



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH KOMPOSISI EPOKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA KOMPOSIT SERAT KACA/VINIL ESTER/EPOKSI SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ANTI PELURU (*BODY ARMOR*)**

**ARDYA ADHITYAMEIDY ANDARU**  
NRP 2713 100 031

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**TUGAS AKHIR – TL 141584**

**PENGARUH KOMPOSISI EPOKSI TERHADAP  
SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA  
KOMPOSIT SERAT KACA/VINIL ESTER/EPOKSI  
SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ANTI PELURU  
(*BODY ARMOR*)**

**ARDYA ADHITYAMEIDY ANDARU  
NRP 2713 100 031**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



**UNDERGRADUATE THESIS – TL 141584**

**EPOXY COMPOSITION EFFECT UPON  
MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL  
PROPERTIES OF FIBER GLASS/VINYL ESTER  
/EPOXY COMPOSITE AS THE BODY ARMOR  
MATERIAL CANDIDATE**

**ARDYA ADHITYAMEIDY ANDARU  
NRP 2713 100 031**

**Advisors:**

**Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.**

**Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH KOMPOSISI EPOKSI TERHADAP  
SIFAT MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA  
KOMPOSIT SERAT KACA/VINYL ESTER/EPOKSI  
SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ANTI PELURU  
(BODY ARMOR)**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**Ardy Adhityameidy Andaru**  
**NRP 2713 100 031**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :  
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si

(Pembimbing I)

(Pembimbing II)





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH KOMPOSISI EPOKSI TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN SIFAT TERMAL PADA KOMPOSIT  
SERAT KACA/VINYL ESTER/EPOKSI SEBAGAI  
KANDIDAT MATERIAL ANTI PELURU (*BODY ARMOR*)**

**Nama Mahasiswa** : Ardy Adhityameidy Andaru  
**NRP** : 2713100031  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

**Abstrak**

*Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sifat mekanik dan sifat termal sebagai kandidat material Body Armor. Material yang dibuat adalah komposit berbasis serat kaca/vinil ester/epoksi dengan variasi penambahan epoksi dalam persen berat. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetry Analysis (TGA), Uji tarik, Uji kekerasan, uji densitas dan uji dampak. Pada pengujian FTIR, terdapat gugus benzena C=C pada daerah serapan  $1506,19\text{ cm}^{-1}$ , gugus alkohol C-OH dan gugus C-O pada daerah serapan  $1034,42\text{ cm}^{-1}$  dan  $1179,91\text{ cm}^{-1}$  dan gugus C=O pada daerah serapan  $3448,49\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan material tersebut adalah vinil ester. Uji kekerasan pada komposit menunjukkan jika terjadi penurunan nilai kekerasan seiring dengan penambahan epoksi pada komposit dengan nilai tertinggi pada penambahan 0% epoksi sebesar 84 HD. Pada pengujian tarik juga menunjukkan penurunan nilai kekuatan tarik seiring penambahan epoksi, namun didapatkan nilai optimum pada penambahan 20% epoksi dengan nilai kekuatan tarik 514,9 MPa. Nilai elongasi dan nilai kekuatan dampak memiliki nilai optimum pada penambahan 40% epoksi dengan masing masing nilai elongasi dan kekuatan dampak adalah 30,8% dan 37,87 J/cm<sup>2</sup>. Sedangkan secara morfologi,*



*penambahan epoksi pada komposit, meningkatkan interface yang terbentuk antara serat dan matriks. Serta dengan menggunakan gambar SEM, diperoleh nilai rata-rata ukuran serat kaca sebesar 16,19  $\mu\text{m}$ . Dari pengujian stabilitas termal dengan TGA, Nilai  $T_5$  tertinggi berada pada penambahan 0% epoksi dengan temperatur 392,5  $^{\circ}\text{C}$*

***Kata Kunci: Vinyl Ester, Epoksi, Body Armor, Sifat Mekanik, Sifat Termal,***

# **EPOXY COMPOSITION EFFECT UPON MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL PROPERTIES OF FIBER GLASS/VINYL ESTER /EPOXY COMPOSITE AS THE BODY ARMOR MATERIAL CANDIDATE**

**Student Name** : Ardy Adhityameidy Andaru  
**NRP** : 2713100031  
**Departement** : Materials Engineering  
**Advisors** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

*This research is conducted to analyze mechanical behavior and thermal behavior in terms to search a candidate material for body armor. Materials which was synthesized were composite of fiberglass/vinyl ester/epoxy with adding variation of epoxy in mass percentage. Experiment that have been done in this research are Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetry Analysis (TGA), density test, tensile test, impact test, and hardness test. Upon FTIR test, bond of C=C benzene in peak of  $1506,19\text{ cm}^{-1}$ , alcohol bond C-OH and C-O bonds have been seen in peak  $1034,42\text{ cm}^{-1}$  and  $1179,91\text{ cm}^{-1}$ . C=O bonds also have been seen in peak of  $3448,49\text{ cm}^{-1}$ , which all of them determine that the material are matrix of vinyl ester based. Hardness test employs result which have decreasing trend upon epoxy addition with highest value seen in no addition of epoxy in matrix, which has 84 HD. Upon tensile test result, the optimum value in tensile strength seen in 20% epoxy addition which value is 514,9 MPa and had optimum value of elongation in 40% epoxy addition which values 30,8%. Impact Test shows result the optimum value of impact strength shown in 40% epoxy addition which valued 37,87*

*J/cm<sup>2</sup>. Upon morphology of composite, addition of epoxy increase the interface created between fiber and matrix. Average glass fiber diameter used in composite are 16,19  $\mu\text{m}$ . Highest value of  $T_5$  shown on 0% epoxy addition which is 392,5  $^{\circ}\text{C}$  by TGA test result.*

***Keyword: Composition, Vinyl Ester, Epoxy, Body Armor, Mechanical Behavior, Thermal Behavior.***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Komposisi Epoksi Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Termal pada Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi Sebagai Kandidat Material *Body Armor*”**.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan
2. Kedua Orang Tua, Ir. Ardiansyah Andaru dan Ir. Erriyanie Populetta yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
6. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
7. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang memberi motivasi.
8. Evianto, Yunus, serta teman-teman Lab Material Inovatif yang membantu kelancaran proses penyusunan proposal tugas akhir ini.

10. Semua yang tidak dapat saya sebutkan disini yang membedi dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna, adanya saran dan kritik yang membangun dapat memberikan manfaat bagi penulis dan untuk studi selanjutnya. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>TITLE PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Body Armor</i> .....	5
2.2 Serat Kaca .....	13
2.3 Epoksi .....	20
2.4 <i>Vinyl Ester</i> .....	22
2.5 Komposit .....	24
2.6 Penelitian Sebelumnya .....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>37</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	37
3.2 Bahan Penelitian .....	38
3.3 Peralatan Penelitian .....	41
3.4 Variabel Penelitian .....	42
3.5 Prosedur Penelitian .....	42
3.6 Pengujian .....	43
3.7 Rancangan Penelitian .....	51

<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
4.1 Analisis Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	53
4.2 Analisis Morfologi Hasil SEM Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	56
4.3 Analisis Densitas Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	63
4.4 Analisis Sifat Mekanik (Kekerasan) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	66
4.5 Analisis Sifat Mekanik (Uji Tarik) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	68
4.6 Analisis Sifat Mekanik (Uji Impak) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	71
4.7 Analisis Stabilitas Termal (Uji TGA) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rompi Anti Peluru.....	6
Gambar 2.2 Cara kerja rompi anti peluru dalam menghentikan peluru .....	8
Gambar 2.3 Nilai $V_{50}$ <i>Ballistic Limit</i> untuk beberapa sistem material balistik .....	13
Gambar 2.4 Proses manufaktur peleburan langsung untuk serat kaca .....	15
Gambar 2.5 Gugus Epoksi .....	21
Gambar 2.6 Gugus Epoksida pada Resin Epoksi .....	21
Gambar 2.7 Struktur Kimia <i>Vinyl Ester</i> .....	23
Gambar 2.8 Jenis anyaman pada kain.....	27
Gambar 2.9 Spektrum FTIR Sampel <i>EVER-2</i> .....	29
Gambar 2.10 Grafik <i>Tensile Strength</i> dan <i>Tensile Modulus</i> .....	30
Gambar 2.11 Grafik <i>Flexural Strength</i> dan <i>Flexural Modulus</i> ..	30
Gambar 2.12 Grafik <i>Impact Strength</i> dan <i>Maximum Dynamic Strength</i> .....	31
Gambar 2.13 Mikrografi SEM sampel (a) Epoksi Murni, (b) <i>EVER + Styrene</i> , (c) <i>EVERL-1</i> ,(d) <i>EVERL-2</i> , (e) <i>EVERL-3</i> , (f) <i>EVERL-4</i> .....	32
Gambar 2.14 Grafik TGA sampel Epoksi Murni .....	33
Gambar 2.15 Grafik TGA sampel <i>EVER-2</i> .....	34
Gambar 2.16 $V_{50}$ <i>Ballistic Limit</i> untuk komposit <i>Plain Weave E-Glass/Vinyl Ester</i> .....	35
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.2 Serat Kaca E-Glass .....	38
Gambar 3.3 Epoksi Eposchon-A .....	39
Gambar 3.4 <i>Vinyl Ester</i> Ripoxy R-802 .....	40
Gambar 3.5 Katalis MEKP.....	40
Gambar 3.6 Akselerator <i>Cobalt Naphthenate</i> .....	41
Gambar 3.7 Komponen SEM .....	45
Gambar 3.8 Mesin FTIR .....	46
Gambar 3.9 Instrumen TGA .....	47
Gambar 3.10 Alat Durometer Shore D Hardness Test .....	48

Gambar 3.11 Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.....	49
Gambar 3.12 Mesin Uji Impak .....	51
Gambar 4.1 Grafik FTIR Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca Dengan Variasi Penambahan Epoksi.....	54
Gambar 4.2 Bentuk patahan spesimen uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40% .....	57
Gambar 4.3 Mikrografi SEM material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40% perbesaran 1000x .....	58
Gambar 4.4 Mikroskopi SEM permukaan patahan uji tarik material komposit Serat Kaca/Vinyl Ester 100% dengan ukuran seratnya.....	61
Gambar 4.5 Mikrografi SEM permukaan patahan uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi perbesaran 500x dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d)30%.....	62
Gambar 4.6 Mikrografi SEM permukaan patahan uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi perbesaran 2000x dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c)20%,(d) 30%.....	64
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kekerasan Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	67
Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekuatan Tarik Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat .....	69
Gambar 4.9 Grafik Nilai Elongitas Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat .....	70

Gambar 4.10	Grafik Nilai <i>Impact Strength</i> Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat .....	71
Gambar 4.11	Grafik Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Persen Berat .....	73
Gambar 4.12	Kurva <i>Derivative Thermogravimetric</i> (DTG) dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Persen Berat.....	75

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Rompi Anti Peluru Untuk Militer .....	10
Tabel 2.2 Bobot Maksimal Standar Panel Untuk Rompi Anti Peluru .....	11
Tabel 2.3 <i>Mechanical Properties</i> dari Beberapa Serat Balistik..	12
Tabel 2.4 Persentase Komposisi serat kaca dalam %wt .....	17
Tabel 2.5 <i>Properties</i> dari Serat Kaca .....	19
Tabel 2.6 <i>Properties</i> dari <i>Vinyl Ester</i> Ripoxy R-802.....	24
Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.....	49
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian .....	52
Tabel 4.1 Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca (VE 100).....	55
Tabel 4.2 Diameter Serat Kaca pada Material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi.....	60
Tabel 4.3 Densitas Material Penyusun Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	64
Tabel 4.4 Nilai Densitas Teoretis Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	65
Tabel 4.5 Nilai Densitas Eksperimen Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca .....	65
Tabel 4.6 Nilai $T_5$ dan $T_{maks}$ dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Persen Berat .....	76

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejak jaman dahulu, manusia mengembangkan teknologi untuk melindungi diri dari ancaman di sekitarnya. Dengan berkembangnya teknologi, maka semakin meningkat pula ancaman dapat terjadi pada seseorang dan kebutuhan seseorang untuk dapat melindungi diri. Salah satu bentuk perlindungan yang digunakan adalah *armor* atau pakaian pelindung. *Armor* merupakan segala bentuk pelindung yang digunakan untuk melindungi diri dari serangan fisik. *Armor* sendiri dapat berupa baju pelindung atau dapat diaplikasikan pada kendaraan anti peluru. Material yang umumnya digunakan untuk armor adalah baja. Baja memang memiliki keunggulan karena harganya yang terjangkau dan kekuatannya yang baik, namun karena densitas dari baja yang tinggi, menghasilkan *armor* yang berat sehingga dapat mengurangi mobilitas. Sehingga menjadi tantangan bagi pembuat *armor* untuk mendesain *armor* dengan kemampuan proteksi setinggi mungkin dengan berat yang minimal dan biaya yang terjangkau (Ubeyli, dkk. 2007).

Penggunaan komposit tetap menjadi pilihan utama para insinyur dibandingkan dengan material monolitik dalam desain struktur kompleks berkat kemampuan *specific strength* dan *specific stiffness* yang tinggi, *tailorability* dalam menerima beban dan ketahanan terhadap lingkungan yang baik (Babu, dkk. 2007).

Di Indonesia terutama, pakaian anti peluru secara umum yang banyak digunakan oleh militer, kepolisian, atau sipil (eksekutif) secara umum menggunakan serat aramid (*aromatic polyamide*) dengan nama dagang Kevlar, Twaron, dsb. Sampai saat ini, serat tersebut masih diperoleh secara impor dengan harga yang sangat mahal. Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk material tahan peluru menggunakan bahan lokal oleh lembaga penelitian di Indonesia (Nindhia dan Anakottapary. 2011).



Vinyl Ester memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap serangan kimia, ketahanan terhadap perubahan temperatur, ketahanan kelembaban dan biayanya yang lebih murah. Namun secara sifat mekanik, vinyl ester memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan dengan polyester. Tetapi jika dibandingkan dengan epoksi, vinyl ester memiliki sifat mekanik yang rendah jika dibandingkan dengan epoksi (Cassis dan Talbot, 1998).

Pada penelitian sebelumnya, (Babu, dkk. 2007) melakukan penelitian mengenai kemampuan penetrasi balistik menggunakan proyektil bermassa besar dengan variasi ketebalan pada massa pada serat E-Glass unidireksional dengan epoksi tanpa *vinyl ester*. Meskipun menggunakan jenis peluru yang berbeda bentuk ujung pelurunya, tidak ada pengaruh signifikan dengan delaminasi dan kerusakan yang dihasilkan. ketebalan mempengaruhi *ballistic limit* yang dihasilkan, serta secara keseluruhan terjadi delaminasi pada spesimen. Delaminasi terjadi kemungkinan akibat adanya *matrix cracking*, yang mengurangi kekuatan interlaminar dari komposit.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan epoksi pada komposit yang diteliti untuk menganalisa sifat mekanik serta kemampuan sifat ter dari material yang dicampurkan dalam komposit, yaitu Serat Kaca dan *Vinyl Ester*. Pengaruh dari variasi penambahan epoksi akan dianalisis dengan berbagai pengujian.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh epoksi terhadap sifat mekanik pada komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi sebagai kandidat material anti peluru (*Body Armor*)?
2. Bagaimana pengaruh epoksi terhadap sifat termal pada komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi sebagai kandidat material anti peluru (*Body Armor*)?



### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Pengaruh impuritas saat pencampuran diabaikan.
2. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.
3. Kekasaran permukaan komposit diabaikan.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh dari epoksi terhadap sifat mekanik pada komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi sebagai kandidat material anti peluru (*Body Armor*).
2. Menganalisis pengaruh dari Epoksi terhadap sifat termal pada komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi sebagai kandidat material anti peluru (*Body Armor*).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh epoksi terhadap sifat mekanik dan sifat termal material komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi. Sehingga diperoleh nilai optimum dari campuran tersebut dan sebagai kandidat material anti peluru yang dapat menjadi alternatif material untuk *body armor* yang lebih murah dengan sifat mekanik serta ketahanan balistik yang setara dengan yang ada di pasaran. Serta berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan epoksi, serat kaca dan vinyl ester.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. *Body Armor***

##### **2.1.1. Sejarah *Body Armor***

*Armour* berasal dari turunan kata bahasa latin lama *armare*, yang berarti untuk mempersenjatai atau perlengkapan (Ensiklopedia Cambridge.2011). *Armor* didefinisikan oleh Cavallarro (2011) sebagai segala bentuk pelindung yang digunakan pada tubuh untuk melindungi diri dari serangan fisik. Manusia memiliki sejarah panjang dalam perkembangannya. Menurut Williams (2002), awal mula penggunaan *armor* diperkirakan dimulai pada abad ke 3 sebelum masehi oleh suku Celt berupa baju zirah dari baja. Dengan munculnya senjata api pada tahun 1500-an, maka kebutuhan akan perlindungan dari senjata tersebut meningkat.

Pada tahun 1531, Filippo Negroli membuat baju baja anti peluru atas perintah Francesco Maria delle Rovere, tetapi baju pelindung yang dibuatnya cenderung lebih tebal dari baju baja pada umumnya. Diketahui baju baja tersebut memiliki ketebalan 2,6 mm pada bagian *cheekpiece* yang dibuat dengan baja karbon menengah (0,6-0,7%, di abad ke 16 kadar karbon tersebut termasuk tinggi) dengan mikrostruktur perlitik, rendah dalam kadar *slag*, dan kekerasan 282 VPH. Kemudian Pangeran Maximilian II menguji baju baja dengan senjata api pada tahun 1561 dan Sir Henry Lee melakukan pengujian yang sama pada tahun 1590 (Williams.2003).

Munculnya *soft armor* pertama kali menurut sejarah digunakan oleh tentara Jepang pada era *medieval*, tentara tersebut menggunakan bahan sutra sebagai bahan *soft armor*. *Soft armor* mulai pertama digunakan di Amerika sekitar akhir abad ke 19. Lalu generasi terbaru dari rompi balistik, "*Flak Jacket*", muncul pada masa perang dunia ke-2. Baju pelindung ini terbuat dari nilon balistik.jaket ini dapat menahan pecahan munisi, namun tidak efektif terhadap senjata pistol dan senapan. Pakaian ini juga sangat besar dan berat, sehingga tidak digunakan untuk keperluan utama militer. Hingga pada akhir era 1960-an, muncul serat baru sebagai



bahan utama untuk membuat baju pelindung yang digunakan pada saat ini (Hart.2001).

### 2.1.2 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru merupakan salah satu jenis *body armor* yang tidak berlegan yang memiliki fungsi untuk melindungi diri dari peluru (K Dictionaries.2013). Rompi anti peluru yang ada saat ini umumnya dibuat dengan serat berperforma tinggi (*aramid*, UHMWPE, dsb.).



**Gambar 2.1** Rompi Anti Peluru yang dapat disembunyikan tipe Soft Armor yang dibuat dengan Laminat Unidireksional (Cavallaro, 2011)

### 2.1.3. Jenis Rompi Anti Peluru

Menurut standar NIJ 0101.06, jenis rompi anti peluru ada saat ini, antara lain:

a) *Flexible Body Armor*

Merupakan *Body Armor* yang tersusun atas material berbasis tekstil yang secara konstruksi sepenuhnya masih dapat dilenturkan. Konstruksi *body armor* tersebut dapat berupa jaket atau rompi yang memberikan area perlindungan yang lebih luas



dibandingkan dengan *rigid plate armor*. Secara umum, jenis ini memberikan perlindungan terhadap serangan pistol.

b) *Hard Armor* atau *Rigid Armor*

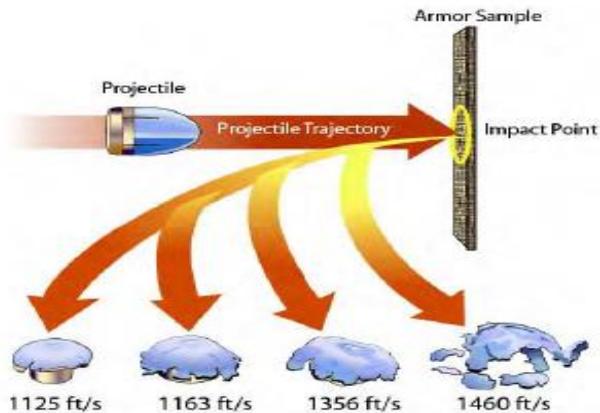
Merupakan *Body Armor* merupakan pakaian pelindung yang kaku atau semi kakuyang dalam konstruksinya diberikan pelat kaku di dalamnya untuk memberikan perlindungan terhadap serangan senapan.

c) *In-Conjunction Armor*

Merupakan kombinasi antara dua *flexible armor* atau *flexible armor* dengan pelat tambahan yang didesain untuk memberikan perlindungan dari serangan sajam atau balistik.

#### **2.1.4. Cara Kerja Rompi Anti Peluru**

Rompi anti peluru memiliki fungsi untuk mengurangi dampak dari serangan peluru dan pecahannya. Cara kerja rompi anti peluru yakni material yang ada dalam rompi anti peluru akan menahan peluru, menyerap energi impak yang dihasilkan oleh peluru dan disebarkan ke permukaan material sebagai energi panas dan peluru akhirnya terdeformasi (Grant, dkk., 2012). Biasanya untuk memberikan perlindungan lebih dari *blunt trauma*, diberikan pelat tambahan untuk meningkatkan penyerapan dan penyebaran energi impak pada rompi anti peluru (Cavallarro, 2011). Cara kerja rompi anti peluru dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Cara kerja rompi anti peluru dalam menghentikan peluru (Cavallaro, 2011).

Babu, dkk. (2007) memberikan *analytical model* dalam memperkirakan *ballistic limit* pada material sasaran yang berbeda ketika terkena dampak dari proyektil. Energi kinetik awal yang dimiliki oleh peluru yang bergerak akan sepenuhnya diserap atau sebagian diserap saat oleh sasaran selama penetrasi peluru. Pembentukan akan terjadi pada saat sebelum mencapai *ballistic limit* dan setelah mencapai *ballistic limit*. Energi yang diserap oleh target saat terkena dampak proyektil dibagi menjadi tiga tahapan, antara lain:

- Tahap I : Energi yang terserap akibat defleksi elastis oleh target.
- Tahap II : Energi yang terserap oleh target saat tembusnya sebagian hidung proyektil.
- Tahap III : Energi yang terserap oleh target saat tembusnya bagian utama peluru.



### 2.1.5. Standar untuk Rompi Anti Peluru

Banyak standar rompi anti peluru yang digunakan di dunia. Namun beberapa standar antara lain *HOSDB Body Armor Standard* (Inggris), *NIJ Standard* (Amerika), *NATO STANAG*, dsb. Menurut standar NIJ-0101.06 rompi anti peluru diklasifikasikan kedalam 5 golongan, antara lain:

- a) Tipe IIA (9 mm; .40 S&W):  
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: 9 mm FMJ RN (*Full Metal Jacket Rounded Nose*) dengan masa spesifik 8,0 g (124 gr) dan kecepatan peluru  $355-373 \pm 9,1$  m/s, .40 S&W FMJ (*Full Metal Jacket*) dengan masa spesifik 11,7 g (180 gr) dan kecepatan peluru  $325-352 \pm 9,1$  m/s.
- b) Tipe II (9 mm; .357 Magnum):  
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: 9 mm FMJ RN (*Full Metal Jacket Rounded Nose*) dengan masa spesifik 8,0 g (124 gr) dengan kecepatan peluru  $379-398 \pm 9,1$  m/s dan .357 Magnum JSP (*Jacketed Soft Point*) dengan masa spesifik 10,2 g (158 gr) dan kecepatan peluru  $408-436 \pm 9,1$  m/s.
- c) Tipe IIIA (.357 SIG; .44 Magnum):  
Jenis rompi ini dapat diuji dengan peluru: .357 SIG FMJ FN (*Full Metal Jacket Flat Nose*) dengan masa spesifik 8,1 g (125 gr) dengan kecepatan peluru  $430-448 \pm 9,1$  m/s dan .44 Magnum SJHP (*Semi Jacketed Hollow Point*) dengan masa spesifik 15,6 g (240 gr) dan kecepatan peluru  $408-436 \pm 9,1$  m/s.
- d) Tipe III (Senapan):  
dalam golongan ini terdapat 2 jenis *armor*, yakni Tipe III *Hard Armor* (dengan sisipan pelat) dan Tipe III *armor* fleksibel. Tipe ini dapat diuji dengan 7.62 mm FMJ, peluru *steel jacketed* (designasi militer Amerika



M80) dengan masa spesifik 9,6 g (147 gr) dan kecepatan peluru  $847 \pm 9,1$  m/s.

- e) Tipe IVA (Senapan Tembus *Armor (AP Rifles)*):  
Jenis rompi ini juga terdapat 2 tipe, yakni tipe *Hard Armor* dan *Flexible Armor*. Kedua jenis ini dapat diuji dengan peluru 10empera .30 tembus pelindung (*armor piercing*) dengan masa spesifik 10,88 gr (188 gram) dengan kecepatan peluru  $878 \pm 9,1$  m/s.

Di Indonesia, standar rompi anti peluru dibuat oleh Dinas Litbang ABRI yang dikenal dengan Standar Spesifikasi Teknik (SST). Standar tersebut memberikan penilaiannya berdasarkan material anti peluru yang digunakan. Sebagai contoh, jika material anti peluru yang digunakan adalah serat Kevlar, maka nilainya 100 dan jika material anti peluru yang digunakan adalah serat nilon, maka nilainya 60, dst (Zubaidi, dkk. 2009). Standar rompi tahan peluru untuk personil militer mempunyai standar seperti yang tercantum pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Persyaratan Rompi Anti Peluru Untuk Militer

No.	Persyaratan
1	Memberikan kekebalan bagi pemakai terhadap senjata tajam dan tembakan.
2	Rompi anti peluru harus ringan enak dipakai dan tidak mengganggu gerakan
3	Tahan terhadap segala cuaca dan tidak mudah sobek
4	Rompi taktis dan rompi Dakhura dapat memberikan efek kejut kepada lawan (menurunkan moril lawan).
5	Rompi Intel dan WAL/WIP dapat menjamin kerahasiaan.
6	Mudah dalam pemakaian dan pelepasan

Sumber: Zubaidi, dkk. (2009:1).



Berat panel dipersyaratkan dengan kekuatan dalam menahan peluru yang bergantung pada tipe peluru dan *level*. Persyaratan bobot panel maksimal pada setiap *level* dan setiap standar internasional menurut (Zubaidi, dkk. 2009) disajikan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Bobot Maksimal Standar Panel Untuk Rompi Anti Peluru

Tipe	Bobot Maksimal Panel (Kg) pada Level						
	I	IIA	II	II+	III A	III	IV
Model RTP	-	3,2	3,5	3,8	4,1	5,2	6,2
<i>Bullet Proof Vest Prestige</i>	-	2,2	2,4	-	-	-	-
<i>Bullet Proof Vest Surveillance</i>	1,4	2,3	2,5	-	-	-	-
<i>Bullet Proof Vest Underwear</i>	1,0	1,7	2,5	-	-	-	-
<i>Fragmentation Proof Vest Model II (French Army)</i>	1,0	1,7	1,9	-	-	-	-

Sumber: Zubaidi, dkk. (2009:2).

Terdapat beragam material yang digunakan untuk *body armor*. Hani, dkk. (2012), merangkum beberapa material yang umumnya digunakan pada *body armor*, sebagaimana pada Tabel 2.3.

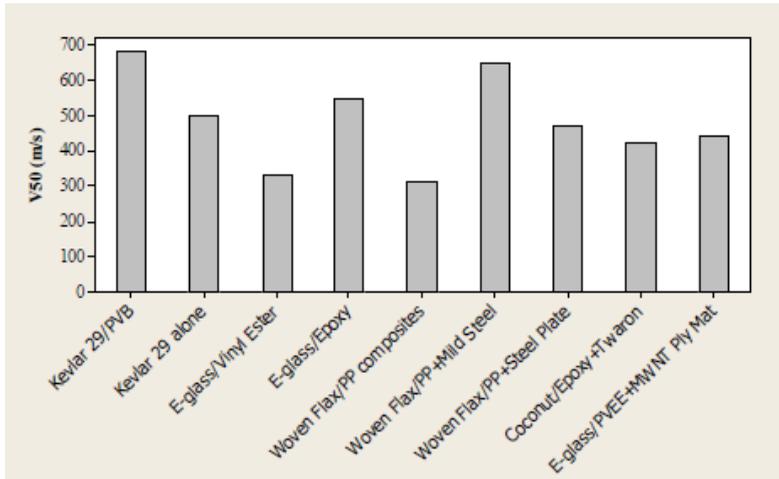


**Tabel 2.3** *Mechanical Properties* dari Beberapa Serat Balistik

Material	Tensile Strength (MPa)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile Modulus (GPa)	Elongation (%)
<i>Polypropylene</i>	500	0,829	2	6
<i>E-Glass</i>	2750	2,57	73	2,5
<i>S-Glass</i>	4710	2,48	-	2,8
<i>Carbon Fiber</i>	4000	1,75	131	2,8
<i>Spider Silk</i>	2000	1,3	30	30
<i>Aramid (Kevlar or Twaron)</i>	3200	1,44	131	4
<i>UHMWPE (Dyneema or Spectra)</i>	3400	0,97	111	4-5
<i>Vectran</i>	3200	1,4	75	-
<i>Zylon (PBO)</i>	5800	1,54	180	-
<i>Nylon</i>	896	-	5,17	-

Sumber: Hani, dkk. (2012:807)

Pada Gambar 2.3, Hani, dkk. (2012) merangkum beberapa material balistik yang telah diujikan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Sebagai contoh, pada penelitian Guild, dkk. (2007) menggunakan *E-Glass Fabric/Vinyl Ester*, diperoleh nilai  $V_{50}$  *Ballistic Limit* mencapai 330 m/s., dimana data ini diperoleh dari hasil eksperimen dan simulasi *finite element analysis*. Pada sistem *Epoxy/E-Glass woven fabric* yang diteliti oleh Naik (2008), memberikan hasil  $V_{50}$  *Ballistic Limit* dengan nilai mencapai 550 m/s.



**Gambar 2.3** Nilai  $V_{50}$  Ballistic Limit untuk beberapa sistem material balistik (Hani, dkk.,2012)

## 2.2. Serat Kaca

### 2.2.1 Sejarah dan Perkembangan Serat Kaca

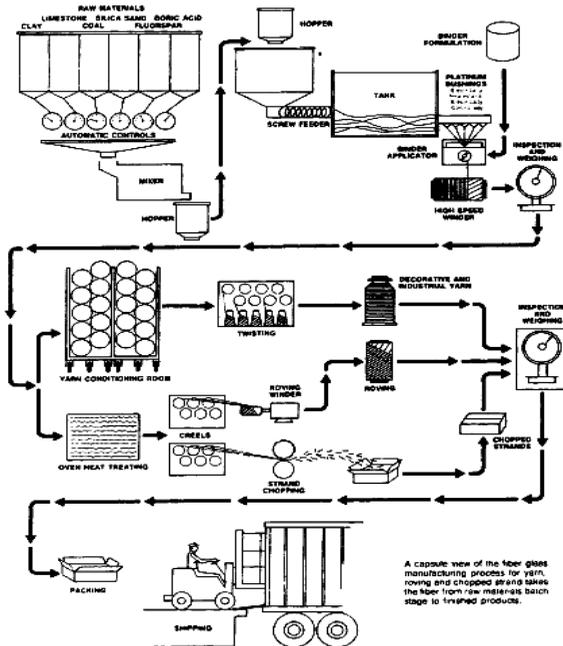
Penggunaan kaca telah ada sejak dahulu. Namun penggunaan kaca dalam bentuk serat dimulai pertama kalinya pada abad ke 17 dimana orang Venesia menggunakannya untuk membuat gaun khusus. Namun serat ini baru dapat dikomersialkan setelah wol gelas (yang kita kenal dengan *fiberglass* saat ini) ditemukan oleh Russel Games Slayter dari perusahaan Owens-Corning pada tahun 1932-1933 yang awalnya digunakan sebagai insulasi termal. Namun aplikasinya kini meluas hingga untuk pembuatan kapal, dan lain sebagainya.

### 2.2.2. Pembuatan Serat Kaca

Pembuatan serat kaca dimulai dengan mencampurkan pasir silika, asam borat, dan beberapa bahan lain seperti tanah liat, batu bara, dan *fluorspar*. Material-material tersebut kemudian



dilelehkan di *high-refractory furnace*, dengan temperature lelehnya mencapai  $1260^{\circ}\text{C}$  (Vaughan.2011). Leburan gelas kemudian mengalir ke tungku penarik serat dalam sistem peleburan langsung (Gambar 2.6). Serat kaca kontinyu akan terbentuk ketika leburan kaca dari tungku mengalir turun melalui celah-celah kecil dalam tangka paduan platina yang disebut sebagai *bushing*. Tetesan kaca cair yang terekstrusi dari celah-celah *bushing* dikumpulkan, kemudian dilemahkan secara mekanik hingga dimensinya sesuai, melewati semburan air dan melalui *revolving belt* yang memberikan lapisan yang berfungsi sebagai pelindung dan pelumas yaitu *binder*. Serat-serat tersebut kemudian dipintal menjadi *core* dengan kecepatan sekitar 190 km/jam. Kumpulan serat-serat tersebut kemudian dikeringkan atau dikondisikan untuk proses selanjutnya, seperti pada gambar 2.4



**Gambar 2.4** Proses manufaktur peleburan langsung untuk serat kaca (Vaughan.1998)

### 2.2.3 Komposisi Serat Kaca

Secara umum, gelas digolongkan dalam material *amorphous*, tidak dalam bentuk padat maupun cair. Secara kimia,, gelas tersusun atas silikon, boron dan fosfor yang akan berubah menjadi gelas ketika bereaksi dengan oksigen, sulfur, tellurium dan selenium. Susunan molekul cenderung membentuk ikatan tiga dimensi berbentuk tetrahedron dengan satu atom silikon di pusat berikatan dengan atom atom oksigen di sekitarnya. Lalu, beberapa unsur lain ditambahkan untuk menurunkan temperatur dan meningkatkan viskositas. Beberapa komposisi dari serat kaca dapat



bervariasi tergantung dari sifat yang diinginkan pada serat yang dihasilkan. Menurut (Vaughan. 2011), beberapa jenis serat kaca tersebut antara lain:

- a. *A-Glass*: kaca dengan kadar alkali tinggi atau *soda glass* digunakan untuk aplikasi ketahanan kimia yang tinggi.
- b. *E-Glass*: kaca dengan kadar alkali rendah berbasis aluminum borosilikat. Kaca tipe ini memiliki kemampuan insulasi elektrik yang baik dan serat utama yang umumnya digunakan pada produksi serat kaca tekstil.
- c. *C-Glass*: material yang berbasis *soda borosilicate* yang menghasilkan serat dengan ketahanan kimia yang baik.
- d. *S-2 Glass*: kaca ini terdiri atas magnesium dan aluminum silikat yang memberikan kekuatan fisik yang tinggi. Serat ini memiliki kekuatan 40 persen lebih besar dari *E-Glass*.

Komposisi dari serat kaca tersebut tertera pada Tabel 2.4



**Tabel 2.4** Tabel Persentase komposisi serat kaca dalam (% wt)

<i>Components</i>	<i>Grade of Glass</i>			
	A <i>(high alkali)</i>	C <i>(chemical)</i>	E <i>(electrical)</i>	S <i>(high strength)</i>
<i>Silicon Oxide</i>	72.0	64.6	54.13	64.2
<i>Aluminium Oxide</i>	0.6	4.1	15.2	24.8
<i>Ferrous Oxide</i>	-	-	-	0.21
<i>Calcium oxide</i>	10.0	13.2	17.2	0.01
<i>Sodium Oxide</i>	14.2	7.7	0.6	0.27
<i>Pottasium Oxide</i>	-	1.7	-	-
<i>Boron Oxide</i>	-	4.7	8.0	0.01
<i>Barium Oxide</i>	-	0.9	-	0.2
<i>Miscellaneous</i>	0.7	-	-	-

Sumber: Vaughan (1998:134)

#### 2.2.4 Sifat Serat Kaca

Komposisi dari serat kaca berperan besar dalam menentukan sifat sebuah serat kaca. Pemakaian serat kaca yang semakin meningkat dalam berbagai bidang dapat dihubungkan dengan *properties* yang dimiliki serat kaca tersebut seperti pada Tabel 2.5. Serat kaca memiliki kekuatan *tensile* yang tinggi dibandingkan dengan kawat baja dalam beberapa aplikasi, ketahanan terhadap api dan panas yang baik, ketahanan kimia yang



baik, tahan terhadap kelembaban, dan sifat termal yang baik, serta insulasi listrik yang baik (Vaughan, 1998).

Kelemahan dari serat kaca yaitu modulus elastisitas yang rendah, adhesi dengan polimer yang rendah, *specific gravity* yang tinggi, sensitifitas abrasi (mengurangi kekuatan tarik) dan *fatigue strength* yang rendah (Kaw.2006).



**Tabel 2.5** *Properties dari serat kaca*

	<i>Grade of Glass</i>			
	A	C	E	S
<i>Physical Properties:</i>				
<i>Spesific Gravity</i>	2,50	2,49	2,54	2,48
<i>Mohs Hardness</i>	-	6,5	6,5	6,5
<i>Mechanical Properties:</i>				
<i>Tensile Strength, psi</i> $\times 10^3$ (MPa)				
<i>at 72 °F (22 °C)</i>	440 (3033)	440 (3033)	550 (2620)	664 (4585)
<i>at 700 °F (371 °C)</i>	-	-	380 (2620)	535 (3756)
<i>at 1000 °F (538 °C)</i>	-	-	250 (1724)	350 (2413)
<i>Tensile Modulus of Elasticity at:</i>				
<i>at 72 °F (22 °C), psi</i> $\times 10^6$ (GPa)	-	10.0 (69,9)	10,5 (72,4)	12,4 (85,5)
<i>Yield Elongation, %</i>	-	4,8	4,8	5,7
<i>Elastic recovery</i>	-	100	100	100
<i>Thermal Properties:</i>				
<i>Coefficient of thermal linear expansion, °F<sup>-1</sup> × 10<sup>-6</sup> (°C<sup>-1</sup>)</i>	4,8 (8,6)	4,0 (7,2)	2,8 (5,0)	3,1 (5,6)
<i>Coefficient of thermal conductivity, Btu in h<sup>-1</sup>ft<sup>2</sup> °F<sup>-1</sup> (Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)</i>	-	-	72 (10,4)	-
<i>Spesific Heat at 72 °F (22 °C)</i>	-	0,212	0,197	0,176
<i>Softening Point, °F (°C)</i>	1340 (727)	1380 (749)	1545 (841)	-

Sumber: Vaughan (1998:135)



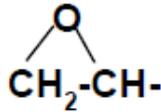
## 2.3. Epoksi

### 2.3.1. Sejarah Epoksi

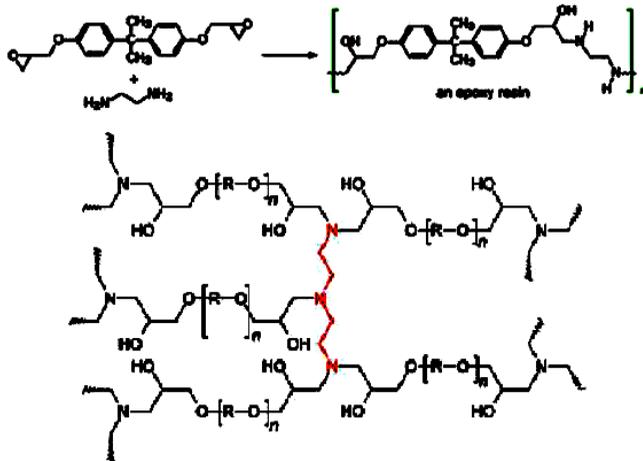
Penemuan Epoksi polimer memiliki sejarah yang panjang. Tahun 1936, ketika Dr. Pierre Castan dari Swiss berhasil melakukan sintesis sebuah epoksi resin berbasis bisphenol A yang dikeraskan dengan *phthalic acid anhydride*. Kemudian temuan tersebut dipatenkan oleh Ciba, Ltd. dari Switzerland yang kemudian menjadi salah satu dari tiga perusahaan penghasil Epoksi resin terbesar di dunia. Kemudian pada 1939, Dr. S.O. Greenlee dari Amerika Serikat, mengembangkan epoksi resin dari *epichlorohydrin* dan *diglycidyl ether of Bisphenol A* (DGEBA), yang digunakan hingga saat ini. Tujuan utama pengembangan epoksi resin sendiri adalah untuk menemukan *binding agent* (zat pengikat) untuk pelapisan yang memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap zat alkali. Namun tidak lama kemudian, terbukti jika epoksi juga memiliki keunggulan sifat lainnya yang signifikan, tidak hanya ketahanan zat alkali saja. Saat ini, epoksi memiliki peran penting dalam bidang konstruksi pesawat terbang, elektronik, industri otomotif, peralatan makanan, farmasi, manufaktur, industri kelautan dan lepas pantai. Pada umumnya, orang lebih mengenal kata epoksi dan dihubungkan dengan sesuatu yang kuat. Pada 1960, Nils Malmgren dan Curt Augustsson mulai untuk meformulasikan dan menghasilkan produk berbahan dasar epoksi dengan penguatnya (*hardener*) (Augustsson.2004).

### 2.3.2. Struktur Kimia Epoksi

Resin Epoksi didefinisikan sebagai molekul yang memiliki lebih dari satu gugus epoksi yang dapat dikeraskan sehingga menjadi plastik yang dapat digunakan. Gugus epoksi, yang dapat disebut juga sebagai gugus *glycidyl*, yang menjadi alasan utama pemberian nama Epoksi. Epoksi berasal dari oksigen yang berikatan dengan rantai karbon yang disebut *oxide*. Awalan epi yang memiliki arti “di luar” serta akhiran oksida yang berarti oksigen. Gambar 2.5 menunjukkan gugus epoksida pada epoksi.



Gambar 2.5 Gugus Epoksi (Augustsson, 2004)



Gambar 2.6 Gugus Epoksida pada Resin Epoksi  
(Augustsson,2004)

Epoksi diperoleh dari reaksi kimia dasar dari bahan yang sudah ada, seperti pada gambar 2.6. Dengan memvariasikan campuran antara bisphenol A dan epiklorohidrin, beragam variasi berat molekul epoksi dapat diperoleh (Augustsson,2004).

### 2.3.3 Sifat Epoksi

Sifat dari resin tergantung pada beberapa faktor seperti struktur pra-polimer, curing agent, stokiometri antara resin dan pengerasnya (hardener), waktu untuk curing, serta temperatur curing. Secara umum, tanpa memperhatikan jenis dan jumlah



hardener, waktu dan temperatur curing, resin epoksi menunjukkan kekuatan dan modulus yang tinggi, serta memiliki sifat ketahanan aus dan ketahanan retak yang tinggi. Epoksi resin juga memiliki sifat listrik yang baik, dengan resistivitas yang tinggi, kekuatan dielektrik dan track resistance yang baik terutama pada kelembaban tinggi. Stabil pada temperatur tinggi dan tahan lama. Epoksi resin juga mampu diproses dengan berbagai teknik termoset dengan sedikit penyusutan dan tidak mudah menguap selama proses curing. Pada umumnya Epoksi resin memiliki ketahanan yang baik serta stabilitas dimensi yang baik, akan tetapi aromatik resin rentan terhadap degradasi sinar UV dan juga jenis pelapukan yang lainnya (Vaughan, 2009).

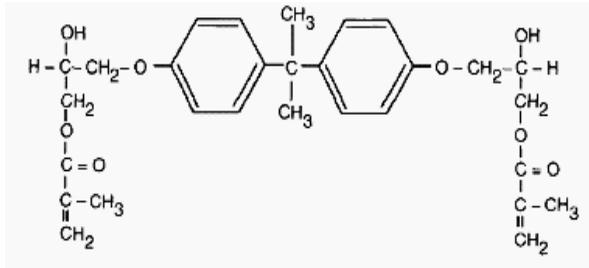
## **2.4. Vinyl Ester**

### **2.4.1 Sejarah Vinyl Ester**

*Vinyl Ester* resin sudah mulai dibuat dalam skala kecil pada era 1950-an, namun *vinyl ester* baru mulai dikomersialisasikan pada awal 1960-an oleh Shell dan Dow Chemical, yang mendorong perkembangannya hingga menjadi segmen yang sangat penting dalam industri komposit saat ini (Cassis dan Talbot, 1998).

### **2.4.2 Struktur Kimia Vinyl Ester**

*Vinyl Ester* merupakan jenis resin tidak jenuh yang dibuat dari reaksi antara asam karboksilik tidak jenuh dengan epoksi seperti epoksi resin *Bisphenol A*, seperti pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Struktur Kimia *Vinyl Ester* (Cassis dan Talbot, 1998)

Struktur dari *vinyl ester* menunjukkan beberapa bagian penting yang memberikan *vinyl ester* resin sifat-sifat unggulnya. Terdapat rantai utama resin epoksi dengan berat molekul yang tinggi, yang memberikan sifat mekanik yang baik yang digabungkan dengan kekuatan dan resilien. Lalu, *vinyl ester* memiliki rantai tidak jenuh yang membuatnya sangat reaktif. *Vinyl ester* dapat larut dalam *styrene* dan membeku layaknya poliester tidak jenuh konvensional yang memberikan *rapid green strength*. *Vinyl ester* juga mudah ber-homopolimerisasi yang menghasilkan produk yang memiliki distorsi panas yang tinggi. Akhirnya, *vinyl ester* memiliki rantai ester yang lebih sedikit per berat molekul yang digabungkan dengan rantai epoksi yang tahan terhadap asam, sehingga menghasilkan ketahanan kimia (asam,kaustik,dan pelarut) yang menakjubkan pada resin ini (Cassis dan Talbot. 1998).

### 2.4.3 Sifat *Vinyl Ester*

*Vinyl Ester* memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap serangan kimia, ketahanan terhadap perubahan temperatur, ketahanan kelembaban dan biayanya yang lebih murah. Namun secara sifat mekanik, *vinyl ester* memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan dengan polyester. Tetapi jika dibandingkan dengan epoksi, *vinyl ester* memiliki sifat mekanik



yang rendah jika dibandingkan dengan epoksi (Cassis dan Talbot, 1998).

*Vinyl ester* mengalami *shrinkage* yang cukup tinggi. Koefisiensi ekspansi termal dari *vinyl ester* berkisar antara 36-72 mm/mm/°C bila tanpa menggunakan *filler*. Penguat yang digunakan harus mampu mengkompensasi ekspansi termal dan penyusutan permukaan dimana beban diberikan. Dalam komposit komplit, koefisien ekspansi termalnya berubah menjadi sekitar 22-27 mm/mm/°C. Untungnya sistem ini memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mengatasi *thermal stress* (Slama, 1996).

Beberapa sifat dari *vinyl ester* ditunjukkan pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** *Properties* dari *Vinyl Ester*

Refs	R-802 EX
<i>Spesific Gravity</i> (25°C)	1,134
<i>Heat Distorsion Temperature</i> (°C)	100
<i>Tensile strength</i> (MPa)	60-89 MPa
<i>Flexural strength</i> , (MPa)	120-150
<i>Flexural modulus</i> , (GPa)	2,7-3,1
<i>Compression Strength</i> , (MPa)	108-118
<i>Charpy Impact</i> (J/m <sup>2</sup> )	4900-7900
<i>Barcol Hardness</i>	35
<i>Elongation</i> , (%)	6
<i>Curing Shrinkage</i> , (%)	7,5-8,5

Sumber: Showa Polymer (2011)

## 2.5. Komposit

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik dengan struktur yang homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka akan dihasilkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material tersebut



diantaranya: kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, konduktivitas termal, insulasi listrik, ketahanan fatik, berat, tampilan dan ketahanan panasnya.

Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu PMCs (*Polymer Matrix Composites*) yang menggunakan polimer sebagai matriksnya, CMCs (*Ceramic Matrix Composites*) dengan matriks keramik, MMCs (*Metal Matrix Composites*) yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Komposit Matriks Polimer merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material dimana salah satunya adalah polimer sebagai matrik induk (matriks) dan material yang kedua sebagai penguat (Callister.2002).

### 2.5.1. Klasifikasi Komposit menurut *Reinforcement Geometry*

Komposit diklasifikasikan menurut geometri dari pengisi, yakni Partikulat, *Flake*, dan Serat,

- a) Komposit Partikel, terdiri atas partikel yang dicampurkan ke dalam matriks seperti logam dan keramik. Biasanya komposit ini isotropik karena partikel yang ditambahkan bersifat acak. Komposit partikel memiliki keunggulan antara lain kekuatannya yang tinggi, temperatur operasi yang tinggi, ketahanan oksidasi, dsb.
- b) Komposit *Flake*, terdiri atas material pengisi berbentuk pipih. Material *flake* yang umum antara lain kaca, mika, aluminium, dan perak. Komposit *flake* memiliki keunggulan seperti modulus fleksural *out-of-plane* yang tinggi, kekuatan yang tinggi, dan biaya yang murah. Namun, *flakes* tidak dapat diorientasikan dan hanya sedikit material yang dapat digunakan.
- c) Komposit Serat, terdiri atas material serat pendek (diskontinyu) atau serat panjang (kontinyu). Serat secara umumnya bersifat anisotropik. Unit fundamental dari komposit serat kontinyu antara lain unidireksional dan serat yang dianyam.



### 2.5.2 Komposit Matriks Polimer

Komposit matriks polimer terdiri atas polimer (contoh: epoksi, polyester, polyurethane) yang diperkuat dengan serat berdiameter tipis (contoh: grafit aramid boron). Sebagai contoh, komposit grafit/epoksi lima kali lebih kuat daripada baja dalam basis *weight-to-weight*. Komposit serat polimer memiliki keunggulan, yaitu biaya yang lebih rendah, kekuatannya tinggi dan prinsip manufakturnya mudah. Kelemahan dari komposit serat polimer adalah temperatur operasi yang rendah, koefisien termal yang tinggi dan ekspansi kelembaban dan sifat elastisitas yang rendah pada arah tertentu (Kaw. 2006).

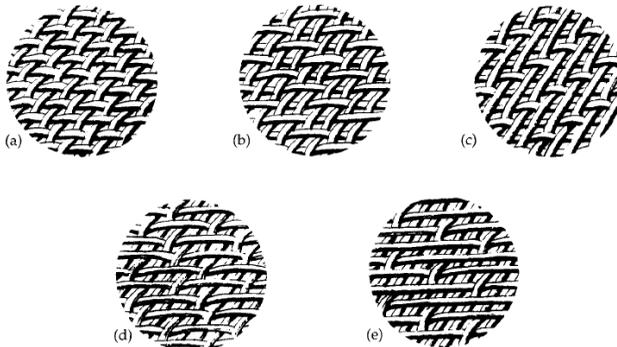
### 2.5.3 Jenis Anyaman pada Kain

Pada material material yang dalam bentuk kain, terdapat beberapa jenis anyaman yang digunakan untuk mengontrol karakteristik *handling* dari sebuah kain dan juga untuk meningkatkan *properties* dari komposit yang menggunakan kain sebagai penguatnya. Beberapa contoh jenis anyaman seperti pada Gambar 2.8 tersebut antara lain:

- a) Anyaman *Plain*: jenis anyaman ini dibuat dengan menganyam benang dengan susunan benang satu atas,satu bawah (pola satu-satu). Kain yang dihasilkan memiliki derajat kestabilan yang tinggi dalam hal distorsi kain dan selip,
- b) Anyaman *Basket*: jenis anyaman ini memiliki dua atau lebih untaian benang yang saling mengunci atas dan bawah. Meskipun jenis anyaman ini kurang stabil jika dibandingkan dengan anyaman *plain*, jenis ini lebih lentur dan dapat mengikuti kontur-kontur sederhana.
- c) Anyaman *Twill*: jenis anyaman ini memiliki pola satu anyaman atas dan 2 anyaman bawah. Pola ini menghasilkan bentuk diagonal putus putus dan memberikan *drapeability* dan stabilitas yang lebih baik.



- d) Anyaman *Crowfoot satin*: jenis anyaman terdiri atas satu benang yang 3 benang atas dan 1 benang bawah dalam pola yang acak. Kain yang dihasilkan lebih mudah diaplikasikan dan dapat mengikuti lekukan yang kompleks.
- e) Anyaman *eight-harness satin*: jenis anyaman ini terdiri atas satu benang yang dianyam dengan pola 7 benang atas dan satu benang bawah dalam pola acak. Kain yang dihasilkan sangat mudah diaplikasikan dan dapat mengikuti lekukan yang kompleks.
- f) Unidireksional: jenis kain ini dibuat dengan benang *heavy warp* dan benang pengisinya, baik dengan anyaman *crowfoot satin* atau dengan anyaman *satin* panjang. Jenis kain ini memberikan kekuatan besar pada arah serat utama.
- g) Kain tanpa anyaman: kain unidireksional yang dibuat dengan menyatukan *warp* dan *filling* secara kimiawi (dengan semacam *binder*). Meskipun kekuatan utamanya terletak dari zat pengikatnya, kain ini kokoh dan tidak mudah kusut dari lekukan yang kompleks.



**Gambar 2.8** Jenis anyaman pada kain. (a) Plain; (b) Basket; (c)Twill; (d) Crowfoot satin; (e) Eight-harness satin (Vaughan,2011)

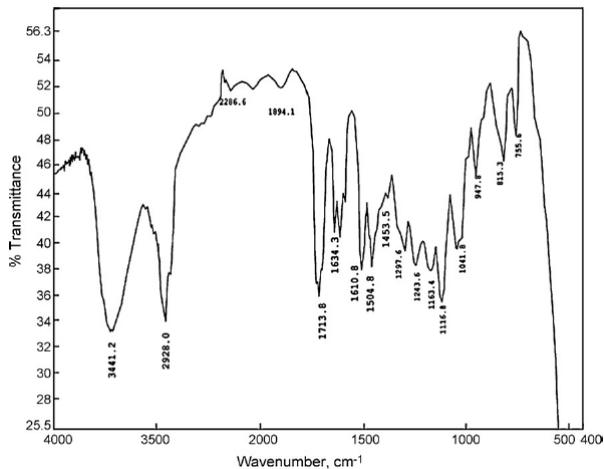


## 2.7 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian Minakshi Sultania, J.S.P Rai dan Deepak Srivastava tahun 2009, peneliti menganalisis pengaruh jumlah *styrene* terhadap sifat termal, mekanikal, dan morfologi pada komposit *Epoxy Novolac Vinyl Ester Resin/Glass Fiber*.

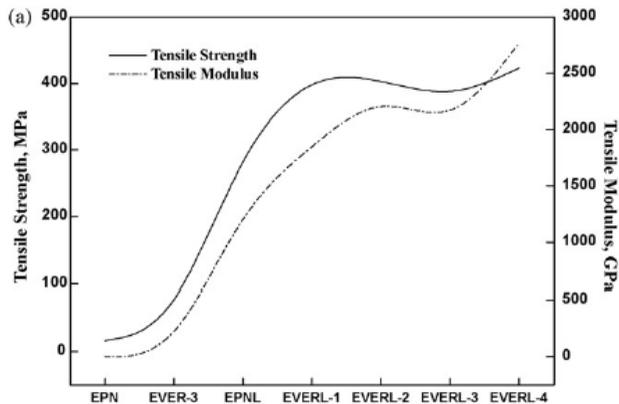
Dalam penelitian ini, terdapat 2 tahap, tahapan pertama yaitu mensintesa *vinyl ester* dari resin epoksi dan asam *methacrylic* dengan katalis *triphenylphospine* (TPP) 1% berat epoksi resin dan *hydroquinone* sebagai inhibitor pada 85°C pada atmosfer nitrogen selama 5 jam. Kemudian dilarutkan dalam benzena, dan dicampur dengan *Pottasium Carbonate* selama 2 jam 30 menit, untuk menghilangkan *methacrylic acid*. Asam yang terbentuk dilarutkan dalam air dan diuapkan dengan *evaporator*. Tahapan kedua yaitu untuk *curing* vinyl ester dalam pembuatan matriks dan kompositnya, digunakan variasi penambahan *styrene* antara 35, 40, 45, 50% berat dan inisiator *benzoyl peroxide* (2% berat). Preparasi komposit dilakukan dengan metode *hand lay-up*, dengan rasio *styrene* seperti variasi penelitian tersebut. Laminat tersebut dicetak dengan sistem *heated press* pada temperatur 120°C dengan tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup> dan kemudian dilakukan *post-curing* pada temperature 150°C selama 2 jam. Untuk penandaan sampel, diterangkan pada Tabel 2.7.

Dari hasil penelitian tersebut, diperoleh hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR seperti pada Gambar 2.9.

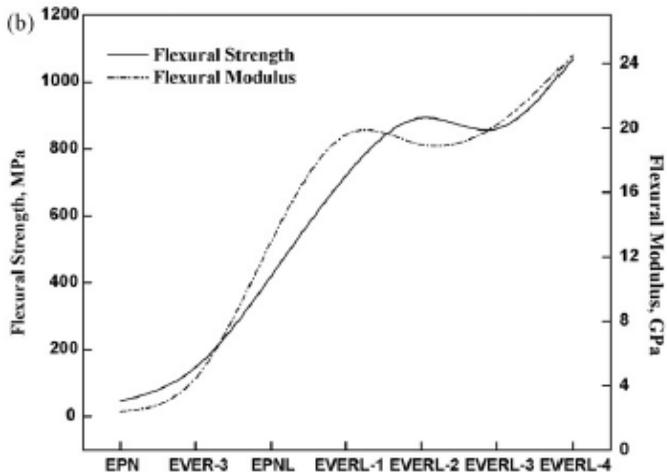


**Gambar 2.9** Spektrum FTIR Sampel *EVER-2* (Sultania.2009)

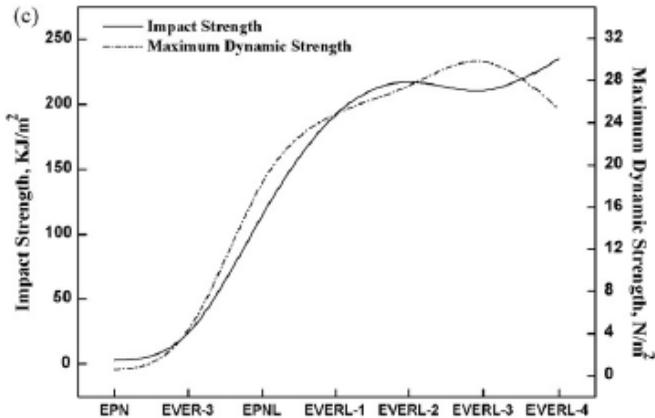
Karakteristik Vinyl Ester ditunjukkan pada munculnya serapan pada daerah serapan  $1713\text{ cm}^{-1}$  akibat munculnya gugus karboksil dari *ester linkage* yang terbentuk. Adanya gugus pada daerah serapan  $1634\text{ cm}^{-1}$  dan  $815\text{ cm}^{-1}$  yang disebabkan oleh *bending* dan *vibration* oleh gugus *vinyllic*. Daerah serapan yang menunjukkan gugus *aracyolyl* ikatan ganda ( $\text{-C=C-}$ ) muncul pada daerah serapan  $1607\text{ cm}^{-1}$ . Daerah serapan yang luas antara  $3400\text{ cm}^{-1}$  -  $3300\text{ cm}^{-1}$  dengan pusat serapan pada  $3341\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai gugus hidroksil dari *vinyl ester*. Adanya serapan pada daerah  $1163\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai gugus *C-O-C stretching*.



**Gambar 2.10** Grafik *Tensile Strength* dan *Tensile Modulus*(Sultania, dkk.,2009)



**Gambar 2.11** Grafik *Flexural Strength* dan *Flexural Modulus*(Sultania, dkk.,2009)

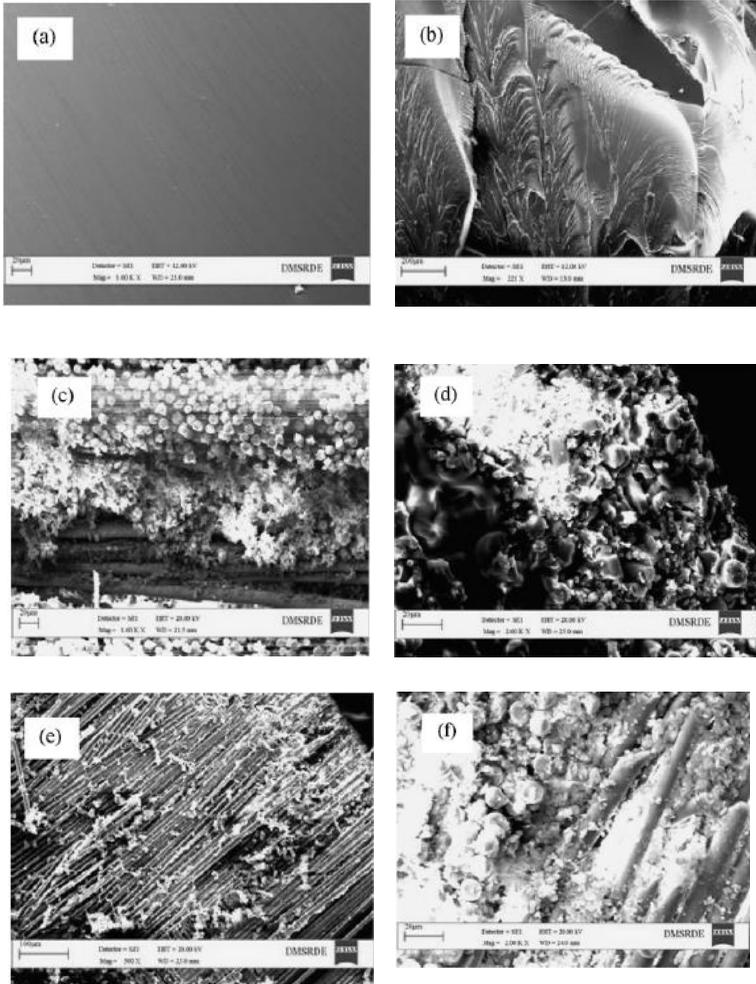


**Gambar 2.12** Grafik *Impact Strength* dan *Maximum Dynamic Strength*. (Sultania, dkk.,2009)

Dari Gambar 2.10, Gambar 2.11, dan Gambar 2.12 terjadi peningkatan seiring dengan penambahan *styrene*. *Styrene* dalam hal ini berperan sebagai *plastisizer* dimana sistem *vinyl ester* akan menjadi lebih fleksibel akibat *styrene* yang tidak mengalami *curing*. Peningkatan tersebut terlihat pada peningkatan *Tensile Strength*, *Tensile Modulus*, *Flexural Strength*, *Flexural Modulus*, dan *Impact Strength*.



Laporan Tugas Akhir  
Departemen Teknik Material

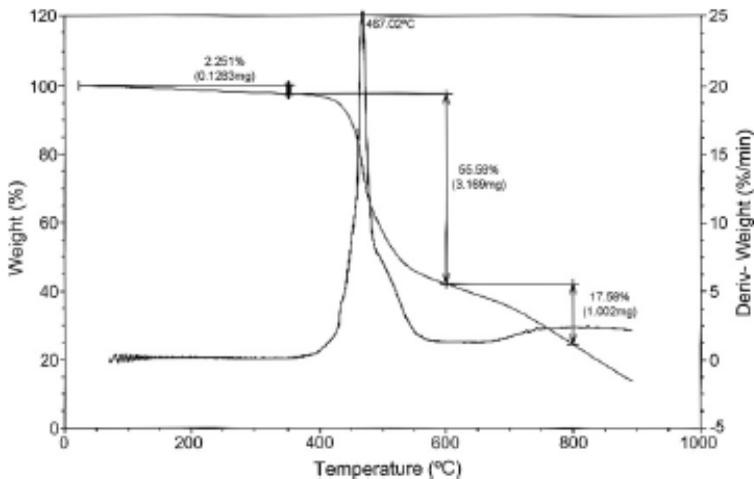


**Gambar 2.13** Mikrografi SEM sampel (a) Epoksi Murni, (b) *EVER + Styrene*, (c) *EVERL-1*, (d) *EVERL-2*, (e) *EVERL-3*, (f) *EVERL-4* (Sultania,2009)

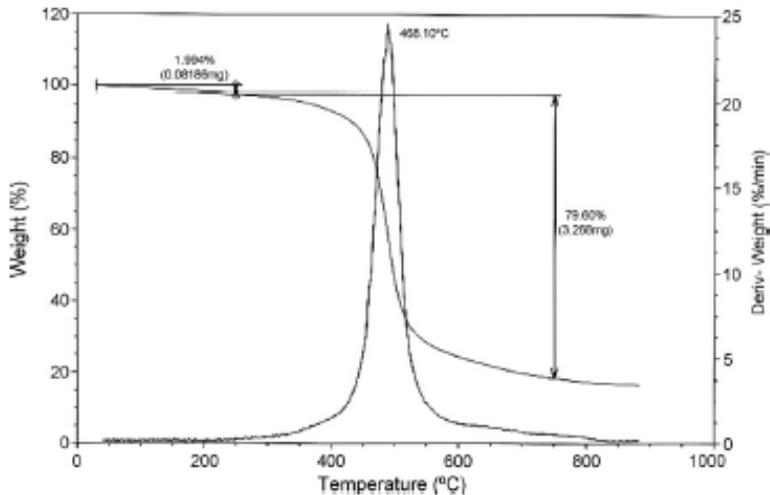


Dari Gambar 2.13, (a) merupakan Epoksi murni dan (b) Vinyl Ester Murni dengan tambahan 40% *styrene*, (c) hingga (f) adalah laminat epoksi dan resin *vinyl ester*. Dari spesimen tersebut terlihat pada Gambar 2.13 (a) jika terbentuk morfologi fasa tunggal, sedangkan pada Gambar 2.11 (b), terjadi morfologi garis yang merupakan bukti propagasi energi akibat beban impact.

Sedangkan pada Gambar 2.13 (c) terjadi *debonding* sempurna antara matriks dan seratnya. Hal ini dapat terjadi akibat adhesi yang rendah antara matriks dan serat yang ditunjukkan dengan permukaan serat yang bersih dan halus. pada Gambar 2.13 (d), (e), dan (f) dimana terjadi ikatan yang lebih baik antara matriks dan serat yang menunjukkan spesimen tersebut dapat menerima beban impact dan tarik dibandingkan sampel *EVERL-1*.



**Gambar 2.14** Grafik TGA sampel Epoksi Murni (*EPN*)



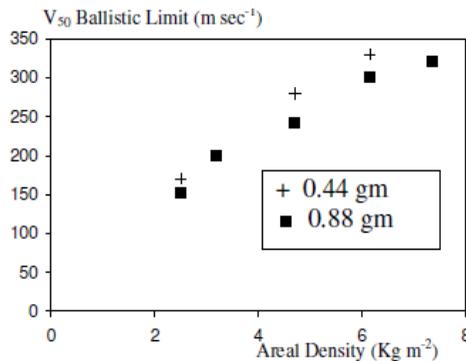
**Gambar 2.15.** Grafik TGA sampel EVER-2

Gambar 2.14 merupakan grafik TGA sampel Epoksi murni dan Gambar 2.15 menunjukkan grafik TGA sampel resin *vinyl ester*. Pada sampel epoksi murni, terjadi dekomposisi massa 2 tahap, dimana terjadi *mass loss* 55,6% hingga temperatur 600°C, dan 17,6% pada temperatur diatas 600°C. Sedangkan dekomposisi satu tahap terjadi pada resin *vinyl ester*. Adanya *styrene* pada resin *vinyl ester* tidak mempengaruhi perilaku alami dari *vinyl ester* saat membentuk *crosslink*. Dari seluruh sampel, dekomposisi awal antara 1-3% muncul pada temperatur 100-300°C, yang mungkin disebabkan oleh *volatilization* sisa larutan, hasil reaksi, serta kelembaban yang terjebak diantaranya. Dekomposisi besar terjadi pada temperature 350-600°C dan 76-80% yang menunjukkan terjadi penurunan massa. Secara umum dari penelitian ini, nilai  $T_i$  dari epoksi resin lebih baik dari *vinyl ester*. Adanya *Methacrylic Acid* pada sistem epoksi dapat memicu terjadinya dekomposisi termal dini.



Dalam penelitian Felicity J. Guild, Mohamed El-Habti dan Paul J. Hogg tahun 2007, peneliti mengoptimasi desain *armour* berbasis keramik/komposit menggunakan pendekatan *finite element analysis*. Material yang digunakan adalah komposit *vinyl ester/E-glass* dengan ketebalan bervariasi antara 1,2 mm hingga 4,1 mm dan *areal density* bervariasi antara 2,5 hingga 7,4 kg m<sup>-2</sup>.

Dari penelitian ini, diperoleh nilai *V<sub>50</sub> Ballistic Limit* dengan nilai 330 m/s seperti pada Gambar 2.16. *V<sub>50</sub> Ballistic Limit* merupakan batas dimana sebuah material mengalami 50% penetrasi oleh proyektil. Nilai *ballistic limit* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai *areal density*.



**Gambar 2.16** *V<sub>50</sub> Ballistic Limit* untuk komposit *Plain Weave E-Glass/Vinyl Ester* (F.J. Guild, dkk. 2007)

Dari Gambar 2.17 dan Gambar 2.18, peneliti membandingkan data prediksi yang dianalisis melalui *finite element analysis* dengan data eksperimental yang diperoleh dengan melakukan pengujian balistik langsung. Diperoleh jika data prediksi yang diperoleh dari simulasi memiliki data yang



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material*

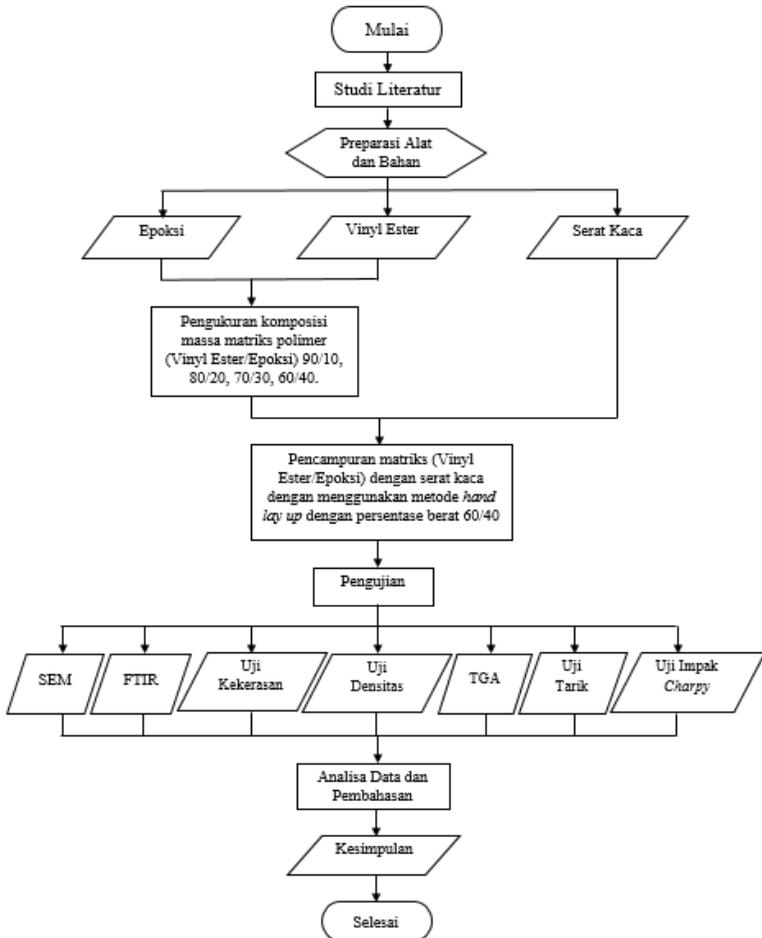
---

mendekati sama dengan hasil yang diperoleh dari data eksperimental yang didapatkan langsung baik untuk massa *Ball Bearing* 0,44 gram dan 0,88 gram.

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### **3.2 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Serat Kaca

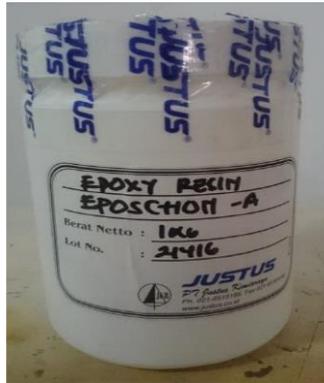
Serat kaca yang digunakan seperti pada gambar 3.2 adalah bahan untuk campuran komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester* yang berupa serat berwarna putih dengan diameter rata-rata 0,01 mm tipe *continuous* merek Taiwan Glass.



**Gambar 3.2** Serat Kaca E-Glass

2. Epoksi

Epoksi yang digunakan seperti pada gambar 3.3 adalah bahan untuk campuran komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester* yang berupa cairan kental berwarna bening. Epoksi ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Eposchon-A.



**Gambar 3.3** Epoksi Eposchon-A

### 3. *Vinyl Ester*

*Vinyl Ester* yang digunakan seperti pada gambar 3.4 adalah bahan untuk campuran komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester* yang berupa cairan kental berwarna kuning. *Vinyl Ester* ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Ripoxy R-802.



**Gambar 3.4** Vinyl Ester Ripoxy R-802

#### 4. Katalis MEKP (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*)

Katalis peroksida merupakan bahan katalis untuk campuran menggunakan vinil ester yang berbentuk cairan berwarna bening. Katalis ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan merk jual MEKPO seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.5** Katalis MEKP.

#### 5. Akselerator *Cobalt Napthenate*

Akselerator *Cobalt Napthenate* merupakan bahan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi katalis MEKPO dengan resin



vinil ester yang berbentuk cairan berwarna ungu. Akselerator Cobalt Naphtalate diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya seperti ditunjukkan pada gambar 3.4.



**Gambar 3.6** Akselerator Cobalt Naphtalate.

### **3.3 Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Wadah Aluminium  
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material vinil ester dan epoksi.
2. *Aluminium Foil*  
Digunakan untuk melapisi cetakan saat membuat komposit serat kaca/epoksi/*vinyl ester*.
3. Timbangan Digital  
Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan dicampurkan.
4. Sendok  
Sendok digunakan untuk mengambil material.
5. Roll  
Roll digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke komposit..
6. Mesin Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)  
SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester*. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom ProX, milik Laboratorium



Karakteristik Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

7. Mesin Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)  
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester*. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Mesin Uji *Thermogravic Analysis* (TGA)  
Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester*. Mesin TGA yang digunakan TGA milik Laboratorium Terpadu FMIPA UNESA merek Linseis.
9. Mesin Uji Tarik  
Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester*. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi *Vinyl Ester* terhadap matriks polimer komposit Epoksi/*Vinyl Ester* pada komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester*, yaitu dengan persentase berat 0%,10%,20%,30%40%. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah serat kaca dengan variable terikatnya adalah serat kaca dengan komposisi 40%

### 3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester* sebagai kandidat komposit anti peluru sebagai berikut:



1. Menyiapkan semua alat dan bahan
2. Memotong serat kaca sesuai kebutuhan.
3. Mengukur massa campuran matriks polimer *Vinyl Ester*/Epoksi perbandingan komposisi massa 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40% , komposisi serat kaca sebesar 40% dari total komposit, inisiator MEKP sebesar 4% berat dan Akselerator *Cobalt Napthenate* sebesar 1%.
4. Mencampurkan Epoksi, Inisiator MEKP, Akselerator *Cobalt Napthenate* dan *Vinyl Ester* ke dalam wadah aluminium ,kemudian diaduk dengan *manual stirring* selama 5 menit hingga merata.
5. Menyiapkan cetakan yang kemudian diberikan Aluminium foil untuk menghindari perekatan komposit dengan cetakan.
6. Menuangkan campuran *Vinyl Ester*/Epoksi pada cetakan setebal kurang lebih 1 mm. Kemudian menyusun serat kaca *continuous* dengan orientasi searah ( $0^\circ$ ).kemudian menuangkan kembali campuran Epoksi/*Vinyl Ester* yang kemudian diratakan dengan roll agar persebaran matriksnya merata. Metode ini merupakan metode *Hand Lay-up*.
7. Spesimen di-*curing*-kan pada temperatur ruangan selama 2-3 jam tanpa pemberian panas dari luar.
8. Melakukan pengujian terhadap spesimen yang dibuat.

### 3.6 Pengujian

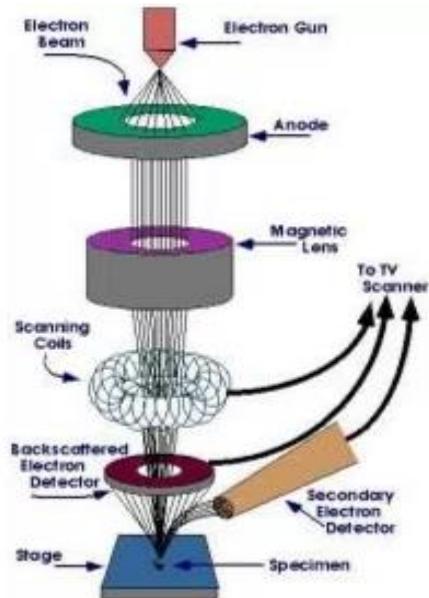
Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, antara lain:

1. Pengujian *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM/EDX)

Pengujian SEM/EDX 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 komposit kitosan-hidtoksiapatit didoping seng yang terbentuk. 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). Pengujian yang dilakukan dilengkapi dengan EDX sehingga dapat mengidentifikasi unsur yang ada pada spesimen. Data hasil SEM/EDX 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 3.7.



Gambar 3.7 Komponen SEM

## 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 Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Chusnul, 2011). Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy 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.



**Gambar 3.8** Mesin FTIR

### 3. Pengujian *Thermogravimetric Analysis*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik.



**Gambar 3.9** Instrumen TGA

#### 4. Pengujian Kekerasan

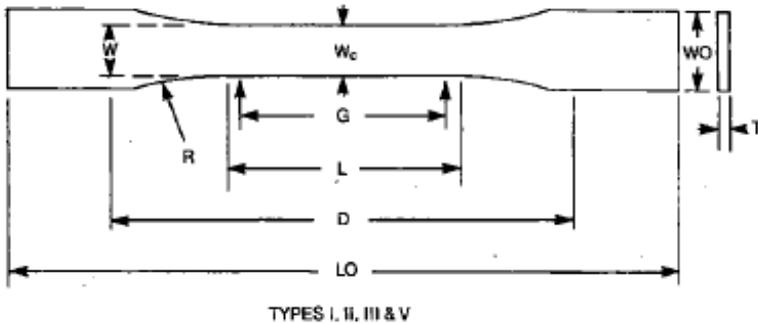
Pengujian kekerasan dilakukan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indentor seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D. Alat durometer dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.10** Alat Durometer Shore D Hardness Test

#### 5. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. dengan menggunakan untuk mengetahui kekuatan komposit komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi untuk menerima beban *out-of-plane*. Salah satu cara untuk menganalisa kemampuan komposit tersebut yakni melalui uji tarik. Sistem mesin uji tarik bekerja dengan memberikan beban tarik secara konstan hingga spesimen mengalami failure. Standar yang digunakan adalah ASTM D638 type 1.



**Gambar 3.11** Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.(ASTM, 2008)

**Tabel 3.1** Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638.(ASTM, 2010)

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	$\pm 0.5$
L	57	57	57	9.53	$\pm 0.5$
WO	19	19	29	9.53	$\pm 6.4$
LO	165	183	246	63.5	Min
G	50	50	50	7.62	$\pm 0.25$
D	115	135	115	25.4	$\pm 5$
R	76	76	76	12.7	$\pm 1$
T	$\leq 7$	$\leq 7$	7 - 14	$\leq 4$	-

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

Untuk memperoleh kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara  $\Delta F$  dan  $\Delta l$ , digunakan persamaan :



$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2}$$

$\sigma$  = *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)

## 6. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa berat per satuan volume komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi. Pengujian ini digunakan untuk menentukan densitas yang dihasilkan dari material yang telah dibuat. Pengujian densitas dilakukan dengan 2 metode, secara teoretis dan eksperimental. Secara teoretis, nilai densitas pada komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi dihitung menggunakan prinsip *rule of mixture* yang dituliskan pada persamaan 4.1. Standar yang digunakan dalam pengujian densitas secara eksperimental adalah ASTM D792-08. Secara eksperimental, perhitungan densitas dilakukan dengan mencari *specific gravity* sebagaimana pada persamaan 4.2.

## 7. Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit komposit Serat Kaca/Epoksi/*Vinyl Ester* terhadap serangan impak.. Metode pengujian impak pada penelitian ini menggunakan mesin uji impak metode *Charpy*. Standar yang digunakan pada pengujian impak *Charpy* untuk komposit Serat Kaca/*Vinyl Ester*/Epoksi menggunakan ASTM D6110-04. Alat yang



digunakan bermerek Wolfrund dengan beban impact maksimum 150 J seperti pada Gambar 3.11



**Gambar 3.12** Mesin Uji Impact *Charpy*

### **3.7 Rancangan Penelitian**

Untuk mendapatkan data yang sistematis, dibuat rancangan penelitian seperti pada Tabel 3.2



**Tabel 3.2** Rancangan Penelitian

Kode Sampel	Material (% Massa)				
	Epoksi	Vinyl Ester	MEKP	<i>Cobalt Napthenate</i>	Serat Kaca
VE 100	0	100	4	1	40
E 10	10	90	4	1	40
E 20	20	80	4	1	40
E 30	30	70	4	1	40
E 40	40	60	4	1	40

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pencampuran antara serat kaca *E-Glass*, Vinyl Ester, dan Epoksi dengan inisiator *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) 4% dan akselerator *Cobalt Napthenate*. Dari proses pembuatan tersebut diperoleh material komposit dengan matriks Vinyl Ester/Epoksi dengan pengisi serat kaca *E-Glass* dengan komposisi matriks Vinyl Ester/Epoksi (100/0) (VE 100), Vinyl Ester/Epoksi (90/10) (E 10), Vinyl Ester/Epoksi (80/20) (E 20), Vinyl Ester/Epoksi (70/30) (E 30), Vinyl Ester/Epoksi (60/40) (E 40). Komposisi matriks dengan pengisinya adalah 60:40. Komposisi massa Epoksi secara keseluruhan berurutan yakni 0, 10, 20, 30 dan 40%. Hasil dari pencampuran tersebut dipreparasi dan kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis sebagai berikut.

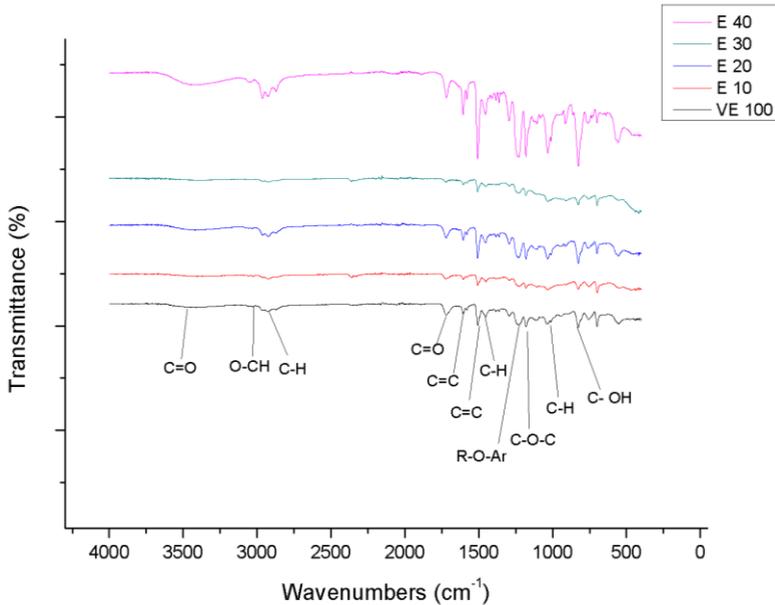
#### 4.1 Analisis Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada material komposit Vinyl Ester/Serat Kaca. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan komposisi Epoksi sebesar 0, 10, 20, 30 dan 40%. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi Vinyl Ester, Epoksi, dan Serat Kaca sebagai komponen penyusun material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi. Dari hasil pengujian yang dilakukan data seperti ada gambar 4.1.

Dilihat dari struktur molekulnya, Vinyl Ester dan Epoksi memiliki kesamaan pada gugus fungsi penyusunnya, yakni gugus aromatik benzena, eter, alkohol dan gugus ester. Hal ini terjadi karena Vinyl Ester disintesa melalui reaksi esterifikasi Epoksi dengan asam monokarboksilat tak jenuh. Perbedaan terbesar dari



Vinyl Ester dan Epoksi adalah rantai karboksilat yang membentuk rantai asiklik diluar gugus epoksi yang hanya ada pada Vinyl Ester.



**Gambar 4.1** Grafik FTIR Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca Dengan Variasi Penambahan Epoksi.



**Tabel 4.1** Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca (VE 100)

Peak	Gugus Fungsi	Jenis Ikatan
3448,49	C=O str.	Ketone
3027,63	OC-H str.	Ethers, Epoxides
2929,59	C-H str.	Alkana (-CH <sub>2</sub> -)
1716,56	C=O str.	(-CO-CO-)/ (Ester)
1604,56	C=C i-p str.	Aromatic Homocyclic
1506,19	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
1453,56	C-H def.	Alkana (-CH <sub>2</sub> -)
1383,13	CH <sub>3</sub> def.	Alkil
1239,07	R-O-Ar str.	Aromatic Esters
1179,91	C-O str.	Ester
1105,85	C-OH str.	Sec. Alcohol
1034,42	C-OH str.	Pri. Alcohol
941,84	C-H def.	Monosubstituted Alkene
826,13	C-H def.	Trisubstituted Alkene

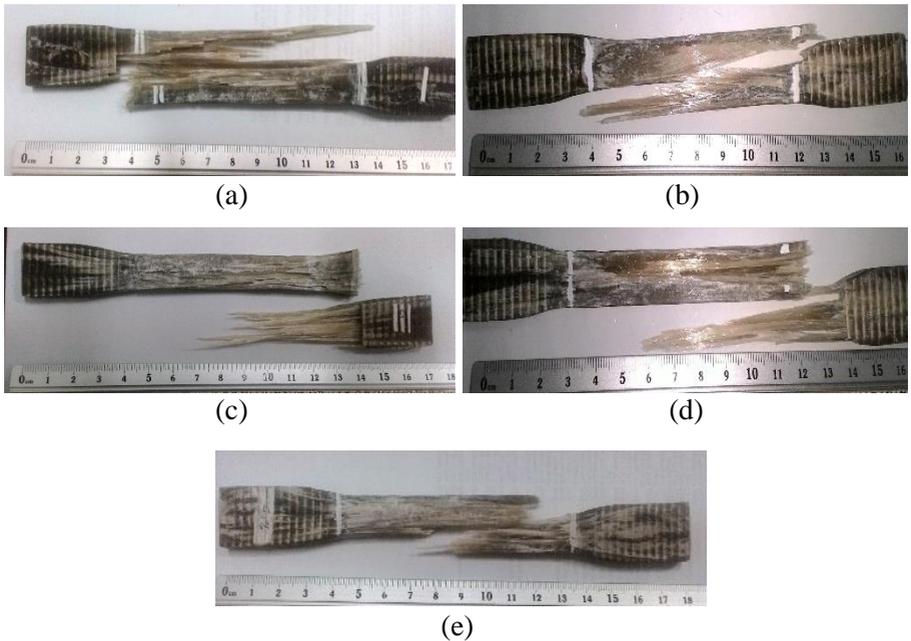
Dari Tabel 4.1, terlihat beberapa daerah serapan yang dapat menunjukkan jika material tersebut adalah Vinyl Ester. Pada daerah serapan 1716,56  $\text{cm}^{-1}$ , muncul gugus C=O yang mengalami peregangan. Pada daerah serapan 1506,19  $\text{cm}^{-1}$ , muncul gugus benzena C=C yang bergetar, gugus alkohol C-OH yang meregang dan gugus C-O yang mengalami peregangan terekam pada daerah serapan 1034,42  $\text{cm}^{-1}$  dan 1179,91  $\text{cm}^{-1}$ . Pada daerah serapan 3448,49  $\text{cm}^{-1}$  terdapat gugus C=O yang meregang. Dari Gambar 4.1, terlihat jika tidak ada gugus fungsi baru yang muncul pada material seiring dengan bertambahnya epoksi. Hal ini menunjukkan jika tidak ada gugus fungsi dengan ikatan kovalen baru yang terbentuk. Matriks yang terbentuk membentuk *blend*. *Blend* dalam polimer menurut Rabek (1983) merupakan campuran polimer yang terbentuk tanpa membentuk



ikatan kovalen dari komponen penyusunnya. Hal ini terjadi pada matriks Vinyl Ester/Epoksi yang membentuk *polymer blend*.

#### **4.2. Analisis Morfologi Hasil SEM Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca**

Analisis morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada material serta menentukan ukuran serat satuan pada Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah penampang hasil uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi.



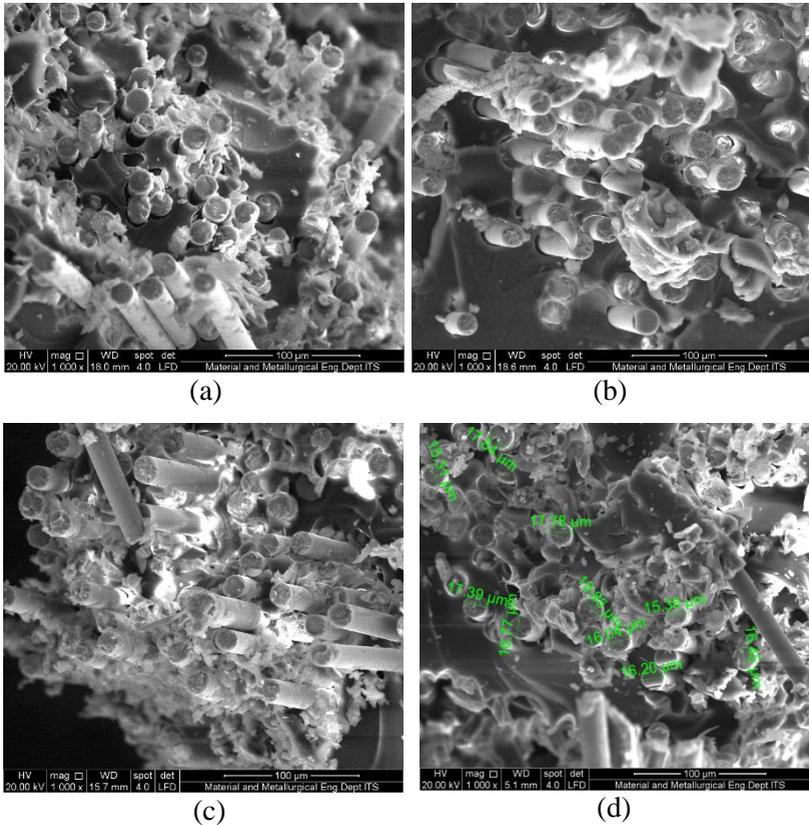
**Gambar 4.2** Bentuk patahan spesimen uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40%

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca. Dari seluruh spesimen, hampir semua bentuk patahan yang terjadi cenderung berupa *pull out* dari serat. hal ini terlihat dari banyaknya serat yang terlihat dari patahan yang cenderung mencuat keluar.

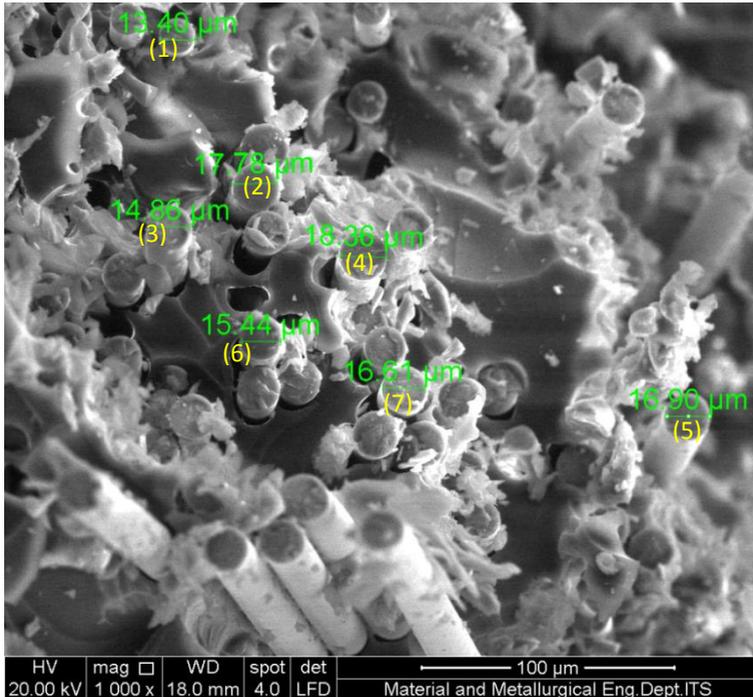
Gambar 4.3 menunjukkan hasil mikrofografi SEM bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan perbesaran 1000x. Gambar



ini menjelaskan pola patahan yang terjadi pada Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi.



**Gambar 4.3** Mikrografi SEM material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, perbesaran 1000x



**Gambar 4.4** Mikroskopi SEM permukaan patahan uji tarik material komposit Serat Kaca/Vinyl Ester 100% dengan ukuran seratnya.

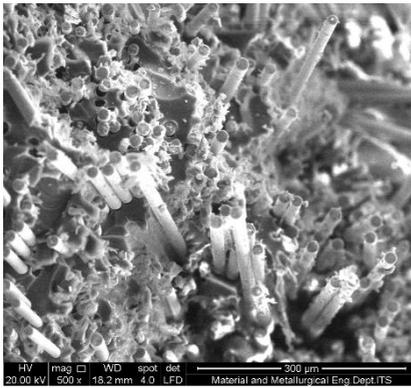
Dari Gambar 4.4, terlihat material berbentuk silinder yang merupakan serat kaca sebagai pengisi komposit. Diameter dari serat tersebut dapat diketahui dengan mengukur diameter dari beberapa titik serat yang terlihat dan mengambil rata-rata ukuran serat tersebut. Diameter dari beberapa titik serat dituliskan dalam Tabel 4.2.



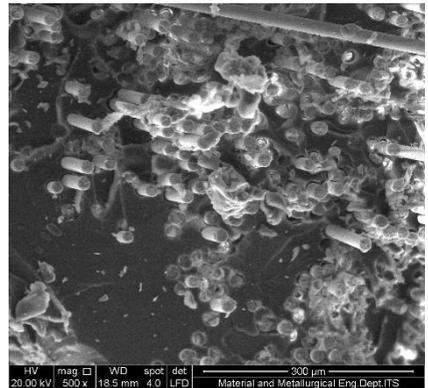
**Tabel 4.2** Diameter Serat Kaca pada Material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi

Kode Serat	Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata Diameter ( $\mu\text{m}$ )
1	13,40	
2	17,76	
3	14,86	
4	18,36	$16,19 \pm 1,73$
5	16,90	
6	15,44	
7	16,61	

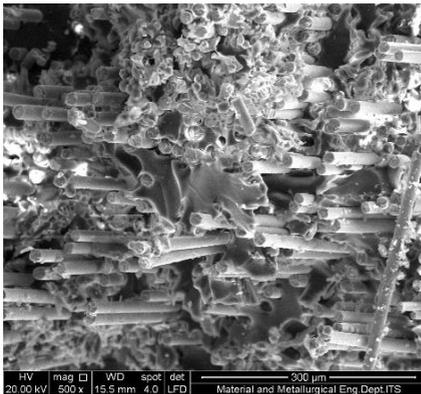
Dari Tabel 4.4, diketahui nilai beberapa titik serat seperti pada Gambar 4.4 antara lain, pada titik 1 diameter serat berukuran  $13,40 \mu\text{m}$ . pada titik 2, diameter serat berukuran  $17,76 \mu\text{m}$ . Pada titik 3, diameter serat berukuran  $14,86 \mu\text{m}$ , titik 4 diameter serat berukuran  $18,36 \mu\text{m}$ , titik 5 diameter serat berukuran  $16,90 \mu\text{m}$ , titik 6 diameter serat berukuran  $15,44 \mu\text{m}$ , dan pada titik 7 diameter serat berukuran  $16,61 \mu\text{m}$ . Nilai rata rata diameter serat kaca tersebut berukuran  $16,19 \mu\text{m}$ . diameter ini merupakan nilai diameter dari satu serat kaca.



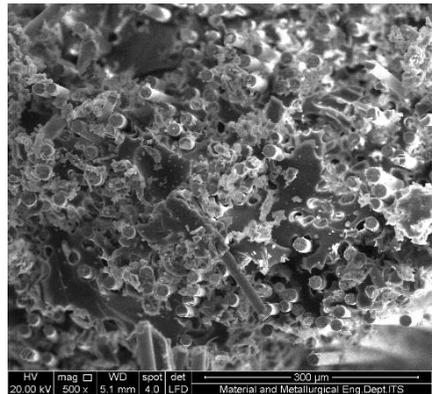
(a)



(b)

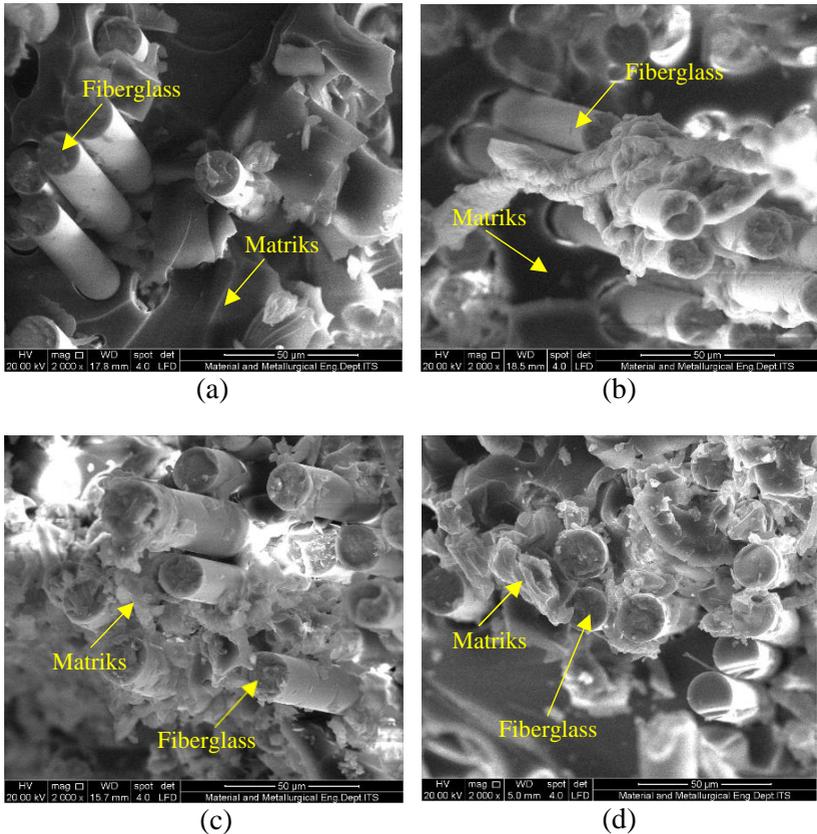


(c)



(d)

**Gambar 4.5** Mikrografi SEM permukaan patahan uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi perbesaran 500x dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20% dan (d) 30%



**Gambar 4.6** Mikrografi SEM permukaan patahan uji tarik material Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi perbesaran 2000x dengan penambahan epoksi: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20% dan (d) 30%



Dari Gambar 4.3, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, terlihat jika keseluruhan serat tersebut mengalami *fiber pullout*. Hal ini terlihat dari lepasnya serat dari matriks dari setiap gambar SEM tersebut. Dari spesimen tersebut terlihat pada sampel VE 100, patahan yang terjadi *Interfacial debonding*, dimana terlihat jika serat kaca pada sampel tersebut lepas dari matriksnya secara keseluruhan, dan dengan meningkatnya jumlah epoksi, *interface* yang terbentuk antara serat kaca dan matriks meningkat. Menurut Sultania (2009), hal ini dapat terjadi pada komposit serat kaca/vinyl ester pada umumnya yang disebabkan oleh adhesi yang rendah antara matriks *vinyl ester* dengan permukaan serat kaca. *Vinyl Ester* merupakan resin yang dihasilkan dari reaksi antara resin epoksi dengan asam karboksilat tak jenuh teretilenisasi yang menghasilkan ujung rantai tak jenuh (rantai asiklik), adanya rantai asiklik ini dapat membentuk *crosslink* dengan adanya inisiator dan akselerator seperti inisiator peroksida dan akselerator kobalt (Raju, 2014). Epoksi yang ditambahkan pada sistem tidak memiliki rantai asiklik tersebut, dan mengakibatkan tidak terbentuknya *crosslink* saat *curing* sehingga menurunkan sifat mekaniknya.

### **4.3. Analisis Densitas Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca**

Setiap material memiliki karakteristik masing masing. Pembuatan komposit dilakukan untuk memperoleh karakteristik unggul dari setiap material yang dicampurkan. Salah satu karakteristik yang dapat dianalisa adalah dengan menentukan densitas dari material. Tujuan menentukan densitas ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari komponen-komponen pencampur untuk menghasilkan suatu material yang memiliki keunggulan komponen-komponen penyusun material tersebut. Pada pengujian densitas dalam penelitian ini, digunakan dua metoda untuk menentukan densitas, yakni secara teoretis dan eksperimental. Kedua cara ini dipilih untuk membandingkan nilai



yang diperoleh secara teoretis dan eksperimen agar hasil yang diperoleh sesuai.

Metode pengukuran densitas dengan teoretis dilakukan dengan perhitungan menggunakan prinsip *rule of mixture* dari komposit dengan menggunakan fraksi massa seperti pada persamaan 4.1

$$\rho_{composite} = (\rho_a \times W_a) + (\rho_b \times W_b) + (\rho_c \times W_c) \quad (4.1)$$

Sedangkan, pengukuran densitas dengan metode eksperimental dilakukan dengan mengikuti standar ASTM D 792-08. Metode ini merupakan perhitungan densitas dengan menentukan densitas dengan menggunakan perbedaan massa komposit pada saat di udara dan di dalam air untuk menentukan *specific gravity* yang kemudian dibandingkan dengan densitas air. Rumus mencari *specific gravity* pada material dituliskan dalam persamaan 4.2.

$$Specific\ Gravity = \frac{mass\ in\ air\ (g)}{mass\ in\ water\ (g)} \times water\ density\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (4.2)$$

Berikut pada tabel 4.3 adalah densitas dari setiap material penyusun komposit.

**Tabel 4.3** Densitas Material Penyusun Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Material Penyusun	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
Serat Kaca E-Glass	2,6
Vinyl Ester	1,138
Epoksi	1,56
<i>Methyl Ethyl Ketone Peroxide</i>	1,17
<i>Cobalt Napthenate</i>	0,96



Dari pengukuran densitas secara teoretis, diperoleh nilai densitas seperti pada Tabel 4.4 berikut

**Tabel 4.4** Nilai Densitas Teoretis Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Komposisi Epoksi (% wt)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
0	1,722
10	1,743
20	1,773
30	1,798
40	1,824

Dari pengukuran densitas secara eksperimental, diperoleh nilai densitas seperti pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5** Nilai Densitas Eksperimen Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Komposisi Epoksi (% wt)	Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )
0	1,544
10	1,458
20	1,523
30	1,562
40	1,492

Dari Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, nilai densitas teoretis dan eksperimental yang diperoleh memiliki selisih yang rendah. Dari hasil eksperimen tersebut, nilai yang diperoleh cenderung



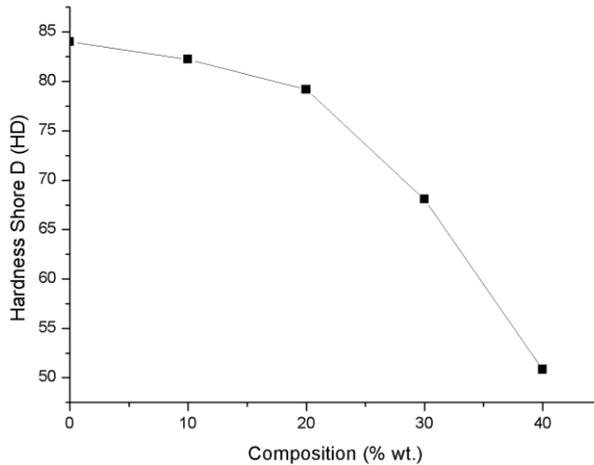
fluktuatif, dimana nilai densitas tertinggi secara eksperimental berada pada komposisi epoksi 30% dengan nilai densitas 1,562 g/cm<sup>3</sup>. Dari nilai yang diperoleh menunjukkan jika material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca memiliki densitas yang kecil jika dibandingkan dengan logam seperti baja ( $\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$ ), sehingga material komposit ini dapat dikategorikan sebagai material yang ringan. Hal ini sesuai dengan Callister (2007), jika secara umum berat komposit jauh lebih ringan daripada baja.

#### **4.4 Analisis Sifat Mekanik (Kekerasan) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca**

Sifat mekanik pada sebuah material penting untuk diketahui agar material tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan sifat dan kebutuhannya. Salah satu cara dalam menentukan sifat mekanik sebuah material adalah dengan mengukur kekerasannya. Pengukuran kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik yang diperoleh dari sebuah material. Material yang diuji kekerasannya adalah material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat

Kaca. Pengujian kekerasan pada material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca menggunakan standar ASTM D2270 – Durometer Test dengan indenter Shore-D.

Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata kekerasan Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi sesuai penambahan epoksi pada matriks nya secara berurutan 0%,10%,20%,30%,40%,yaitu : 84 ; 82,21; 79.16; 68.08; dan 50.83 HD



**Gambar 4.7** Grafik Nilai *Hardness Shore D* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Dari Gambar 4.7, terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan pada komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca seiring dengan meningkatnya komposisi epoksi pada komposit tersebut.

Pada komposisi 0% berat epoksi, nilai kekerasan rata rata pada komposit tersebut adalah 84 *Hardness Shore D*. Nilai kekerasan ini dikatakan cukup tinggi. Namun, dengan bertambahnya jumlah persen berat epoksi pada komposit, nilai kekerasan komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami penurunan. Dimana penurunan yang tajam dari nilai kekerasan *Shore D* terjadi pada komposisi 20% berat epoksi dan setelahnya. Hal ini dapat terjadi berkaitan dengan *curing* pada matriks komposit itu sendiri. Menurut Suspene (1991), rantai Vinyl ester memiliki basis *curing* berupa *free-radical polymerization* yang terdiri atas gugus polifungsi akrilat atau metakrilat yang larut dalam stirena dan memicu polimerisasi. Dikarenakan jumlah



rantai epoksi yang meningkat, sedangkan rantai vinyl ester yang digunakan untuk membentuk *crosslink* dengan epoksida yang jumlahnya terbatas, maka kelebihan gugus epoksida ini tidak membentuk *crosslink network* yang baik, sehingga menurunkan nilai Hardness. Perbedaan agen *curing* yang digunakan untuk *curing* Vinyl Ester tidak sesuai dengan *curing agent* yang seharusnya digunakan untuk membentuk *crosslink network* pada Epoksi, karena Epoksi secara umumnya dapat *curing* dengan *hardener* berbasis amina.

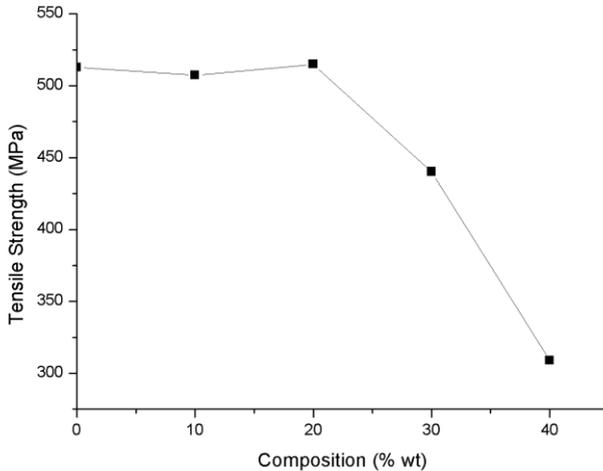
#### **4.5 Analisis Sifat Mekanik (Uji Tarik) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca**

Metode lain yang digunakan dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material adalah dengan melakukan *Tensile Test* atau Uji Tarik. Metode Uji tarik ini merupakan metode umum dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik pada komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca adalah ASTM D638 tipe 1 dimana standar ini merupakan standar pengujian tarik khusus untuk material polimer dan komposit berserat.

Pada pengujian ini didapatkan nilai beban maksimal dan kekuatan tarik maksimal. Untuk material komposit serat kaca/vinylester (VE 100) didapatkan beban tarik maksimal 24620.8 N dan kekuatan tarik maksimal 512.9 Mpa. Lalu untuk Komposit Serat Kaca/Vinylester/Epoksi 10% (E 10) didapatkan beban tarik maksimal 25243.2 N dan kekuatan tarik maksimal 507.3 Mpa. Untuk Komposit Serat Kaca/Vinylester/Epoksi 20% (E 20) didapatkan beban tarik maksimal 25176.6 N dan kekuatan tarik maksimal 514.9 Mpa. Kemudian untuk Komposit Serat Kaca/Vinylester/Epoksi 30% (E 30) didapatkan beban maksimal kekuatan tarik sebesar 20613.4 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 440.25 Mpa. Komposit Serat Kaca/Vinylester/Epoksi

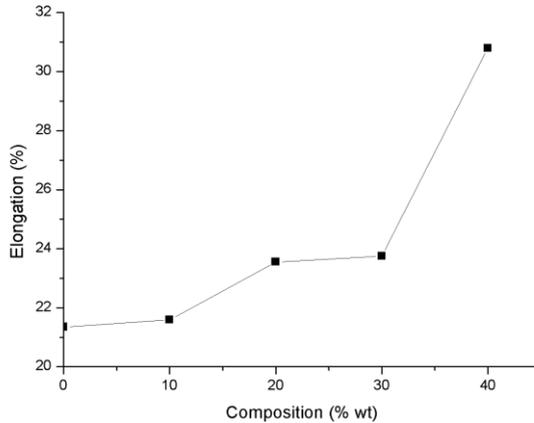


40% (E 40) didapatkan beban tarik maksimal 14825.8 N dan kekuatan tarik maksimal sebesar 380.85 Mpa. Pengaruh variasi penambahan epoksi pada matriks terhadap kekuatan tarik maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8



**Gambar 4.8** Grafik Nilai *Tensile Strength* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat

Dari Gambar 4.8, Nilai kekuatan tarik Komposit Serat Kaca/Vinylester/Epoksi memiliki tren yang menurun namun terjadi nilai tarik optimum pada penambahan 20% epoksi pada matriks komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi.



**Gambar 4.9** Grafik Nilai *Elongation* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat

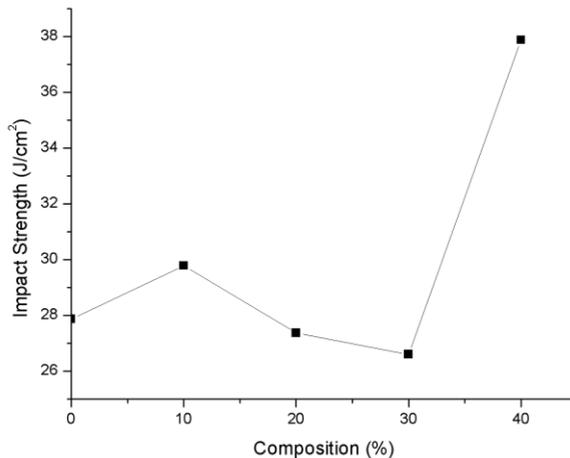
Dari Gambar 4.9, Nilai elongitas dari material komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami peningkatan seiring dengan penambahan epoksi pada matriks. Nilai elongitas tertinggi berada pada penambahan 40% epoksi dengan nilai *Elongation* mencapai 30,8 %. Menurut Sultania (2009), adanya *microgel* (bagian yang membentuk *crosslink* yang dikelilingi sistem resin yang tidak mengalami *curing*) meningkatkan fleksibilitas sehingga dapat meningkatkan nilai *strain-to-failure* dari sistem. Hal ini sesuai terjadi pada sistem komposit ini, dimana *vinyl ester* yang membentuk *crosslink*, dikelilingi oleh epoksi yang tidak mengalami *curing*, sehingga terjadi fenomena dimana sistem tersebut berikatan tetapi karena tidak mengalami *curing* sehingga



nilai kekuatannya menurun tetapi nilai elongasinya meningkat.

#### 4.6 Analisis Sifat Mekanik (Uji Impak) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Metode Uji Impak digunakan untuk menentukan besar beban kejutan yang dapat diterima oleh sebuah material. Jenis pengujian metode *Charpy* ini merupakan pengujian *Low Velocity Impact* dimana nilai kecepatan tumbukan termasuk pada kategori rendah. Standar yang digunakan pada pengujian impak komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca ini adalah ASTM D6110-10.



**Gambar 4.10** Grafik Nilai *Impact Strength* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan Penambahan Epoksi dalam Persen Berat



Dari Gambar 4.10, terlihat jika nilai *impact strength* mengalami fluktuasi dengan nilai optimum pada penambahan epoksi 40% dengan nilai *Impact Strength* 37,87 J/cm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan impak cenderung berkebalikan dengan nilai kekuatan tarik, sehingga jika dilihat dari kekuatan tarik pada komposit dengan penambahan epoksi 40% memiliki nilai yang rendah, maka nilai kekuatan impak nya akan menjadi lebih tinggi.

Menurut Sultania (2009), nilai impak yang tinggi ini disebabkan oleh adanya komponen yang tidak membentuk *cross-link*, dalam hal ini adalah epoksi, yang menyebabkan fleksibilitasnya meningkat. Nilai impak yang tinggi juga disebabkan adanya serat yang membantu menyalurkan energi impak, sehingga nilai *impact strength* yang diperoleh dari komposit serat lebih tinggi dari pada sistem matriksnya itu sendiri.

Menurut Wonderly, dkk. (2005), dalam penelitiannya dengan menggunakan metode impak balistik, diperoleh jika komposit *vinyl ester*/serat kaca memiliki energi serapan hingga maksimal 50 Joule. Pada Tabel 4.9, energi impak tertinggi berada pada nilai 50 Joule, sehingga hasil yang diperoleh sesuai.

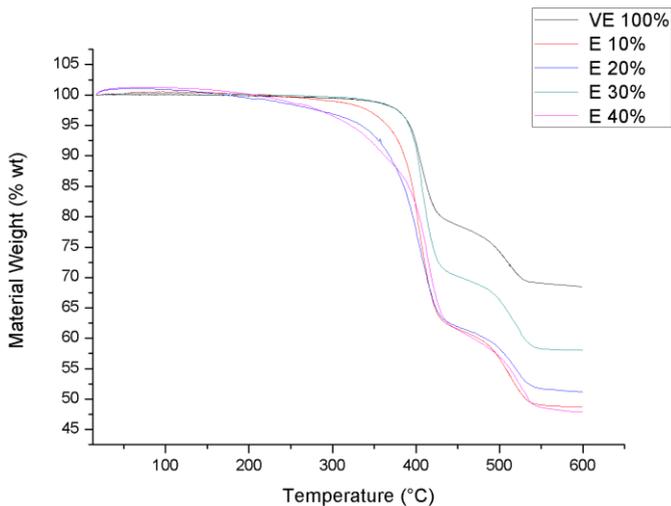
#### **4.7. Analisis Stabilitas Termal (Uji TGA) Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca**

Pengujian TGA ditujukan untuk mengetahui degradasi material akibat kenaikan temperatur. Hasil yang diperoleh dari TGA dapat digunakan untuk menyatakan batas temperatur kerja dari material sebelum mengalami degradasi. Temperatur pemanasan yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 – 600 °C dengan laju pemanasan 10° C/menit.

Gambar 4.11 menunjukkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi penambahan epoksi dalam persen berat pada komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca. Kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi penambahan



epoksi menunjukkan penurunan presentase massa terhadap kenaikan temperatur.  $T_5$  didapatkan dari penurunan presentase massa tepat saat massa dari komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca berkurang 5% atau bersisa 95%.  $T_5$  menunjukkan awal terjadinya dekomposisi suatu material komposit polimer.

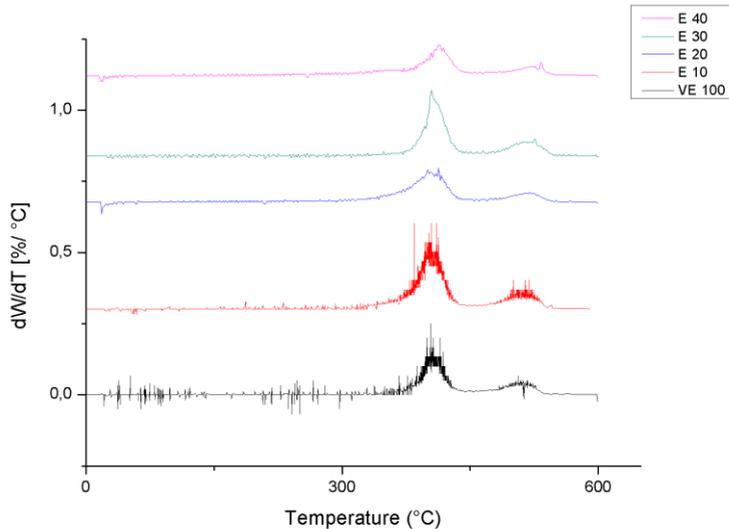


**Gambar 4.11** Grafik Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Persen Berat

Dari grafik 4.11, pada temperatur 100-350°C untuk keseluruhan spesimen, terjadi penurunan berat awal sebesar 1-3% berat spesimen yang disebabkan oleh adanya kelembaban pada material tersebut, pada temperatur 350-430°C pada keseluruhan spesimen terjadi tahapan dekomposisi mayor (*major decomposition step*) dengan kisaran 20-37,5% berat spesimen



yang disebabkan oleh gasifikasi matriks vinil ester/epoksi. Pada temperatur 430-530°C terjadi tahapan degradasi minor berupa sisa epoksi berlebih yang baru tergedradasi. Sedangkan pada temperature 530-600°C, tidak ada penurunan massa secara signifikan, karena yang tersisa pada temperatur tersebut berupa material serat kaca. Menurut Sultania (2009), pada tahapan inisiasi dekomposisi, terjadi inisiasi dekomposisi berupa kelembaban yang ada dalam material, pada tahap dekomposisi mayor, terjadi degradasi berupa reaksi sekunder dari dehidrogenisasi, fragmentasi lanjutan pada makromolekul, dan gasifikasi matriks. Sedangkan pada tahapan dekomposisi minor, degradasi yang terjadi dapat berupa dekomposisi sisa epoksi yang terdegradasi. Hal ini disebabkan adanya kelebihan epoksi pada sistem matriks yang menyebabkan vinil ester tidak begitu stabil dan terjadi dekomposisi prematur pada vinil ester.



**Gambar 4.12** Kurva *Derivative Thermogravimetric* (DTG) dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Persen Berat.

Gambar 4.12 menunjukkan kurva *Derivative Thermogravimetric* (DTG) dari variasi penambahan epoksi dalam persen berat pada komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca. Kurva *Derivative Thermogravimetric* (DTG) dari variasi komposisi penambahan epoksi menunjukkan penurunan presentase massa per temperatur terhadap kenaikan temperatur. Temperatur akhir terjadinya dekomposisi polimer, ditunjukkan oleh temperatur maksimum penurunan presentase massa per temperatur terhadap kenaikan temperatur yang disebut  $T_{maks}$ .



Dari Gambar 4.12 dan Tabel 4.10, Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 403,6°C. Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca/Epoksi 10% mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 412,7 °C. Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca/Epoksi 20% mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 400°C. Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca/Epoksi 30% mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 405°C. Komposit Vinyl Ester/Serat Kaca/Epoksi 40% mengalami  $T_{maks}$  pada temperatur 403 °C.

**Tabel 4.6** Nilai  $T_5$  dan  $T_{maks}$  dari Variasi Penambahan Epoksi pada Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dalam Porsen Berat

Komposisi Epoksi (%)	$T_5$	$T_{maks}$
0	392,5	403,6
10	365,7	412,7
20	334	400
30	391	405
40	321	403

Dari Tabel 4.10, Nilai  $T_5$  yang diperoleh dari pengujian tersebut mengalami tren penurunan, namun nilai  $T_5$  pada komposisi 30% epoksi mengalami kenaikan yang tinggi. Nilai  $T_{maks}$  cenderung mengalami tren acak, dengan nilai optimum  $T_{maks}$  pada komposisi epoksi 10%.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian pembuat Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca dengan variasi penambahan epoksi dalam persen berat, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat mekanik pada Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami penurunan pada nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan, tetapi mengalami peningkatan pada nilai elongasi seiring dengan penambahan Epoksi. Secara morfologi, Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami peningkatan yang signifikan dalam pembentukan ikatan antara matriks dan serat kaca.
  - Kekuatan Tarik Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca memiliki nilai optimum pada penambahan 20% Epoksi dengan nilai kekuatan 514,9 MPa.
  - Nilai kekerasan Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami penurunan dengan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada penambahan 0% epoksi sebesar 84 HD dan nilai terendah pada penambahan 40% epoksi sebesar 50,83 HD.
  - Nilai Elongasi Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami peningkatan dengan nilai optimum pada penambahan 40% epoksi dengan besar elongitas 30,8%
  - Nilai Kekuatan Impak Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami peningkatan dengan nilai optimum pada penambahan 40% epoksi dengan besar kekuatan impak 37,87 J/cm<sup>2</sup>
  - Secara morfologi, pembentukan *interface* antara serat kaca dan matriks Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami peningkatan.



- Tidak ada gugus fungsi baru yang muncul dengan penambahan epoksi, matriks vinil ester/epoksi membentuk *polymer blend*.
- 2. Stabilitas Termal Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca mengalami penurunan seiring dengan penambahan epoksi.
- 3. Sesuai dengan studi literatur yang ada dan disesuaikan dengan hasil eksperimen dimana pada material yang sama dengan metode impak balistik dapat menahan energi hingga 50 Joule, maka material ini dapat menjadi kandidat *body armor*.

## 5.2. Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya. Antara lain:

- Menggunakan sistem vakum untuk mengurangi terbentuknya *bubble* pada matriks
- Melakukan uji impak balistik untuk mendapatkan data yang lebih aktual untuk aplikasi pada *body armor*
- Pada pengujian impak, dilakukan variasi temperatur untuk memperoleh nilai yang optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 2008. *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*. Amerika Serikat: National Institute Of Justice
- Augustsson, Curt, 2004. *NM Epoxy Handbook*. 3rd penyunt. Ytterby: Nils Malmgren.
- Babu, M. Ganesh, R. Velmurugan dan N.K. Gupta. 2007. *Heavy Mass Projectile Impact on Thin and Moderately Thick Unidirectional Fiber/Epoxy Laminates*. Latin American Journal of Solids and Structures. p. 247-265.
- Callister, William D. dan David G. Rethwisch. 2010. *Material Science and Engineering An Introduction*. Amerika Serikat: John Wiley and Sons.
- Cassis, Frank A. dan Robert C. Talbot. 1998. *Polyester and Vinyl Ester Resins* dalam Peters, S.T.(Ed.) *Handbook of Composites*. California: Chapman & Hall.
- Cavalarro, Paul V. 2011. *Soft Body Armor: an Overview of Materials, Manufacturing, Testing and Ballistic Impact Dynamics*. Rhode Island: Naval Undersea Warfare Center Division.
- Ensiklopedia Cambridge. 2011. *Ballistic*. [Online] Available at: ([dictionary.cambridge.org/dictionary/english/ballistic](http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/ballistic)) [Diakses tanggal 1 Februari 2017]
- Grant, Heath. Bruce Kubu, Bruce Taylor, Jack Roberts, Megan Collins, Daniel J. Woods. 2012. *Body Armor Use, Care, and Performance in Real World Conditions: Findings from a National Survey*. Amerika Serikat: National Institute of Justice.
- Guild, Felicity J., Mohamed El-Habti dan Paul J. Hogg. 2007. *Ballistic Impact of Composite Laminates: Experiments and Simulations*. 16<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials. p. 1-4.
- Hani, A. R. Azrin, A. Roslan, J. Mariatti dan M. Maziah. 2012. *Body Armor Technology: A Review of Materials,*

- Construction Techniques and Enhancement of Ballistic Energy Absorption*. Advance Material Research Vols 488-489. p. 806-812.
- Hart, Sarah V. 2001. *Selection and Application Guide to Personal Body Armor*. Amerika Serikat: National Institute of Justice.
- K Dictionaries. S.v. “*Bulletproof Vest*”.<http://www.thefreedictionary.com/bulletproof+vest>) [Diakses tanggal 20 Februari 2017]
- Nindhia, Tjokorda Gde Tirtha dan Daud Simon Anakottapary. 2011. *Baju Tahan Peluru Ekonomis Terbuat Dari Komposit Polimer Diperkuat Butiran Silikon Karbida dan Serat Karbon*. Bali: Universitas Udayana.
- Rabek, JF. 1983. *Experimental Methods in Polymer Chemistry*. New York : John Wiley.
- Raju dan Gangdhara Prusty. 2014. *On the Effect of Post-Curing Temperature of Vinylester/E-Glass Composites with Wet Hand Lay-up and VARTM: An Experimental Investigation for Material Characterization*. 3<sup>rd</sup> International Conference on Polymer Processing and Characterisation. p. 1-4.
- Slama, William R. 1996. *Polyester and Vinyl Ester Coatings*. Journal of Protective Lining and Coating. pp 88-104.
- Sultania, Minaksha, S.B. Yadaw, J.S.P. Rai dan Deepak Srivastava. 2010. *Laminates based on vinyl ester resin and glass fabric: A study on the thermal, mechanical and morphological characteristics*. Materials Science and Engineering A 527. p. 4560–4570.
- Ubeyli, Mustafa, R. Orhan Yıldırım, dan Bilgehan O gel. 2007. *On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors*. Materials and Design 28. p. 1257-1262. Elsevier.
- Williams, Allan. 2003. *The Knight and The Blast Furnace*. Boston: Brill.

- Wonderly C., Joachim Grenestedt, Goran Fernlund and Elvis Cepus. 2005. *Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites*. *Composites Part B*. 36: 417-426.
- Vaughan, Dennis J. 1998. *Fiberglass Reinforcement* dalam Peters, S.T. (Ed.) *Handbook of Composites*. California: Chapman & Hall.
- Zubaidi, dkk. 2009. *Pembuatan Rompi Anti Peluru Menggunakan Bahan Dasar Serat Poliester*. Bandung: Balai Besar Tekstil.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Lampiran A

#### Perhitungan Densitas Eksperimental

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\text{mass in air (g)}}{\text{mass in water(g)}} \times \text{water density} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

Contoh perhitungan:

VE 100-1

massa di udara = 1,2542 gram

massa di air = 0,8185 gram

densitas air = 1000 kg/m<sup>3</sup> = 1 gram/cm<sup>3</sup>

$$= \frac{1,2542 \text{ g}}{0,8185 \text{ g}} \times 1 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_{VE100-1} = 1,5323 \text{ g/cm}^3$$

#### 1. Sampel VE 100

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	Specific Gravity (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
VE 100 - 1	1,2542	0,8185	1,5323	1,5323	1,5465
VE 100 - 2	1,8414	1,1798	1,5607	1,5607	

## 2. Sampel E 10

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	<i>Spesific Gravity</i> (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
E 10 - 1	1,6547	1,096	1,5097	1,5097	1,4613
E 10 - 2	2,0425	1,4457	1,4128	1,4128	

## 3. Sampel E 20

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	<i>Spesific Gravity</i> (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
E 20 - 1	1,8317	1,1037	1,6596	1,6596	1,527
E 20 - 2	1,8972	1,3605	1,3945	1,3945	

## 4. Sampel E 30

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	<i>Spesific Gravity</i> (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
E 30 - 1	1,894	1,2434	1,5232	1,5232	1,565
E 30 - 2	1,9502	1,2137	1,6068	1,6068	

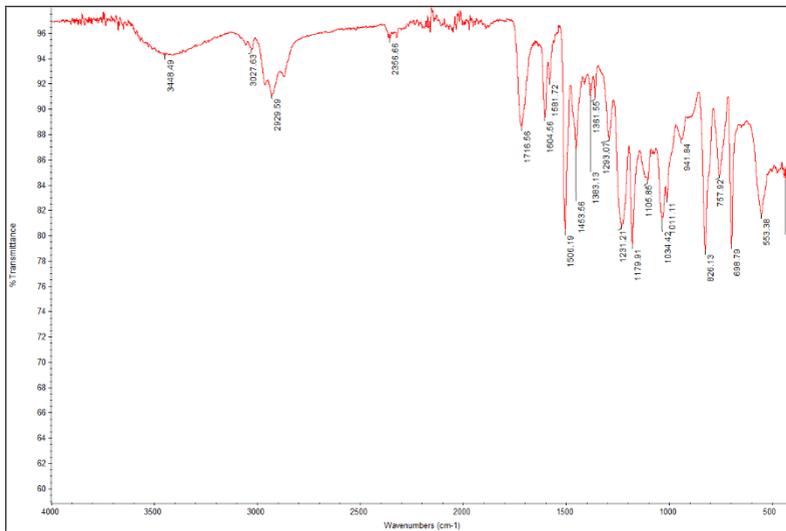
5. Sampel E 40

Kode Sampel	Massa di Udara (g)	Massa di Air (g)	<i>Spesific Gravity</i> (g)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
E 40 - 1	1,2166	0,8155	1,4918	1,4918	1,4950
E 40 - 2	1,6845	1,1244	1,4981	1,4981	

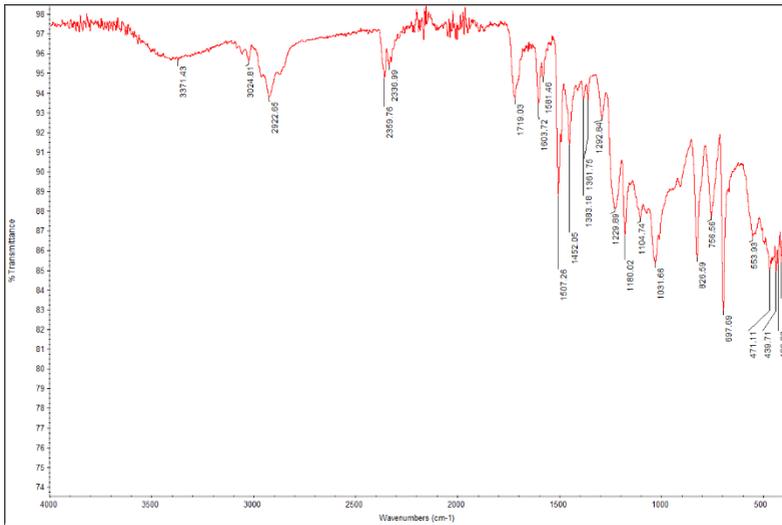
## Lampiran B

### Pengujian FTIR

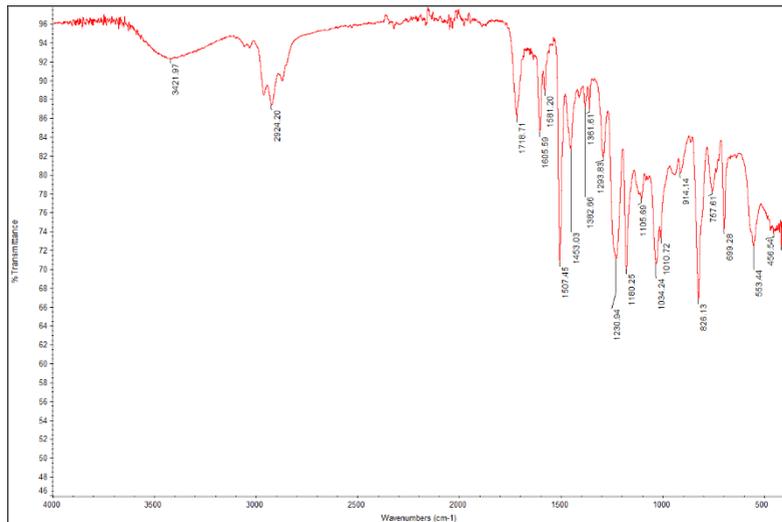
#### 1. Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester 100% (VE 100)



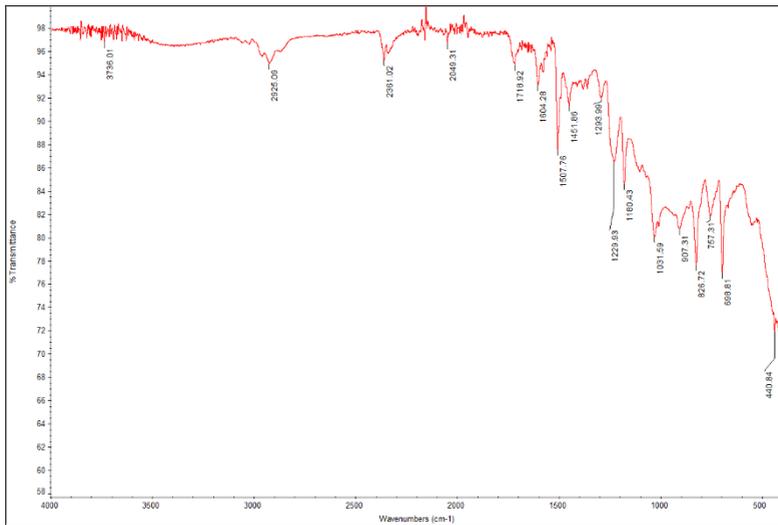
## 2. Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi 10% (E 10)



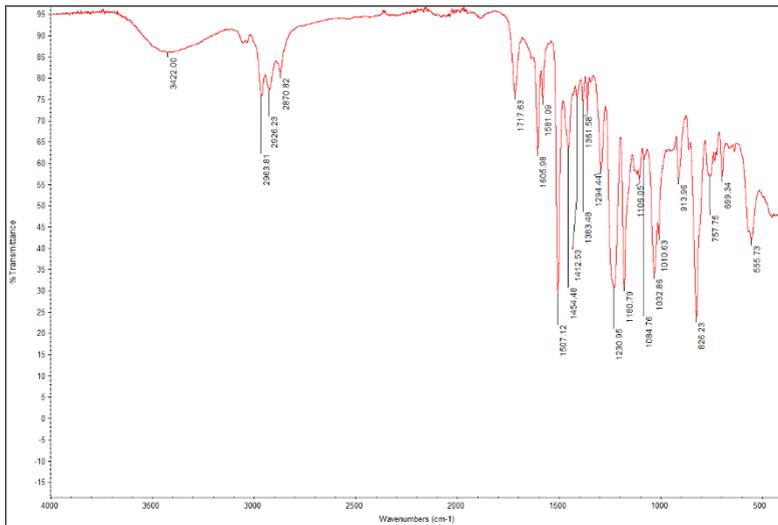
## 3. Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi 20% (E 20)



#### 4. Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi 30% (E 30)



#### 5. Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi 40% (E 40)



## Lampiran C

### Data Pengujian Kekerasan

#### 1. Dimensi Spesimen Kekerasan

Sampel	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
VE 100	29.5	16.5	6.1
E 10	30	16.5	6.5
E 20	29	16	6.3
E 30	27.5	16	6
E 40	30.5	15	6

#### 2. Hasil Pengujian Rata rata

<i>Left</i>	<i>Middle</i>	<i>Right</i>	<i>Cross Section</i>	<i>All</i>
VE 100				
85,6667	85,3333	84,3333	80,6667	84
E 10				
86,6667	83,5333	84	74,6667	82,2167
E 20				
81,6667	82	80	73	79,1667
E 30				
70	70,3333	71,6667	60,3333	68,0833
E 40				
53,6667	57	56	36,6667	50,8333



2. Tabel Nilai Kekuatan Impak Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Komposisi Epoksi (% wt)	Energi Impak (J)	Kekuatan Impak (J/cm <sup>2</sup> )
0	30	27,862
10	31	29,779
20	31	27,366
30	34	26,596
40	50	37,870

## Lampiran E

### Data Pengujian Tarik

1. Tabel Nilai *Elongation* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Komposisi Epoksi (% wt)	<i>Elongation</i> (%)
0	21,35
10	21,59
20	23,55
30	23,75
40	30,8

2. Tabel Nilai *Tensile Strength* Material Komposit Vinyl Ester/Epoksi/Serat Kaca

Komposisi	<i>Tensile Strength</i> (Mpa)
0%	512.9
10%	507.3
20%	514.9
30%	440.25
40%	380.85





















**Lampiran F**  
**Data Pengujian SEM**





## BIOGRAFI PENULIS



Ardy Adhityameidy Andaru lahir di Jakarta pada tanggal 26 Mei 1995. Penulis merupakan putra pertama Ir. Ardiansyah Andaru dan Ir. Erriyanie Populeta dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK PGRI Ngaglik Batu, SDN Pekayon Jaya IV, SDN Mekarsari 01 Tambun Selatan, SMP Negeri 1 Tambun Selatan dan SMA Negeri 1 Tambun Selatan. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material – Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2013.

Di Departemen Teknik Material ini, penulis mengambil Bidang Studi Material Inovatif. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler, antara lain di Unit Kegiatan Mahasiswa ITS Foreign Language Society sebagai Kepala Divisi Edukasi Inggris (2014-2015) dan sebagai Wakil Presiden UKM ITS Foreign Language Society (2015-2016), di Lembaga Minat Bakat ITS sebagai Kepala Biro Pelatihan (2015-2016).

Pengalaman kerja yang pernah ditempuh penulis yakni kerja praktik di PT. Komatsu Patria Attachment pada bulan Juli hingga Agustus 2016.

Penulis dapat dihubungi melalui email [ardy.dida@gmail.com](mailto:ardy.dida@gmail.com).