

Pembuatan Komposit Serat Tandan Kosong Sawit (TKS) Bermatriks Epoxy Dengan Metode Vacuum Bagging

Langgeng Budi Wibowo^[1], Warman Fatra^[2], Kaspul Anuar^[3]
Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
^[1]langgeng.budi3377@student.unri.ac.id, ^[2]warman_fatra@yahoo.com,
^[3]kaspul.anuar@lecturer.unri.ac.id

Abstract

Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) are natural fibers that have potential as fillers or reinforcement for polymer composites in terms of physical properties, morphology, and chemical composition. The problem in previous research is the weak bond between the fiber and the matrix, which causes low mechanical properties. Composite manufacture in this study using OPEFB fiber and epoxy matrix with vacuum bagging method. OPEFB fiber with a length of 3 cm was extracted using 5% OPEFB ash with boiling temperatures of 40°C, 55°C, and 70°C, with a boiling time of 1, 2, 3 hours, and in the composite manufacturing process, silane coupling agent was added to the matrix with variation of fractions 1.5%, 2% and 2.5% of the matrix volume. Experimental design and variables affect tensile strength, impact strength and water absorption, to determine the experimental design and variables in this study using the Response Surface Methodology (RSM) statistical method. The results showed the maximum tensile strength at running 19 with a value of 21,859 MPa, with a temperature of 70°C, boiling time of 3 hours, and the addition of a matrix of 2.5%. The maximum impact strength at running 2 with a value of 215.96 J/m, with a temperature percentage of 70°C, boiling time of 3 hours, and the addition of a matrix of 1.5%. Minimum water absorption on running 19 with a value of 1.4%, with a temperature of 70°C, boiling time of 3 hours, and the addition of a matrix of 2.5%.

Keywords: *Oil Palm Empty Fruit Bunches, method Response Surface Methodology (RSM), Vacuum Bagging, silane coupling agent.*

1. Pendahuluan

Pada era modern, perkembangan teknologi material berkembang sangat pesat. Salah satu ilmu teknologi yang berkembang di era modern sekarang yang dibutuhkan pada bidang industri seperti penerbangan, militer, otomotif dan berbagai bidang industri lainnya adalah material komposit. Pengembangan material komposit semakin serius dikembangkan. Salah satunya adalah komposit dengan material serat alam (*natural fiber*)[1].

Serat Tandan Kosong Sawit (TKS) merupakan salah satu serat alam yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang bermanfaat, selain itu ketersediaan serat TKS yang sangat berlimpah terutama di Provinsi Riau. Tandan kosong sawit dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit

polimer jika ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia. Hal ini disebabkan karena TKS memiliki kadar selulosa sekitar 44%. Bagian TKS banyak memiliki selulosa adalah bagian pangkal dan bagian ujung TKS yang runcing dan keras [2].

Serat tandan kosong sawit didapatkan dari sisa pengolahan buah dari tanaman sawit, dimana pada umumnya tandan kosong sawit masih belum sepenuhnya dimanfaatkan dan kebanyakan masih menjadi limbah. Untuk meningkatkan nilai dari tandan kosong sawit tersebut salah satunya diaplikasikan menjadi pengisi pada komposit. Pada serat alam memiliki beberapa masalah terhadap komposit salah satunya yang selalu dihadapi dalam pembuatan komposit adalah kurang kompaknya ikatan antara serat yang bersifat hidrofilik dengan matriks yang hidrofobik. Salah satu upaya untuk mengatasinya adalah

dengan melakukan alkali treatment pada serat tandan kosong sawit menggunakan larutan ekstraksi dari abu tandan kosong sawit yang berfungsi untuk meningkatkan kompatibilitas antara kedua bahan tersebut sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik komposit [3]. Pada penelitian ini diberikan penambahan *silane coupling agent* pada matriks yang berfungsi meningkatkan ikatan antara serat dan matriks sehingga sifat-sifat komposit menjadi lebih baik [4].

Dengan dasar penelitian di atas, maka didapatkan hipotesis awal penelitian ini dimana permasalahan lemahnya ikatan antarmuka di antara serat tandan kosong sawit dan matriks pada komposit serat tandan kosong sawit yang akan dilakukan dapat diatasi dengan melakukan perebusan pada serat pada temperatur 40°C, 55°C, 70°C, dan lama perebusan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Penambahan *silane coupling agent* pada matriks dengan presentasi 1,5%, 2%, dan 2,5% dari fraksi volume matriks. Penelitian ini menggunakan *filler* serat tandan kosong sawit dan jenis matriks yang digunakan adalah *epoxy*. Banyak cara untuk membuat material komposit salah satu cara yang digunakan yaitu dengan proses *vacuum bagging*. Penggunaan RSM sebagai metode percobaan dilakukan untuk menentukan pengaruh variabel independen terhadap kekuatan tarik, kekuatan impact dan daya serap air. Diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan nilai ekonomis dari limbah serat tandan kosong sawit dan memberikan kontribusi terhadap kemajuan ilmu material yang ramah lingkungan dimasa yang akan datang.

2. Metodologi

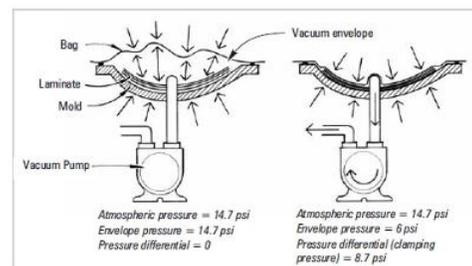
2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya, dimana satu material sebagai pengisi (Matriks) dan lainnya sebagai fasa penguat (*Reinforcement*). Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat namun juga ringan. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan,

diantaranya berat jenisnya rendah kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah. Unsur utama penyusun komposit yaitu pengisi (*filler*) yang berupa serat sebagai kerangka dan unsur pendukung lainnya yaitu matriks [5].

2.2 Vacuum Bagging

Vacuum bagging merupakan metode yang hampir sama dengan metode VARI. Namun resin yang digunakan tidak dialirkan, melainkan dioleskan menggunakan kuas atau *roller*. Dengan metode *vacuum bagging* cetakan berisi komposit akan dimasukkan kedalam kantong kedap udara kemudian udara didalam kantong tersebut akan dipompa keluar. Fungsinya yaitu untuk menghilangkan *void-void* dengan memaksa keluar udara yang terperangkap. Cara ini termasuk cara yang ekonomis dan mudah dilakukan. *Vacuum bagging* menggunakan tekanan atmosfer sebagai penjepit untuk menekan lapisan laminasi secara bersamaan dan tekanan yang sama rata [6]. Skema *vacuum bagging* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 *Vacuum Bagging*

2.3 Tandan Kosong Sawit

Sawit merupakan salah satu tanaman budidaya penghasil minyak nabati berupa *Crude Palm Oil* (CPO), sangat banyak ditanam dalam perkebunan di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Provinsi Riau. Berdasarkan data tahun 2017, luas area perkebunan sawit yang berada di provinsi Riau adalah 2.776.440 Ha dengan jumlah produksi sebesar 9.071.275 ton. Selain menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), dalam proses pengolahan sawit juga menghasilkan limbah yang sangat banyak. Diketahui untuk 1 ton sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong sawit (TKS) sebanyak

23% atau 230 kg, limbah cangkang (*Shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4% atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50%. Tandan kosong sawit yang jumlahnya 23% dari TBS hanya dimanfaatkan sebagai mulsa atau kompos untuk tanaman sawit dan tidak terserap seluruhnya atau dibakar dalam *incinerator* dan abunya dimanfaatkan sebagai substitusi pupuk kalium. Tandan kosong sawit masih dikatakan sebagai limbah dan belum dimanfaatkan secara baik untuk diolah dalam bentuk komposit.

2.4 Abu Tandan Kosong Sawit

Abu TKS yang diperoleh dari pembakaran ini bersifat basa dan hidroskopis [7]. Serat memiliki sifat alami yaitu *hydrophilic*, artinya sukar terhadap air. Sedangkan polimer bersifat *hydrophobic* [8]. Serat memiliki sifat alami yaitu *hydrophilic*, artinya sukar terhadap air. Sedangkan polimer bersifat *hydrophobic* [9]. Alkali *treatment* merupakan perlakuan yang paling banyak digunakan pada serat alam apabila digunakan sebagai penguat pada matriks termoplastik dan termoset. Perlakuan alkali terhadap serat dilakukan untuk memisahkan lignin dan kontaminan yang terkandung di dalam serat, sehingga didapat serat lebih bersih.

2.5 Resin Epoxy

Polimer termoset yang banyak digunakan antara lain resin *epoxy*, *polyester*, dan phenol. *Epoxy* merupakan resin cair yang molekul resinnya mengandung satu atau lebih gugus epoksida, ada dua jenis utama *epoxy*, glikidil *epoxy* dan non-glikidil. Salah satu resin glikidil *epoxy* yang paling umum dibuat menggunakan Bisphenol-A dan disintesis dalam reaksi dengan epiklorohidrin.

2.6 Persiapan Perlakuan Serat

Alkali *treatment* dilakukan menggunakan larutan ekstraksi abu tandan kosong sawit sebesar 5% direndam selama 24 jam bertujuan untuk menghilangkan zat lignin yang terkandung didalam serat [3], dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Perebusan Serat

2.7 Perebusan Serat

Serat direbus dengan menggunakan pemanas nasi yang sudah diberikan thermometer sebagai pengatur temperatur, perebusan dilakukan dengan variasi temperatur 40°C, 55°C dan 70°C serta variasi waktu yaitu 1, 2 dan 3 jam.

2.8 Pembuatan Spesimen

Setelah pelat komposit didapat, selanjutnya pelat dilakukan pemotongan menggunakan gerinda tangan dan mini grinder. Pemotongan pelat komposit dilakukan hingga didapatkan spesimen pengujian tarik, impak dan daya serap air sesuai dengan standar spesimen uji. Spesimen yang didapat sebanyak 60 spesimen untuk setiap pengujian masing-masing berjumlah 20 spesimen.

2.9 Response Surface Methodology (RSM)

Response surface methodology merupakan suatu metode matematika atau statistik yang berguna untuk pemodelan dan analisis masalah dimana respon yang dapat dipengaruhi oleh beberapa variabel dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon. Untuk desain RSM orde dua digunakan rancangan *Central Composite Design* (CCD). CCD merupakan suatu rancangan percobaan statistik pada RSM yang digunakan untuk membangun model polynomial suatu fungsi matematis dari variabel bebas ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) terhadap respon (y) yang terbentuk [10].

2.10 Pengujian Tarik, Impak dan Daya Serap Air pada Komposit Serat Tandan Kosong Sawit

Pengujian Tarik menggunakan mesin *Universal Hydraulic Testing Machine* didapat

berupa gaya tarik maksimum dari komposit. Beban tarik yang di dapat diolah untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimum dari komposit serat tandan kosong sawit. Setelah didapat gaya tarik maksimum dari pengujian maka akan diolah menjadi kekuatan tarik maksimum. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D 638 – 14. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau menggunakan mesin uji Tensilon RTF 2430 dengan kapasitas 300 KN. Pengujian impak merupakan salah satu pengujian sifat mekanik yang dilakukan terhadap spesimen yang akan digunakan, dimana spesimen akan menerima beban secara cepat atau tiba-tiba. Pengujian telah dilakukan dengan menggunakan mesin uji impak Zwick Roell HIT 5,5P dengan kapasitas 4 joule. Daya serap air merupakan sifat fisik komposit yang memperlihatkan kemampuan komposit dalam menyerap air. Pengujian daya serap air dilakukan di rumah penulis menggunakan standar ASTM D 570-98.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Software Design-Expert* 10.0.0. Analisis statik yang dilakukan berupa pengujian simultan model regresi. Uji simultan (keseluruhan) pada konsep regresi linier adalah pengujian mengenai kesesuaian model regresi. Uji simultan bertujuan untuk menguji apakah antara variabel-variabel bebas X dan variabel terikat Y, terdapat hubungan yang signifikan.

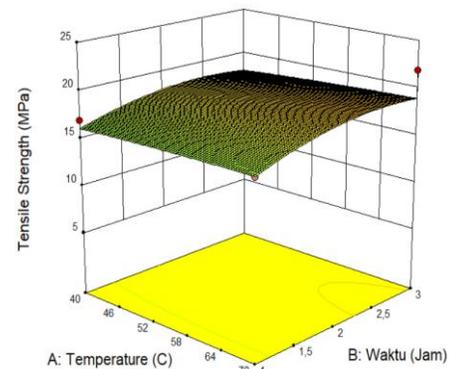
3.1 Pengujian Tarik

Hasil yang didapat dari pengujian tarik berupa kekuatan tarik. Berikut adalah hasil pengujian tarik spesimen uji komposit serat tandan kosong sawit dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Kekuatan Tarik

Run	Variabel Alami			Kekuatan Tarik (MPa)
	Temperatur Perebusan Serat (°C)	Waktu Perebusan Serat (jam)	Fraksi Penambahan Silane pada Matriks (%)	
1	40	1	2,5	16,951
2	70	3	1,5	12,817
3	80	2	2	14,365
4	40	3	2,5	17,558
5	55	2	2	15,758
6	40	3	1,5	11,973
7	55	2	2	17,251
8	70	1	1,5	10,8
9	55	2	2,9	19,087
10	55	2	1,2	14,176
11	55	0,4	2	11,022
12	55	2	2	15,658
13	55	2	2	12,936
14	70	1	2,5	16,386
15	55	2	2	15,543
16	55	2	2	13,74
17	55	3,7	2	13,433
18	40	1	1,5	6,3958
19	70	3	2,5	21,859
20	30	2	2	15,633

Dari hasil pengujian tarik ini didapatkan nilai kuat tarik tertinggi komposit serat TKS sebesar 21,859 MPa dengan temperatur perebusan serat 70°C waktu perebusan 3 jam dan penambahan *silane coupling agent* 2,5% pada matriks. Penelitian ini pengujian tarik mengalami peningkatan nilai kuat tarik meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur perebusan. Hal ini dikarenakan pada semakin tinggi temperatur perebusan pada serat akan memisahkan lignin dari serat yang akan membuat serat menjadi kasar dan digantikan dengan matriks dan akan menghasilkan *mechanical interlocking* yang baik dengan matriks [12]. Grafik pengaruh temperatur perebusan dan waktu perebusan pada presentase sialne 2,5% dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengaruh Temperatur Perebusan Serat TKS dan Waktu Perebusan Serat TKS

Terhadap Kekuatan Tarik dengan Presentase Silane 2,5 %

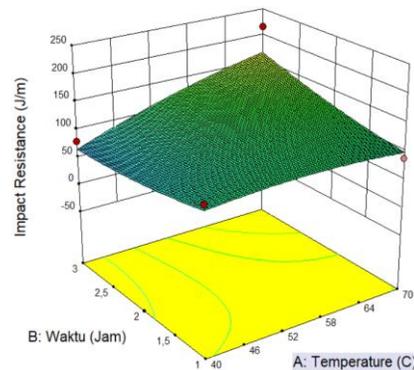
3.2 Pengujian Impak

Pengujian impak komposit serat TKS bermatriks *epoxy* adalah pengujian mekanis untuk mengetahui energi serap yang dapat diterima dari spesimen uji dan ketangguhan menahan beban kejut, dimana pengujian impak menggunakan standar ASTM D 6110-10. Tabel kekuatan impak dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Impak

Run	Variabel Alami			Ketahanan impak (J/m)
	Temperatur Perebusan Serat (°C)	Waktu Perebusan Serat (jam)	Fraksi Penambahan Silane pada Matriks (%)	
1	40	1	2,5	158,75
2	70	3	1,5	215,96
3	80	2	2	50,74
4	40	3	2,5	75,42
5	55	2	2	79,1
6	40	3	1,5	80,22
7	55	2	2	100,58
8	70	1	1,5	87,96
9	55	2	2,9	104,94
10	55	2	1,2	96,2
11	55	0,4	2	174,04
12	55	2	2	95,05
13	55	2	2	116,48
14	70	1	2,5	88,62
15	55	2	2	114,86
16	55	2	2	80,57
17	55	3,7	2	34,58
18	40	1	1,5	108,11
19	70	3	2,5	52,18
20	30	2	2	70,38

Dari hasil pengujian impak ini didapatkan nilai kekuatan impak tertinggi komposit serat TKS sebesar 215,96 J/m dengan temperatur perebusan serat 70°C waktu perebusan 3 jam dan penambahan *silane coupling agent* 1,5% pada matriks. Hal ini terjadi dikarenakan kekuatan impak meningkat seiring bertambahnya waktu perebusan serat, peningkatan kekuatan impak menunjukkan fakta bahwa terjadi perbaikan karakteristik perekatan (*adhesion*) permukaan serat oleh cacat alami dan topologi permukaan serat menjadi kasar dan dapat meningkatkan sifat-sifat mekanis komposit setelah serat mengalami perlakuan perebusan [9]. Grafik pengaruh temperatur perebusan dan waktu perebusan pada presentase silane 1,5% dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengaruh Temperatur Perebusan Serat TKS dan Waktu Perebusan Serat TKS Terhadap Kekuatan Impak dengan Presentase Silane 1,5 %

3.3 Daya Serap Air

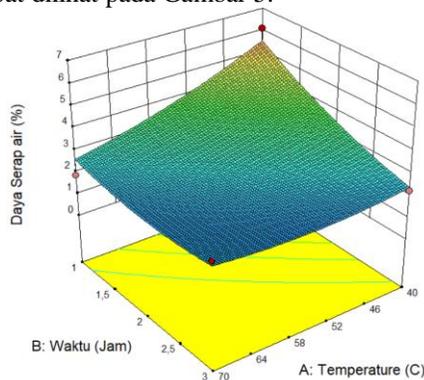
Pengujian daya serap air dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Riau. Dengan menggunakan standard ASTM D 570-98 didapatkan hasil daya serap air. Hasil uji daya serap air didapatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Uji Daya Serap Air

Run	Variabel Alami			Daya Serap Air (%)
	Temperatur Perebusan Serat (°C)	Waktu Perebusan Serat (jam)	Fraksi Penambahan Silane pada Matriks (%)	
1	40	1	2,5	6,08
2	70	3	1,5	4
3	80	2	2	3,42
4	40	3	2,5	2,24
5	55	2	2	1,52
6	40	3	1,5	2,37
7	55	2	2	1,96
8	70	1	1,5	4,01
9	55	2	2,9	3,91
10	55	2	1,2	4,32
11	55	0,4	2	4,09
12	55	2	2	2,22
13	55	2	2	2,53
14	70	1	2,5	1,89
15	55	2	2	3,4
16	55	2	2	1,61
17	55	3,7	2	1,83
18	40	1	1,5	3,52
19	70	3	2,5	1,4
20	30	2	2	2,22

Dari hasil pengujian daya serap air minimum ini didapatkan adalah 1,4%, dengan temperatur perebusan serat 70°C waktu perebusan 3 jam dan penambahan *silane coupling agent* 2,5% pada matriks. Penelitian daya serap air mengalami peningkatan nilai minimum

penyerapan air seiring dengan bertambahnya presentasi silane pada matriks. Hal ini terjadi dikarenakan penambahan silane coupling agent terbukti memperkecil struktur permukaan dan rongga serat semakin kecil, hal ini dapat mengurangi daya serap air serat [13]. Grafik pengaruh temperatur perebusan dan waktu perebusan pada presentase silane 2,5% dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh Temperatur Perebusan Serat dan Waktu Perebusan Serat terhadap Daya Serap Air dengan Persentase Silane Tetap (2,5%).

4. Simpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa simpulan yaitu sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik maksimum yang diperoleh adalah 21,859 MPa, didapatkan pada temperatur perebusan serat 70°C. Kekuatan dampak maksimum yang diperoleh adalah 215,96 J/m, didapatkan pada temperatur perebusan serat 70°C. Daya serap air minimum yang di peroleh adalah 1,4%, didapatkan pada temperatur perebusan serat 70°C.
2. Kekuatan tarik maksimum yang diperoleh adalah 21,859 MPa, didapatkan pada waktu perebusan serat selama 3jam. Kekuatan dampak maksimum yang diperoleh adalah 215,96 J/m, didapatkan pada waktu perebusan serat selama 3jam. Daya serap air minimum yang diperoleh adalah 1,4%, didapatkan pada waktu perebusan serat selama 3jam.
3. Kekuatan tarik maksimum yang diperoleh adalah 21,859 Mpa, didapatkan pada persentasi penambahan *silane coupling agent* sebanyak 2.5% dari volume matriks. Kekuatan dampak maksimum yang diperoleh adalah 215,96 J/m, didapatkan pada presentasi *silane*

coupling agent sebanyak 1.5% dari volume matriks. Daya serap air minimum yang diperoleh adalah 1,4%, didapatkan pada presentasi *silane coupling agent* sebanyak 2,5% dari volume matriks.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Nurudin, "POTENSI PENGEMBANGAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT KULIT WARU (HIBISCUS TILIACEUS) KONTINYU LAMINAT SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI FIBERGLASS PADA PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL," *Edible Med. Non Med. Plants*, vol. 12, no. 2, pp. 385–394, 2011.
- [2] D. Anggraini, "Manufacture of Pulp from Empty Oil-Palm Fruit Bunches For Paperboard at Small-Scale Endeavor," *Pus. Litbang Keteknikan Kehutan. dan Pengolah. Has. Hutan*, vol. 53, p. 160, 2011.
- [3] W. Fatra, H. Rouhillahi, Z. Helwani, Zulfansyah, and J. Asmura, "Effect of alkaline treatment on the properties of oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polypropylene composite," *Int. J. Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 1026–1034, 2016, doi: 10.14716/ijtech.v7i6.3675.
- [4] J. G. Kim, I. Choi, D. G. Lee, and I. S. Seo, "Flame and silane treatments for improving the adhesive bonding characteristics of aramid/epoxy composites," *Compos. Struct.*, vol. 93, no. 11, pp. 2696–2705, 2011, doi: 10.1016/j.compstruct.2011.06.002.
- [5] F. R. Gibson, "Principles of composite material mechanics," *Princ. Compos. Mater. Mech.*, 1994.
- [6] L. Rahmadhani, A. Syuhri, and A. Z. Mutaqqin, "PENGARUH POSISI VACUUM GATE TERHADAP WAKTU INFUSE PADA PROSES VACUUM ASSISTED TRANSFER MOLDING Vacuum assisted resin transfer molding is one of the methods making products where resin as matrix sucked with pressure vacuum in moulding with tranpaent baggin," *J.*

- STATOR*, vol. 1, no. 1, pp. 45–48, 2018.
- [7] I. T. Yoeswono, Triyono, “119008-ID-none.pdf,” *Pemanfaat. LIMBAH ABU TANDAN KOSONG SAWIT SEBAGAI KATALIS BAA PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI Miny. SAWIT*, vol. VOL. 14, no. J. MANUSIA DAN LINGKUNGAN, pp. 55–62, 2007.
- [8] L. Hartanto, “STUDY PERLAKUAN ALKALI DAN FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN BENDING, TARIK, DAN IMPAK KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT RAMI BERMATRIK POLYESTER BQTN 157,” *Jur. Tek. MESIN Fak. Tek. Univ. MUHAMMADIYAH SURAKARTA*, 2009.
- [9] H. M. Akil, M. F. Omar, A. A. M. Mazuki, S. Safiee, Z. A. M. Ishak, and A. A. Bakar, “Kenaf fiber reinforced composites: A review,” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 8–9, pp. 4107–4121, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2011.04.008.
- [10] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*, 8th ed. United States Of America: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [11] “ASTM D 570-98,” *Stand. Test Method Water Absorpt. Plast.*, vol. 16, pp. 3–6, 2000.
- [12] N. K. Margana, “PENGARUH WAKTU PEREBUSAN SERAT MENDONG (FIMBRISTYLIS UMBELLARIS) DALAM LARUTAN NaOH TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT BERMATRIK EPOXY,” *Tek. MESIN KONSENTRASI Tek. MANUFAKTUR*, 2019.
- [13] R. S. Josef Matheus, Yudy Surya Irawan, “Pengaruh Perlakuan Silane Dan NaOH Pada Permukaan Serat Kontinyu Limbah Epulur Sagu (Metroxylon SP) Terhadap Daya Serap Air Dan Kekuatan Bending,” *Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 3, pp. 194–198, 2013, doi: 10.21776/ub.jrm.