



STUDI PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BIORESIN EPOKSI-MINYAK KELAPA SAWIT UNTUK APLIKASI *CORE SANDWICH MATERIAL* LAMBUNG KAPAL

Eli Novita Sari^{a*}, M Fauzi Soulton^b, Siti Duratun Nasiqiati Rosady^c, Kusnandar^d

^{a, b, c, d} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Billfath,

E-mail koresponden: elinovitasari5@gmail.com

ABSTRACT

Vegetable oil is non-toxic, environmentally friendly, biodegradable, and renewable so that it becomes an alternative to replace chemicals and mineral oil. This research developed a bioresin which is a mixture of epoxy with natural polymer such as palm oil. The homogenization method used a hot plate so that the mixing reaches miscible materials. The results of bioresin testing with variations in the composition of palm oil showed that the optimal composition variation was E-MS (10%) because it had a low tensile strength value of 53.111Mpa, the highest elongation value of 14.04767%, and a low hardness value of 86.3 on the shore D scale, the highest density value of 1.25254(g/cm³). Judging from the standard L'loyd Register and BKI (Indonesian Classification Bureau) that the values of all tensile strength test results meet the standards and all variations in the composition of the test results and elongation values meet the minimum criteria.

Keywords: *Vegetable Oils, Epoxy, Bioresin, Mechanical Properties.*

ABSTRAK

Minyak nabati memiliki sifat yang ramah terhadap lingkungan, tidak mengandung racun, *biodegradable*, serta sifatnya yang dapat diperbarui sehingga menjadi alternatif untuk mengganti bahan kimia dan minyak mineral. Penelitian yang dilakukan ini akan mengembangkan bioresin yang merupakan hasil pencampuran antara epoksi dengan polimer alam berupa minyak kelapa sawit. Metode homogenisasi menggunakan hot plate agar pencampuran mencapai *miscible materials*. Hasil pengujian bioresin dengan memvariasikan komposisi minyak kelapa sawit didapatkan hasil bahwa pada variasi komposisi yang teroptimum adalah pada E-MS (10%) karena memiliki nilai kekuatan tarik yang rendah yaitu 53,111Mpa, nilai elongasi yang paling tinggi sebesar 14,04767%, nilai kekerasan yang rendah yaitu 86,3 skala shore D, dan nilai densitas yang paling tinggi sebesar 1,25254(g/cm³). Ditinjau dari standart *L'loyd Register* dan BKI (Badan Klasifikasi Indonesia) bahwa nilai semua hasil pengujian kekuatan tarik memenuhi standar dan semua variasi komposisi hasil pengujian dan nilai elongasi memenuhi kriteria minimum.

Kata Kunci : *Mechanical Properties, Minyak Nabati, Epoksi, Bioresin.*

1. PENDAHULUAN

Tantangan untuk industri di bidang *biodegradable* adalah membuat bahan yang sifatnya lebih baik dari bahan kimia saat ini, konsumsi biaya rendah, dapat diperbarui, dan ramah lingkungan [1]. Oleh sebab itu, dilakukan inovasi teknologi material polimer yang ramah lingkungan. Minyak nabati termasuk sumber daya terbarukan yang dapat digunakan sebagai bahan baku produk-produk baru. biaya relatif rendah dan ketersediaannya yang melimpah menjadikan minyak nabati sebagai bahan baku industri yang cukup menarik untuk industri plastik [2].

Minat yang meningkat ini tidak hanya bersifat akademis tetapi juga industri karena munculnya dukungan untuk memproduksi bahan-bahan berbasis *biodegradable* berbiaya rendah dan ramah lingkungan [2]. Termoplastik dan termoset yang bersumber dari minyak nabati telah menunjukkan karakteristik kekakuan relatif rendah dan polimer rantai yang panjang. Polimer rantai panjang pada suatu bahan dapat meningkatkan *elongation* suatu material [2].

Penelitian ini meneliti mengenai pengembangan bioresin berbasis polimer epoksi dengan polimer minyak kelapa sawit. Resin epoksi memiliki kemampuan berbagai sifat yang berbeda seperti yang *dicuring* dan dikombinasikan bersama-sama dengan bahan lain [3].

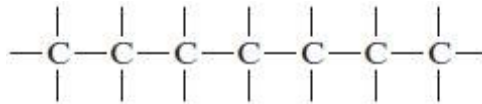
Pengaplikasian bioresin tersebut digunakan sebagai bahan utama *core sandwich*. *Core sandwich* merupakan komponen yang terdiri dari 2 *faceplate* dan material inti yang akan diterapkan pada lambung kapal [4]. Lambung kapal sebelumnya terbuat dari besi yang menyebabkan peningkatan beban internal kapal dan

menurunkan performa kapal, sehingga kapal hanya dapat menampung sedikit penumpang dengan kecepatan kapal yang rendah. Oleh karena itu, bahan di bagian lambung kapal diganti dengan bahan yang lebih ringan namun memiliki properti yang baik dan memenuhi standar BKI (Badan Klasifikasi Indonesia) dan *L'loyd Register*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

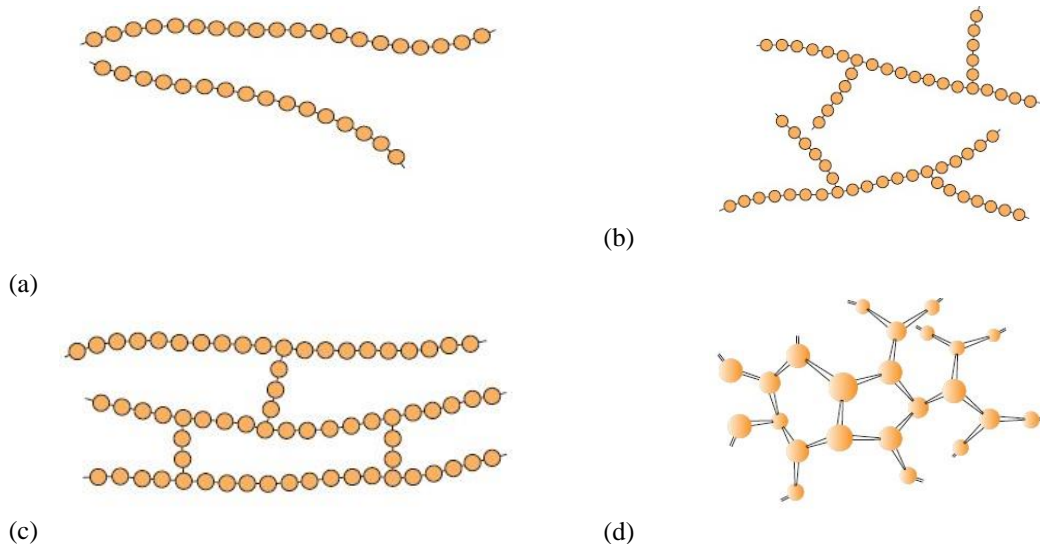
2.1. Polimer dan Struktur Polimer

Polimer adalah molekul besar atau makro molekul yang terbentuk dari sub unit yang berulang-ulang dan banyak. Ada banyak jenis polimer mulai dari plastik sintetis sampai biopolimer alami. Pada kasus beberapa aplikasi material material seperti logam dan keramik telah diganti menggunakan material berbahan dasar polimer [5].



Gambar 1. Ikatan Polimer Karbon Atom [5]

Karakteristik fisik dari polimer tidak hanya tergantung oleh bentuk dan berat molekul, namun selain itu juga dari perbedaan pada struktur dari rantai molekul.



Gambar 2. Struktur Molekul Polimer: (a)Linear; (b)Branched; (c)Crosslinked; (d)Network [5].

2.2. Minyak Nabati

Bioresin merupakan resin yang bersumber dari biologis tanaman, seperti misalnya dari kedelai atau jagung untuk perbaikan sistem bahan bakar. Salah satu bahan yang digunakan untuk membuat bioresin adalah minyak nabati. Ada berbagai cara untuk mempolimerisasi minyak nabati, salah satunya adalah polimerisasi langsung ikatan C=C dalam struktur minyak nabati [6]. Choedkiatsakul [7] telah meneliti dan menyajikan data pembuatan biodiesel menggunakan jenis minyak nabati dengan beberapa variasi komposisi alkohol : minyak nabati : katalis. Hasil penelitiannya didapat hasil operasi biodiesel paling maksimal diperoleh pada komposisi sebesar 6:1:1 untuk variasi alkohol: minyak nabati : katalis NaOH yang menghasilkan laju aliran 55mL/min.

Kemudian [8] dalam penelitian yang telah dilakukan terkait pembuatan elastomer poliuretan dari poliol berbahan dasar minyak nabati yaitu minyak kedelai dengan rasio molar 1, 2, dan 4 % didapatkan hasil bahwa poliuretan elastomer dengan poliol minyak kedelai yang massa molarnya lebih rendah memiliki sifat fisik-mekanik, mekanik, dan ketahanan termal yang lebih tinggi.

Lebih dari 90% dari semua bahan kimia berasal dari minyak dan gas [9]. Namun, pasokan sumber daya fosil yang terbatas, toksisitas yang terkait dengan banyak petrokimia, dan masalah dengan perubahan iklim telah menyebabkan pengembangan bahan kimia dan material dari sumber daya terbarukan [10]. Dalam hal ini, minyak nabati merupakan alternatif yang cocok untuk menggantikan minyak mineral. Hal tersebut

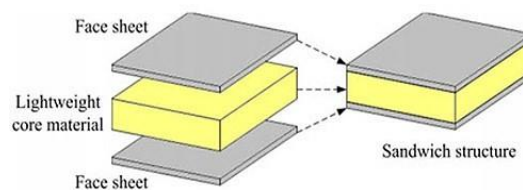
disebabkan karena minyak nabati bersifat tidak beracun, biodegradable, dan produk '*Generally Regarded as Safe*' (GRAS) [11]. Minyak sawit yang terkandung dalam sel-sel serat adalah sekitar 20 – 24% dari berat tandan sawit, sedangkan minyak inti sawit sekitar 2 – 4 % [12].

2.3. Miscible Materials

Resin sintetis berbasis minyak bumi dapat memproduksi gas yang berbahaya atau karsinogenik. Campuran homogen pada tingkat molekuler disebut dengan istilah "*miscible*". Istilah ini digunakan untuk menggambarkan morfologi molekul dengan fase yang terpisah [13]. Tetapi bioresin biasanya bebas dari material yang mengandung karsinogenik [6]. Komposit tersusun atas dua bahkan lebih fase yang berbeda, yaitu fase kontinyu dan fase diskontinyu yang mengikat material penguat serta memberi bentuk yang biasanya disebut sebagai matriks. Sifat material komposit dipengaruhi oleh material pembentuknya, interaksi antara material pembentuknya dan distribusi fase diskontinyu [14].

2.4. Lloyd's Register Standard dan BKI (Badan Klasifikasi Indonesia)

Material inti yang diterapkan harus memenuhi syarat yang ditentukan oleh *Lloyd's register standard* dan BKI (Badan Klasifikasi Indonesia).



Gambar 3. Komponen *Sandwich Material* [15]

Tabel 1. Densitas Bahan *Core Sandwich Material*

Material	Densitas (g/m ³)
Besi	7.7
Aluminium	2.7
Poliuretan	0.062
Epoksi Resin	0.886

Lloyd's register standard merupakan standar yang dikeluarkan oleh negara Jerman didunia maritim untuk menentukan standar material yang diaplikasikan. Salah satunya yaitu mengatur tentang syarat *core* yang harus dipenuhi untuk dapat diaplikasikan pada *sandwich* kapal.

Tabel 2. *Core Properties* [16]

Test	Standard	Criteria
Density	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ at RT}$
Hardness	DIN 53505	Shore D $\geq 65 \text{ at RT}$
Shear Modulus	Torsion Pendulum Test - 20°C to +80°C DIN EN ISO 6721-2	$G \geq 312 \cdot 2.4T \text{ (}^\circ\text{C)}$
Tensile Stress	ISO 527 or ASTM D412	$\geq 5 \text{ Mpa at } +80^\circ\text{C}$ $\geq 20 \text{ Mpa at RT}$
Elongation	ISO 527 or ASTM D412	Min. 20% at RT Min. 10% at -20°C
Bond Shear Strength	ASTM D429-81	$\geq 2.7 \text{ Mpa (Shot Strength Blasted)}$ $\geq 4 \text{ Mpa (Grit Blasted)}$

BKI
(Bada
n
Klasif

ikasi Indonesia) adalah badan usaha milik Negara Indonesia yang ditunjuk sebagai satu-satunya badan klasifikasi nasional yang melakukan pengkelasan kapal niaga berbendara Indonesia maupun asing yang

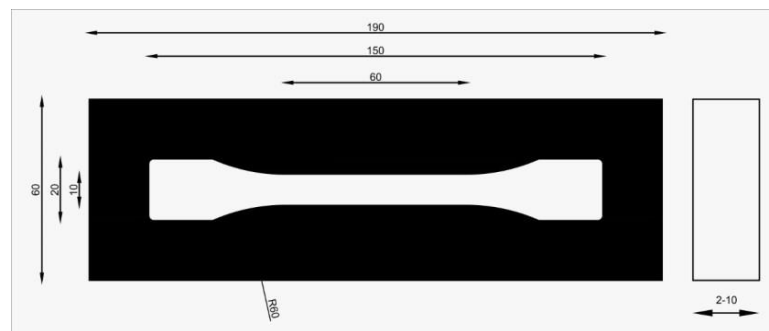
secara reguler beroperasi di perairan Indonesia. Berdasarkan standar BKI (Badan Klasifikasi Indonesia) untuk produk resin termasuk epoksi resin.

Tabel 3. Spesifikasi Sifat Minimum Resin [17]

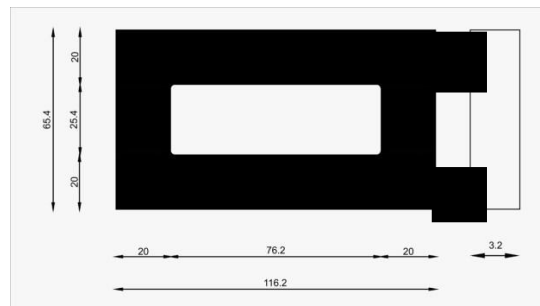
<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	40
<i>Fracture Strain</i> (%)	2.0
<i>Modulus of Elasticity</i> (Mpa)	2700
<i>Bending Strength</i> (Mpa)	80
<i>Dimensional Stability Under Heat</i> (°C)	60
<i>Water Absorption</i> (mg)	70

3. METODOLOGI PENELITIAN

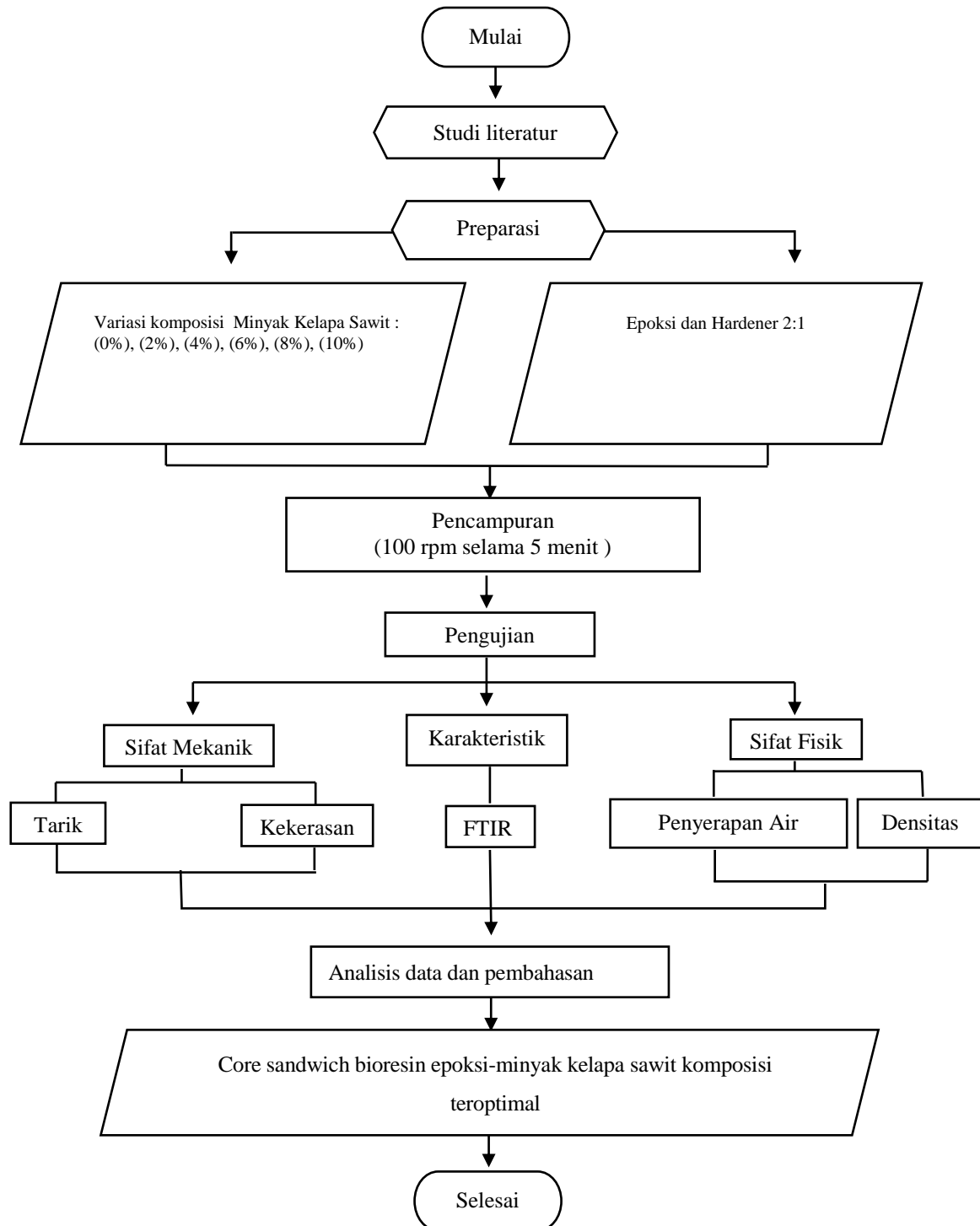
Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut, diantaranya : Epoksi, *Hardener*, dan Minyak nabati (minyak sawit. Alat alat yang digunakan diantaranya, timbangan Digital FUJITSU FSR-B1200, *Fourier-transform infrared* (FTIR) Nicolet IS10, Durometer Shore D dengan spesimen sesuai standar ASTM D2240-Durometer Hardness, Mesin Uji Tarik Hunt Ta-2402 dengan spesimen sesuai standar ISO 527-4.



Gambar 4 Dimensi Cetakan Spesimen Uji Tarik Standar ISO 527-4 [18]



Gambar 5 Dimensi Cetakan Spesimen *Water Adsorption* sesuai ASTM D570-98 [19]



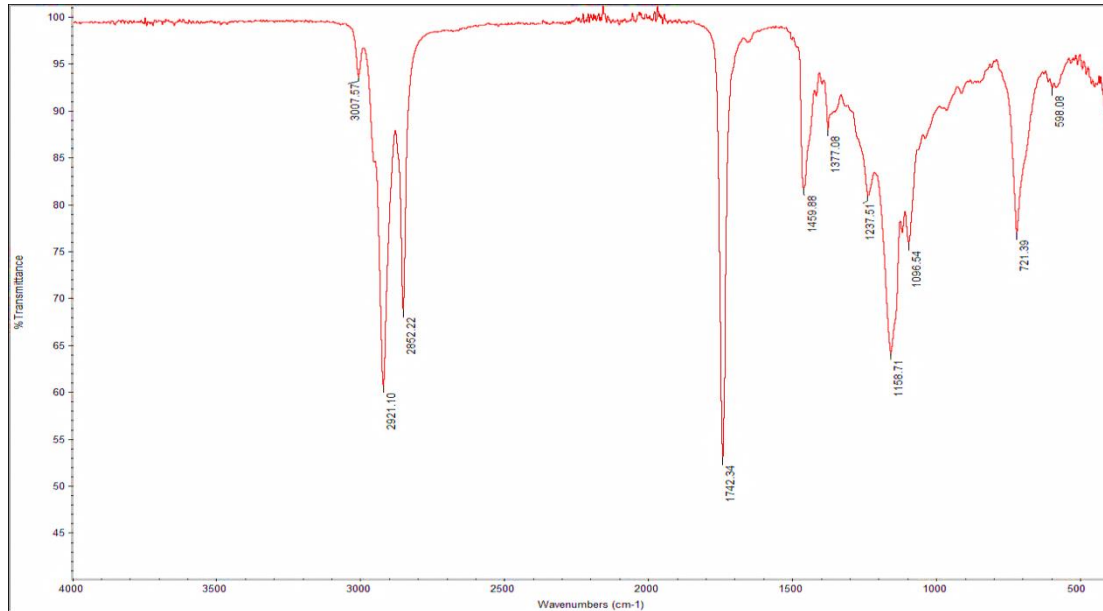
Gambar 6. Diagram alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji FTIR terhadap Campuran Epoksi Resin

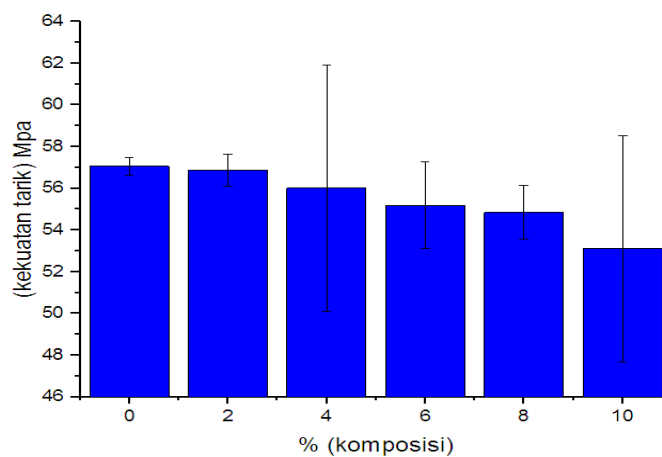
Minyak kelapa sawit mempunyai komposisi kimia utama yang disebut sebagai trigliserida. Trigliserida terdiri dari tiga asam lemak dan gliserol yang memiliki gugus fungsi C-H, C-O, C=C dan C=O[4]. Analisis FTIR bertujuan untuk mengamati struktur gugus fungsi dan ikatan kimia yang terbentuk menurut bioresin polimer epoksi resin [20].

Kelompok trigliserida pada minyak sawit menunjukkan adanya gugus karbon panjang yang mampu meningkatkan nilai elongasi. Gugus C rangkap dua pada minyak sawit terdapat pada *wavenumber* 1742.34 cm^{-1} dan 1459.88 cm^{-1} . sedangkan pada epoksi resin terdapat *wavenumber* 1724 cm^{-1} , 1603 cm^{-1} dan 1501 cm^{-1} . Ikatan rangkap dua ini yang akan berikatan dengan gugus lain sehingga berpengaruh terhadap properti dari bioresin Epoksi Resin- minyak sawit.



Gambar 7 Spektrum FTIR Minyak Kelapa Sawit

4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Minyak Kelapa Sawit terhadap Kekuatan Tarik Bioresin Epoksi-Minyak Kelapa Sawit



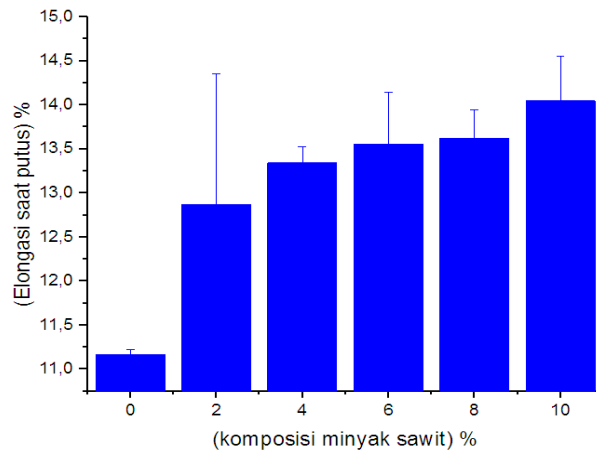
Gambar 8 Grafik Kekuatan Tarik Bioresin Epoksi- Minyak Kelapa Sawit

Berdasarkan gambar 8, dapat dilihat bahwa penambahan minyak nabati semakin menurunkan kekuatan tarik bioresin. Ardhyanta [21] menyatakan bahwa penambahan minyak nabati dapat menurunkan kekuatan tarik, yang disebabkan oleh ikatan yang tidak bereaksi serta molekul yang sulit membeku, dan terjadinya aglomerasi menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik.

Namun, meskipun adanya penurunan nilai kekuatan tarik, nilai tersebut masih memenuhi standar *L'loyd Register* yaitu minimal memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 20 MPa. Adanya penurunan kekuatan tarik menandakan bahwa elongasi bioresin ada peningkatan [4].

Hal ini yang menjadi penting karena material *core sandwich* harus memiliki nilai elongasi tinggi agar dalam pengaplikasiannya tidak mudah patah.

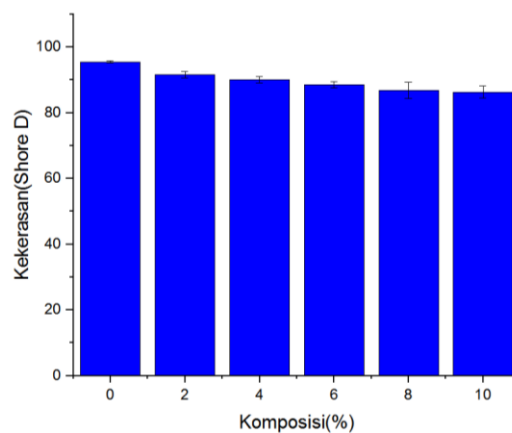
4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Minyak Kelapa Sawit terhadap Elongasi Bioresin Epoksi-Minyak Kelapa Sawit



Gambar 9 Grafik Elongasi saat Putus Bioresin Epoksi- Minyak Kelapa Sawit

Penelitian ini menunjukkan bahwa pencampuran minyak kelapa sawit sangat berpengaruh terhadap elongasi Bioresin Epoksi. Penambahan polimer berbasis minyak kelapa sawit meningkatkan elongasi saat putus dan kekuatan impak karena massa jenis ikatan silang yang rendah dan fleksibilitas rantai yang lebih tinggi [22]. Menurunnya elongasi saat putus terjadi karena meningkatnya berat jenis ikatan silang [23].

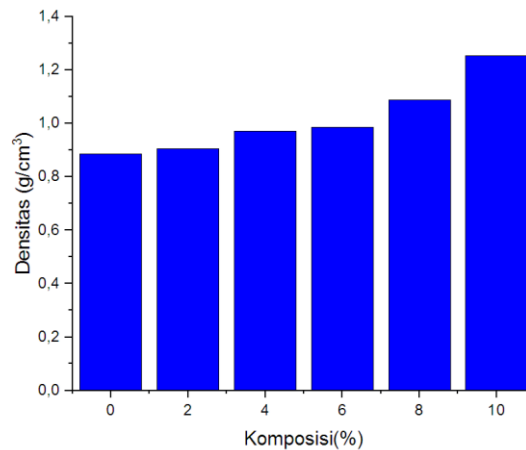
4.4 Pengaruh Variasi Komposisi Minyak Kelapa Sawit terhadap kekerasan Bioresin Epoksi-Minyak Kelapa Sawit



Gambar 10 Grafik Uji Kekerasan Menggunakan Durometer Shore D

Gambar 10 di atas menunjukkan bahwa menambahkan minyak kelapa sawit memiliki pengaruh turunya nilai kekerasan dari Bioresin Epoksi- Minyak Kelapa Sawit. Penambahan minyak nabati dapat menurunkan nilai kekerasan [4]. Sama halnya dengan kekuatan tarik, kekerasan juga berlawanan dengan elongasi. Material yang memiliki kekerasan rendah, memiliki elongasi yang tinggi. Gambar 10 menunjukkan bahwa semua variasi komposisi memenuhi standar *L'loyd Register*, standar minimum kekerasan shore D yang harus terpenuhi adalah 65 Skala Shore D.

4.5 Pengaruh Variasi Komposisi terhadap Densitas Bioresin Epoksi- Minyak Kelapa Sawit



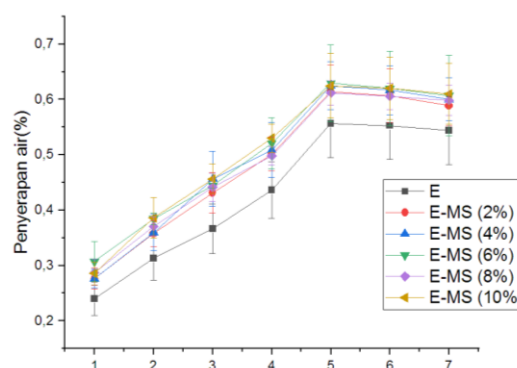
Gambar 11 Grafik Pengujian Densitas Bioresin Epoksi- Minyak Kelapa Sawit

Berdasarkan Gambar 11, massa jenis pada variasi komposisi E (0%) bernilai 0,88627 g/cm³. Sedangkan densitas minyak kelapa sawit 0,735991 g/cm³al ini menunjukkan bahwa penambahan minyak kelapa sawit sangat berpengaruh terhadap densitas. Semakin besar penambahan minyak kelapa sawit maka densitas semakin tinggi. pada variasi komposisi E-MS (2%) bernilai 1,25254 g/cm³. Sedangkan E-MS (4%) mempunyai densitas 0,971783333 g/cm³. Kemudian E-MS (6%) memiliki nilai densitas 0,98601 g/cm³. Pada variasi komposisi E-MS (8%) mempunyai nilai 1,08811g/cm³. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa ada pengaruh massa jenis pada penambahan minyak kelapa sawit terhadap bioresin Epoksi-minyak kelapa sawit, serta campuran E-MS (10%) merupakan campuran yang mempunyai densitas paling tinggi yaitu 1,25254g/cm³.

Berdasarkan hal tersebut maka penambahan minyak kelapa sawit yang memiliki densitas lebih rendah dari bioresin epoksi berpengaruh besar terhadap penurunan densitas bioresin epoksi -minyak kelapa sawit [24].

Variasi komposisi E-MS (8%) dan E-MS (10%) memenuhi standar *L'loyd Register*. Standar minimum Densitas yang harus terpenuhi adalah > 1000kg/m³ = 1g/cm³, berdasarkan Gambar 11 variasi komposisi tersebut memenuhi standar minimum.

4.6 Pengaruh Variasi Komposisi Terhadap Penyerapan air Bioresin Epoksi-Minyak Kelapa Sawit



Gambar 12 Grafik Pengujian Penyerapan Air Bioresin Epoksi-Minyak Kelapa Sawit

Gambar 12 tersebut menunjukkan daya serap air selama 7 hari yang menunjukkan hasil pengujian pada variasi komposisi E-MS (0%) sangat rendah daya serapnya dibandingkan dengan yang dicampur minyak kelapa sawit. Campuran E-MS (2%) menunjukkan bahwa daya serap airnya tertinggi ditunjukkan pada hari ke 5 dengan nilai 0,61434 %. dan berkurang dihari ke 6 dan ke 7. Sedangkan pada variasi komposisi E-MS (4 %) memiliki daya serap air tertinggi pada hari ke 5 dengan nilai 0,62494 % dan mengalami peningkatan daya serapnya. Variasi komposisi E-MS (6%) memiliki nilai daya serap air tertinggi yaitu 0,62927 % pada hari ke 5 dan mengalami peningkatan yang signifikan. Variasi komposisi E-

MS (8%) memiliki nilai daya serap air tertinggi yaitu 0,61191% pada hari ke 5 dan mengalami penurunan. Sedangkan variasi komposisi E-MS (10%) memiliki daya serap air tertinggi yaitu 0,62472 % pada hari ke 5.

Dapat dilihat dari gambar 12 bahwa penyerapan air oleh bioresin meningkat secara berulang-ulang dengan waktu perendaman setelah 168 jam dan semua sampel mengalami kejenuhan [25]. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pada hari ke 5 variasi komposisi yang tertinggi prosentase daya serap airnya adalah variasi komposisi E-MS (6%) dengan nilai daya serap air 0,62927 %. dan nilai prosentase penyerapan terendah pada variasi komposisi E-MS (8%) dengan nilai daya serap air 0,61191%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa variasi komposisi yang teroptimum adalah pada E-MS (10%) karena memiliki nilai kekuatan tarik yang rendah yaitu 53,111Mpa. Sedangkan nilai elongasi yang paling tinggi yaitu 14,04767%, dan memiliki nilai kekerasan yang rendah yaitu 86,3 skala shore D. Nilai densitas yang paling tinggi yaitu 1,25254(g/cm³). Ditinjau dari standart *L'loyd Register* dan BKI (Badan Klasifikasi Indonesia) bahwa nilai semua hasil pengujian kekuatan tarik memenuhi standar dan semua variasi komposisi hasil pengujian dan nilai elongasi memenuhi kriteria minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anthony L. Andrady, *et all.* "Applications and Societal Benefits of Plastics.", *Philos T R Soc B*, 2019, 364:1977-84.
- [2] Chaoqun Zhang, *et all.* "Recent Advances in Vegetable Oil-Based Polymers and Their Composites.", *Progres in Polymer Science*, Volume 71, 2017, Pages 91-143.
- [3] Pascualt, *et all.* "Epoxy Polymers, New Materials and Innovations.", Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinhei, 2010.
- [4] Eli, dkk., "Studi Pengaruh Jenis Minyak Nabati terhadap Campuran Bioresin Vinil ester-Minyak Nabati.", *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I) Surabaya*, 6 Maret 2021.
- [5] Callister, *et all.* "Materials Science and Engineering.", *An Introduction 8th Edition*, 2007.
- [6] Ray, *et all.* "Biocomposites for High-Performance Applications.", *Biocomposites for High-Performance Applications*, 2017, 57-58.
- [7] I.Choedkiatsakul, K.Ngaosuwan, G.Cravotto, S.Assabumrungrat. "Biodiesel Production from Palm Oil Using Combined Mechanical Stirred and Ultrasonic Reactor.", *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 21, Issue 4, 2014, Pages 1585-1591.
- [8] Kamila Mizera,*et all.* "Polyurethane Elastomers from Polyols Based on Soybean Oil with a Different Molar Ratio.", *Polymer Degradation and Stability, Polymer Degradation and Stability*, Volume 132, 2016, Pages 21-31.
- [9] Bimlesh Lochab, I. K. Varma, J. Bijwe. "Sustainable Polymers Derived from Naturally Occurring Materials.", *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2012, 221-225.
- [10] Catia Costa, Ana C.Fonseca, JorgeMoniz, MariaGodinho, Armenio C.Serra, Jorge F.J.Coelho. "Soybean and Coconut Oil Based Unsaturated Polyester Resins.", *Thermomechanical Characterization, Industrial Crops and Products* Volume 85, 2016, Pages 403-411.
- [11] Alejandrina Campanella, Eduardo Rustoy, Alicia Baldessari, Miguel A.Baltanas. "Lubricants from chemically modified vegetable oils.", *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 1, 2010, Pages 245-254.
- [12] Rondang, T. "Teknologi Oleokimia.", *Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*, 2006, 168.
- [13] Rostami, S."Polymer Blends:Structure and Properties.", *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 2018, 7202-7206
- [14] Sulistijono. "Mekanika Material Komposit", *ITS Press*, 2012.
- [15] Edy Utomo, Achmad Zubaydi, Pompy Pratisna. "Study of Core Material Sandwich Panel in Ship Construction.", *The 2nd International Seminar on Science and Technology*, (hal. 93-98), 2016, Surabaya.
- [16] Lloyd's Register. "Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure.", 2015, Jerman.

- [17] Badan Klasifikasi Indonesia. "Rules for the Classification and Construction.", Part.1 : *Seagoing Ships*, 2014, Indonesia.
- [18] ISO 527. "Plastic-Determination of Tensile Properties.", *First Edition, Part 4, International Organization for Standardization (ISO)*, 1997, Switzerland.
- [19] ASTM D570. "Standard Test Method for Water Absorption of Plastics." *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, Philadelphia, USA.
- [20] Rohman. "Application of FTIR Spectroscopy for The Determination of Virgin Coconut Oil in Binary Mixtures with Olive Oil and Palm Oil.". *Journal Am Oil Chem Soc*, Vol 87, 2010, pages 601-606.
- [21] Ardhyanta, et all. "Mechanical and Thermal Properties of Unsaturated Polyester/Vinyl Ester Blends Cured at Room Temperature". *Materials Science and Engineering*, Vol 202, 2017, Pages 1-8.
- [22] Czub. "Application of modified natural oils as reactive diluents for epoxy resins.", *Macromol Symp*, 2006, pp. 60-64.
- [23] Bahr, et all. "Linseed and soybean oil-based polyurethanes prepared via the non-isocyanate route and catalytic carbon dioxide.", *conversion Green Chem*, 2012, pp. 483-489.
- [24] Chand, et all. "Abrasive wear studies on maleic anhydride modified polypropylene and polyethylene terephthalate blends.", *Regional Research Laboratory (Council of Scientific and Industrial Research)*, 2006, Bhopal, India.
- [25] Daramola, et all. "Water Absorption Characteristic of Epoxy Matrix Composites Reinforced with Green Silica Particles.". *Journal of Practices and Technologies*, Issue 32,2018, pages 215-232.