



**TUGAS AKHIR - 184834**

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI  
TERMOSET BIORESIN UNSATURATED  
POLYESTER/MINYAK NABATI SEBAGAI  
LAMINATING RESIN UNTUK APLIKASI LAMBUNG  
KAPAL SESUAI STANDAR BIRO KLASIFIKASI  
INDONESIA**

**GALIH YUNIARDI FIRMANSYAH**  
NRP. 0251154000041

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**TUGAS AKHIR - TL 184834**

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI  
TERMOSET BIORESIN UNSATURATED  
POLYESTER/MINYAK NABATI SEBAGAI  
LAMINATING RESIN UNTUK APLIKASI  
LAMBUNG KAPAL SESUAI STANDAR BIRO  
KLASIFIKASI INDONESIA**

**GALIH YUNIARDI FIRMANSYAH  
NRP. 0251154000041**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 184834**

**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND  
MORFOLOGY THERMOSETTING BIORESIN  
UNSATURATED POLYESTER/VEGETABLE OIL  
AS LAMINATING RESIN FOR HULL  
APPLICATION ACCORDING TO BIRO  
KLASIFIKASI INDONESIA STANDARD**

**GALIH YUNIARDI FIRMANSYAH**  
NRP. 0251154000041

Advisors

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT**  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya 2019

*(This page left intentionally blank)*

**STUDI SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI TERMOSET  
BIORESIN UNSATURATED POLYESTER/MINYAK  
NABATI SEBAGAI LAMINATING RESIN UNTUK  
APLIKASI LAMBUNG KAPAL SESUAI STANDAR BIRO  
KLASIFIKASI INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Material Inovatif  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**GALIH YUNIARDI FIRMANSYAH**  
NRP 0251154000041

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si, Ph.D.....(Pembimbing 2)



**STUDI SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI TERMOSET  
BIORESIN UNSATURATED POLYESTER/MINYAK  
NABATI SEBAGAI LAMINATING RESIN UNTUK  
APLIKASI LAMBUNG KAPAL SESUAI STANDAR BIRO  
KLASIFIKASI INDONESIA**

**Nama Mahasiswa : Galih Yuniardi Firmansyah**  
**NRP : 0251154000041**  
**Departemen : Teknik Material**  
**Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D**

**Abstrak**

*Unsaturated Polyester Resin merupakan polimer termoset yang sering digunakan sebagai matriks komposit kapal karena keunggulan biaya yang murah dan tahan terhadap korosi. Namun pembuatannya menggunakan minyak bumi yang tidak ramah lingkungan dan tidak biodegradable dibandingkan bioresin. Bioresin adalah resin atau formulasi resin yang berasal dari sumber biologi. Salah satu sumber yang sering digunakan adalah minyak nabati yang mudah didapat dan ramah lingkungan. Dalam penelitian ini dilakukan pencampuran resin dengan minyak nabati dengan variabel minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung sebagai laminating resin yang sesuai aplikasi lambung kapal yang ramah lingkungan. Pengujian yang telah dilakukan meliputi uji SEM, uji FTIR, uji TGA, uji densitas, uji absorpsi air, uji bending, dan uji tensile. Dari pengujian yang telah dilakukan, data yang didapatkan sifat mekanik rata-rata dari hasil uji Tarik dengan hasil tertinggi campuran resin dengan minyak kedelai yaitu 22.63 MPa, elongation dengan hasil tertinggi campuran resin dengan minyak jagung yaitu 28%, dan flexural strength dengan hasil tertinggi campuran resin dengan minyak kedelai yaitu 7.73 MPa. Secara morfologi juga terdapat perbedaan diantara pencampuran resin dengan minyak nabati dan unsur dominan karbon serta oksigen*

*dengan perbedaan persentase setiap jenis pencampuran minyak nabati. Namun campuran unsaturated polyester dengan minyak nabati belum dapat diaplikasikan untuk laminating resin lambung kapal standar Biro Klasifikasi Indonesia karena belum memenuhi standar minimum.*

***Kata Kunci : Bioresin, Morfologi, Sifat Mekanik, Unsaturated Polyester***



**STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND  
MORFOLOGY THERMOSETTING BIORESIN  
UNSATURATED POLYESTER/VEGETABLE OIL AS  
LAMINATING RESIN FOR HULL APPLICATION  
ACCORDING TO BIRO KLASIFIKASI INDONESIA  
STANDARD**

**Student Name** : Galih Yuniardi Firmansyah  
**NRP** : 0251154000041  
**Department** : Material Engineering  
**Advisors** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

**Abstract**

*Unsaturated Polyester Resin is a thermosetting polymer generally used as matrix of composite in ship because of advantage in cheap price and corrosion resistant. But in its manufacture uses petroleum which is not environmentally friendly and it's not biodegradable comparing with bioresin. Bioresin is resin or resin formulation which is derived from biological resource. One of resource often used is vegetable oil which is easy to get and environmental friendly. In this research mixing resin to be carried out with vegetable oil with variable palm oil, coconut oil, soybean oil, sesame oil, and corn oil as laminating resin that suitable with environmentally friendly hull application. Tests that have been carried out include SEM test, FTIR test, TGA test, density test, water absorption test, bending test, and tensile test. From the tests that have been done, the data obtained by the average mechanical properties of the tensile test results with the highest yield of resin mixture with soybean oil which is 22.63 MPa, the highest elongation with resin mixture with corn oil which is 28%, and the highest yield mixed flexural strength resin with soybean oil which is 7.73 MPa. Morphologically there is also a difference between mixing resin with vegetable oil and the dominant elements of carbon and oxygen with a difference in the percentage of each type*

*of mixing of vegetable oils. However, the mixture of unsaturated polyester with vegetable oil has not been applied for laminating the standard hull resin of the Biro Klasifikasi Indonesia because it has not met minimum standards.*

***Keywords : Bioresin, Mechanical Properties, Morfology, Unsaturated Polyester***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Studi Sifat Mekanik dan Morfologi Termoset Bioresin Unsaturated Polyester/Minyak Nabati Sebagai Laminating Resin untuk Aplikasi Lambung Kapal Sesuai Standar Biro Klasifikasi Indonesia*”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
3. Kedua orang tua dan kakak penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
4. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

6. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., PhD. selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir dan selaku dosen wali yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang melancarkan Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis,

Galih Yuniardi Firmansyah

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Polimer .....	5
2.2 Pencampuran Polymer ( <i>Polymer Blend</i> ) .....	6
2.3 Bioresin .....	7
2.4 Unsaturated Polyester Resin .....	8
2.5 MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida) .....	12
2.6 Mekanisme Curing .....	13
2.7 Open Molding Process (Pencetakan Terbuka) ..	14
2.8 Minyak Nabati .....	16
2.9 Bahan Resin Kapal .....	22
2.10 Standar BKI dan DVNGL .....	27
2.11 Penelitian Sebelumnya .....	29
<b>BAB III METODOLOGI PERCOBAAN</b>	
3.1 Diagram Alir .....	31
3.2 Bahan Penelitian .....	31
3.3 Alat Alat Penelitian .....	36
3.4 Variabel Penelitian .....	38
3.5 Prosedur Penelitian .....	38

3.6 Pengujian .....	38
3.7 Rancangan Penelitian .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Hasil <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i> .....	47
4.2 Analisis Hasil <i>Thermogravimetric (TGA)</i> .....	51
4.3 Analisis Hasil Pengujian Densitas .....	53
4.4 Analisis Hasil Pengujian <i>Water Absorption</i> .....	55
4.5 Analisis Hasil Pengujian Tarik ( <i>Tensile</i> ).....	59
4.6 Analisis Hasil <i>Elongation</i> .....	61
4.7 Analisis Hasil Pengujian Bending ( <i>Flexural</i> ).....	63
4.8 Analisis Hasil <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)-EDS</i> .....	65
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	77
<b>LAMPIRAN</b> .....	83
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	113
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	115

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Molekul Ester Sederhana Etil Etanoat .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Contoh Molekul dari Beberapa Jenis Ester .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Komposisi Kimia dari Asam Polycarboxylic (Maleic, Fumaric dan Maleic Anhydride).....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Struktur Polyester Hasil Sintesis dari Propylene Glycol, Maleic Anhydride dan Phthalic Anhydride Polyester .....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Peristiwa Curing pada Resin Polyester (1) Sebelum Curing, (2) Sesudah Curing .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Reaksi Crosslink antara Katalis dengan Rantai Polyester .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Struktur Kimia Minyak Sawit .....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Struktur Kimia Minyak Kelapa .....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Struktur Kimia Minyak Kedelai.....	19
<b>Gambar 2.10</b>	Struktur Kimia Minyak Wijen .....	21
<b>Gambar 2.11</b>	Struktur Kimia Minyak Jagung .....	22
<b>Gambar 2.12</b>	Penggunaan Resin pada Konstruksi Kapal Laut .....	23
<b>Gambar 2.13</b>	Hogging pada Kapal.....	25
<b>Gambar 2.14</b>	Sagging pada Kapal .....	26
<b>Gambar 2.15</b>	Gaya Dinamis pada Kapal .....	27
<b>Gambar 2.16</b>	Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>Gambar 3.2</b>	Unsaturated Polyester Resin .....	32
<b>Gambar 3.3</b>	Metil Etil keton Peroksida (MEKPO) .....	32
<b>Gambar 3.4</b>	Minyak Sawit .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Minyak Kelapa .....	33
<b>Gambar 3.6</b>	Minyak Kedelai .....	34
<b>Gambar 3.7</b>	Minyak Wijen .....	34
<b>Gambar 3.8</b>	Minyak Jagung .....	35
<b>Gambar 3.9</b>	WAX .....	35
<b>Gambar 3.10</b>	Mesin SEM .....	36
<b>Gambar 3.11</b>	Mesin FTIR .....	37

<b>Gambar 3.12</b>	Mesin Uji Tarik .....	37
<b>Gambar 3.13</b>	Alat Uji SEM .....	40
<b>Gambar 3.14</b>	Kurva Tegangan Regangan .....	41
<b>Gambar 3.15</b>	Dimensi Spesimen Uji Bending .....	43
<b>Gambar 4.1</b>	Spektra FTIR Minyak Sawit, Minyak Kelapa, Minyak Kedelai, Minyak Wijen,dan Minyak Jagung. ....	48
<b>Gambar 4.2</b>	Spektra FTIR Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR.....	50
<b>Gambar 4.3</b>	Kurva <i>Thermogravimetric</i> (TGA) dari Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4.....	53
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Massa Jenis Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4..	54
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Water Absorption 24 Jam Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4. ....	57
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Water Absorption 10 Hari Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4. ....	58
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Tensile Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4. .	60
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Elongation Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4. .	62
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Flexural Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4.....	64
<b>Gambar 4.10</b>	Mikrograf SEM Bioresin Polyester Perbesaran 1000x (a)Unsaturated Polyester (b) Unsaturated Polyester/Minyak Sawit (c) Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa (d) Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai .....	66
<b>Gambar4.11</b>	Mikrograf SEM Bioresin Polyester Perbesaran 1000x (e) Polyester/Minyak Wijen (f) Polyester/Minyak Jagung.....	67



<b>Gambar4.12</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester..	69
<b>Gambar4.13</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Sawit.....	70
<b>Gambar4.14</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa.....	71
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai.....	72
<b>Gambar 4.16</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Wijen.....	73
<b>Gambar 4.17</b>	Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Jagung.....	74

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kuat Tarik Polyester Terhadap Variasi Katalis ..	13
<b>Tabel 2.2</b>	Nilai Sifat Fisika-Kimia Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit .....	17
<b>Tabel 2.3</b>	Sifat Fisika dan Kimia Minyak Kelapa .....	18
<b>Tabel 2.4</b>	Sifat Fisika Kimia Minyak Kedelai .....	20
<b>Tabel 2.5</b>	Sifat Kimia dan Fisika dari Minyak Wijen.....	21
<b>Tabel 2.6</b>	Perbandingan Sifat Mekanik Masing – Masing Resin .....	24
<b>Tabel 2.7</b>	Sifat Mekanik UP Resin Berdasarkan Standar BKI .....	27
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi Pencampuran Unsaturated Polyester dan Minyak Nabati .....	45
<b>Tabel 3.2</b>	Rancangan Pengujian untuk Spesimen .....	45
<b>Tabel 4.1</b>	Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit GFRP .....	50
<b>Tabel 4.2</b>	Karakteristik Temperatur Unsaturated Polyester dari TGA.T <sub>5</sub> :Temperatur Menurut 5% Pengurangan Berat. T <sub>10</sub> :Temperatur Menurut 10% Pengurangan Berat .....	51
<b>Tabel 4.3</b>	Massa Jenis Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4 .....	53
<b>Tabel 4.4</b>	Perubahan Berat 24 Jam Water Absorption Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4 .....	56
<b>Tabel 4.5</b>	Tensile Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4 .....	59
<b>Tabel 4.6</b>	Elongation Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4.....	61
<b>Tabel 4.7</b>	Flexural Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4.....	63
<b>Tabel 4.8</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester .....	69
<b>Tabel 4.9</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated	

	Polyester/Minyak Sawit.....	70
<b>Tabel 4.10</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa.....	71
<b>Tabel 4.11</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai .....	72
<b>Tabel 4.12</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Wijen .....	73
<b>Tabel 4.13</b>	Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Jagung.....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang ini dengan kemajuan teknologi dan pengetahuan yang pesat mendorong peningkatan permintaan akan material komposit. Dalam industri sendiri pun permintaan akan material komposit terus bertumbuh hal ini dikarenakan bahan konvensional seperti logam yang digunakan, belum mampu untuk memenuhi aplikasi baru yang terus berkembang. Dalam hal ini kompositlah yang paling mudah direkayasa. Industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan yang memiliki sifat berdensitas rendah, tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan dan *fatigue* serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya (Hartono dkk., 2008). Material Komposit adalah kombinasi makroskopis dari dua atau lebih bahan berbeda. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk listrik, termal, tribological dan aplikasi lingkungan. Bahan komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai tertentu keseimbangan properti untuk berbagai aplikasi tertentu (Kutz, 1998).

Dalam komposit perpaduan antara matriks dan filler saling mempengaruhi dalam sifat yang dimiliki komposit nantinya. Penggunaan matriks atau filler yang berbasis alam lebih dikembangkan pada era sekarang ini. Bioresin adalah resin atau formulasi resin yang didapat dari sumber biologi (Erwinsyah, 2008). Minyak tumbuhan sebagai material ramah lingkungan, tidak beracun, green material dan sumber terbarukan di alam dapat menjadi potensi pengganti material berbasis minyak bumi.

Resin *polyester* yang digunakan sebagai matriks komposit adalah tipe yang tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan termoset yang dapat mengalami pengerasan (*curing*) dari fasa cair menjadi fasa padat saat mendapat perlakuan yang tepat (Bramantiyo, 2008). Resin ini berasal dari minyak bumi yang kurang ramah bagi lingkungan.

Resin jenis *orthophthalic polyester* resin merupakan resin yang umum dipakai untuk bangunan kapal. Resin jenis ini harganya paling murah dibandingkan tipe lainnya dan tahan terhadap proses korosi air laut sehingga cocok untuk bahan material bangunan kapal. Sifat seperti ini kerusakan yang disebabkan karena proses korosi dapat dihindari sehingga biaya perawatan hanya untuk kulit lambung dari material logam maupun kayu. Resin ini memiliki beberapa keunggulan dan kekurangan (Nurchayadi, 2010). Resin ini sering digunakan sebagai matriks dalam pembuatan kapal di Indonesia.

Dalam penelitian ini, peneliti ingin merencanakan matriks pada pembuatan kapal yaitu *unsaturated polyester* resin dengan penambahan minyak nabati (bahan alami) seperti minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung sehingga nantinya akan menjadi bioresin yang dapat diterapkan dalam aplikasi komposit lambung kapal yang ramah lingkungan serta melakukan studi mengacu pada standar BKI dalam pembuatan kapal.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung terhadap sifat mekanik bioresin *Unsaturated Polyester* untuk *laminating resin* pada lambung kapal?
2. Bagaimana pengaruh penambahan minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung terhadap morfologi bioresin *Unsaturated Polyester* untuk *laminating resin* pada lambung kapal?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengotor pada minyak nabati dan *unsaturated polyester* dianggap tidak berpengaruh.

2. Pengotor pada saat pencampuran *unsaturated polyester* dengan minyak nabati diabaikan.
3. Distribusi pencampuran dianggap merata.
4. Kadar uap air dan gas pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
5. Reaksi dengan cetakan dianggap tidak ada.
6. Permukaan spesimen dianggap rata.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung terhadap sifat mekanik bioresin *Unsaturated Polyester* untuk *laminating resin* pada lambung kapal
2. Menganalisis pengaruh penambahan minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung terhadap morfologi bioresin *Unsaturated Polyester* untuk *laminating resin* pada lambung kapal

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung terhadap sifat mekanik dan morfologi Resin *Unsaturated Polyester* untuk Lambung Kapal. Sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan minyak natural sebagai campuran resin dan sebagai kandidat *laminating resin* yang *biodegradable* pada rentang pemakaian tertentu dan ramah lingkungan. Hal ini juga berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan material.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Polimer**

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana. Polimer dapat ditemukan di alam dan dapat disintesis di laboratorium (Steven, 2001).

Polimer tinggi terdapat di alam seperti pati, selulosa, protein, dan kitosan serta dapat disintesis di laboratorium seperti polivinil klorida, polivinil alkohol, polimetil metakrilat dan polietilena. Polimer terbentuk dari susunan monomer-monomer melalui proses polimerisasi.

Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan susunan ulang tertentu. Proses pembentukan polimer (polimerisasi) dibagi menjadi dua golongan, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991).

Pada dasarnya polimer secara umum digolongkan ke dalam 3 (tiga) macam, yakni : (Stevens, 2001)

1. Bahan Thermoplastik (Thermoplastic), yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Thermoplastik disebut juga plastic komoditi dan sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai – buang (disposable) seperti lapisan pengemas. Contoh bahan thermoplastik adalah : polistiren, polietilen, polipropilen, nilon, plastik fleksiglass dan teflon.
2. Bahan Thermoseting (Thermosetting), yaitu plastik dalam bentuk cair dan dapat dicetak sesuai yang diinginkan serta akan mengeras jika dipanaskan dan tetap tidak dapat dibuat menjadi plastik lagi. Thermosetting disebut juga plastic teknik, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan daya tahan yang lebih baik. Contoh bahan thermosetting adalah bakelit, silikon dan Unsaturated Polyester.
3. Karet (Elastomer) yaitu polimer yang memperlihatkan resiliensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan

---

kembali ke keadaan semula dengan cepat. Contoh elastomer, yaitu : karet sintetis.

## 2.2 Pencampuran Polymer (*Polymer Blend*)

Pencampuran polimer adalah cara yang paling sesuai untuk pengembangan material baru karena dapat menghasilkan bahan baru yang mempunyai sifat yang unggul dibandingkan masing-masing materi pembentuknya. Metode ini biasanya lebih murah dan hanya memerlukan waktu singkat untuk menghasilkan bahan polimer baru dibandingkan dengan metode polimerisasi dengan penemuan polimer baru dari monomer baru.

Sifat suatu campuran polimer sangat ditentukan oleh kompatibilitas komponen komponen dalam campuran tersebut. Tujuan kompatibilitas paduan polimer adalah untuk mendapatkan fasa terdispersi yang stabil dan merata sehingga morfologi dan sifat campuran yang diinginkan dapat tercapai. ( Bahruddin, dkk., 2010) Pembentukan struktur fase dalam campuran miscible dan immiscible mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari masing-masing. Istilah “ *miscible* ”digunakan untuk menggambarkan campuran yang homogen pada tingkat molekuler. Campuran yang homogen pada beberapa temperatur dan fasa terpisah disebut sebagai campuran sebagian atau hampir larut. Istilah “ *immiscible*” digunakan untuk menggambarkan morfologi yang dipisahkan fase (Rostami, 2018).

### 2.2.1 *Immiscible Blends*

Interaksi molekuler yang kuat dan menguntungkan antara dua polimer yang berbeda jarang terjadi dan keuntungan dalam entropi pencampuran menjadi semakin kecil seiring dengan meningkatnya berat molekul setiap polimer. Sebagian besar campuran polimer diharapkan fasenya terpisah pada pencampuran. Tingkat pemisahan fase diatur oleh energi antarmuka antara dua komponen. Sulit untuk memprediksi energi antarmuka antara dua polimer.

---

### **2.2.2 Miscible Blends**

Seperti disebutkan di atas, campuran homogen terbentuk sebagai hasil dari interaksi yang kuat dan menguntungkan, seperti ikatan hidrogen, antara dua rantai berbeda dari polimer dengan berat molekul tinggi. Interaksi biasanya dibekukan di bawah temperatur transisi gelas (dan suhu leleh kristal ketika komponen semikristalin terlibat) dari campuran dan lebih lemah ketika temperatur meningkat. Semakin kuat interaksi semakin tinggi energi kinetik, dalam bentuk panas diperlukan pemisahan dua rantai. Pada beberapa temperatur tinggi interaksi molekuler antara dua rantai terdisosiasi yang menyebabkan pemisahan fase dari jenis yang dikenal sebagai temperatur larutan kritis.

Formasi struktural dan pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik campuran polimer terlihat bahwa struktur fasa campuran polimer yang terbuat dari bahan dengan berat molekul tinggi sebagian besar dipengaruhi oleh sifat interaksi molekul antara dua rantai yang terpisah. Ketika interaksi molekuler kuat, seperti ikatan hidrogen yang hadir di antara dua polimer dapat larut dalam pencampuran. Ketika interaksi lemah atau tidak menguntungkan, pemisahan fase berlaku. Dalam campuran fase-terpisah, tingkat pemisahan fase dipengaruhi oleh besarnya energi antarmuka antara dua komponen (Rostami, 2018).

### **2.3 Bioresin**

Penipisan sumber daya yang tidak terbarukan dan peningkatan polusi lingkungan memotivasi para peneliti untuk fokus pada pengembangan material ramah lingkungan berbasis bio dari sumber daya terbarukan. Pada konteks ini, biokomposit terbuat dari bioresin dan berpenguat serat alam itu menunjukkan hasil yang meyakinkan. Bioresin adalah solusi paling hijau dari pada yang sintetis, karena terbuat dari basis minyak tumbuhan trigliserida dan sumber alami yang lain (Dipa Ray, 2017).

Berdasarkan Fowler yang menyatakan bahwa bioresin adalah resin atau formulasi resin yang didapat dari sumber biologi (Erwinsyah, 2008).

---

Produk berbasis bio dari sumber terbarukan memiliki permintaan tinggi sekarang ini karena ramah lingkungan. Itu juga memiliki keuntungan densitas dan abrasifitas yang rendah. Keuntungan bioresin untuk lingkungan meliputi (Dipa Ray,2017) :

- i. Produknya *sustainable* dan *renewable* di alam. Produknya membantu menanggulangi kadar CO<sub>2</sub> di lingkungan. Penggantian resin sintesis berbasis minyak bumi dengan bioresin dapat mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di lingkungan.
- ii. Resin sintesis berbasis minyak bumi dapat memproduksi gas yang berbahaya atau karsinogenik. Tetapi bioresin biasanya bebas dari material yang mengandung karsinogenik

Selain keuntungan lingkungan, bioresin mempunyai beberapa keuntungan komersial juga meliputi (Dipa Ray,2017) :

- i. Sifat dari beberapa bioresin dapat dibandingkan dengan resin berbasis minyak bumi tradisional. Burke et al. menunjukkan bahwa kemampuan manufaktur dan sifat dari bioresin berbasis asam laktat dalam pembuatan botol biodegradable untuk kemasan air dan minuman dapat dibandingkan dengan PET.

Penggunaan minyak tumbuhan membuat polimer dengan *intra-chain* lebih panjang daripada resin tradisional yang mana membaeri fleksibilitas ke struktur menambah ketahanan impak dari komposit.

#### **2.4 Unsaturated Polyester Resin**

Jenis dari resin poliester yang digunakan sebagai matriks komposit adalah tipe yang tidak jenuh (*unsaturated polyester*) yang merupakan termoset yang dapat mengalami pengerasan (*curing*) dari fasa cair menjadi fasa padat saat mendapat perlakuan yang tepat. Berbeda dengan tipe poliester jenuh (*saturated polyester*) seperti Terylene™, yang tidak bisa mengalami *curing* dengan cara seperti ini. Oleh karena itu merupakan hal yang biasa untuk menyebut resin poliester tidak jenuh (*unsaturated polyester*)

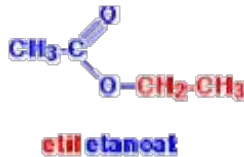
---

dengan hanya menyebutnya sebagai resin poliester (Bramantiyo, 2008).

### 2.4.1 Struktur Kimia dan Proses Pembuatan Unsaturated Polyester

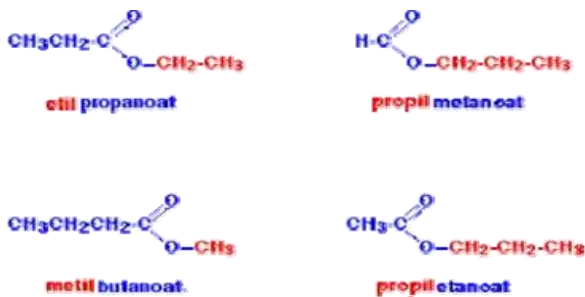
Ester diturunkan dari asam karboksilat. Sebuah asam karboksilat mengandung gugus  $-COOH$ , dan pada sebuah ester hidrogen pada gugus ini digantikan dengan sebuah gugus hidrokarbon dari berbagai jenis. Gugus ini bisa berupa gugus alkil seperti metil atau etil, atau gugus yang mengandung sebuah cincin benzen seperti fenil.

Ester yang paling umum dibahas adalah etil etanoat. Pada ester ini, gugus  $-COOH$  telah digantikan dengan sebuah gugus etil. Rumus struktur untuk etil etanoat adalah seperti pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Molekul Ester Sederhana Etil Etanoat (Bramantiyo, 2008)

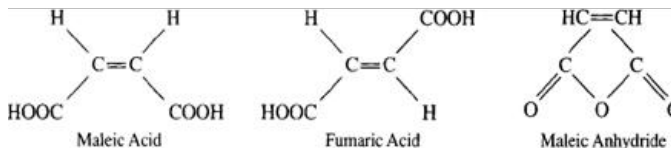
Perhatikan bahwa ester diberi nama berlawanan dengan urutan penulisan rumus strukturnya (lihat Gambar 2.2). Kata "etanoat" berasal dari asam etanoat, sedangkan "etil" berasal dari gugus etil pada ujungnya. (Bramantiyo, 2008)



**Gambar 2.2** Contoh Molekul dari Beberapa Jenis Ester (Bramantiyo, 2008)

Unsaturated polyesters (poliester tidak jenuh) adalah kondensasi dari polymer yang terbentuk dari reaksi antara poliols dan asam polycarboxylic dengan ketidak jenuhan olefinik yang disebabkan oleh salah satu reaktan, biasanya asam Poliols dan asam polycarboxylic biasanya merupakan difunctional alcohol (glycol) dan difungsional asam seperti phtialic dan maleic / fumaric. Selama ini asam maleic (dalam bentuk maleic anhydride) lebih sering digunakan untuk resin untuk tujuan umum. (Zaske dkk, 1998)

Maleic anhydride diperoleh dengan cara melakukan pencampuran uap benzene dengan udara menggunakan katalis (e.g. vanadium) pada temperature tinggi ( $450^{\circ}\text{C}$ ). Sedangkan fumaric, yang merupakan trans - isomer dari maleic, dapat diperoleh dengan memberikan perlakuan panas terhadap asam maleic, dengan atau tanpa katalis. Asam fumaric terkadang lebih dipilih sebagai material pembentuk unsaturated polyester karena penggunaannya menyebabkan resin menjadi lebih tahan korosi, lebih terang dan ketahanan panas meningkat cukup signifikan. Berdasarkan Gambar 2.3 menunjukkan komposisi kimia dari asam polycarboxylic (Bramantiyo, 2008)



**Gambar 2.3** Komposisi Kimia dari Asam Polycarboxylic (Maleic, Fumaric dan Maleic Anhydride) (Kliger, 1984)

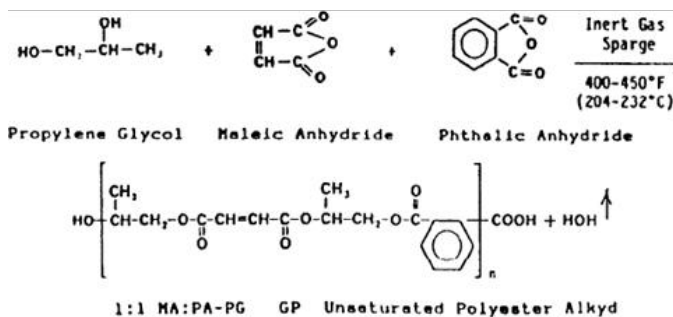
Pada reaksi esterifikasi juga dihasilkan air sebagai produk sampingan, air tersebut di pindahkan dari massa yang sedang bereaksi segera setelah dihasilkan untuk mendorong terjadinya reaksi polyesterifikasi yang sempurna. Seluruh material yang digunakan haruslah dalam kondisi difungsional agar reaksi dapat terjadi.

Hal ini dengan jelas menyatakan bahwa molekul dari monomer harus memiliki minimal dua grup reaktif yang bisa membentuk polimer. Reaktan monofungsional seperti *ethyl alcohol* dan asam asetat bisa bereaksi membentuk ester namun tidak dapat membentuk polyester. dua reaktan yang difungsional seperti *propylene glycol* (gugus fungsi dihydroxy) dan asam maleic (gugus fungsi dicarboxylic) bisa dibuat menjadi ester dengan esterifikasi yang terus berlanjut hingga membentuk rantai panjang poliester, yang terdiri dari gugus *propylene glycol maleate* yang terus berulang. (Bramantiyo, 2008)

Polyesterifikasi adalah reaksi yang paling penting dalam mempersiapkan unsaturated polyester, disamping reaksi lain yang juga memiliki pengaruh. Hal ini telah di sebutkan oleh E.E. Parker (1959) sebagai :

1. Isomerization dari maleate menjadi fumarate.
2. Penambahan glycol kepada ikatan rangkap maleate dan fumarate
3. Oksidasi untuk memutuskan ikatan rangkap
4. Hilangnya glycol

Ilustrasi dari struktur kimia polyester tidak jenuh dapat dilihat dari Gambar 2.4 dibawah yang merupakan representasi dari sintesis dari glycol, maleic anhydride dan phthalic anhydride polyester.



**Gambar 2.4** Struktur Polyester Hasil Sintesis dari Propylene Glycol, Maleic Anhydride dan Phthalic Anhydride Polyester (Zaske,1998)

---

Sebagian besar katalis memiliki kekurangan, seperti menjadikan warna resin menjadi gelap, haze pada resin dan perlunya memindahkan endapan pada katalis pada saat reaksi telah selesai. Untuk poliester tidak jenuh, penggunaan senyawa tin seperti dibutyl tin oxide dan asam butyl stannic merupakan katalis yang sampai saat paling baik dalam meningkatkan kecepatan dan juga mengurangi efek samping yang tidak diinginkan.

Kemudian mempermudah proses pengerjaan lanjutan (molding) resin poliester dilarutkan dengan crosslinking monomer dengan penambahan inhibitor (hydroquinone) untuk mencegah crosslinking. Kemudian larutan resin dapat juga ditambahkan additif seperti *Chlorendic Anhydride* untuk ketahanan terhadap panas. Asam isophthalic untuk ketahanan kimia juga neopentyl glycol untuk ketahanan terhadap perubahan cuaca (Odiari, 2004)

## 2.5 MEKPO ( Metil Etil Keton Peroksida)

Katalis yang digunakan adalah katalis Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO) dengan bentuk cair, berwarna bening. Fungsi katalis adalah mempercepat proses pengeringan (curing) pada bahan matrik suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan matrik akan mempercepat laju pengeringan tetapi akibat mencampurkan katalis terlalu banyak membuat komposit menjadi getas, untuk datanya dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pada saat mencampurkan katalis kedalam matriks maka akan menimbulkan reaksi panas (60°-90°C). Proses pengerasan resin diberi bahan tambahan yaitu, katalis jenis Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO). Pemakaian katalis dibatasi sampai 1% dari volume resin (Alian, 2011).

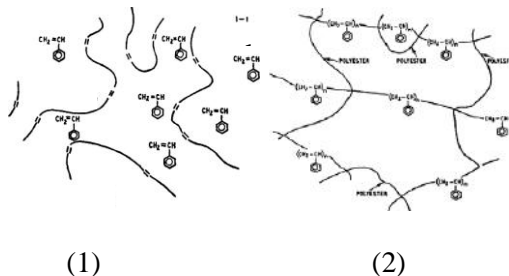


**Tabel 2.1** Kuat Tarik Polyester Terhadap Variasi Katalis  
(Taufik dan Astuti, 2014)

No.	Volume Polyester (%)	Volume Katalis (%)	Luas Bidang Tarik (Cm <sup>2</sup> )	<i>Pu</i> (N)	Kuat Tarik (N/Cm <sup>2</sup> )
1	99	1	23.52	40600	1726.19
2	98	2	22.08	35980	1625.45
3	97	3	20.64	22320	1081.39
4	96	4	23.52	40160	1707.48
5	95	5	23.04	34840	1512.15

## 2.6 Mekanisme Curing

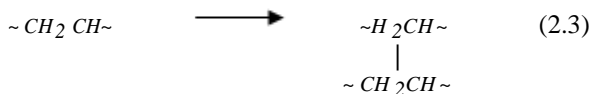
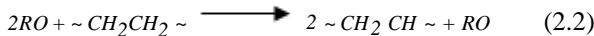
Secara umum inti dari mekanisme curing material termoset adalah bagaimana *crosslink* bisa terjadi. Reaksi *crosslink* pada *polyester* tidak jenuh diharapkan bisa terjadi saat resin telah dimasukkan dalam cetakan atau telah berinteraksi dengan serat dalam material komposit. Pada aplikasinya *curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100<sup>0</sup>C) seperti pada proses *pressure moulding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay-up*. Gambar 2.5 menjelaskan peristiwa curing pada resin *polyester*.



**Gambar 2.5** Peristiwa *Curing* pada Resin *Polyester* (1) Sebelum *Curing*, (2) Sesudah *Curing* (Brydson,1999)

Agar *curing* dapat terjadi maka *polyester* tidak jenuh harus ditambahkan katalis. Untuk proses pada temperatur tinggi biasanya sering digunakan katalis Benzoil Peroksida, biasanya dalam bentuk pasta peroksida (<50%) yang terlarut pada larutan cair seperti dimetil phthalate. Waktu yang dibutuhkan pada proses curing dengan *pressure moulding* kurang dari lima menit. Sedangkan untuk proses pada temperatur ruang katalis yang sering digunakan adalah Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO). Peroksida sebagai katalis digunakan pada proses *curing* temperatur ruang biasanya ditambahkan dengan senyawa kobalt seperti naphthenate, octoate atau larutan organik sabun (*organic solvent-soluble soap*) lainnya sebagai akselerator. MEKPO adalah campuran dari berbagai senyawa yang biasanya tersedia di dalam bentuk 60 % peroksida cair yang dicampurkan kedalam dimetil ptalat (Kliger,1984)

Penambahan katalis kemudian menghasilkan reaksi yang melibatkan radikal bebas dari katalis yang berikatan dengan hidrogen pada rantai *polyester*, sehingga menghasilkan rantai reaktif dan dapat terhubung dengan rantai lain sehingga terjadi *crosslink* ditunjukkan pada Gambar 2.6 dengan Persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.



**Gambar 2.6** Reaksi Crosslink antara Katalis dengan Rantai Polyester (Brydson,1999)

## 2.7 *Open Molding Process* (Pencetakan Terbuka)

### 1. *Handlay-up Process*

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Serat bahan komposit ditata

---

sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan atau mandril, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya, sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan. Ada dua cara aplikasi resin yaitu (Jones,1999):

- a. *Manual Resin Application*, proses pengaplikasian antara resin dan fiber dilakukan secara manual dengan tangan.
- b. *Mechanical Resin Application*, proses pengaplikasian antara resin dan fiber menggunakan bantuan mesin dan berlangsung secara kontinu.

2. *Chopped Laminate Process*

Proses ini menggunakan alat pemotong fiber yang biasanya serat panjang membentuk serat menjadi lebih pendek (Jones,1999).

- a. *Atomized Spray-Up*, pada teknik pabrikasinya sistem pada metode ini tidak kontinu, biasanya digunakan untuk membuat material komposit dengan ukuran yang lebih kecil.
- b. *Non Atomized Application*, untuk metode ini pada pengaplikasiannya menggunakan mesin potong fiber, pelaminasi resin dan tekanan dari roller yang berjalan kontinu. Metode ini lebih menguntungkan bila digunakan untuk pabrikasi material komposit yang berdimensi besar mengingat prosesnya yang kontinu.

3. *Filament Winding Process*

Proses ini melalui metode yang memanfaatkan sistem gulungan benang pada sebuah sumbu putar. Serat komposit dibuat dalam bentuk benang digulung pada sebuah mandril yang dibentuk sesuai dengan bentuk rancangan benda teknik, misalnya berbentuk tabung, kemudian resin yang berfungsi sebagai matriks dituangkan bersamaan dengan proses penggulungan serat tersebut, sehingga keduanya merekat dan saling mengikat antara satu lapisan gulungan dengan gulungan berikutnya, sampai membentuk benda teknik yang direncanakan (Jones,1999).

---

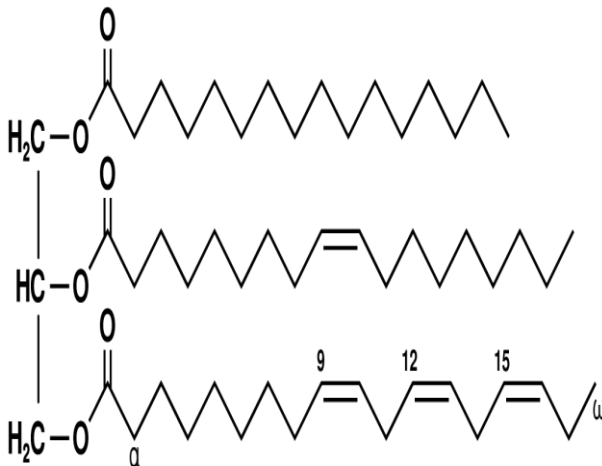
## 2.8 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah cairan kental yang diambil atau diekstrak dari tumbuh-tumbuhan. Komponen utama penyusun minyak nabati adalah trigliserida asam lemak, yang mencapai 95%-b. Komponen lainnya adalah asam lemak bebas (Free Fatty Acid atau FFA), monogliserida, digliserida, fosfolipid, vitamin, dan mineral (Sigit & Benadri, 2008).

### 2.8.1 Minyak Sawit

Sumber minyak dari kelapa sawit ada dua, yaitu daging buah dan inti buah kelapa sawit. Minyak yang diperoleh dari daging buah disebut dengan minyak kelapa sawit kasar (CPO), sedangkan minyak yang diperoleh dari biji buah disebut dengan minyak inti sawit (PKO) (Rondang, 2006). Untuk struktur kimia minyak sawit seperti pada Gambar 2.7.

Minyak sawit yang terkandung dalam sel-sel serat adalah sekitar 20 – 24% dari berat tandan sawit, sedangkan minyak inti sawit sekitar 2 – 4 % (Salunkhe, 1992).



**Gambar 2.7** Struktur Kimia Minyak Sawit (Salunkhe, 1992)

Beberapa sifat fisika-kimia dari minyak sawit dan minyak inti sawit dapat dilihat seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Nilai Sifat Fisika-Kimia Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit (Ketaren,2005)

Sifat	Minyak sawit	Minyak inti sawit
Bobot jenis	0,900	0,900-0,903
Indeks bias pada 40°C	1,4565-1,4585	1,495-1,415
Bilangan Iod	46-48	14-20
Bilangan Penyabunan	196-206	244-254

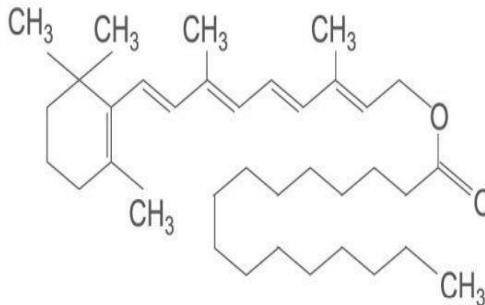
### 2.8.2 Minyak Kelapa

Minyak kelapa merupakan bagian yang paling berharga dari buah kelapa dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri atau sebagai minyak goreng. Minyak kelapa dapat diekstraksi dari daging buah kelapa atau daging kelapa yang dikeringkan. Kandungan minyak pada kopra umumnya 60 – 65%, sedangkan daging buah kelapa sekitar 43% (Suhardiman, 1999).

Pengujian sifat fisika dan kimia digunakan untuk mengidentifikasi mutu minyak kelapa. Sifat fisika dan kimia minyak kelapa meliputi kandungan air, asam lemak bebas, warna, bilangan iod, bilangan penyabunan dan bilangan peroksida (Erliza, 2007). Sifat fisika dan kimia dari minyak kelapa ditunjukkan pada Tabel 2.3. Untuk struktur kimia dari minyak kelapa seperti Gambar 2.8.

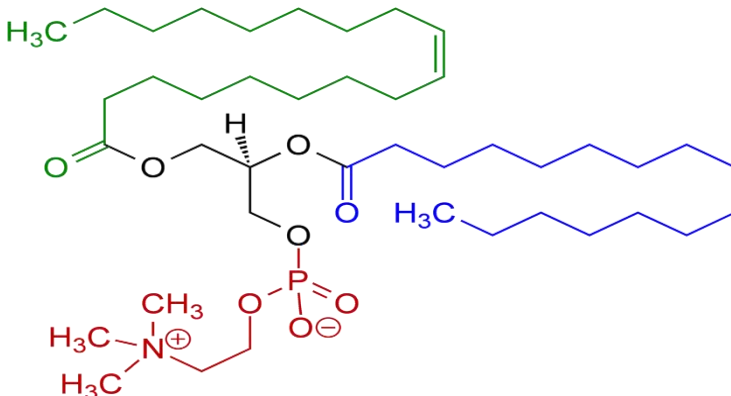
**Tabel 2.3** Sifat Fisika dan Kimia Minyak Kelapa (Hui,1996)

Sifat	Crude	Cochin	RBD
Kandungan air dan kotoran	1	0,1	0,03
Kadar asam lemak bebas	3	0,07	0,04
Bilangan penyabunan	-	250-264	250 – 264
Bilangan iod	-	7-12	7 – 12
Bilangan peroksida	2,0	0,5	0,5
Titik didih (°C)	-	20-28°C	20 – 28°C
Indeks refraksi (40°C)	-	1,488 – 1,450	1,488 – 1,450
Berat jenis	-	0,907 – 0,913	0,907 – 0,913
Titik beku	-	22 – 23°C	22 – 23°C

**Gambar 2.8** Struktur Kimia Minyak Kelapa (Costa,2016)

### 2.8.3 Minyak Kedelai

Kacang kedelai mengandung sekitar 9% air, 40 gr/100 gr protein, 18 gr/100 gr lemak, 3,5 gr/100 gr serat, 7 gr/100 gr gula dan sekitar 18% zat lainnya. Minyak kedelai banyak mengandung asam lemak tidak jenuh (86%) terdiri dari asam linoleat sekitar 52%, asam oleat sekitar 30%, asam linoleat sekitar 2% dan asam jenuh hanya sekitar sekitar 14% yaitu 10% asam palmitat, 2% asam stearat dan 2% asam arachidat. Dibandingkan dengan kacang tanah dan kacang hijau maka kacang kedelai mengandung asam amino essensial yang lebih lengkap (Syarief dan Irawati, 1988). Untuk sifat fisika dan kimia minyak kedelai lihat pada Tabel 2.4 serta gambar struktur kimia minyak kedelai seperti pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Struktur Kimia Minyak Kedelai (Costa,2016)

**Tabel 2.4** Sifat Fisika Kimia Minyak Kedelai (Bailey, 1950)

Sifat	Nilai
Bilangan asam	0,3-3,000
Bilangan penyabunan	189-195
Bilangan Iod	117-141
Bilangan thiosianogen	77-85
Bilangan hidroksil	4-8
Bilangan Reichrt Meissl	0,2-0,7
Bilangan Polenske	0,2-1,0
Bahan yang tak tersabunkan	0,5-1,6%
Indeks Bias (25°C)	1,471-1,475
Berat Jenis (25/25°C)	0,916-0,922
Titer (°C)	22-27

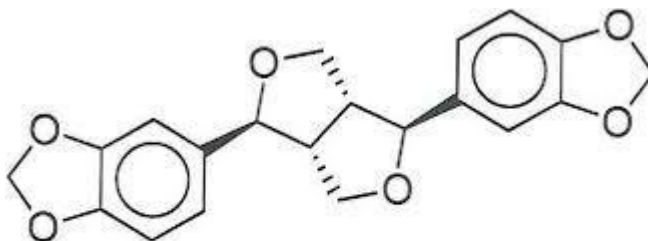
#### 2.8.4 Minyak Wijen

Minyak dari biji wijen telah digunakan sebagai minyak makan, seasoning, atau salad oil. Minyak wijen mengandung banyak asam lemak tak jenuh, terutama asam oleat (C18:1) dan asam linoleat (C18:2, Omega-6). Minyak wijen juga mengandung banyak vitamin E dan komponen fungsional lainnya yang berguna bagi kesehatan. Minyak wijen yang dihasilkan dari proses pengepresan dingin ini dikenal dengan nama virgin sesame oil (VSO). VSO mempunyai potensi sebagai minyak kesehatan karena mengandung komponen omega-6 (35,5 – 49,5 %), omega-9 (37,5 – 45,4 %) dan beberapa komponen antioksidan seperti vitamin E, karoten, dan komponen lignan (Sri Handajani dkk, 2010). Pada Tabel 2.5 menunjukkan sifat kimia dan fisika dari minyak wijen serta untuk struktur kimia dari minyak wijen seperti pada Gambar 2.10.



**Tabel 2.5** Sifat Kimia dan Fisika dari Minyak Wijen  
(Sri Handajani dkk, 2010).

Karakteristik	Syarat
Berat jenis pada 25 <sup>0</sup> C	0,916 – 0,921
Indeks bias pada 25 <sup>0</sup> C	1,4763
Bilangan Iod	103 – 112
Bilangan Penyabunan	188 – 193
Bilangan Reichert-Meissl	1,2
Bilangan Hehnet	95,6 – 95,9
Campuran asam-asam lemak Bilangan iod	109 – 122
Titik beku	21 – 24 <sup>0</sup> C
Titik cair	21 -31,5 <sup>0</sup> C



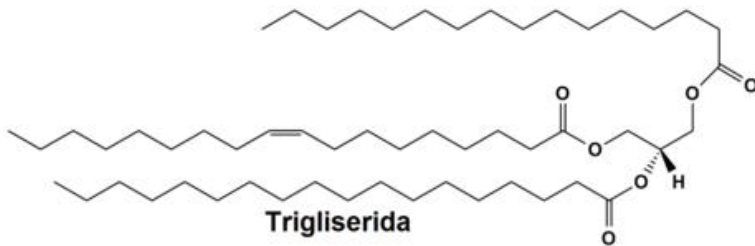
Sesamin

**Gambar 2.10** Struktur Kimia Minyak Wijen  
(Sri Handajani dkk, 2010)

---

### 2.8.5 Minyak Jagung

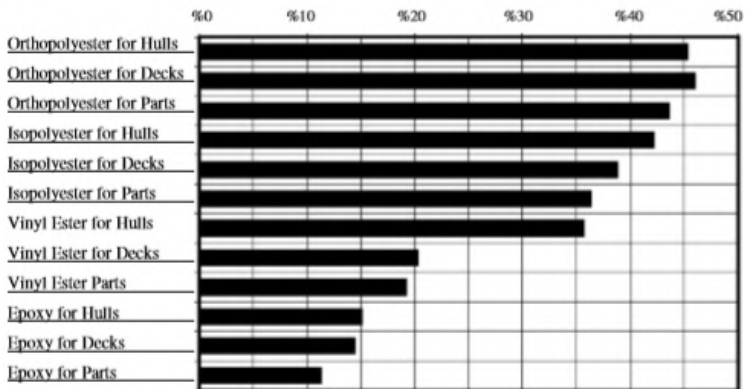
Minyak jagung mengandung 12-18% asam lemak jenuh dan 82- 88% asam lemak tidak jenuh. Minyak jagung merupakan trigliserida yang disusun oleh gliserol dan asam-asam lemak. Persentase trigliserida kurang lebih 98,6%,sedangkan sisanya merupakan bahan non minyak seperti abu, zat warna atau lilin. Minyak jagung termasuk golongan minyak asam oleat- linoleat (Ketaren,1986). Untuk struktur kimianya seperti pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Struktur Kimia Minyak Jagung (Ketaren,1986)

### 2.9 Bahan Resin Kapal

Penggunaan Komposit pada kapal telah banyak digunakan terutama pada kapal-kapal kecil dan perahu. Penyusun dari komposit pun semakin beragam mulai dari matriksnya baik polimer, resin epoksi, thermoplastik dan lainya Penggunaan berbagai macam resin pada bagian kapal ditunjukkan pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Penggunaan Resin pada Konstruksi Kapal Laut (Golpınar,2005).

Resin jenis orthophthalic polyester resin merupakan resin yang umum dipakai untuk bangunan kapal. Resin jenis ini harganya paling murah dibandingkan type lainnya dan tahan terhadap proses korosi air laut sehingga cocok untuk bahan material bangunan kapal . Sifat seperti ini kerusakan yang disebabkan karena proses korosi dapat dihindari sehingga biaya perawatan hanya untuk kulit lambung dari material logam maupun kayu. Resin ini memiliki beberapa keunggulan dan kekurangan (Nurcahyadi,2010). Untuk macam-macam resin dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Perbandingan Sifat Mekanik Masing – Masing Resin  
(Golpinar,2005).

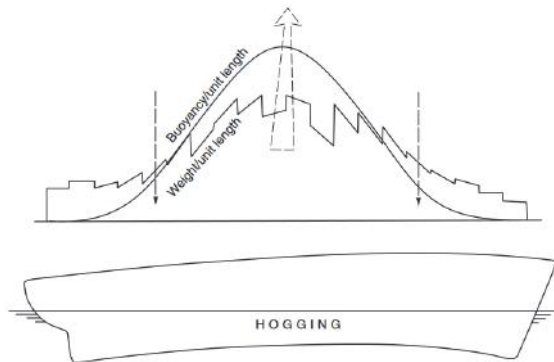
Resin	Kekerasan (Shore D)	Kekuatan Tarik (Psi x $10^3$ )	Kekuatan Modulus (Psi x $10^3$ )	Elongasi Maksimal (%)
Orthophthalic	42	7	5.9	0.91
Isophthalic	45	11.2	9.1	0.86
Vinyl Ester	35	11.0- 12.0	4.9	5.0-6.0
Epoksi	86	7.96	5.3	7.7

### 2.9.1 Analisa Gaya pada Kapal

Kapal modern umumnya dibangun dengan menggunakan kontruksi yang saling tersambung sehingga terhubung untuk memberikan kekuatan yang memadai di semua bagian kapal. Hal ini bertujuan untuk menahan kekuatan yang bekerja pada bagian bagian kapal dalam semua kondisi pelayanan.

Kekuatan yang bekerja pada kapal mungkin statis atau dinamis. Gaya statis disebabkan oleh perbedaan dalam berat dan daya apung, yang terjadi diseluruh bagian kapal. Gaya dinamis disebabkan oleh gerakan kapal di laut,aksi angin serta gelombang. Gaya Statis menyebabkan terciptanya 3 hal yaitu *longitudinal stress*, *transversal stress* dan *local stress*. Tegangan terbesar yang ditetapkan pada kapal sebagai kutuhan adalah karena distribusi beban di sepanjang kapal, dimana menyebabkan tegangan lentur longitudinal pada kapal. Pada *Longitudinal Stress*, gaya yang bekerja ada 2, yaitu gaya berat kapal dan semua yang di bawanya bekerja ke bawah dan komponen gaya vertical yaitu dari tekanan hidrostatik. Hal ini tergantung pada arah dimana momen lentur bertindak pada kapal, baik itu *hogging* ataupun *sagging*.

## 1. Hogging

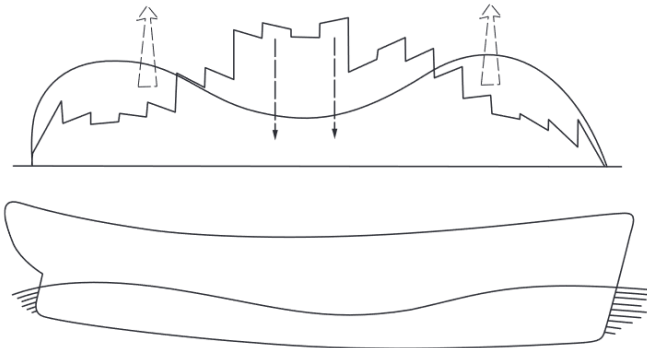


**Gambar 2.13** Hogging pada Kapal  
(Molland, 2008)

Dalam keadaan air diam, beban karena gravitasi atau air, tentu saja mempengaruhi berat dan daya apung. Distribusi daya apung di sepanjang bagian kapal mengikuti kurva daerah sementara beratnya dinilai dengan mudah dalam satuan panjang dan menghasilkan diagram pada Gambar 2.13. pada gambar memberikan hasil putus putus yang akan membuat kapal menekuk kebawah atau *Hog*.

## 2. Sagging

Kondisi sebaliknya dikenal juga dengan *sagging* yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. jika berat di tengah kapal melebihi daya apung atau ketika gelombang melintas di tengah kapal, kapal aka *sag*, seperti balok yang ditopang di ujung dan dimuat beban pada tengahnya.

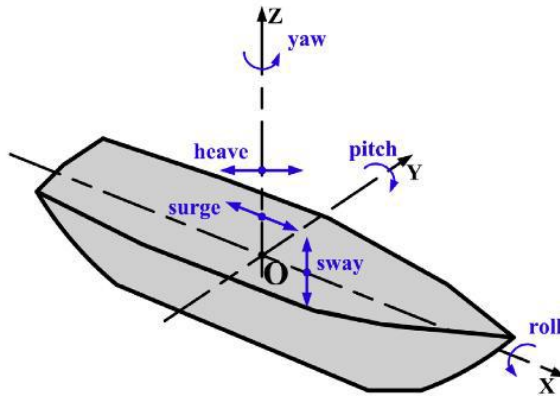


**Gambar 2.14** Sagging pada Kapal (Molland, 2008)

Dalam *transverse stress*, bagian melintang di tengah kapal mengalami tekanan statis karena air di sekitar muatann internal kapal. *Local stress* sendiri disebabkan oleh beban yang dibawa kapal, getaran pada lambung dan beban yang terkonsentrasi di satu titik pada kapal.

Pada gaya dinamis, terdapat beberapa gaya yang terjadi pada kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15, yaitu

1. *Surging* yang merupakan gaya linier ke depan dan belakang (sepanjang sumbu x) dari sebuah kapal
2. *Heaving* yang merupakan gaya linier naik dan turun vertical (sepanjang y) dari sebuah kapal
3. *Swaying* yang merupakan gaya linier sisi ke sisi (sepanjang sumbu y) pada kapal
4. *Rolling* yang merupakan gaya rotasi pada kapal pada sumbu vertical
5. *Pitching* yang merupakan gaya rotasi pada kapal pada sumbu horizontal di kapal (Molland, 2008).



**Gambar 2.15** Gaya Dinamis pada Kapal  
(Molland, 2008)

## 2.10 Standar BKI dan DVNGL

### 2.10.1 Standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

Pada standar BKI untuk produk resin yang termasuk UP resin, Spesifikasi sifat minimum untuk penggunaan laminating resin berdasar Tabel 2.7 berikut:

**Tabel 2.7** Sifat Mekanik UP Resin Berdasarkan Standar BKI

Tensile Strength	40 MPa
Fracture Strain	2,0 %
Modulus of Elasticity (Tension)	2700 MPa
Bending Strength	80 MPa
Dimensional Stability Under Heat	60° C
Water Absorption	70 mg

(Biro Klasifikasi Indonesia,2014)

Material pada industri kapal sesuai standar dari Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2016 mengenai *Rules For Fiberglass*

---

*Reinforced Plastic Ships* (Tabel 2.3), material yang diperlukan untuk kapal FRP yang menggunakan serat kaca dengan jenis *woven roving* ataupun *chopped* sebagai bahan utama lambung kapal harus memenuhi kekuatan tertentu yaitu untuk kekuatan Tarik minimal sebesar  $98 \text{ N/mm}^2$  dengan *modulus of tensile elasticity* sebesar  $6,86 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  dan juga harus memenuhi kekuatan bending sebesar  $150 \text{ N/mm}^2$  dengan *Modulus of bending elasticity* sebesar  $6,86 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ . Dalam proses laminasi, kadar Serat kaca standar dalam rasio berat adalah sekitar 30% untuk jenis serat kaca *chopped* atau sekitar 50% untuk jenis serat kaca *woven roving* (Biro Klasifikasi Indonesia,2016).

### 1.10.2 Standar DNVGL

Polyester dan vinyl ester yang disetujui dibagi menjadi kualitas kelas berikut (DNVGL,2018):

- i. Resin kelas 1 : kualitas dengan ketahanan air yang baik
- ii. Resin kelas 2 : kualitas dengan ketahanan air yang normal
- iii. Resin tahan api
- iv. *Gelcoat* dan *topcoat*
- v. *Gelcoat* dan *topcoat* tahan api

*Polyester* dan *vinyl ester* sebaiknya cocok dengan aplikasi yang dimaksudkan (contoh laminasi dengan *hand lay-up*, *spraying*, *resin transfer molding*, metode *vacuum bagging*, dll). Resin sebaiknya memiliki sifat pembasahan yang baik dan akan *curing* dengan baik pada temperatur kamar, atau pada kondisi *curing* spesifik yang lain. *Polyester* dan *vinyl ester* dimaksudkan untuk metode manufaktur yang lain dapat disetujui setelah pertimbangan lanjutan (DNVGL,2018).

Semua zat tambahan(Katalis, Akselerator, material pengisi, pigmen pewarna,dll) sebaiknya cocok dengan resin termoset dan akan kompatibel dengan itu sesuai dengan zat aditif yang lain, dengan itu *curing* resin sempurna akan dipastikan (DNVGL,2018).

Prosedur *curing* berikut dapat digunakan :

- i. Standar MEKPO (oksigen aktif 9,0-9,2%)
- ii. *Curing*: 24 jam pada  $23^\circ \text{C}$



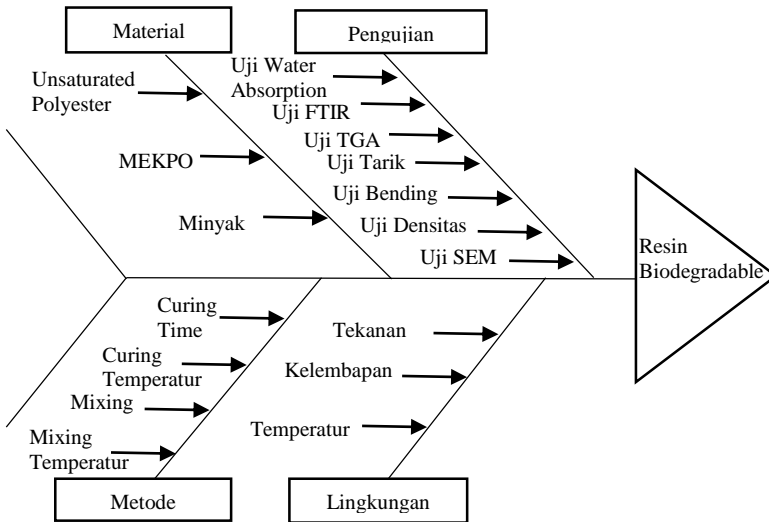
---

iii. Post curing: 24 jam pada 50° C

### **2.11 Penelitian Sebelumnya**

Pada penelitian sebelumnya (Patel,2013) melakukan pencampuran Styrenated unsaturated poly (ester–amide)s dengan unsaturated polyester resin (o-phthalic anhydride based) komersil dengan katalis Benzoyl peroksida (BPO), N,N'-Dimethyl aniline (DMA) sebagai promotor was dilakukan. Menghasilkan material material kaku yang solid yang didesain sebagai material yang tak berpenguat.

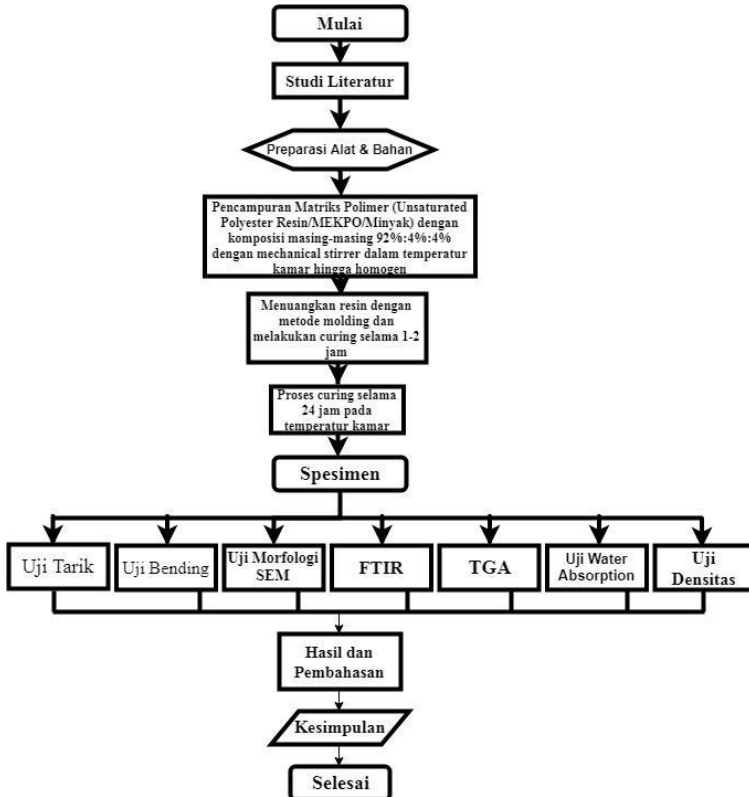
Lalu pada penelitian (Chengguo dkk,2013) melakukan pencampuran COPERMA/stiren resin yang berbasis minyak jarak dengan *Unsaturated Polyester Resin*. Ini lebih realistis untuk mengembangkan setengah pengganti material polimer minyak bumi. Pada penelitian ini, dengan inkorporasi dari produk COPERMA fungsi tinggi dengan UPR, kita mendapatkan percampuran dengan sifat fisik, mekanik, dan termal yang dapat dibandingkan atau bahkan lebih baik daripada matriks UPR biasa. Ini karena fungsi tinggi bio aditif tidak mengurangi densitas *crosslink* dari material hasil. Sedangkan karena tidak kompatibilitasnya UPR dan COPERMA dihasilkan dengan perbedaan besar dari jumlah kelompok asam yang mereka miliki, kekasaran permukaan dari percampuran resin meningkat sesuai dengan peningkatan COPERMA resin. Peningkatan kekasaran permukaan mengakibatkan kehilangan ketangguhan yang disebabkan dari peningkatan densitas *crosslink* setelah menambah ketangguhan sampel. Oleh karena itu mencampurkan produk UPR fungsional dengan UPR berbasis minyak bumi itu pendekatan efektif untuk manufaktur UPR berbasis bio dengan performa tinggi untuk aplikasi struktural.



**Gambar 2.16** Diagram *Fishbone* Penelitian

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Unsaturated Polyester Resin  
Didapatkan dari PT Justus Kimiaraya, Surabaya. Untuk gambar *Unsaturated Polyester* resin ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Unsaturated Polyester Resin

2. MEKPO  
Didapatkan dari PT Justus Kimiaraya, Surabaya. Pada Gambar 3.3 menunjukkan gambar metil etil keton peroksida (MEKPO).



**Gambar 3.3** Metil Etil Keton Peroksida (MEKPO)

3. Minyak Sawit

Minyak kelapa sawit yang digunakan adalah olahan minyak kelapa sawit dari PT Wilmar Nabati Indonesia, Jalan Kapten Darmo Sugondo no.56, Gresik 61124, Merk fortune ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Minyak Sawit

4. Minyak Kelapa

Minyak kelapa yang digunakan adalah olahan minyak kelapa dari PT Barco, Jakarta 11042, Indonesia, Merk Barco. Pada Gambar 3.5 menunjukkan gambar minyak kelapa.



**Gambar 3.5** Minyak Kelapa

## 5. Minyak Kedelai

Minyak kedelai yang digunakan adalah olahan minyak kedelai dari PT Salim Ivomas Pratama Tbk, Jakarta 14440-Indonesia, Merk Happy ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Minyak Kedelai

## 6. Minyak Wijen

Minyak wijen yang digunakan diimpor oleh PT Sukanda Djaya, Jakarta 14430-Indonesia, Merk Lee Kum Kee. Pada Gambar 3.7 menunjukkan gambar minyak wijen.



**Gambar 3.7** Minyak Wijen

7. Minyak Jagung

Minyak jagung yang digunakan diproduksi oleh CV. Surya Agung, Jakarta Utara 14350-Indonesia, Merk SuperINDO 365 ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Minyak Jagung

8. WAX

Didapatkan dari PT Justus Kimiaraya, Surabaya yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** WAX

---

### 3.3 Alat Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan Kayu  
Alat ini digunakan untuk mencetak spesimen
2. Aluminium Foil  
Digunakan untuk melapisi cetakan dalam pembuatan spesimen
3. Wadah Aluminium  
Digunakan untuk pencampuran resin dengan katalis dan variabel tambahan
4. Timbangan Digital  
Digunakan untuk menimbang massa bahan
5. Sendok  
Digunakan untuk mengambil bahan material
6. Gelas Ukur Kecil  
Digunakan untuk mengukur volume bahan yang akan digunakan
7. Pipet Tetes  
Digunakan untuk mengambil cairan seperti MEKPO
8. Mesin Uji Scanning Electro Microscope (SEM)  
Berfungsi untuk menganalisis morfologi sampel dan distribusi komposisi. Menggunakan mesin Inspect TM S50 yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Mesin SEM



---

9. Mesin Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Berfungsi untuk menganalisis gugus fungsi dan ikatan kimia yang terbentuk. FT-IR spectra direkam pada Nicolet iS10 IR spectrometer (Thermo-Fisher Corporation, USA) yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dengan skala pada rentang 650–4000  $\text{cm}^{-1}$  dengan resolusi 4  $\text{cm}^{-1}$ .



**Gambar 3.11** Mesin FTIR

10. Mesin Uji Tarik

Uji tarik dilakukan pada mesin dari Hung Ta Instrumen Co., Ltd. dengan tipe HT-2402 No. seri 4305 yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Mesin Uji Tarik

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi *Unsaturated Polyester Resin*, MEKPO, dan Minyak dengan perbandingan 92% : 4% : 4%. Variabel terikatnya adalah jenis dari minyak itu sendiri dengan jenis Minyak Sawit, Minyak Kelapa, Minyak Kedelai, Minyak Wijen, dan Minyak Jagung.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang dilakukan hingga didapatkan hasil berupa resin untuk laminasi aplikasi untuk lambung kapal laut sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua alat dan bahan.
2. Mengukur massa campuran Resin (UP/MEKPO/Minyak) 92%:4%:4% lalu dicampur secara *mechanical stirrer* selama 10 menit
3. Menyiapkan cetakan yang kemudian diberikan *Aluminium foil* untuk menghindari perekatan komposit dengan cetakan.
4. Menyiapkan resin
5. Kemudian setelah itu Menuangkan resin pada cetakan dengan perbandinganya sesuai Metode ini merupakan metode *molding* tunggu sekitar 1-2 jam agar *curing*
6. Mendinginkan selama 24 jam agar curing berdasarkan standar DVNGL
7. Melakukan pengujian terhadap spesimen yang dibuat.

### 3.6 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, antara lain:

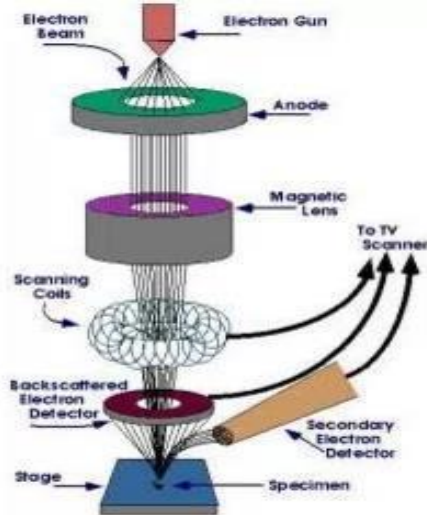
1. Pengujian *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM)  
Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.  
Pengujian SEM in mengikuti standar ASTM E986.  
Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi resin

---

Unsaturated Polyester. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran  $< \sim 10 \text{ nm}$  pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar (Trewin, 1988). Data hasil SEM berupa gambar dengan perbesaran serta grafik yang menunjukkan intensitas unsur tertentu yang terdapat pada spesimen uji. Prinsip dasar SEM adalah memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan non-elastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (BSE). Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan elektron. Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap terang pada monitor CRT (*Cathode Ray Tube*).

Sedangkan prinsip kerja EDX adalah melalui sinar X karakteristik. Pada saat ditembakkan dengan elektron, elektron pada kulit terdalam akan terkesitasi dari kulit sehingga meninggalkan vakansi. Elektron dari kulit luar harus melepaskan sebagian energy agar dapat berpindah ke kulit dalam. Energi yang dilepas dipancarkan dalam bentuk sinar X.

Sinar X inilah yang diserap EDX dan ditampilkan dalam bentuk grafik puncak-puncak yang mewakili unsur tertentu. Prinsip kerja SEM dilambangkan pada Gambar 3.13. Pada pengujian SEM spesimen dibuat berdasarkan ASTM E2809 dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 4 mm lalu dilapisi dengan *coating* AuPd.



**Gambar 3.13** Alat Uji SEM (iastate.edu)

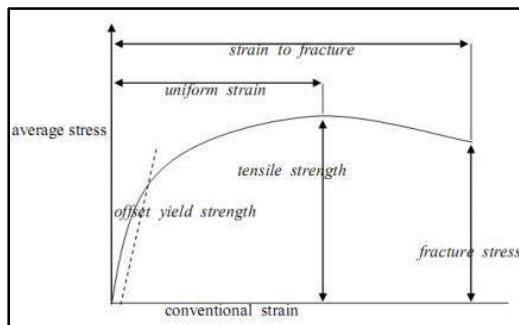
2. Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10*. Pengujian FTIR ini dilakukan untuk menentukan gugus fungsi material resin Unsaturated Polyester. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energi dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energi yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul/ gugus berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.

### 3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu metode pengujian merusak (Destructive Test) pada material yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Beban tarik diberikan dan meningkat secara bertahap pada kedua ujung spesimen uji agar spesimen uji mengalami deformasi (berupa penambahan panjang) hingga mengalami kegagalan (patah). Pengujian ini sendiri mampu memberikan data-data sifat mekanik seperti modulus elastisitas, kekuatan luluh dan tarik, keuletan, dan lain-lain. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik Hung Ta HT-2402 milik laboratorium inovasi material di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Standar yang digunakan dalam pengukuran kekuatan tarik ini adalah ISO 527-4.

Hasil yang diperoleh pada pengujian tarik adalah kurva antara  $\Delta F$  dan  $\Delta l$ . Kemudian nilai tersebut, diubah menjadi kurva *engineering stress-strain* ditunjukkan pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Kurva Tegangan Regangan  
(Callister,2010)

Untuk mendapatkan kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara  $\Delta F$  dan  $\Delta l$  adalah dengan Persamaan 3.1 dan 3.2 :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.2)$$

$\sigma$	=	Engineering Stress (N/mm <sup>2</sup> )
F	=	Beban yang diberikan (N)
A	=	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )
$\varepsilon$	=	Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)
$\Delta L$	=	Perubahan panjang (mm)
L	=	Panjang setelah pembebanan (mm)

#### 4. Thermogravimetric/Differential Thermal Analysis (TG/DTA)

*Thermogravimetric Analisis* (TGA) adalah suatu teknik analisis untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi komponen volatile dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Seperti analisis ketepatan yang tinggi pada tiga pengukuran, yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva hilangnya berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat.

TGA biasanya digunakan dalam riset dan pengujian untuk menentukan karakteristik material seperti polimer, untuk menentukan penurunan temperatur, kandungan material yang diserap, komponen anorganik dan organik di dalam material, dekomposisi bahan yang mudah meledak, dan residu bahan pelarut. TGA juga sering digunakan untuk kinetika korosi pada oksidasi temperatur tinggi.

Pengukuran TGA dilakukan di udara atau pada atmosfer yang inert, seperti Helium atau Argon dan berat yang dihasilkan sebagai fungsi dari kenaikan temperatur. Pengukuran dapat juga

dilakukan pada atmosfer oksigen (1-5% O<sub>2</sub> di dalam N<sub>2</sub> atau He) untuk melambatkan oksidasi (Steven, 2001).

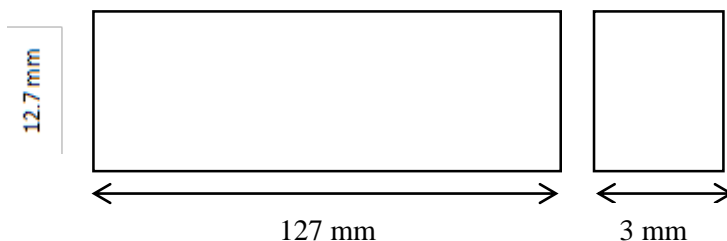
#### 5. Pengujian Densitas

Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan dalam air masing-masing spesimen menggunakan timbangan digital yang dilakukan di laboratorium inovasi material jurusan Teknik Material FTI-ITS. Standar yang digunakan dalam pengukuran massa jenis ini adalah ASTM D70.

#### 6. Pengujian Bending

Pengujian kelenturan dilakukan untuk mendapatkan informasi kekuatan material ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan dilakukan dengan metode three point bend, dengan cara spesimen diletakan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan di tengah spesimen. Pengujian dilakukan dengan mesin uji bending AUTOGRAPH milik laboratorium Universitas Hang Tuah, Surabaya.

Prosedur pengujian menurut standar ASTM D790. Dimensi spesimen yang diuji sesuai standart tersebut ialah sebesar 127x12.7x3 mm seperti pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15** Dimensi Spesimen Uji Bending  
(ASTM Standards,2017)

---

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$\sigma_f$	=	Kekuatan Lentur (Kg/cm <sup>2</sup> )
L	=	Support span (cm)
P	=	Beban patah (Kg)
b	=	Lebar spesimen (cm)
d	=	Tebal spesimen (cm)

#### 7. Pengujian Water Absorption

*Water absorption* merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daya serap material terhadap air pada waktu tertentu. Prosedur yang digunakan dalam pengujian ini yaitu pembuatan spesimen water absorption kemudian ditimbang saat material kondisi kering. Selanjutnya direndam dalam wadah berisi air dengan jumlah air yang mampu merendam seluruh area spesimen pada waktu tertentu untuk selanjutnya ditimbang ulang pada saat kondisi basah. Selisih dari kedua hasil penimbangan yang akan dijadikan data water absorption. Standar yang digunakan adalah ASTM D570.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Untuk mendapatkan data yang sistematis, maka dari penelitian ini dibuat rancangan penelitian seperti Tabel berikut :



**Tabel 3.1** Komposisi Pencampuran Unsaturated Polyester dan Minyak Nabati

No.	Kode	Jenis Minyak Nabati	Komposisi		
			Minyak Nabati (%)	Unsaturated Polyester (%)	Katalis (%)
1	UPR	-	-	96	4
2	UPR-P4	Kelapa Sawit	4	92	4
3	UPR-C4	Kelapa	4	92	4
4	UPR-S4	Kedelai	4	92	4
5	UPR-SS4	Wijen	4	92	4
6	UPR-CR4	Jagung	4	92	4

**Tabel 3.2** Rancangan Pengujian untuk Spesimen

No.	Kode	Pengujian						
		FTIR	Tarik	SEM	Bending	TGA	Densitas	Water Absorption
1	UPR	√	√	√	√	√	√	√
2	UPR-P4	√	√	√	√	√	√	√
3	UPR-C4	√	√	√	√	√	√	√
4	UPR-S4	√	√	√	√	√	√	√
5	UPR-SS4	√	√	√	√	√	√	√
6	UPR-CR4	√	√	√	√	√	√	√

Keterangan :

UPR = Unsaturated Polyester resin

UPR-P4 = Unsaturated Polyester resin-minyak sawit

---

UPR-C4 kelapa	=	Unsaturated Polyester resin-minyak
UPR-S4 kedelai	=	Unsaturated Polyester resin-minyak
UPR-SS4 wijen	=	Unsaturated Polyester resin-minyak
UPR-CR4 jagung	=	Unsaturated Polyester resin-minyak

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan *Polymer Blend* antara *Unsaturated Polyester* resin dengan minyak nabati antara lain minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung. Dari proses pencampuran tersebut dilakukan pembuatan bioresin. Komposisi pengisi minyak untuk resin adalah 4 % wt. Hasil dari proses tersebut di preparasi untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis sebagai berikut.

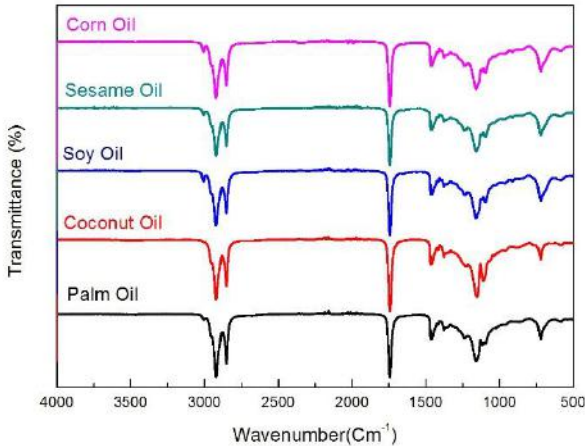
### 4.1 Analisis Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada material bioresin minyak nabati. Spektrum FTIR diperoleh dari pencampuran *Unsaturated Polyester* dengan masing-masing minyak dan antara minyak itu sendiri. Analisis dilakukan dengan membandingkan *spectra* gugus fungsi dari masing-masing bahan dasar hingga setelah proses *Polymer Blend*.

Grafik FTIR terdapat *Transmittance* (%) yang mewakili besarnya transmisi atau perpindahan energi efektif yang terjadi selama reaksi, sedangkan *Wavenumbers* ( $\text{cm}^{-1}$ ) mewakili panjangnya gelombang yang dihasilkan pada saat reaksi. Gelombang tersebut memiliki titik-titik puncak yang menandakan terjadinya hambatan transmisi energi efektif dan memiliki arti telah terjadi aktivitas transformasi ikatan. Gambar 4.1 menunjukkan *spectra* masing-masing minyak.

Spektra rata-rata minyak sawit menunjukkan karakteristik gugus pada  $1743\text{--}1744\text{ cm}^{-1}$ ,  $2852$  and  $2922\text{ cm}^{-1}$  hasil dari C=O peregangan dari ester (asam carboxylic atau triglycerides), C-H asimetris meregang dari  $\text{CH}_2$  and C-H simetris meregang dari  $\text{CH}_2$  (Goh, K.M. dkk, 2019). Semua *spectra* masing-masing minyak

yang didapatkan menunjukkan bentuk dan trend yang sama, hal ini menunjukkan bahwa gugus fungsi dari setiap minyak sama.



**Gambar 4.1** Spektra FTIR Minyak Sawit, Minyak Kelapa, Minyak Kedelai, Minyak Wijen, dan Minyak Jagung.

Gambar 4.2 menunjukkan struktur dari Polymer Blend antara *Unsaturated Polyester* dan masing-masing minyak yang digunakan pada penelitian ini.

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat gugus fungsi Matriks *Polyester* pada komposisi 0%, 4% dan 8%. Menurut (knuuthien, 2006), terdapat gugus fungsi C-H Alkane pada daerah serapan  $2935\text{ cm}^{-1}$ , gugus fungsi C=O *Carboxylic stretching* pada daerah serapan  $1725\text{ cm}^{-1}$ , dan terdapat dua senyawa aromatic pada daerah serapan  $1599\text{ cm}^{-1}$  dan  $1450\text{ cm}^{-1}$ . Kemudian Menurut (Rasha, 2017), terdapat C-O-C *Ester Linkage* pada daerah serapan  $1110\text{ cm}^{-1}$  sampai dengan  $1285\text{ cm}^{-1}$ .

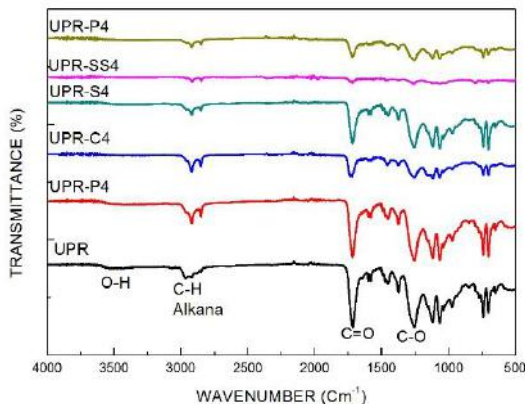
Karakteristik tiga peak aromatic C-H at 3083, 3060, dan  $3030\text{ cm}^{-1}$  dan aromatic C-H, diluar bidang pada  $700\text{ cm}^{-1}$  untuk perubahan tunggal cincin aromatik ditemukan. Karakteristik puncak dari kelompok polyester:  $\text{nC=O}$  dan  $\text{nC-O-C}$  pada  $1725$  dan

1268  $\text{cm}^{-1}$  juga diobservasi. Bagaimanapun, pengujian yang lebih mendetail menunjukkan karakteristik nC-O dua puncak dari terephthalate dan orthophthalate dalam UPR pada 1118/1102  $\text{cm}^{-1}$  dan 1156/1075  $\text{cm}^{-1}$ , masing-masing. Karakteristik puncak dari anhydride pada 1850 dan 1775  $\text{cm}^{-1}$  diketahui. Karakteristik puncak absorption dari kelompok hydroxyl dan carboxyl pada kisaran 3100-3700  $\text{cm}^{-1}$ , yang dimungkinkan sebagai struktur hasil dari hidrolisis dan b-elimination sebagai salah satu dari reaksi pyrolysis, masing-masing, dari kelompok ester, tidak hanya meningkat, tetapi juga berkurang, perubahan yang diharapkan dari struktur yang sudah ada pada struktur kimia lain oleh reaksi subsequent (Chan,HC dkk,2018).

Dari Gambar 4.2 menunjukkan, rantai ikatan yang muncul antara *Unsaturated Polyester* tanpa campuran dan dengan campuran minyak nabati. Rantai yang terjadi seperti O-H, C-H Alkana, C=O, dan C-O. Disini terlihat bahwa *Unsaturated Polyester* tanpa campuran memiliki spectra yang lebih curam pada ikatan C=O dibandingkan dengan penambahan minyak nabati. C-H Alkana pada penambahan minyak sawit dan minyak kelapa menunjukkan spectra yang lebih curam dibandingkan minyak yang lain. Spektra yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 menunjukkan hubungan dengan regangan vibrasi dari kelompok karbonil dari ikatan ester. (1750–1725  $\text{cm}^{-1}$ ), dari *polyesters* dan struktur minyak. Gugus absorption pada daerah 1280–1240  $\text{cm}^{-1}$  berhubungan dengan C O C dan C O regangan dari kelompok ester. Gugus yang muncul pada 1650  $\text{cm}^{-1}$  dapat dianggap berasal dari regangan vibrasi dari dua ikatan *maleic anhydride* (Liu dkk., 2014). Dari data pengujian yang diperoleh menunjukkan tidak adanya ikatan kimia yang terjadi antara *Unsaturated Polyester* dengan masing-masing minyak nabati.

**Tabel 4.1** Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit GFRP (Knuuthien,2006)

Peak	Gugus Fungsi
3632	O-H Hidroksil
2985	C-H Alkane
1725	C=O Carboxylic Acid
1599	C=C Aromatic Compound
1450	C=C Aromatic Compound
1285	C-O Aromatic Ester
1080	C=C Ester
940	O-H Hidroksil



**Gambar 4.2** Spektra FTIR Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

#### 4.2 Analisis Hasil Thermogravimetric (TGA)

Pengujian dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA Universitas Negeri Surabaya. Pengujian dilakukan berdasarkan standard ASTM E1131. Penyusutan masa pada polimer, terjadi oleh karena lepasnya atom-atom hidrogen dari ikatan hidrocarbon polimer. Terlepasnya atom hidrogen ini disebabkan dari energi input yang berasal dari panas. Terlepasnya hidrogen dari ikatan hidrocarbon akan semakin meningkat dengan kenaikan temperatur sehingga massa polimer semakin lama akan semakin berkurang (Beyler & Hirschler, 2002)

Data nilai  $T_5$  dan  $T_{10}$  didapat dari kurva thermogravimetric yang digunakan sebagai kriteria stabilitas thermal dan ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Karakteristik Temperatur Unsaturated Polyester dari TGA.  $T_5$ : Temperatur Menurut 5% Pengurangan Berat.  
 $T_{10}$ : Temperatur Menurut 10% Pengurangan Berat

Material	$T_5$ (°C)	$T_{10}$ (°C)
UPR	378,05	384,25
UPR-P4	326,45	339,15
UPR-C4	363,35	370,15
UPR-S4	344,95	353,15
UPR-SS4	233,75	271,95
UPR-CR4	355,65	362,15

Dari data perbandingan  $T_5$ , disini menunjukkan perbedaan ketika material mengalami penurunan persen berat sebesar 5% diketahui bahwa temperatur kestabilan tertinggi pada bagian ini adalah polyester original dengan nilai 378,05 °C. Untuk polyester-sawit memiliki temperatur 326,45 °C. Untuk polyester-kelapa memiliki temperatur 363,35 °C. Untuk polyester-kedelai memiliki temperatur 344,95 °C. Untuk polyester-wijen memiliki temperatur 233,75 °C. Dan untuk polyester-jagung memiliki temperatur 355,65 °C.

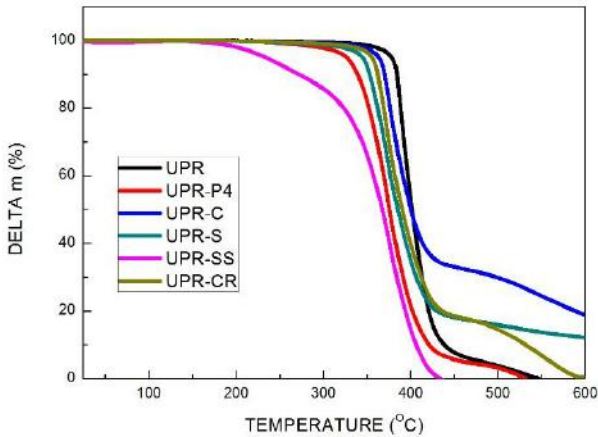
---

Dari data perbandingan  $T_{10}$ , disini menunjukkan perbedaan ketika material mengalami penurunan persen berat sebesar 10% diketahui bahwa temperatur kestabilan tertinggi pada bagian ini adalah polyester original dengan nilai 384,25 °C. Untuk polyester-sawit memiliki temperatur 339,15 °C. Untuk polyester-kelapa memiliki temperatur 370,15 °C. Untuk polyester-kedelai memiliki temperatur 353,15 °C. Untuk polyester-wijen memiliki temperatur 271,95 °C. Dan untuk polyester-jagung memiliki temperatur 362,15 °C. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 Kurva menunjukkan persen penurunan berat seiring bertambahnya temperatur.

Dari data  $T_5$  dan  $T_{10}$  didapatkan bahwa material yang paling stabil terhadap temperatur adalah unsaturated polyester-minyak kelapa dan yang paling rendah kestabilan terhadap temperatur adalah unsaturated polyester-minyak wijen

Tahap pertama terjadinya dekomposisi terjadi pada temperatur berkisar 140-390°C yang merupakan fenomena penguapan dan dekomposisi dari senyawa yang tidak berikatan. Kemudian tahap kedua dekomposisi terjadi pada temperatur 320-450°C dengan degradasi yang cepat dan merupakan fenomena degradasi dari struktur crosslink polimer. Kemudian diatas temperatur 450°C merupakan tahap terakhir dekomposisi atau dapat disebut juga degradasi material residu (Chengguo Liu dkk, 2014).





**Gambar 4.3** Kurva *Thermogravimetric* (TGA) dari Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

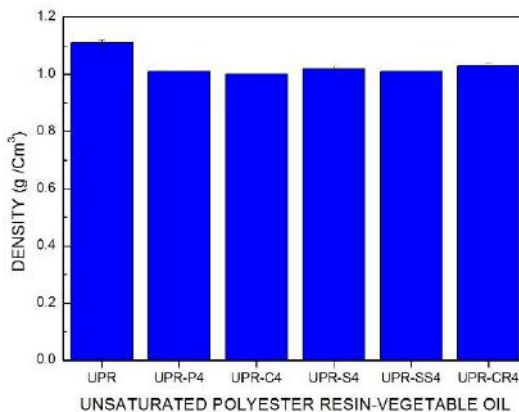
### 4.3 Analisis Hasil Pengujian Densitas

Analisa densitas atau massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari material polimer *blend* Unsaturated Polyester. Analisa densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D-792 dengan media air. Analisa densitas dilakukan terhadap spesimen polimer *blend* Unsaturated Polyester.

**Tabel 4.3** Massa Jenis Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Material	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
UPR	1,11±0,01
UPR-P4	1,01±0
UPR-C4	1±0
UPR-S4	1,02±0,01
UPR-SS4	1,01±0
UPR-CR4	1,03±0,01

Berdasarkan Gambar 4.4 dan Tabel 4.3 tersebut menunjukkan nilai massa jenis dari variasi minyak nabati yang terdiri dari PO (Palm Oil), SSO (Sesame Oil), CO (Coconut Oil), SO (Soybean Oil), dan CRO (Corn Oil) yang dibandingkan dengan UPR (Unsaturated Polyester). Hasil pengujian menunjukkan bahwa adanya variasi jenis minyak nabati dapat mempengaruhi nilai massa jenis matriks. Massa jenis paling tinggi ditemukan pada spesimen UPR-CR4 dengan filler 4% minyak jagung dengan nilai  $1,03 \text{ g/cm}^3$ . Sedangkan yang paling rendah ditemukan pada spesimen UPR-C4 dengan filler 4% minyak kelapa yang memiliki massa jenis sebesar  $1 \text{ g/cm}^3$ .



**Gambar 4.4** Grafik massa jenis Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Gambar 4.4 menunjukkan nilai massa jenis matriks dengan variasi minyak nabati. Grafik menunjukkan bahwa penambahan 4% minyak nabati yang berbeda pada UPR memiliki nilai massa jenis yang berbeda pula. UPR dengan penambahan 4% minyak nabati corn oil memiliki nilai densitas paling tinggi, diikuti dengan

---

UPR dengan 4% soybean oil, UPR dengan 4% sesame oil, kemudian UPR dengan penambahan 4% palm oil, dan UPR dengan penambahan 4% coconut oil yaitu dengan nilai 1,03 g/cm<sup>3</sup>, 1,02 g/cm<sup>3</sup>, 1,01 g/cm<sup>3</sup>, 1,01 g/cm<sup>3</sup>, dan 1 g/cm<sup>3</sup>.

Massa jenis UPR yang dicampur dengan minyak nabati akan lebih rendah dari massa jenis UPR tanpa pencampuran minyak nabati. Hal ini dikarenakan massa jenis UPR lebih tinggi dibandingkan dengan massa jenis minyak nabati. Berdasarkan material safety data sheet dari unsaturated polyester resin memiliki massa jenis yang berkisar pada rentang 1,11 – 1,23 g/cm<sup>3</sup>.

Massa jenis palm oil nilainya yaitu 0,92 g/cm<sup>3</sup>, massa jenis sesame oil nilainya yaitu 0,924 g/cm<sup>3</sup>, massa jenis coconut oil nilainya yaitu 0,91 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan massa jenis soybean oil nilainya yaitu 0,92 g/cm<sup>3</sup>, dan massa jenis corn oil nilainya yaitu 0,92 g/cm<sup>3</sup> (Noureddini, 1992). Dengan begitu maka penambahan minyak nabati yang memiliki massa jenis lebih rendah dari UPR berpengaruh besar terhadap penurunan densitas (Chand, 2006).

#### **4.4 Analisis Pengujian *Water Absorption***

Pengujian penyerapan air diperlukan untuk mengetahui kemampuan material bioresin dalam menyerap air. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan selisih antara berat basah dari spesimen dengan berat kering dari spesimen.

Pengujian ini dilakukan menggunakan timbangan digital dan oven pada Laboratorium Inovasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dari hasil pengujian penyerapan air yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.4:

---

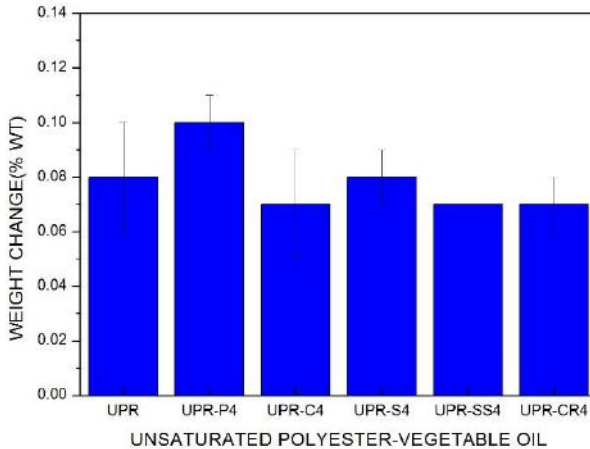
**Tabel 4.4** Perubahan Berat 24 Jam *Water Absorption* Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

---

<b>Material</b>	<b>Weight Change (% wt)</b>
UPR	0,08±0,02
UPR-P4	0,10±0,01
UPR-C4	0,07±0,02
UPR-S4	0,08±0,01
UPR-SS4	0,07±0
UPR-CR4	0,07±0.01

---

Berdasarkan Tabel 4.4 tersebut menunjukkan nilai *water absorption* selama 24 jam dari matriks dalam bentuk persentase (%). Dari hasil pengujian didapatkan variasi minyak nabati dapat mempengaruhi nilai *water absorption*. Nilai *water absorption* terendah terdapat pada spesimen UPR-SS4 dengan minyak nabati 4% wijen dengan nilai *water absorption* 0,07% sedangkan nilai *water absorption* tertinggi terdapat pada spesimen UPR-P4 dengan minyak nabati 4% sawit dengan nilai *water absorption* 0,10%.

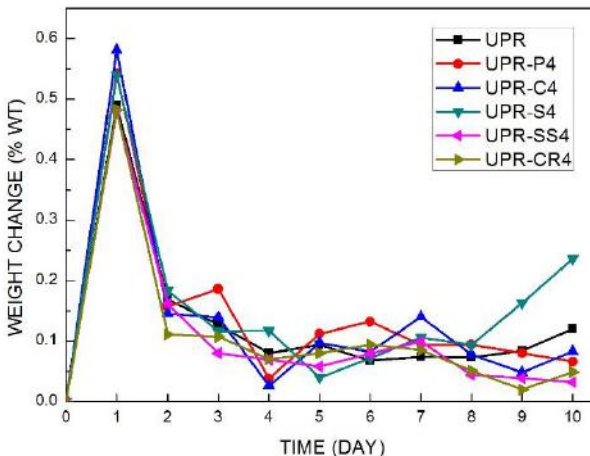


**Gambar 4.5** Grafik Water Absorption 24 Jam Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Gambar 4.5 Menunjukkan nilai water absorbability dari bioresin dengan variasi minyak nabati dengan komposisi minyak nabati masing-masing 4% dalam bentuk grafik. Grafik ini menunjukkan bahwa dengan penambahan minyak nabati kedalam polyester meningkatkan kemampuan menyerap air. Hal ini terjadi karena pencampuran antara polyester dengan minyak nabati tidak 100% homogen sehingga terbentuk rongga rongga yang memungkinkan menjadi jalan masuknya air ke celah celah spesimen bioresin. Kenaikan nilai water absorbability dipengaruhi oleh penambahan Polyethylene Terephtalate yang memiliki nilai water absorbability sebesar 0,1-0,2% (ASTM D570 and ISO 62). Sedangkan Polypropylene yang memiliki nilai water absorbability sebesar 0,01-0,1% (ASTM D570 and ISO 62). Sehingga penambahan Polyethylene Terephtalate dan berkurangnya

Polypropylene akan menurunkan nilai water absorbability, begitu juga sebaliknya.

Sedangkan data nilai water absorption selama 10 hari dari matriks dalam bentuk persentase (%). Dari hasil pengujian untuk semua jenis minyak nabati, didapatkan pola penyerapan air dalam % yang semakin sedikit setiap harinya. Dapat disimpulkan bahwa, semakin lama perendaman spesimen didalam air akan semakin sedikit penyerapan air yang terjadi. Rongga didalam spesimen sudah terisi penuh oleh air, hal tersebut yang menyebabkan penyerapan air semakin menurun seiring bertambah lamanya proses perendaman.



**Gambar 4.6** Grafik Water Absorption 10 Hari Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Dari Gambar 4.6 menampilkan data penyerapan air material bioresin UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4 dalam waktu perendaman selama 10 hari. Dari grafik bisa dilihat bahwa penyerapan air (dalam %) meningkat drastis untuk

hari pertama namun cenderung naik turun tidak stabil setelah hari pertama hingga hari ke-10. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa ada batas waktu tertentu material bioresin yang bersifat hidrophobik dapat menyerap air karena didalam material sudah dipenuhi dengan air bagian yang kosong atau void sudah dipenuhi oleh air. Hal ini juga dimungkinkan adanya kesalahan preparasi atau proses perendaman sehingga mengakibatkan ketidak akuratan data yang diperoleh.

Penyerapan air meningkat pada fase pertama dari absorpsi dan perlahan melambat hingga lembah saturasi tercapai (Gharbi,2014). Dapat terlihat bahwa *water absorption* meningkat dengan waktu perendaman namun pada nilai tertentu penyerapan berkurang sampai tidak ada air yang terserap (Kargarzadeh,2015).

#### 4.5 Analisis Hasil Pengujian Tarik (*Tensile*)

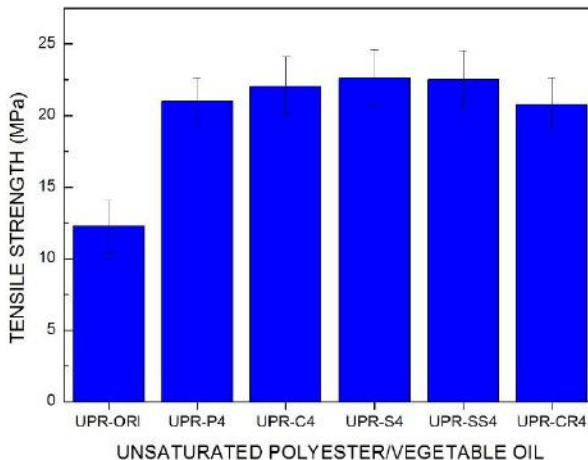
Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh *biobased* material terhadap sifat kekuatan tarik Unsaturated Polyester. Adapun hasil yang didapat ditampilkan dalam Table 4.5 dan Gambar 4.7

**Tabel 4.5** Tensile Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Material	Tensile Strength (MPa)
UPR	12,26±1,82
UPR-P4	20,99±1,67
UPR-C4	22,06±2,04
UPR-S4	22,63±1,99
UPR-SS4	22,51±2,03
UPR-CR4	20,77±1,88

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa Tensile strength tertinggi pada matriks terdapat di spesimen UPR-S4 yaitu campuran unsaturated polyester dan minyak kedelai sebesar 22,63

MPa, sedangkan tensile strength terendah berada pada spesimen UPR -CR4 yaitu campuran unsaturated polyester dan minyak jagung sebesar 20,77 MPa.



**Gambar 4.7** Grafik Tensile Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Berdasarkan pada Gambar 4.7 diatas, dapat diamati bahwa campuran antara polyester dengan minyak nabati yang memiliki nilai tensile strength tertinggi yaitu UPR-S4 dengan nilai 22,63 MPa lalu diikuti dengan UPR-SS4 dengan nilai 22,51 MPa. Kemudian diikuti dengan UPR-C4 dengan nilai 22,06 MPa lalu ada UPR-P4 dengan nilai 20,99 MPa dan yang terendah adalah UPR-CR4 dengan nilai 20,77 MPa. Untuk polyester tanpa campuran minyak nabati menghasilkan tensile strength sebesar 12,26 MPa lebih kecil dari campuran polyester minyak nabati. Minyak nabati secara alami mengandung gugus hidroksil pada struktur kimianya dan dapat dengan mudah berikatan (Luong N.D dkk, 2016). Wood



dkk telah meneliti secara berkala mengenai sintesis bioresin polimer menggunakan minyak tanaman termodifikasi. Sintesis termoset resin dengan metode free radical polymerization atau kopolimerisasi dengan reagen seperti styrene. Sifat mekanik yang dihasilkan mampu menyaingi termoset polyester dan vinil ester. Minyak nabati teroksidasi telah secara luas dimanfaatkan pada pelapisan permukaan, perekat tinta, dan komposisi mayor dari beberapa resin (Kutz Myer, 2017). Seharusnya penambahan minyak nabati menurunkan tensile strength dan menambah elongasi dari matriks resin *Unsaturated Polyester*.

Berdasarkan standar Biro Klasifikasi Indonesia, standar minimum tensile strength yang memenuhi standar minimum sebagai laminating resin kapal adalah 40 MPa sehingga data yang diperoleh belum memenuhi standar minimum.

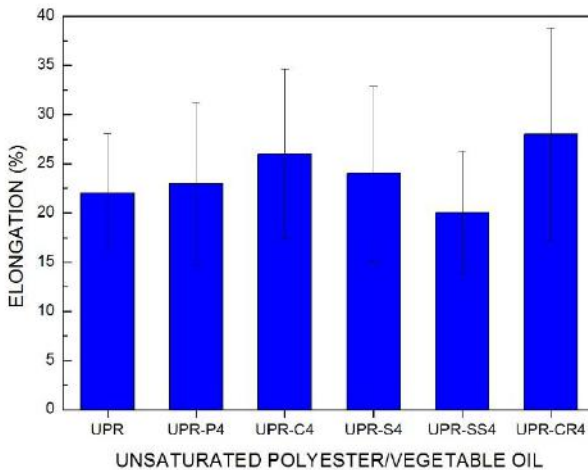
#### 4.6 Analisis Hasil Elongation

Dari hasil pengujian didapatkan hasil regangan atau elongation dari material. Dalam hal ini hasilnya yang di tampilkan dalam Tabel 4.6 dan Gambar 4.8.

**Tabel 4.6** Elongation Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Material	Elongation (%)
UPR	22±6,06
UPR-P4	23±8,28
UPR-C4	26±8,63
UPR-S4	24±8,89
UPR-SS4	20±6,25
UPR-CR4	28±10,81

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa elongation tertinggi pada matriks terdapat di spesimen UPR-CR4 yaitu campuran *polyester* dan minyak jagung sebesar 28%, sedangkan elongation terendah berada pada spesimen UPR-SS4 yaitu campuran polyester dan minyak wijen sebesar 20%.



**Gambar 4.8** Grafik Elongation Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Berdasarkan pada Gambar 4.8 diatas, dapat diamati bahwa campuran antara polyester dengan minyak nabati yang memiliki nilai elongation tertinggi yaitu UPR-CR4 dengan nilai 28% lalu diikuti dengan UPR-C4 dengan nilai 26%. Kemudian diikuti dengan UPR-S4 dengan nilai 24% lalu ada UPR-P4 dengan nilai 23% dan yang terendah adalah UPR-SS4 dengan nilai 20%. Untuk polyester tanpa campuran minyak nabati menghasilkan elongation sebesar 22% lebih besar dari campuran polyester minyak wijen namun lebih kecil dibandingkan keempat campuran yang lain. Pada umumnya elongasi berhubungan dengan stress maksimum, elongasi nilainya bertambah selaras dengan penambahan campuran tetapi mengalami penurunan pada level tertentu (Tabatabai,2017)

Elongation at break menurun karena meningkatnya berat jenis ikatan silang (Bahr M, 2012). Penambahan pra-polimer berbasis minyak kelapa sawit meningkatkan elongation at break

dan kekuatan impak yang disebabkan oleh massa jenis ikatan silang yang rendah dan fleksibilitas rantai yang lebih tinggi (Czub P, 2006). Karak dkk. Mengembangkan nanokomposit PU hyperbranched berbasis minyak jarak dengan GO sebagai penguat dan ditemukan bahwa penambahan 2% wt GO menghasilkan 160% peningkatan ketangguhan, 130% peningkatan kekuatan tarik, dan 16% peningkatan elongation at break.

Berdasarkan data standar Biro Klasifikasi Indonesia, standar minimum elongation yang memnuhi adalah 2% sehingga data yang diperoleh telah memenuhi standar minimum.

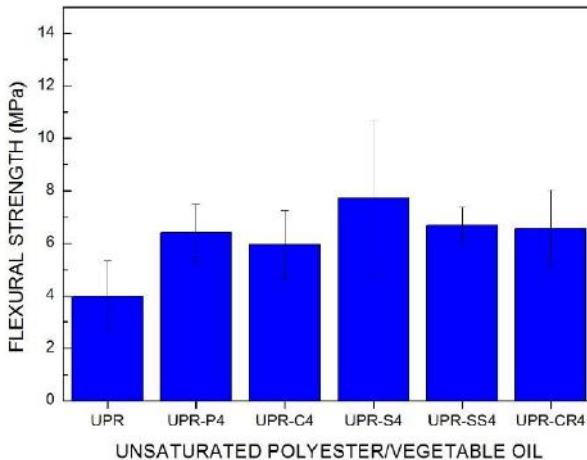
#### 4.7 Analisis Hasil Pengujian Bending (*Flexural*)

Pengujian bending bertujuan untuk menunjukkan kelenturan dari suatu material ketika diberi beban. Uji bending komposit ini dilakukan di Laboratorium Bahan Univeritas Hang Tuah Surabaya. Dari pengujian kekuatan lentur yang telah dilakukan, diperoleh hasil data sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Flexural Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Material	Flexural Strength (MPa)
UPR	3,97±1,36
UPR-P4	6,41±1,08
UPR-C4	5,95±1,30
UPR-S4	7,73±2,94
UPR-SS4	6,68±0,70
UPR-CR4	6,58±1,46

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa flexural strength tertinggi pada matriks terdapat di spesimen UPR-S4 yaitu campuran polyester dan minyak kedelai sebesar 7,48 MPa, sedangkan flexural strength terendah berada pada spesimen UPR-C4 yaitu campuran polyester dan minyak kelapa sebesar 4,62 MPa.



**Gambar 4.9** Grafik Flexural Strength Sampel UPR, UPR-P4, UPR-C4, UPR-S4, UPR-SS4, dan UPR-CR4

Berdasarkan pada Gambar 4.9, dapat diamati bahwa campuran antara polyester dengan minyak nabati yang memiliki nilai flexural strength tertinggi yaitu UPR-S4 dengan nilai 7,73 MPa lalu diikuti dengan UPR-SS4 dengan nilai 6,68 MPa. Kemudian diikuti dengan UPR-CR4 dengan nilai 6,58 MPa lalu ada UPR-P4 dengan nilai 6,41 MPa dan yang terendah adalah UPR-C4 dengan nilai 5,95 MPa. Untuk polyester tanpa campuran minyak nabati menghasilkan flexural strength sebesar 3,97 MPa lebih kecil dari campuran polyester minyak nabati yang sudah didapatkan.

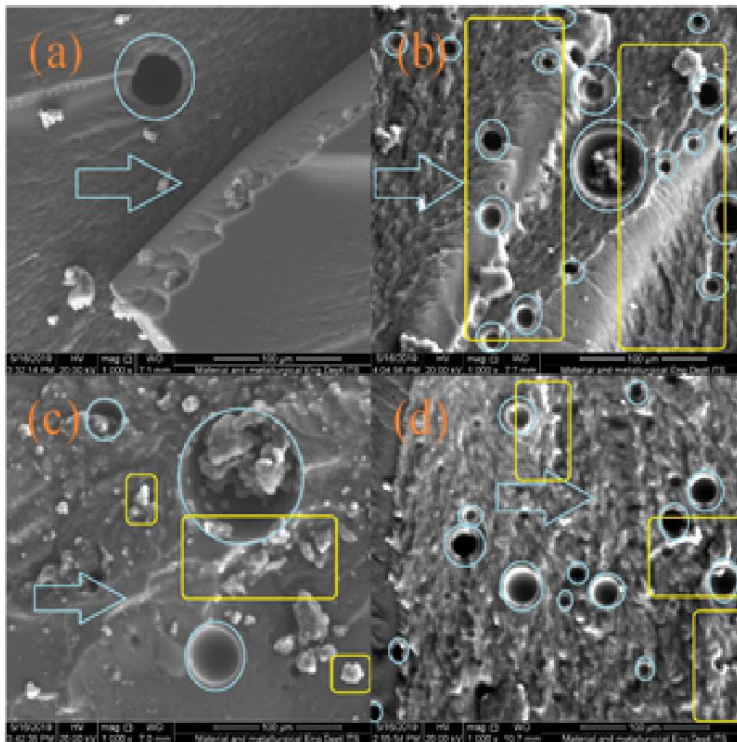
---

Masing-masing, dikomparasikan dengan Unsaturated Polyester murni. Hasilnya, hubungan dari campuran minyak dengan unsaturated polyester. Kekuatan dan kekakuan didapat dari resin dari bio dapat bersaing dengan Unsaturated Polyester murni. Yang mana sesuai dengan material penguat. Alasannya dapat disebabkan oleh penambahan minyak, yang menahan densitas crosslink dari material hasil (Liu,2014). Tensile, flexural, dan impact mengindikasikan bahwa ada interaksi maksimum antara campuran bahan alam minyak dengan Unsaturated Polyester murni dalam komponen, yang mana meningkatkan kekuatan impak hingga 52% tanpa mengurangi modulus dari komposit secara signifikan. Ikatan antar komponen yang kuat dan kuantitas dari campuran berhubungan secara efektif dalam menyerap tekanan dalam impak dengan menahan komposit tetap kokoh (Ghorui,2011).

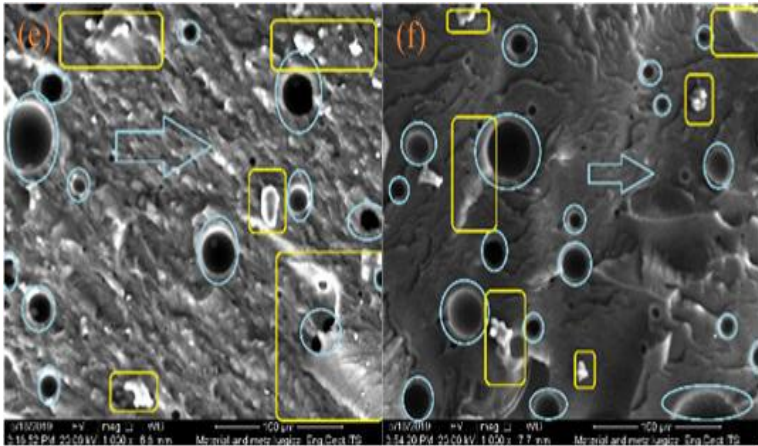
#### **4.8 Analisis Hasil *Scanning Electron Microscopy (SEM)-EDS***

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin FEI INSPECT S50 dengan tegangan 10.000 kV dengan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakteristik Material Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan (Michler, 2008).



**Gambar 4.10** Mikrograf SEM *Bioresin* Unsaturated Polyester Perbesaran 1000x (a) Unsaturated Polyester (b) Unsaturated Polyester/Minyak Sawit (c) Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa (d) Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai



**Gambar 4.11** Mikrograf SEM *Bioresin Unsaturated Polyester* Perbesaran 1000x (e) *Unsaturated Polyester/Minyak Wijen* (f) *Unsaturated Polyester/Minyak Jagung*

Pada Gambar 4.10 (a) menunjukkan gambar struktur uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester* yang menampilkan permukaan yang halus seperti yang ditunjukkan anak panah permukaan patahan lebih halus, dan ada sebuah lingkaran hitam yang dimungkinkan adalah void. Pada Gambar 4.10 (b) menunjukkan gambar struktur uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester/minyak sawit* yang menampilkan permukaan agak kasar memanjang yang ditunjukkan oleh anak panah, dan ada sebuah lingkaran besar beserta beberapa lingkaran kecil yang menunjukkan adanya void serta daerah yang lebih terang ditunjukkan oleh daerah kuning menunjukkan minyak yang tidak tercampur.

Pada Gambar 4.10 (c) menunjukkan gambar uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester/minyak kelapa* yang menampilkan permukaan yang agak kasar seperti yang ditunjukkan anak panah, dan ada sebuah lingkaran besar namun tidak banyak lingkaran kecil yang

---

dimungkinkan adalah void serta daerah yang ditunjukkan warna kuning daerahnya lebih terang karena minyak yang tidak tercampur. Pada Gambar 4.10 (d) menunjukkan gambar uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester*/minyak kedelai yang menampilkan permukaan yang kasar seperti yang ditunjukkan anak panah, dan banyak lingkaran yang berwarna hitam agak putih serta daerah yang lebih terang seperti yang ditunjukkan oleh daerah kuning adalah minyak yang tidak bercampur dengan sempurna.

Pada Gambar 4.11 (e) menunjukkan gambar uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester*/minyak wijen yang menampilkan permukaan yang kasar seperti yang ditunjukkan oleh anak panah, dan ada beberapa lingkaran hitam agak putih yang dimungkinkan adalah void serta daerah terang yang ditunjukkan warna kuning adalah minyak yang tidak bercampur. Pada Gambar 4.11 (f) menunjukkan gambar uji SEM cross-section hasil dari spesimen uji tarik dari *unsaturated polyester*/minyak jagung yang menampilkan permukaan yang halus namun agak berserat yang ditunjukkan oleh anak panah, dan ada beberapa lingkaran hitam yang ukurannya tidak seragam adalah void serta permukaan yang lebih terang pada daerah kuning menunjukkan minyak yang tidak bercampur.

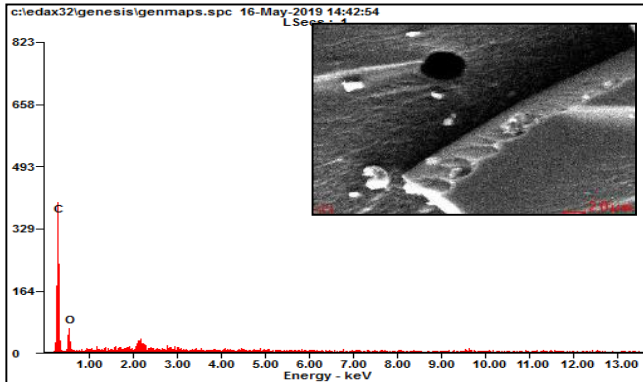
Matriks patah menunjukkan ‘pola sungai’ mengindikasikan arah dari *crack propagation*. Material yang mempunyai morfologi halus mengindikasikan *crack propagation* yang mudah (Ghorui,2011). Permukaan matriks halus yang terlihat menunjukkan kegagalan *brittle* pada spesimen (Hashemi,2018). Gambar menunjukkan efek komposisi kimia dari *Unsaturated Polyester* morfologi sampel pada *Unsaturated Polyester* resin murni. Pada sampel yang murni tidak menunjukkan mikrostruktur bentuk flake, tidak muncul (Ang,1998).

Selanjutnya dilakukan pengujian EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang berada pada sampel *Unsaturated Polyester* dengan minyak nabati. Pada pengujian ini dilakukan untuk membuktikan unsur apa saja yang

---



berada pada sampel yang dapat menunjang hasil FTIR yang sudah dilakukan sebelumnya.

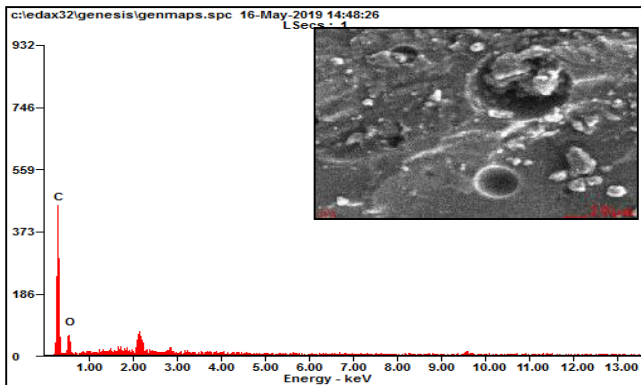


**Gambar 4.12** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester

**Tabel 4.8** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	62,59	69,03
<i>OK</i>	37,41	30,97

Dari data Gambar 4.12 dan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 69,03 % dan 30,97 %.

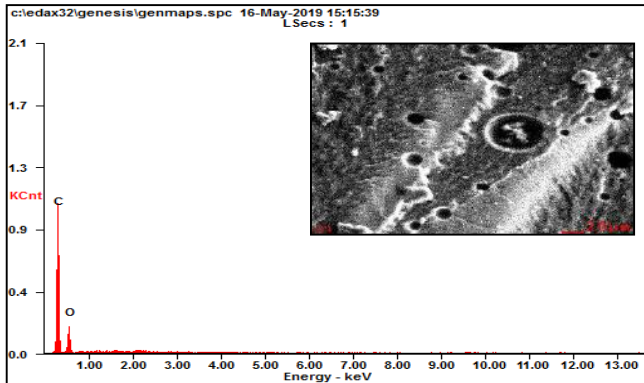


**Gambar 4.13** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Sawit

**Tabel 4.9** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Sawit

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61,25	67,80
<i>OK</i>	38,75	32,20

Dari data Gambar 4.13 dan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester dengan campuran minyak sawit memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 67,80 % dan 32,20 %. Hal ini dapat diketahui bahwa penambahan minyak sawit menaikkan persentase atom oksigen dari 30,97 % menjadi 32,20 % dan menurunkan persentase atom karbon dari 69,03 % menjadi 67,80 % dibandingkan dengan unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati.

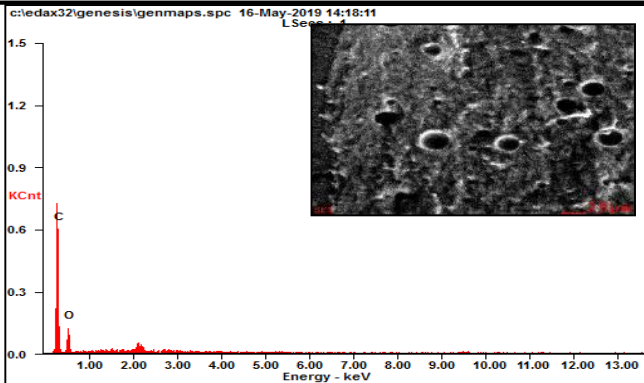


**Gambar 4.14** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa

**Tabel 4.10** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	62,84	69,25
<i>OK</i>	37,16	30,75

Dari data dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester dengan campuran minyak kelapa memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 69,25 % dan 30,75 %. Hal ini dapat diketahui bahwa penambahan minyak kelapa menurunkan persentase atom oksigen dari 30,97 % menjadi 30,75 % dan menaikkan persentase atom karbon dari 69,03 % menjadi 69,25 % dibandingkan dengan unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati berdasarkan Gambar 4.14 dan Tabel 4.10.

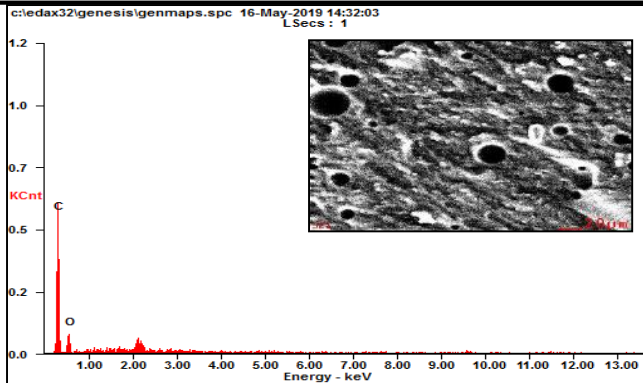


**Gambar 4.15** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai

**Tabel 4.11** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61,68	68,19
<i>OK</i>	38,32	31,81

Dari data Tabel 4.11 dan Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester dengan campuran minyak kedelai memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 68,19 % dan 31,81 %. Hal ini dapat diketahui bahwa penambahan minyak sawit menaikkan persentase atom oksigen dari 30,97 % menjadi 31,81 % dan menurunkan persentase atom karbon dari 69,03 % menjadi 68,19 % dibandingkan dengan unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati.

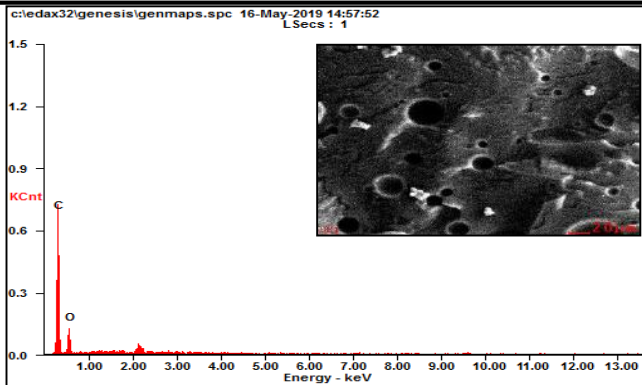


**Gambar 4.16** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Wijen

**Tabel 4.12** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Wijen

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	65,18	71,37
<i>OK</i>	34,82	28,63

Dari data dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester dengan campuran minyak wijen memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 71,37 % dan 28,63 %. Hal ini dapat diketahui bahwa penambahan minyak sawit menurunkan persentase atom oksigen dari 30,97 % menjadi 28,63 % dan menaikkan persentase atom karbon dari 69,03 % menjadi 71,37 % dibandingkan dengan unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati berdasarkan Gambar 4.16 dan Tabel 4.12.



**Gambar 4.17** Hasil kurva EDS untuk Unsaturated Polyester/Minyak Jagung

**Tabel 4.13** Komposisi Unsur Penyusun Unsaturated Polyester/Minyak Jagung

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61,80	68,31
<i>OK</i>	38,20	31,69

Dari data pada Gambar 4.17 dan Tabel 4.13 dapat diketahui bahwa unsur yang terdapat dalam unsaturated polyester dengan campuran minyak sawit memiliki unsur dominan yaitu karbon dan oksigen. Dengan persentase atom masing-masing 68,31 % dan 31,69 %. Hal ini dapat diketahui bahwa penambahan minyak sawit menaikkan persentase atom oksigen dari 30,97 % menjadi 31,69 % dan menurunkan persentase atom karbon dari 69,03 % menjadi 68,31 % dibandingkan dengan unsaturated polyester tanpa campuran minyak nabati.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian polymer blend antara Unsaturated Polyester dengan minyak nabati (minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung) terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi bioresin menunjukkan:

1. Sifat mekanik yang didapat antara lain Tensile Strength, Elongation, dan Flexural Strength yang memiliki perbedaan antara Unsaturated Polyester tanpa campuran minyak nabati dengan Unsaturated Polyester dengan campuran minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung. Pada Tensile Strength semua penambahan minyak nabati mengalami kenaikan nilai dengan nilai tertinggi 22,63 MPa untuk penambahan minyak kedelai, pada Elongation mengalami kenaikan nilai pada setiap penambahan minyak nabati kecuali minyak wijen dengan nilai tertinggi 28% untuk penambahan minyak jagung, dan Flexural strength tertinggi yaitu penambahan minyak kedelai dengan 7,73 MPa. Untuk campuran yang paling baik didapatkan oleh unsaturated polyester dengan minyak kedelai.
2. Secara morfologi, terdapat perbedaan antara Unsaturated Polyester tanpa campuran minyak nabati dengan Unsaturated Polyester dengan campuran minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, minyak wijen, dan minyak jagung pada pengujian SEM dengan EDX dapat disimpulkan unsur yang dominan adalah karbon dan oksigen dengan perbedaan persentase setiap jenis pencampuran minyak nabati.

---

Dari data yang dihasilkan pada pengujian TGA, material yang memiliki ketahanan temperature yang paling tinggi adalah campuran Unsaturated Polyester dengan minyak kedelai. Untuk Pengujian Water Absorption yang mengalami penyerapan air yang paling banyak adalah campuran Unsaturated Polyester dengan minyak sawit. Dalam Pengujian densitas, campuran bioresin yang memiliki densitas terendah adalah campuran Unsaturated Polyester dengan minyak kelapa.

Sesuai dengan studi literatur yang ada dan disesuaikan dengan hasil eksperimen dimana campuran unsaturated polyester dengan minyak nabati belum dapat diaplikasikan untuk *laminating resin* lambung kapal standar Biro Klasifikasi Indonesia karena belum memiliki nilai-nilai yang memenuhi Tensile Strength minimum 40 MPa namun untuk Elongation 2 % telah memenuhi standar minimum.

## 5.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan sistem vakum untuk mengurangi terbentuknya *bubble* pada matriks
2. Menambah Uji Biodegradasi
3. Melakukan pengujian dengan mesin yang terkalibrasi.
4. Melakukan preparasi material yang cermat dan terstruktur



## DAFTAR PUSTAKA

- Alian, H. 2011. *Pengaruh Ph Variasi Fraksi Volume Semen Putih Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Glass Fiber Reinforce Plastic (GFRP) Berpenguat Serat E-Glass Chop Strand MAT Dan Matriks Resin Polyester*. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke 3. ISBN: 979-587-395-5. Palembang.
- Ang, C. Y. H., K. liu and Y. W. Huang. 1999. *Asian Food : Science and Technology*. Technomic Publishing, Co. Lancaster, Pennsylvania.
- ASTM C642. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D412. *Standard Test Methods for Rubber Property—Adhesion to Rigid Substrates*. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D412. *Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension*. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D790. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM E2809, *Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X Ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations*, Annual book of ASTM Standards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM E986. *Standard Practice for SEM Beam Size Characterization*, Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Astuti, S.P., dan M. Firdaus Fajriansyah. 2014. *Penuntun Praktikum Instrumen dan Pengukuran*. Palembang:

- 
- Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Baharuddin, A. S., Lim, S. H., Md. Yusof, M. Z., Rahman, N. A., Umikalsom, M. S., Hassan, M. A., Wakisaka, M., Sakai, K., dan Shirai, Y. 2010. *Effects of palm oil mill effluent (POME) anaerobic sludge from 5003 of closed anaerobic methane digested tank on pressed-shredded empty fruit bunch (EFB) composting process*, Afr. Journal Biotechnol. 9(16), 2427-2436
- Bailey, A.E. 1950. *Industrial Oil and Fat Product*. Interscholastic publishing, Inc, New York.
- Beyler, C. L., & Hirschler, M. M. 2002. *Thermal Decomposition of Polymers*. In M. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineereng 2* (pp. 110-130). New York: Springer.
- Badan Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules for the Classification and Construction*. Part.1 : Seagoing Ships, Indonesia.
- Bramantyo, Amar. 2008. *Pengaruh Konsentrasi Serat*. FT UI
- Brydson J.A.1999. *Plastic Material Seventh edition*, (woburn : Butterworth-Heinemann)
- Catia S.M.F.Costa, Ana C.Fonseca, JorgeMoniz, MariaGodinho, Armenio C.Serra, Jorge F.J.Coelho. 2016. *Soybean and Coconut Oil Based Unsaturated Polyester Resins, Thermomechanical Characterization, Industrial Crops and Products*. Volume 85, Pages 403-411.
- Chand, N , dan A Naik. 2006. *Abrasive wear studies on maleic anhydride modified polypropylene and polyethylene terephthalate blends* . Regional Research Laboratory (Council of Scientific and Industrial Research), Bhopal, India.
- Chan CH, Wakisaka M, Nishida H.,2018. *Specific oligomer recovery behavior from cured unsaturated polyester by superheated steam degradation, Polymer Degradation and Stability*
- Cowd MA. 1991. *Kimia Polimer*. Bandung: ITB.
- Erwinsyah. 2008. *Improvement of Oil Palm Wood Properties Using Bioresin* . [Dissertation]Technische Universitat Dresden, Germany.
-

- 
- Gharbi, Asma, Bel Hassen, Ramzi, Boufi, Sami. 2014. *Composite materials from unsaturated polyester resin and olive nuts residue: The effect of silane treatment*. Elsevier, Industrial Crops and Products 62: 491-498.
- Ghorui, S., Bandyopadhyay, N. R., Ray, D., Sengupta, S., & Kar, T. 2011. *Use of maleated castor oil as biomodifier in unsaturated polyester resin ash composites*. Industrial Crops and Products, 34 (1), 893-899.
- GÖLPINAR, S. 2005. *Comparative Analysis of Materials in Recreational Boat Design: Fiber Reinforced Plastic Boat in Serial Production*. Izmir: Izmir Institute of Technology.
- Goh, Min Kok, Maulidiani, M., Rudiyanto, R. 2019. *Rapid assessment of total MCPD esters in palm-based cooking oil using ATRFTIR application and chemometric analysis*.
- Hambali, Erliza. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta
- Hambali, E., S. Mujdalipah, G. Sulistiyanto, dan T. Lesmana. 2006. *Diversifikasi Produk Olahan Jarak Pagar dan Kaitannya dengan Corporate Social Responsibility (CSR) Perusahaan Swasta di Indonesia*. SBRC& Eka Cipta Fondation. IPB Bogor.
- Hartono Yudo, S. J. 2008. *Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Impak*. KAPAL, Vol:5, No.2, Juni 2008, 96-101.
- Hashemi, M.J., Jamshidi, M., Aghdam, J. Hassanpour. 2017. *Investigating fracture mechanics and flexural properties of unsaturated polyester polymer concrete (UP-PC)*. Elsevier, Construction and Building Materials 163 (2018) 767-775
- Hui, Y. H. 1996. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 5 th Edition Vol 5. John Willey & Sons, Inc, New York. 7.
- ISO 527. 1997. *Plastic-Determination of Tensile Properties*, First Edition, Part 4, International Organization for Standardization (ISO), Switzerland.
-

- 
- ISO 845. 2016. ***Cellular Plastics and Rubbers – Determination of Apparent Density***. Third Edition. International Organization for Standardization (ISO), Switzerland.
- Jones R M. 1999. ***Mechanics of Composite Materials. Second Edition***, (U.S.A: Taylor & Francis)
- Ketaren,S. 2008. ***Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan***. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press): Jakarta
- Knuutien. 2006. ***Two Studies of Unsaturated Polyester Art Object*** . Vaanta Composite,24
- Kutz, M. 1998. ***Mechanical Engineer's Handbook,2nd ed.*** In C. Zweben, Composite Materials and Mechanical Design. New York: Wiley.
- Liu Chengguo, Li Jun, Lei Wen, dan Zhou Yonghong. 2014. ***Development of Biobased Unsaturated Polyester Resin Containing Highly Functionalized Castor Oil***. Elsevier, Industrial Crops and Products 52 (2014) 329 – 337.
- Luong,N.D, Le Hoanh Sins, Malin Minna, Weisser Jurgen, Walter Torsten, Schnabelrauch Matthias, Seppala Jukka. 2016. ***Synthesis and Characterization of Castor Oil Segmented Thermoplastic Polyurethane with Controlled Mechanical Properties***, European Polymer Journal, S0014-3057(16)30491-8.
- Material Safety Data Sheet. 2008. ***Unsaturated Polyester Resin***. Science Lab. Com. Chemical and Laboratory Equipment.
- Nurcahyadi, M. 2010.***Tekno Ekonomi Pembuatan Perahu Fiberglass di Desa Cikahuripan, Kecamatan Cisolak, Sukabumi. Bogor***. Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB
- Noureddini, H. 1996. ***Pelargonic Acid in Enhanced Oil Recovery***. Nebraska: Journal of American Oil Chemistry Society. Vol 73. No. 7.
- Mella, Y.Rodriguez, Moran, Thais Lopez, Quintela, M.A.Lopez, Lazzari Massimo. 2014. ***Durability of an Industrial Epoxy Vinyl Ester Resin Used for the Fabrication of a***
-

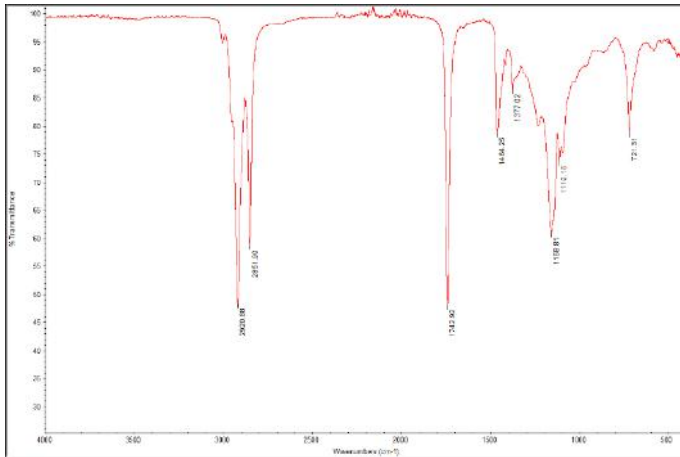
- 
- Contemporary Art Sculpture*, Polymer Degradation and Stability, 1-8.
- M. Bahr, R. Mulhaupt. 2012. *Linseed and soybean oil-based polyurethanes prepared via the non-isocyanate route and catalytic carbon dioxide*. conversion Green Chem, pp. 483-489
- Odian George. 2004. *Principles of Polymerization, Forth Edition*. New Jersey : John Willey & Sons
- Parker, E.E.1959,*Mod. Plastics*
- P. Czub. 2006. *Application of modified natural oils as reactive diluents for epoxy resins*, Macromol Symp, pp. 60-64
- P. Czub, I. Franek. 2006. *Epoxy resins modified with palm oil derivatives*. preparation and properties Polimery, pp. 135-139
- Rasha. 2017. *Synthesis and Characterization of Unsaturated Polyester and Studying Their Thermo Properties*. Chemistry Material Research , 3-5
- Ray, Dipa. 2017. *Biocomposites for High-Performance Applications*.United Kingdom: Elsevier
- Rondang, T. 2006. *Teknologi Oleokimia*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Medan. 168 hlm.
- Saikia, Aditi, Karak, Niranjana.2019. *Tough and biodegradable thermosets derived by blending of renewable resource based hyperbranched epoxy and hyperbranched polyester*
- Sigit, A., & Benadri, M. B. 2008. *Produksi Biodiesel Etil Ester*. Skripsi. Bandung: Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Silverajah V.S.G, Nor Azowa Ibrahim, Norhazlin Zainuddin, Wan Md Zin Wan Yunus, and Hazimah Abu Hassan. 2012. *Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Poly(lactic acid)/Epoxidized Palm Olein Blend*. Journal Molecules, 17, 11729-11747.
- Sitepu, Iwan P. 2009. *Pengaruh Konsentrasi Maleat Anhidrat Terhadap Derajat Grafting Maleat Anhidrat Pada High*
-

- 
- Density Polyethylen (HDPE) Dengan Inisiator Benzoil Peroksida.*** Skripsi FMIPA. USU. Medan.
- Sri Handajani et al. 2010. ***Jurnal Pengaruh Suhu Ekstraksi Terhadap Karakteristik Fisik, Kimia Dan Sensoris Minyak Wijen (Sesamum Indicum L.).*** Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Steven MP. 2001. ***Kimia Polimer.*** Sopyan I, penerjemah; Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari Polymer Chemistry: An Introduction.
- Suhardiman, P. 1999. ***Bertanam Kelapa Hibrida.*** Penebar Swadaya. Jakarta.
- Syarief, R dan A. Irawati, 1988. ***Pengetahuan Bahan untuk Industri Pertanian.*** Mediatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Zaske, Oscar C. Goodman, Sidney H. 1999. ***Handbook Of Thermosetting Plastic,*** Chapter 4, Unsaturated Polyester and Vinyl Ester Resins

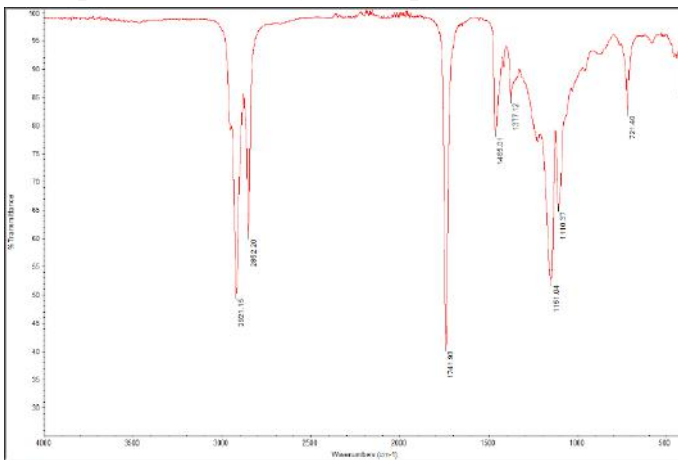
# LAMPIRAN

## Lampiran A Pengujian FTIR

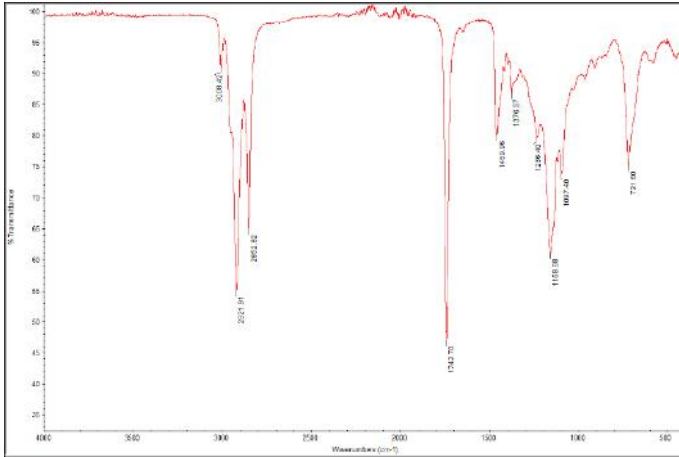
### 1. Spektra FTIR Minyak Sawit



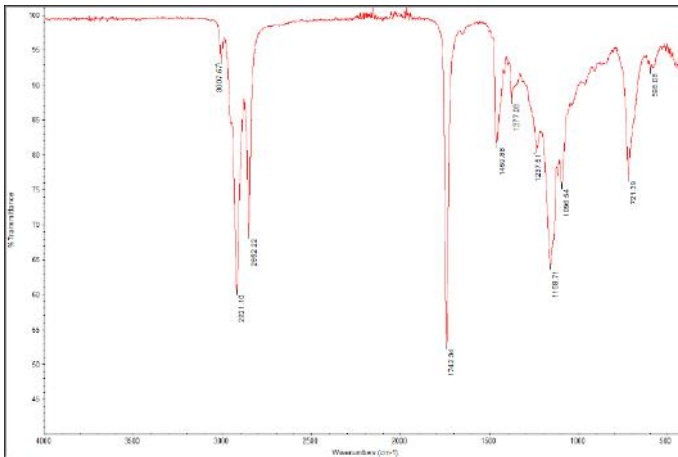
### 2. Spektra FTIR Minyak Kelapa



### 3. Spektra FTIR Minyak Kedelai

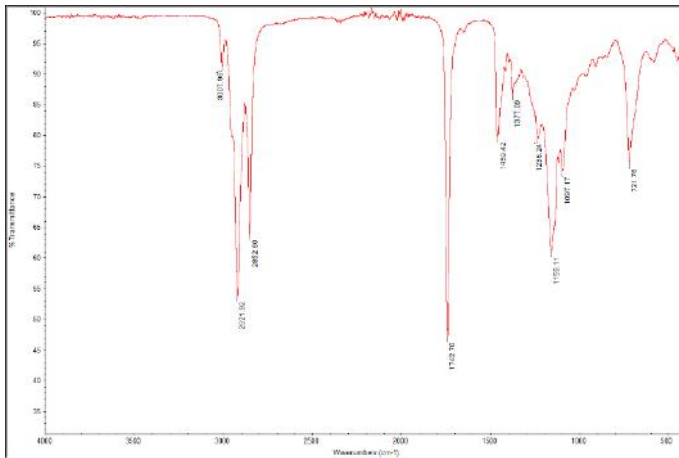


### 4. Spektra FTIR Minyak Wijen

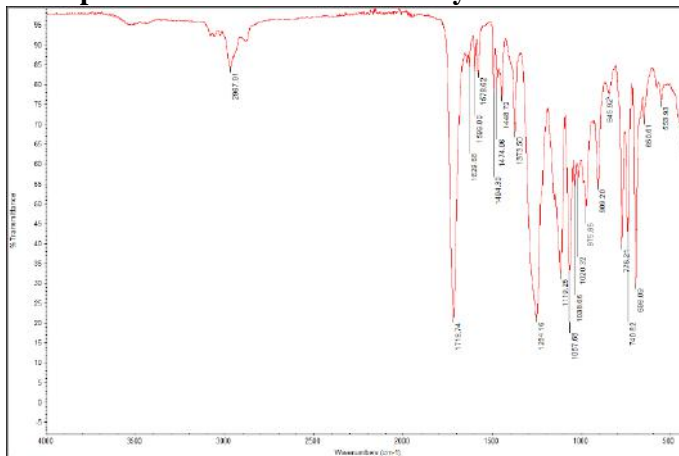




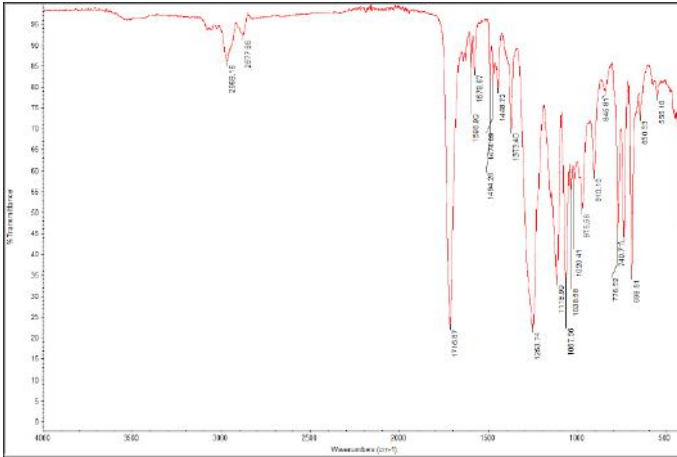
## 5. Spektra FTIR Minyak Jagung



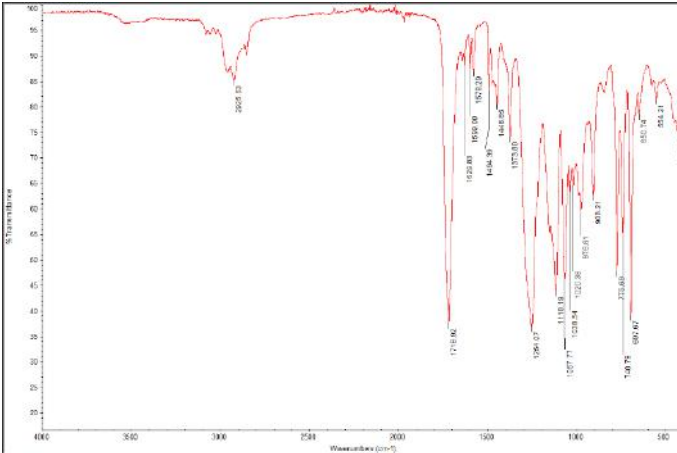
## 6. Spektra FTIR Unsaturated Polyester



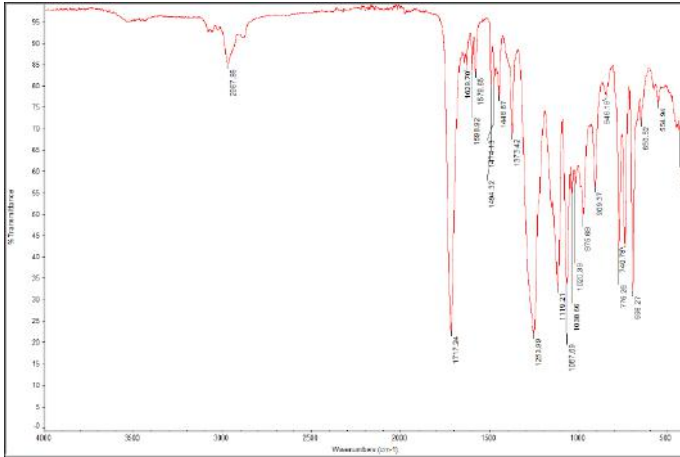
## 7. Spektra FTIR Unsaturated Polyester/Minyak Sawit



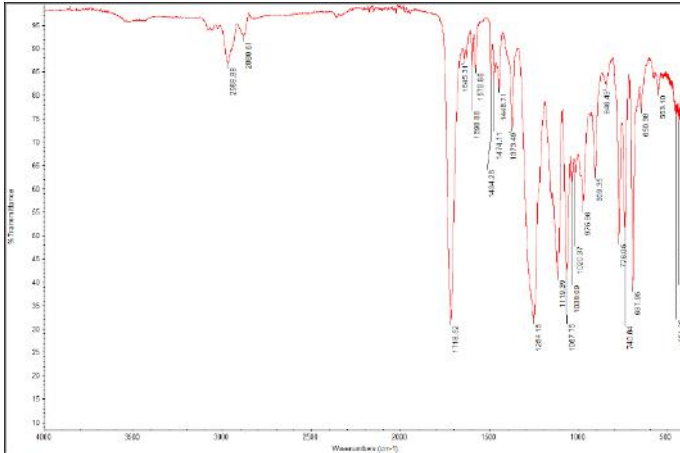
## 8. Spektra FTIR Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa



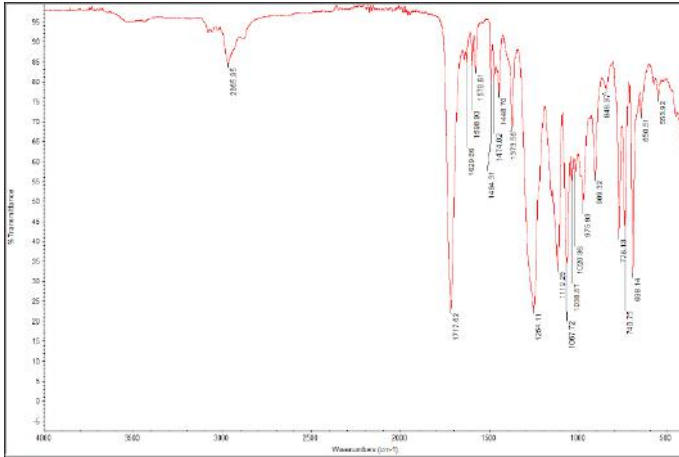
### 9. Spektra FTIR Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai



### 10. Spektra FTIR Unsaturated Polyester/Minyak Wijen

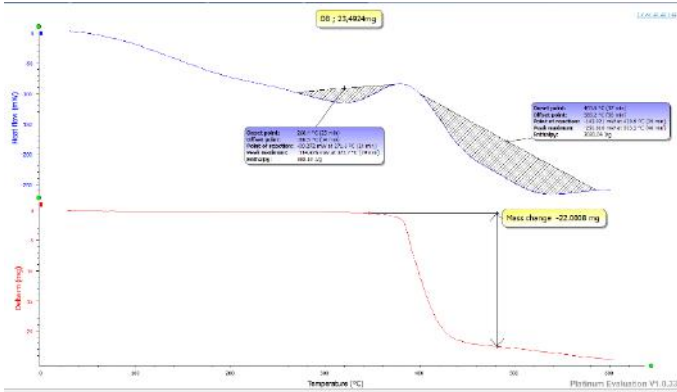


## 11. Spektra FTIR Unsaturated Polyester/Minyak Jagung

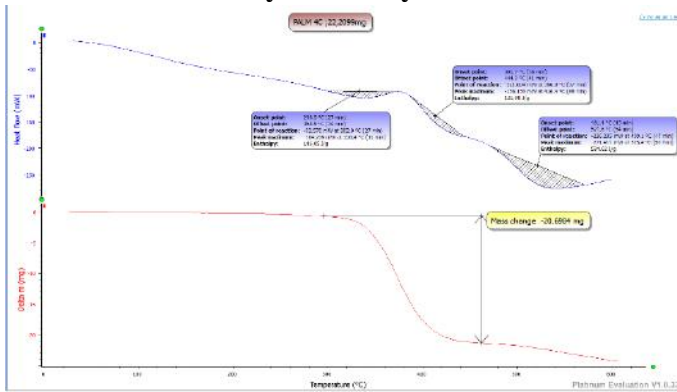


## Lampiran B Pengujian TGA

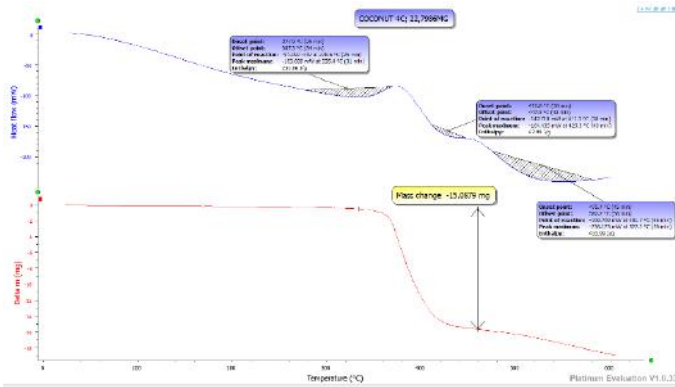
### 1. Unsaturated Polyester



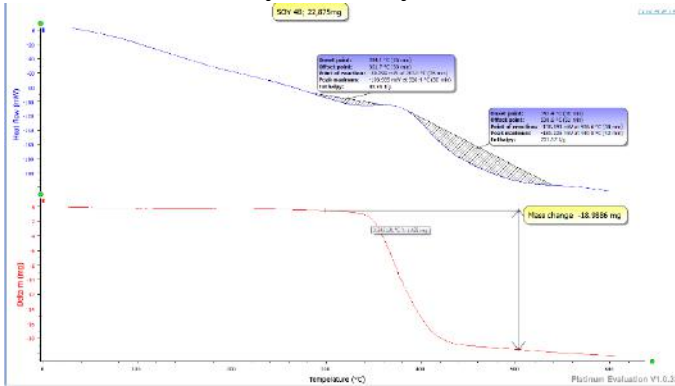
### 2. Unsaturated Polyester/Minyak Sawit



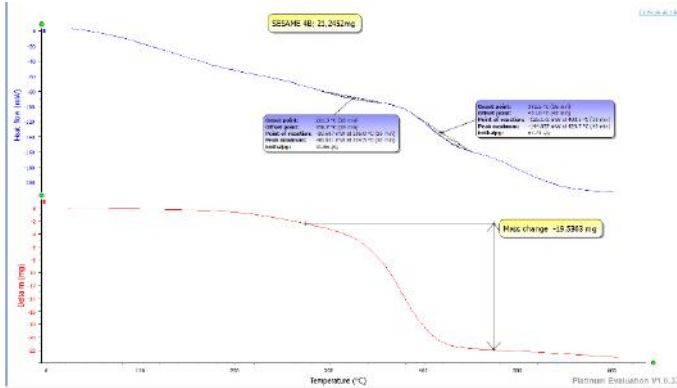
### 3. Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa



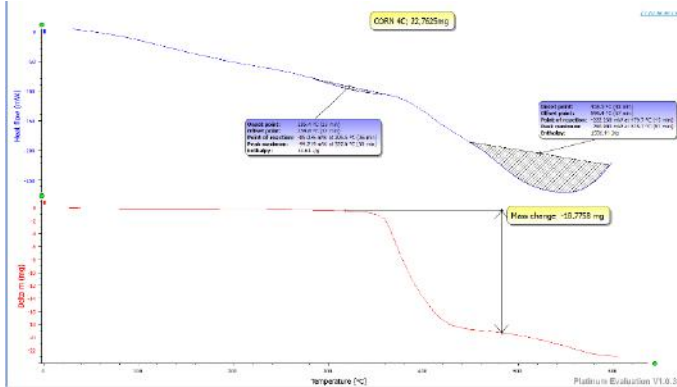
### 4. Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai



## 5. Unsaturated Polyester/Minyak Wijen



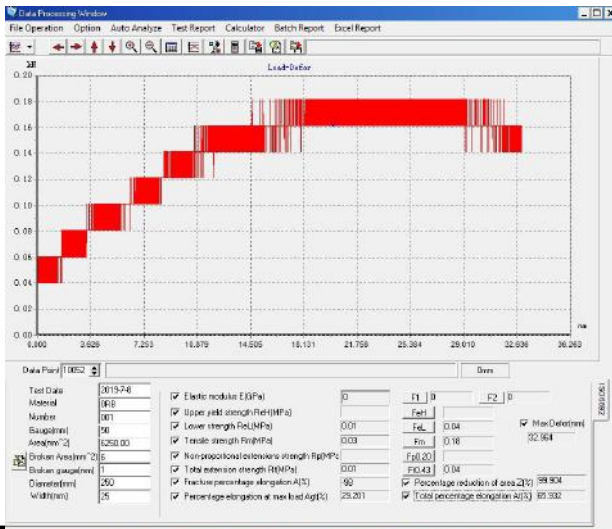
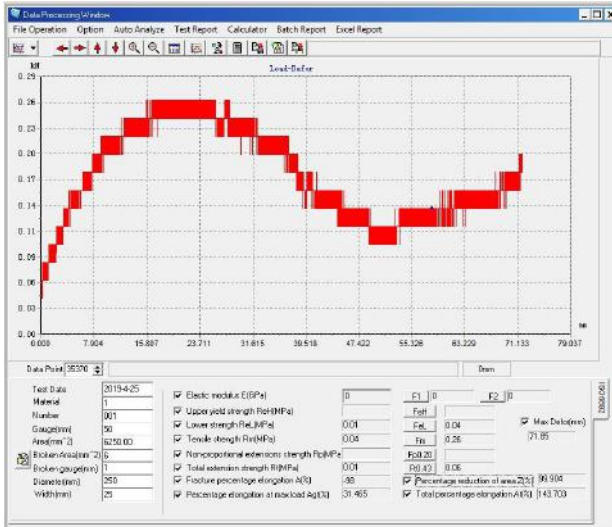
## 6. Unsaturated Polyester/Minyak Jagung



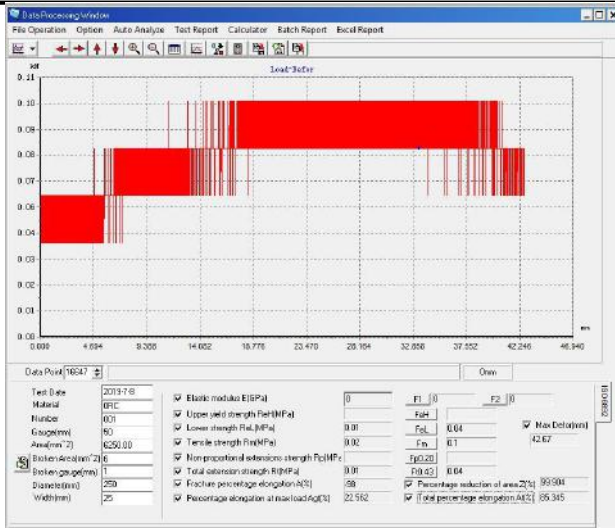
# Lampiran C

## Pengujian Bending

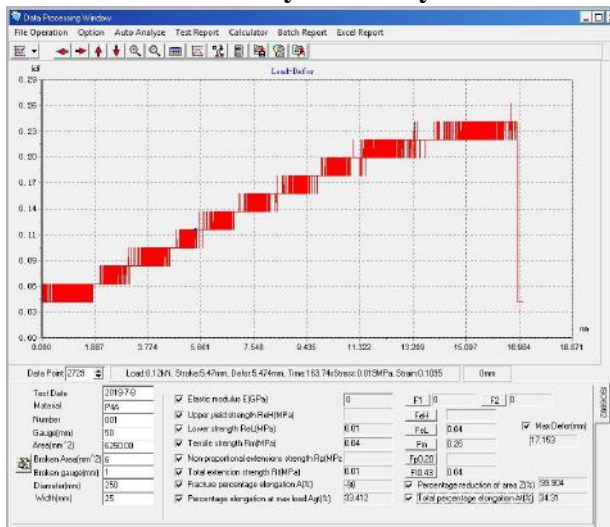
### 1. Unsaturated Polyester

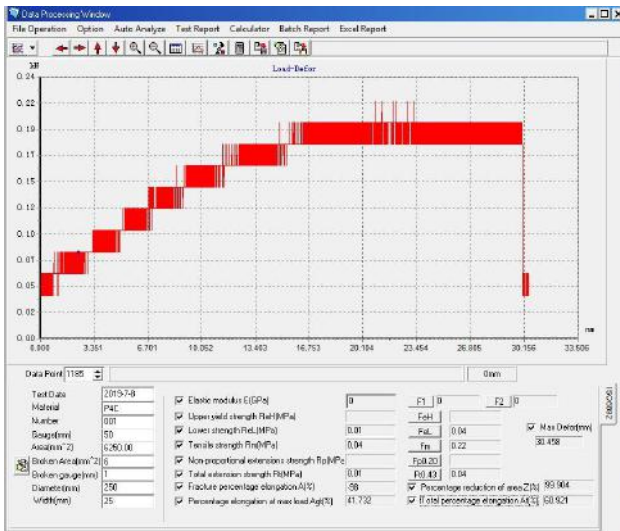
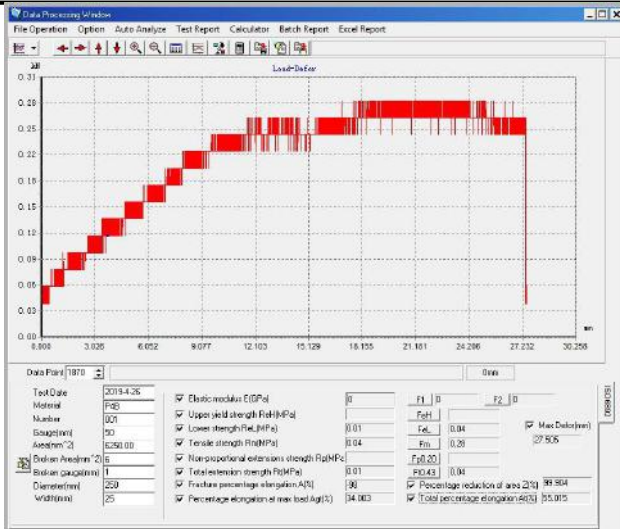




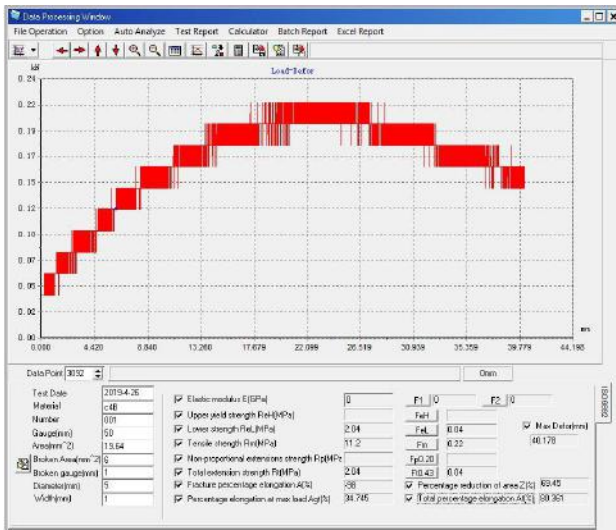
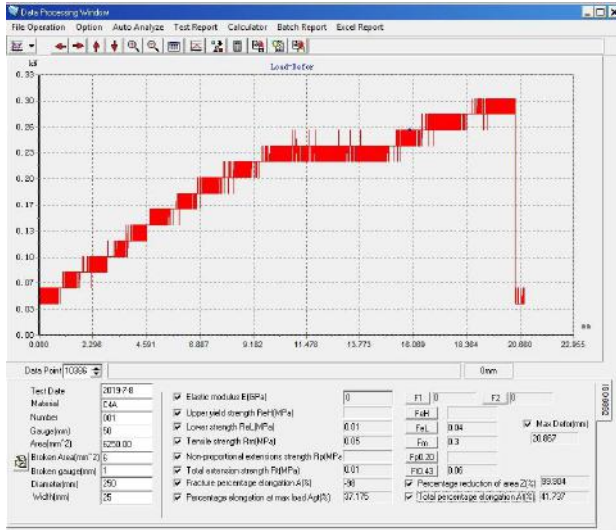


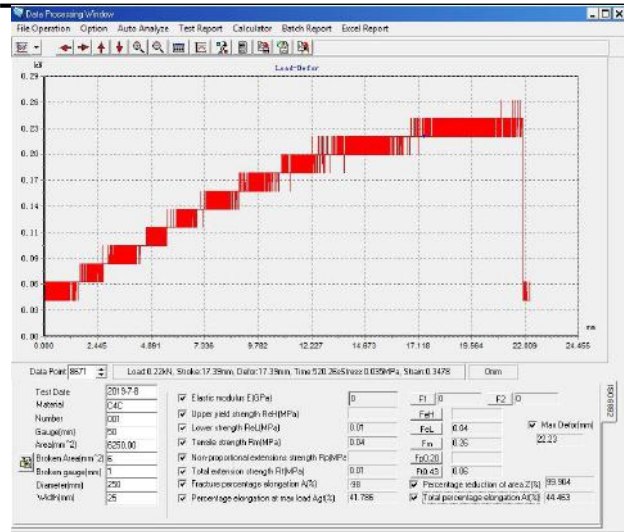
## 2. Unsaturated Polyester/Minyak Sawit



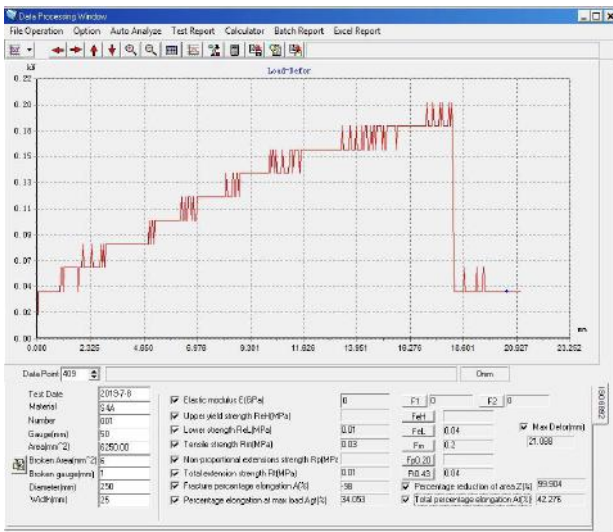


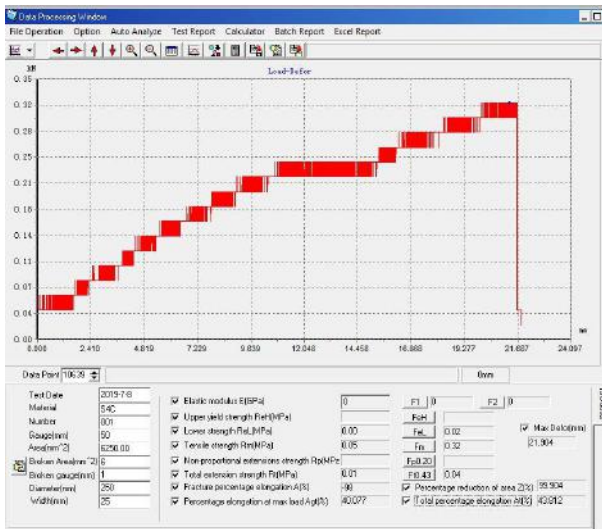
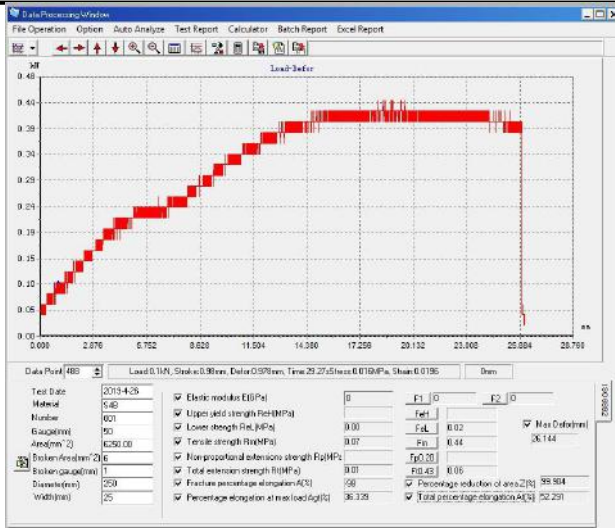
### 3. Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa



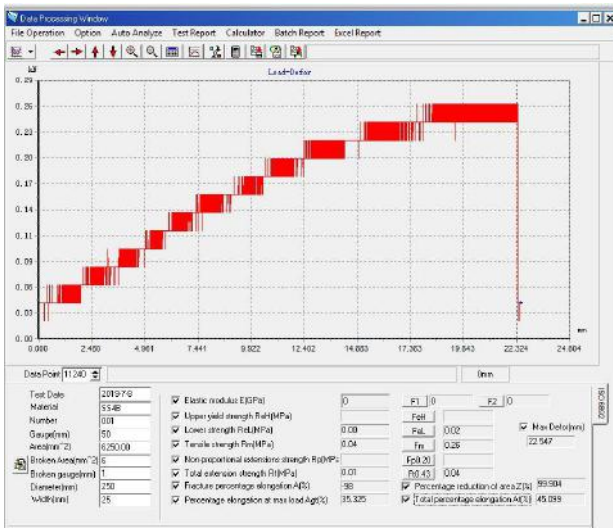
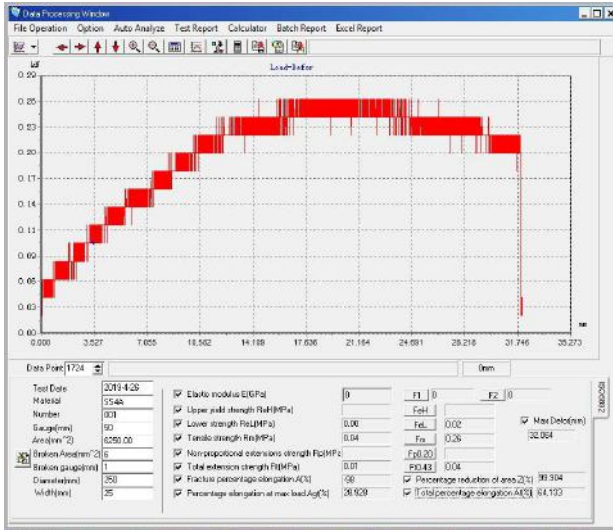


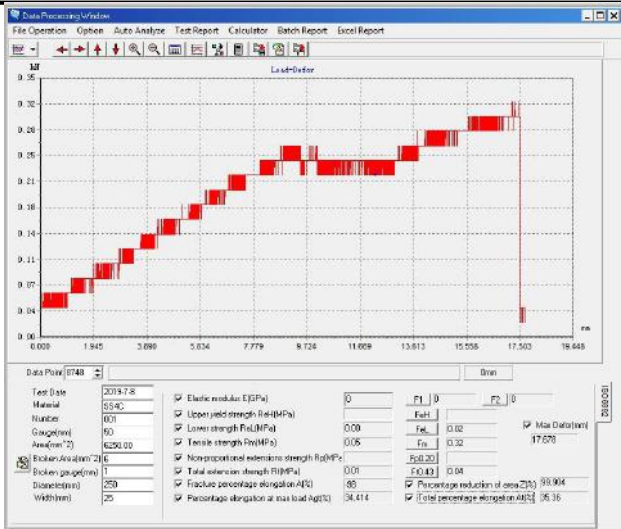
#### 4. Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai





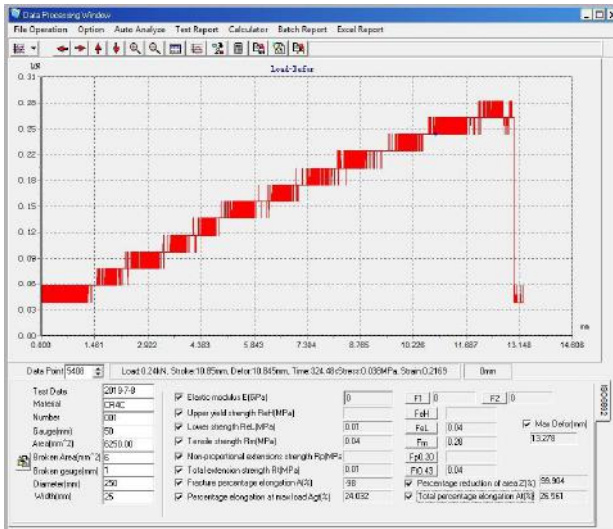
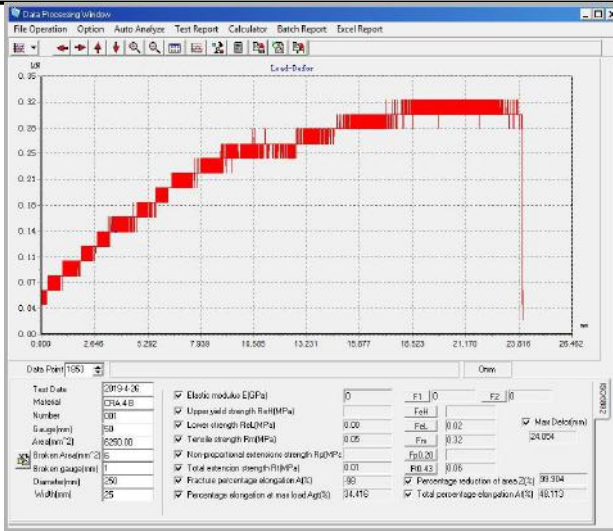
### 5. Unsaturated Polyester/Minyak Wijen





## 6. Unsaturated Polyester/Minyak Jagung



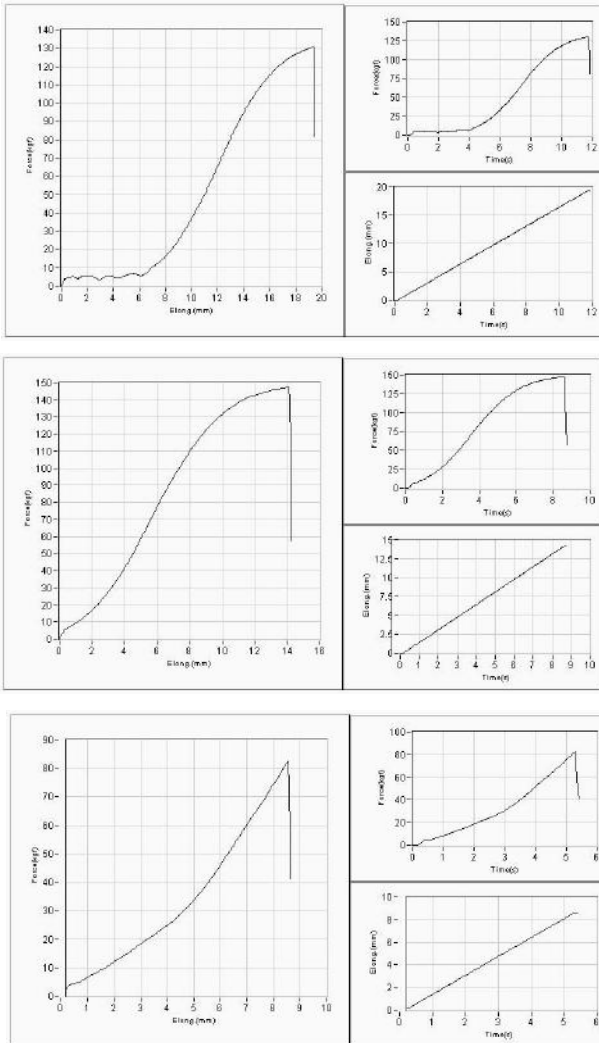




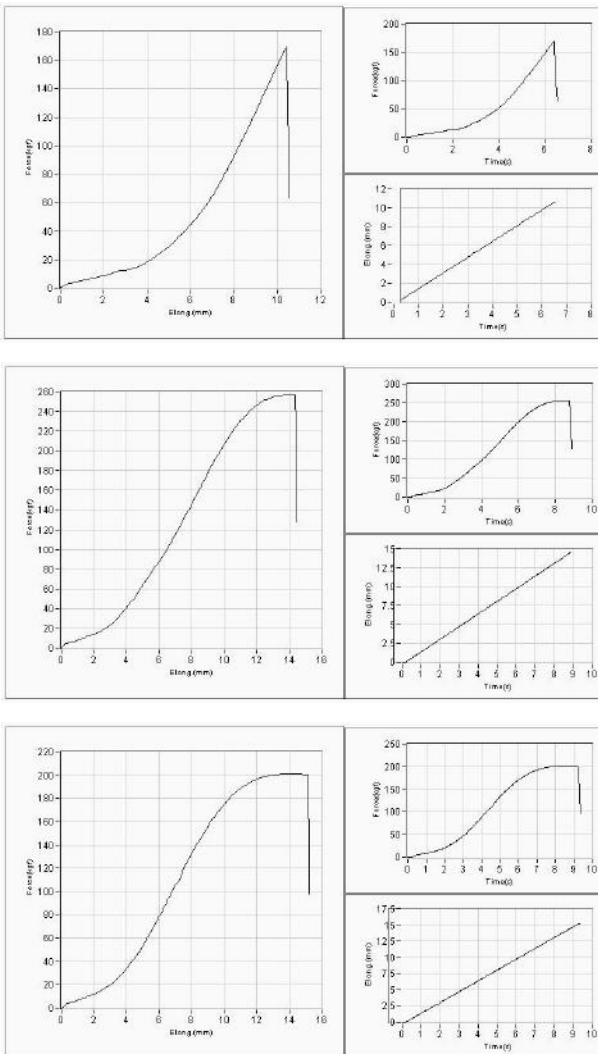
## Lampiran D

### Pengujian Tarik

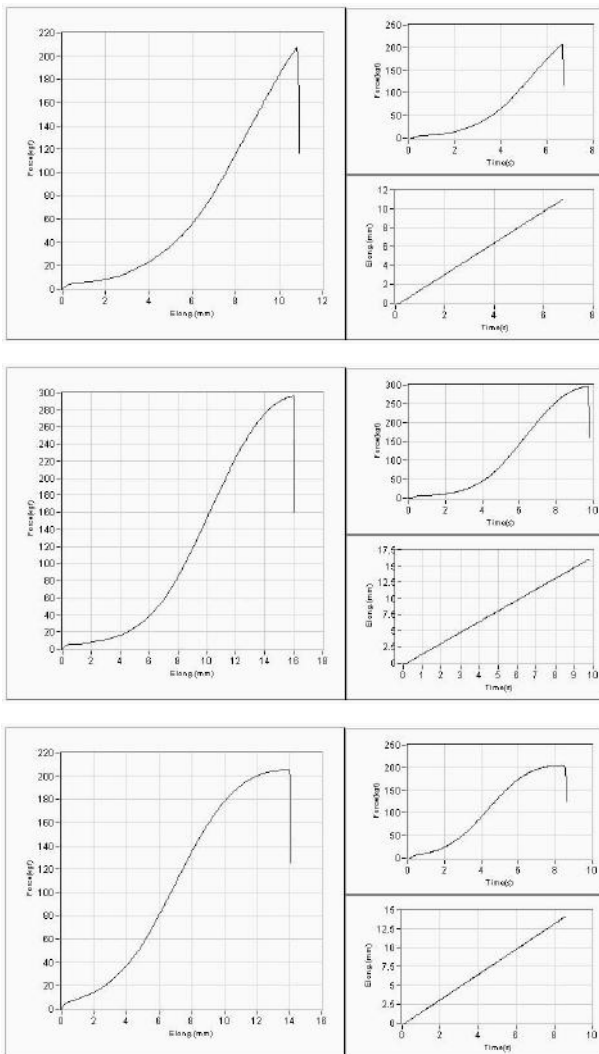
#### 1. Unsaturated Polyester



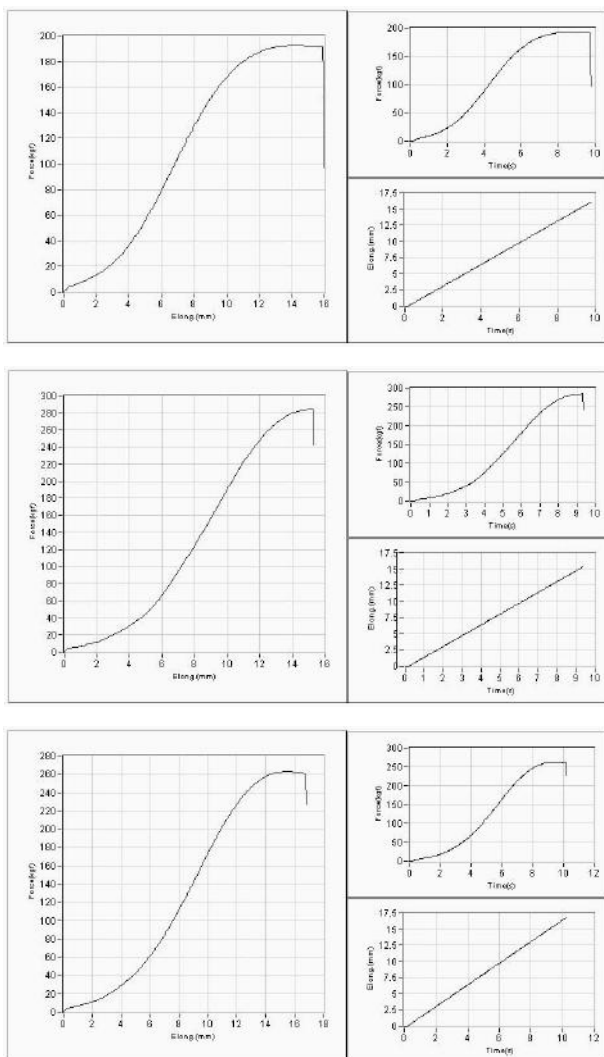
2. Unsaturated Polyester/Minyak Sawit



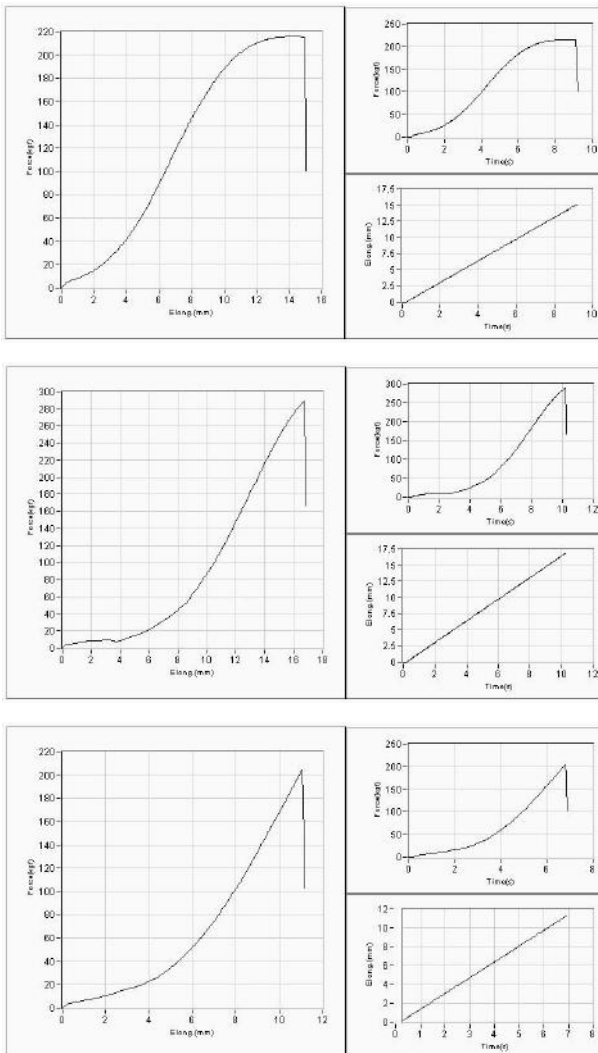
### 3. Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa



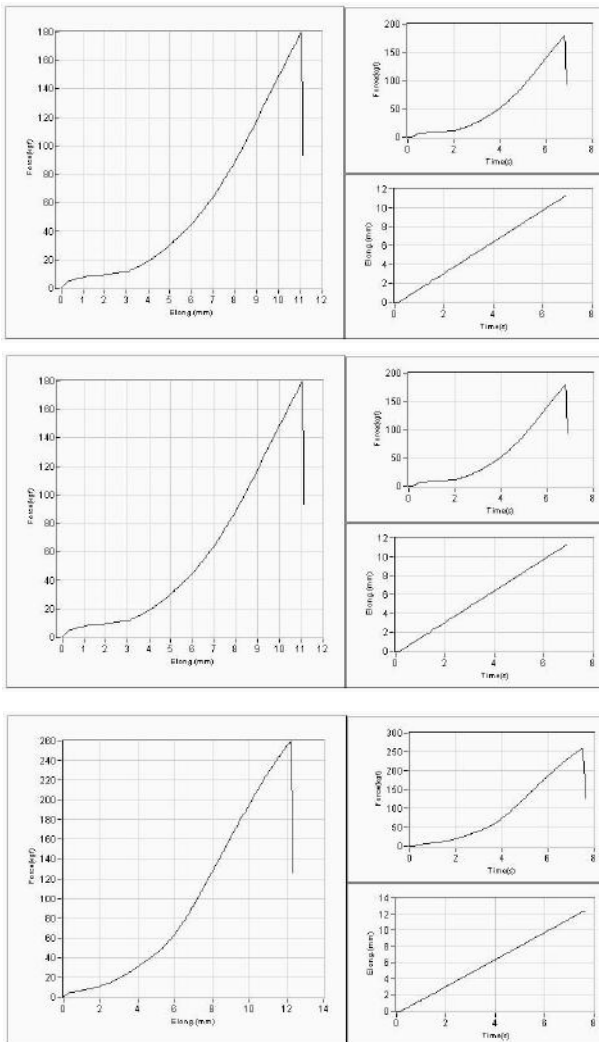
## 4. Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai



## 5. Unsaturated Polyester/Minyak Wijen



## 6. Unsaturated Polyester/Minyak Jagung

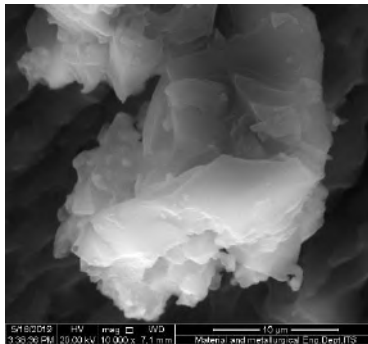
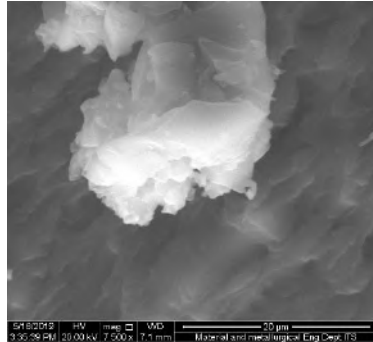
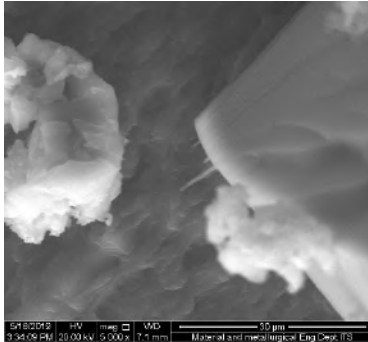


---

## Lampiran E

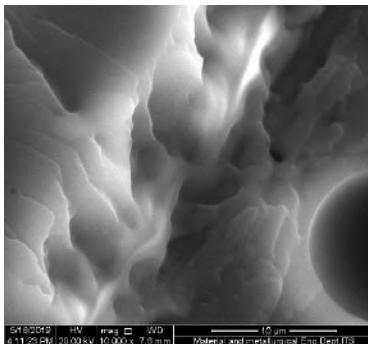
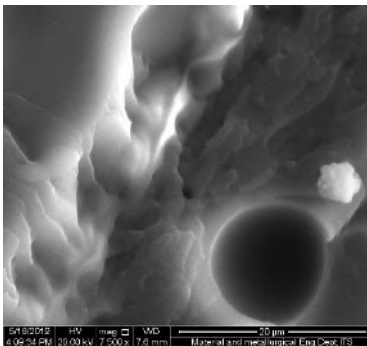
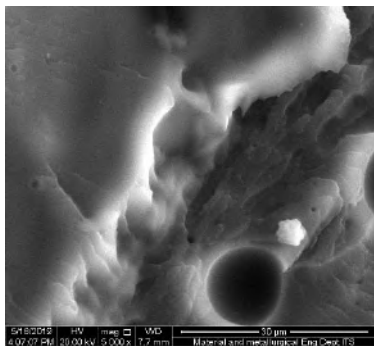
### Pengujian SEM

#### 1. Unsaturated Polyester



---

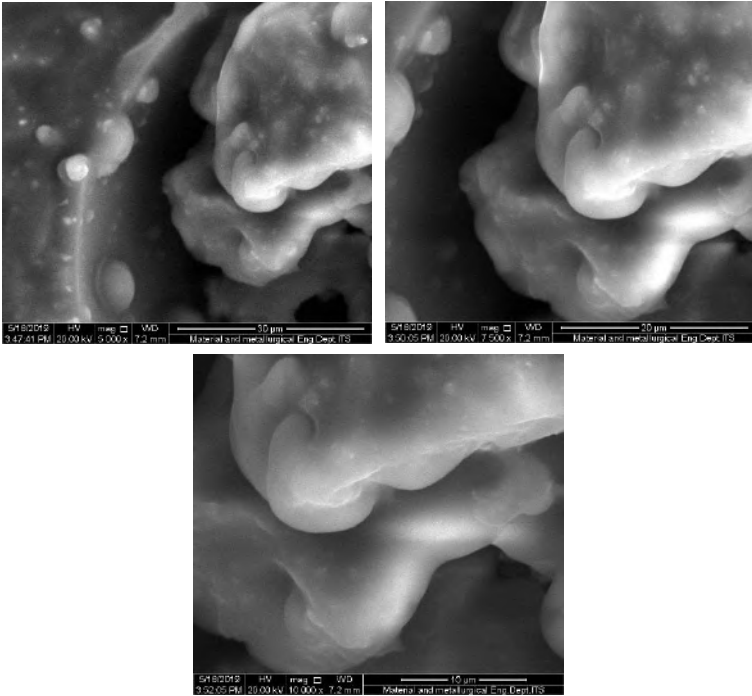
## 2. Unsaturated Polyester/Minyak Sawit





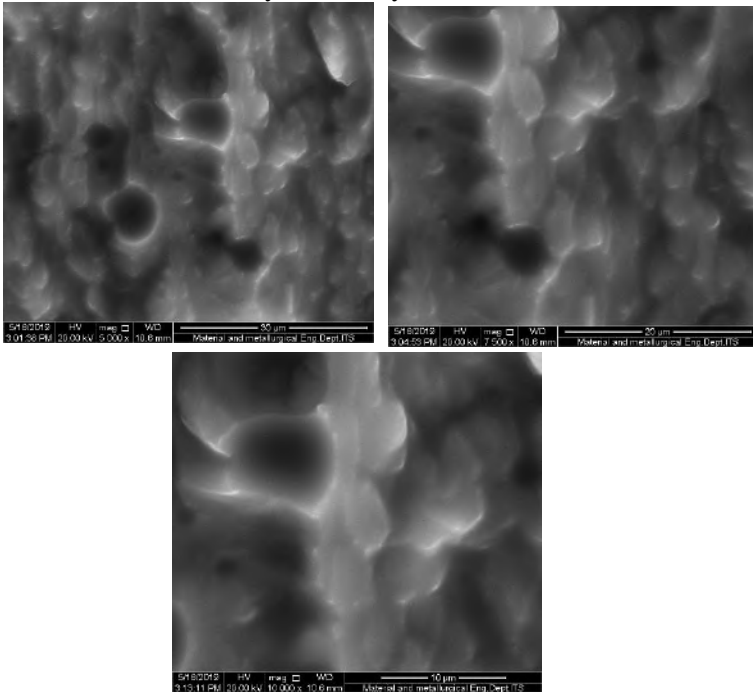
---

### 3. Unsaturated Polyester/Minyak Kelapa



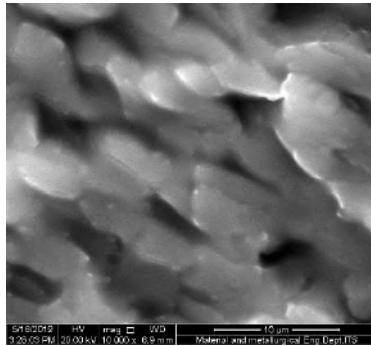
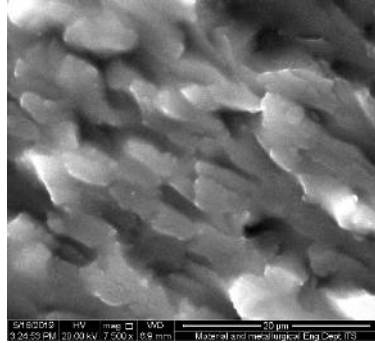
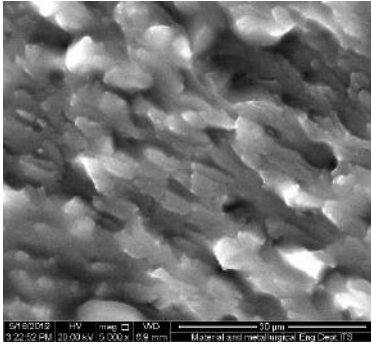
---

#### 4. Unsaturated Polyester/Minyak Kedelai



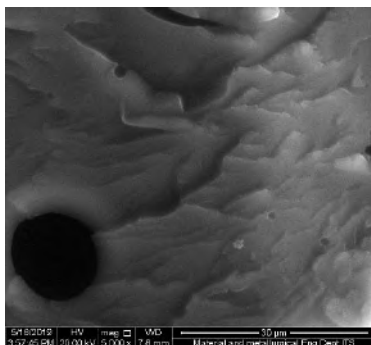
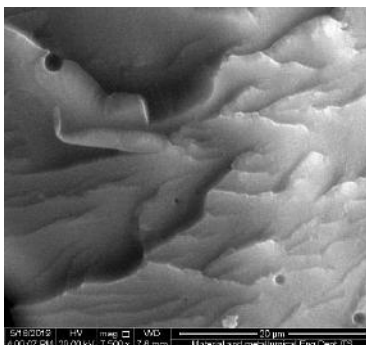
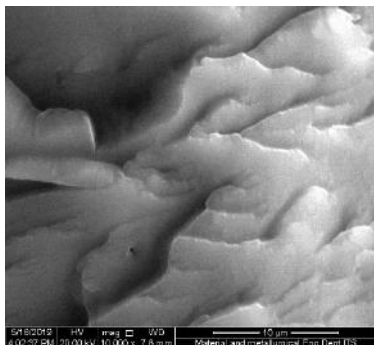
---

## 5. Unsaturated Polyester/Minyak Wijen



---

## 6. Unsaturated Polyester/Minyak Jagung



## UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
2. Teman – teman Kos Perumdos I-16 yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.
3. Teman – teman Lab. Material Inovatif yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
4. Teman – teman fungsi dan staff HMMT FTI-ITS sebagai tempat penulis untuk belajar dan mengisi hari-hari penulis sehingga mendapatkan pengalaman yang sangat berkesan.
5. Teman – temen Kos Pak Hadi yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
6. Keluarga MT 17 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
7. Teman-teman Nuralita, Keycko dan Nadia sebagai tempat nyaman saya untuk membagikan pengalaman, canda tawa dan keluh kesah.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.
9. Teman-teman yang telah menemani dan senantiasa mendukung penulis semasa kuliah ini.
10. Seluruh mahasiswa Teknik Material serta keluarga MT17 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.

- 
11. BEM ITS, BEM FTI, dan HMMT yang telah memberikan wadah bagi penulis untuk mengembangkan diri.
  12. Teman-teman Sisri yang telah memberi semangat dan mendukung dalam mengerjakan laporan ini

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 15 Juni 1997. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Yumaeri dan Sri Eko Widayati. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Hang Tuah 9 Candi Kabupaten Sidoarjo, SMPN 1 Kabupaten Sidoarjo, dan SMAN 1 Kabupaten Sidoarjo. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Material Intstitut Teknologi Sepuluh

Nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2016/2017, Kepala Biro Akademik Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2017/2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PTPN X Pabrik Gula Kremboong di Divisi Instalasi pada Juli – Agustus 2018.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Material Inovatif berjudul “STUDI SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI TERMOSET BIORESIN UNSATURATED POLYESTER/MINYAK NABATI SEBAGAI LAMINATING RESIN UNTUK APLIKASI LAMBUNG KAPAL SESUAI STANDAR BIRO KLASIFIKASI INDONESIA.”

*Email : [galihardi15@gmail.com](mailto:galihardi15@gmail.com)*

*No.Hp: 081232817221*

