Angin Komposit". Jurnal Angkasa, 7, 31-44, 2015.
- [8] Fahmi, H. and Hermansyah, H., "Pengaruh Orientasi Serat pada Komposit Resin Polyester/Serat Daun Nenas Terhadap Kekuatan Tarik". Jurnal Teknik Mesin, 1.1, pp.46-52, 2011.
- [9] Firmansyah, A., "Sintesis dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Nanokomposit Epoxy-Titanium Dioksida", Jurnal Fisika Unand, 2.2 2013
- [10] Gibson, Ronald F., "Principle of Composite Material Mechanics. New York": Mc Graw Hill, Inc. 1994.
- [11] Guntoro, G., "Pengaruh Variasi Arah dan Fraksi Volume Serat Pisang Abaka (Musa Textilis) Terhadap Sifat Mekanik Komposit" (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang), 2020.
- [12] Hariyanto, A., "Peningkatan Kekuatan Tarik dan Impak Pada Rekayasa Dan Manufaktur Bahan Komposit Hybrid Berpenguat Serat E-glass Dan Serat Kenaf Bermatrik Polyester Untuk Panel Interior Automotive". Prosiding SNST Fakultas Teknik, 1.1, 2015.
- [13] Hyer, M.W., "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials", Illinois: WBC/McGraw-Hill, 1998.
- [14] Islami, A.B., "Pengaruh Variasi Susunan Serat Abaka Dengan Resin Epoxy Terhadap Kekuatan Impact", Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang, 2020.
- [15] Laksono, A. D., Ismail, I., dan Ningrum, C. R., "Studi Pengaruh Komposisi Pengisi Serat Alam Kayu Galam (Melalueca Leucadendra) Bentuk Serutan pada Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Komposit Poliester Sebagai Material Untuk Aplikasi Bilah Kincir Angin", Jurnal Saintis, 19.1, 9-14, 2019.

- [16] M. M. Schwartz., "Composite Materials Handbook, McGraw-Hill Book Company", New York, 1984.
- [17] Nugroho, "Proses Produksi Pembuatan Microcar dari Bahan Komposit", skripsi, 2007.
- [18] Nugroho, Dendi Wahyu, "Komposit Dengan Serat Pisang Sebagai Material Alternatif Dalam Pembangunan Kapal", Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik Ui, Depok, 2000.
- [19] Nurmaulita. "Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa dengan Resin Polyester terhadap Karakteristik Papan Lembaran", Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2010.
- [20] Panggabean, Gustap Hasudungan, "Analisis Kekuatan Material Komposit Serat Pisang Abaca Pada Arah Orientasi [0/90/45] Untuk Aplikasi Badan Kapal", Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik Ui, Depok, 2007.
- [21] Punyamurthy, R., Sampathkumar, D., Bennehalli, B., Patel, R. Dan Venkateshappa, S.C., "Abaca Fiber Reinforced Epoxy Composites: Evaluation of Impact Strength". *Int J Sci Basic Appl Res*, 18, Pp.305-317, 2014.
- [22] Punyamurthy, R., Sampathkumar, D., Bennehalli, B., Ranganagowda, R.P., Badyankal, P.V. Dan Venkateshappa, S.C., "Research Article Abaca Fiber Reinforced Hybrid Composites". *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(23), Pp.20273-20286, 2014.
- [23] Rajadunyah., "Pembuatan dan Karakterisasi Papan Partikel dengan Menggunakan Serat Batang Kecombrang (*Nicolaia speciosa* horan) Campuran SiO₂ dan Resin Polyester", Tesis USU, 2013.
- [24] Saputra, B. A., Sutrisno, S., dan Sudarno, S., "Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepeh Pisang sebagai Penguat Komposit Polimer dengan Matriks Resin Polyester Terhadap Kekuatan Tarik dan Daya Serap Air". In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, pp. 561-566, 2018.
- [25] Saputra, D.A., "Kajian Kekuatan Bending Komposit Serat Pisang Abaca dan Resin Polyester yang Dibuat dengan Metode Cetak Tekan". ETD Unsyiah, 2021.
- [26] Suartama, I. P. G., Nugraha, I. N. P., dan Dantes, K. R., "Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polimer Polyester Diperkuat Serat Pelepeh Gebang". *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 4.1, 2020.
- [27] Septiyanto, R. F., dan Abdullah, A. H. D., "Perbandingan Komposit Serat Alam dan Serat Sintetis melalui Uji Tarik dengan Bahan Serat Jute dan e-glass. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 1.1, 2015.
- [28] Setiawan, D., "Karakterisasi Serat Abaca Sebagai Alternatif Material Penguat Komposit Ramah Lingkungan. *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*", 4.1, 2020.
- [29] Song, Y., U. Gandhi, T. Sekito, U. K. Vaidya, J. Hsu, dan A. Yang., "A Novel CAE Method for Compression Molding Simulation of Carbon Fiber-Reinforced Thermoplastic Composite Sheet Materials. *Journal of Composite Science*" 2.33:1-16, 2018.
- [30] Tim Lentera Angin Nusantara, "Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin. Tasikmalaya, 2014.
- [31] Ubaidillah, Z., "Kekuatan Bending Komposit dari Resin Epoxy dan Serat Pisang Abaca", ETD Unsyiah, 2020.
- [32] Widiarta, I W., Pasek N., Rihendra D., "Pengaruh Orientasi Serat terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceust*) dengan Matrik Polyester", *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*, volume 8, nomor 2, 2018.
- [33] Yono, S., "Pengembangan Komposit Serat Alam Rami dengan Core Kayu Sengon Laut untuk Aplikasi Sudu Turbin Angin. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10.2, 2016.