



TUGAS AKHIR – TL 141584

PENGARUH VINIL ESTER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN TERMAL POLIMER BLEND EPOKSI/VINIL ESTER SEBAGAI MATERIAL KANDIDAT *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)

DAYU SARIFAH
NRP 2712 100 122

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TL 141584

THE EFFECT OF VINYL ESTER ON
MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL
RESISTANCE POLYMER BLEND EPOXY/VINYL
ESTER AS A CANDIDATE MATERIALS PRINTED
CIRCUIT BOARD (PCB)

DAYU SARIFAH
NRP 2712 100 122

Advisor

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Amaliya Rasyida, S.T, M.Sc.

DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Vinil Ester terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester sebagai Material Kandidat *Printed Circuit Board* (PCB)”**.

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

Penyusunan laporan ini dapat berjalan dengan lancar tidak lain atas bantuan, dukungan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan 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 kerja praktik hingga penyusunan laporan
2. Keluarga yang selalu memberikan dukungan serta doanya
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
4. 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
5. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
6. Ibu Dr. Diah Susanti, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah dengan sabar mendampingi dan membimbing penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir
7. Bapak Sigit Tri W., S.T., M.Sc., Ph.D., Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., dan Ibu Hariyati Perwaningsih, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji seminar proposal dan

sidang tugas akhir yang telah banyak memberi masukan untuk penelitian tugas akhir ini

8. Mbak Is dan seluruh pranata laboratorium karakterisasi material yang telah membantu proses karakterisasi penelitian tugas akhir ini
9. Fabian, Raka, Rico, Novihana, Agus dan seluruh member Laboratorium Inovasi Material atas segala dukungan serta semangat selama penelitian tugas akhir ini
10. Widia Anggia, Vini, Indah, Tata, Hastya, Fadhil, Marcell, Clarissa dan Fariz yang selalu memberi dukungan dan semangat selama penelitian tugas akhir ini
11. Taslimatul Muna, Desnia Sinta, Safira Putri, Cahya Risti, Eka Fera, Alma Indi, dan Kusuma Betha, sahabat terbaik yang selalu mendukung dan memberi semangat
12. Angkatan 2012, MT14 dan seluruh Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi yang selalu memberikan dukungan dan semangat
13. Serta seluruh pihak yang telah membantu baik teknis maupun non teknis yang tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu oleh penulis

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan maupun penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Demikian penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Inovasi Material
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

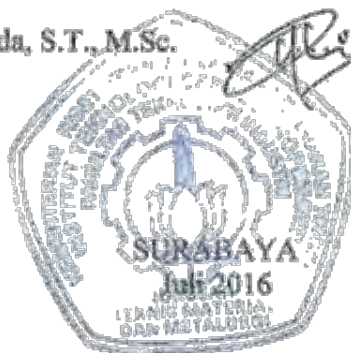
Oleh

**DAYU SARIFAH
NRP. 2712 100 122**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)

Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**PENGARUH VINIL ESTER TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN KETAHANAN TERMAL POLIMER
BLEND EPOKSI/VINIL ESTER SEBAGAI MATERIAL
KANDIDAT *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)**

Nama Mahasiswa : Dayu Sarifah
NRP : 2712 100 122
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Abstrak

Epoksi sering digunakan sebagai matriks dari bahan *Printed Circuit Board* (PCB), namun penggunaan epoksi tersebut terkendala oleh ketangguhan serta elongasinya yang cukup rendah. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk menanggulangi kekurangan tersebut. Dan pada penelitian ini dilakukan studi terkait pengaruh penambahan Vinil Ester terhadap sifat mekanik dan ketahanan termal terhadap Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Variasi penambahan Vinil Ester (Ripoxoy R-802 EX-1) sebesar 0, 10, 20, 30, 40, 50, 80, dan 100 % berat. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kekuatan tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester mengalami peningkatan yang signifikan pada penambahan 50% Vinil Ester dengan nilai kekuatan 68,30 MPa dengan nilai kekerasan 80,80 Shore D. Untuk termal dari Polimer Epoksi/Vinil Ester dengan temperatur degradasi tertinggi dimiliki oleh material Epoksi/VE (50) dengan temperatur degradasi tertinggi 356,64°C dan berat sisa 5,01%. Dan dari morfologi hasil pencampuran Epoksi dan Vinil Ester diperoleh fasa tunggal atau *miscible*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester dapat diajukan sebagai kandidat *Printed Circuit Board* (PCB).

Kata Kunci : epoksi, *miscible*, polimer blend, *printed circuit board* (PCB), vinil ester

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

***THE EFFECT OF VINYL ESTER ON MECHANICAL
PROPERTIES AND THERMAL RESISTANCE POLYMER
BLEND EPOXY/VINYL ESTER AS A CANDIDATE
MATERIALS PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB)***

Name : Dayu Sarifah
NRP : 2712 100 122
Department : Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS
Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Abstrack

Epoxy is often used as a matrix of Printed Circuit Board (PCB), but is limited by the toughness and elongation of epoxy which is fairly low. Therefore, it is necessary to do some research to overcome these shortcomings. This research is conducted to identify the effect of addition of vinyl ester on mechanical properties and thermal resistance of the Polymer Blend Epoxy/Vinyl Ester. Variations addition of Vinyl Ester in 0, 10, 20, 30, 40, 50, 80, and 100 weight. The research showed a significant enhancement of tensile strength in addition of 50 Vinyl Ester with a strength value by 68.30 MPa and the hardness of 80,80 Shore D. The highest thermal stability is reached by adding 50 of vinyl ester at 356,64oC and residual weight at 5.01. The morphology of mixing epoxy and vinyl ester shows a goodmiscibility with a single phase form. Based on these results, Polymer Blend Epoxy/Vinyl Ester may be filed as a candidate for Printed Circuit Board (PCB).

Key Words : epoxy resin, miscible, polymer blend, printed circuit board (PCB), vinyl ester

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Polimer Blend.....	8
2.2 Epoksi Resin.....	14
2.3 Vinil Ester Resin.....	18
2.4 <i>Printed Circuit Board</i> (PCB).....	23
2.5 Penelitian Sebelumnya	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Metodologi Penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan	33
3.4 Prosedur Penelitian.....	47
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Analisa Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah	51
4.2 Analisis Morfologi Hasil SEM	54
4.3 Sifat Mekanik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester	61
4.4 Stabilitas Termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
BIODATA PENULIS	74

LAMPIRAN	77
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Linear, Branch, and Crosslink Polymer</i>	6
Gambar 2. 2 Taktisitas Polimer	7
Gambar 2. 3 Struktur Polimer berdasarkan Keteraturan Rantai	8
Gambar 2. 4 Bentuk Dasar Rantai Pencampuran Polimer.....	11
Gambar 2. 5 Diagram Fasa Polimer Blend.....	12
Gambar 2. 6 Persebaran Polimer Blend <i>Immiscible</i>	12
Gambar 2. 7 Mikrograf Epoksi/PCL (19.5) pada area patahan ...	13
Gambar 2. 8 Struktur <i>Cured Epoxy with Hardener</i>	15
Gambar 2. 9 <i>Epoxy Group</i>	15
Gambar 2. 10 Skema Sintesis Epoksi Resin.....	16
Gambar 2. 11 Sintesis <i>Epoxy Resin</i> (DGEBA)	17
Gambar 2. 12 Aplikasi Epoksi	18
Gambar 2. 13 Sintesa Vinil Ester	19
Gambar 2. 14 Jenis Epoksi Resin	20
Gambar 2. 15 Asam Tak Jenuh	21
Gambar 2. 16 Sintesis PDHP dengan $PDCl_3$	26
Gambar 2. 17 Sintesis PDHP dan EPP	27
Gambar 2. 18 Reaksi antara PPA dan PEPA.....	27
Gambar 2. 19 Spektrum FTIR dari PEPA, PDHP dan EPP4	28
Gambar 2. 20 Mikrograf SEM	29
Gambar 2. 21 Termograf TGA.....	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 3. 2 Vinil Ester (RIPOXY R-802 EX-1).....	34
Gambar 3. 3 Epoksi (Eposchon A).....	35
Gambar 3. 4 <i>Hadener</i> (Eposchon B).....	35
Gambar 3. 5 Katalis MEPK.....	36
Gambar 3. 6 Neraca Analitik (<i>Mettler Toledo</i>)	36
Gambar 3. 7 Pengaduk Mekanik	37
Gambar 3. 8 Promotor <i>Cobalt Naphthenate</i>	37
Gambar 3. 9 Tachometer	38
Gambar 3. 10 Cetakan Spesimen Uji Tarik.....	38
Gambar 3. 11 Oven	39
Gambar 3. 12 Mesin Gerinda	39
Gambar 3. 13 Kertas Amplas	40
Gambar 3. 14 Mikroskop Zeiss.....	40

Gambar 3. 15 Alat Uji FTIR.....	41
Gambar 3. 16 Cara Kerja Alat Uji TGA.....	42
Gambar 3. 17 Alat Uji TGA.....	43
Gambar 3. 18 Cara Kerja Alat Uji SEM.....	44
Gambar 3. 19 Alat Uji SEM.....	44
Gambar 3. 20 Spesimen Uji Tarik (ASTM D638).....	45
Gambar 3. 21 Alat Uji Tarik.....	45
Gambar 3. 22 Durometer.....	46
Gambar 4. 1 Spektrum FTIR.....	52
Gambar 4. 2 Spektrum FTIR Epoksi/VE (50).....	53
Gambar 4. 3 Mikrograf SEM Perbesaran 500x.....	60
Gambar 4. 4 Kekuatan Tarik.....	62
Gambar 4. 5 Elongasi Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.....	62
Gambar 4. 6 Struktur Makro Berkas Patahan.....	64
Gambar 4. 7 Kekerasan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.....	65
Gambar 4. 8 Stabilitas Termal.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Teknik Preparasi Polimer Blend.....	9
Tabel 2. 2 Sifat Umum Vinil Ester.....	22
Tabel 2. 3 Tipe Material yang Digunakan sebagai PCB	23
Tabel 2. 4 Spesifikasi PCB G200	24
Tabel 3. 1 Properties RIPOXY R-802 EX-1	34
Tabel 3. 2 Dimensi Spesimen berdasarkan Ketebalan	46
Tabel 4. 1 Temperatur Degradasi	67
Tabel 4. 2 Berat Sisa Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.....	68

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hingga saat ini polimer masih menjadi pilihan utama bagi industri karena sifat polimer yang unik dan spesifik. Salah satu jenis polimer banyak dikembangkan adalah Epoksi resin. Epoksi resin merupakan jenis material termoset yang biasanya digunakan sebagai bahan perekat, pelapisan atau pelindung (*coating*) di industri. Selain itu Epoksi biasanya digunakan sebagai aplikasi struktural seperti laminat dan komposit untuk aplikasi khusus karena memberikan kombinasi sifat yang unik yang tidak dimiliki oleh resin termoset lainnya.

Epoksi memiliki kekuatan tinggi, sifat adesif yang baik pada berbagai macam substrat, memiliki sifat isolasi listrik yang baik dan juga tahan terhadap zat-zat kimia. Akan tetapi penggunaan material termoset sedikit terkendala oleh ketangguhan serta elongasinya yang cukup rendah (McGraw. 1996). Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk menanggulangi kekurangan tersebut yaitu dengan penambahan suatu material yang dapat meningkatkan ketangguhan ataupun elongasinya.

Salah satu jenis material polimer yang dapat ditambahkan ke dalam Epoksi resin adalah Vinil Ester. Vinil Ester merupakan hasil polimerisasi dari berbagai jenis resin (epoksi) dan *ethylenically unsaturated monocarboxylic acids* (asam tak jenuh). Vinil Ester merupakan salah satu jenis resin termoset tidak jenuh yang banyak digunakan di industri karena sifatnya yang ringan, berkekuatan tinggi, tahan korosi serta memberikan sifat mekanik yang baik. Hal tersebut dikarenakan kandungan bisphenol-A diepoksida yang memberikan kekuatan tarik dan kelenturan yang sama baiknya (Hansmann dan Wismar, 2003).

Perkembangan dunia industri, khususnya bidang elektronik yang pesat menuntut munculnya berbagai inovasi baik dari sisi teknologi maupun material yang digunakan. Salah satu komponen elektronik yang banyak dibutuhkan adalah PCB



BAB I PENDAHULUAN

(*Printed Circuit Board*). PCB merupakan tempat untuk merangkai berbagai komponen listrik lain agar membentuk sebuah sistem. Material utama yang dipakai dalam pembuatan PCB adalah tembaga dan laminate, dimana laminate terdiri dari fiber (*reinforcement*) dan Epoksi (matriks) (Bhavsar. 2014).

Pada penelitian ini dilakukan penambahan Vinil Ester pada Epoksi resin dengan inisiator *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) dan akselerator *Cobalt Naphthenate* (CoNaph). Pengaruh dari variasi penambahan Vinil Ester terhadap sifat mekanik dan thermal properties selanjutnya akan dianalisis dengan berbagai pengujian.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka rumusan permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh Vinil Ester terhadap sifat mekanik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester?
2. Bagaimana pengaruh Vinil Ester terhadap ketahanan termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester?

1.3 Batasan Masalah

Dalam laporan tugas akhir ini penulis membatasi pembahasan sebagai berikut :

1. Unsur pengotor dan faktor lingkungan diabaikan
2. Temperatur pemanasan dianggap konstan
3. Tekanan udara dianggap konstan
4. Kecepatan stiring dianggap konstan



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh Vinil Ester terhadap sifat mekanik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester
2. Menganalisis pengaruh Vinil Ester terhadap ketahanan termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan Polimer Blend dengan *base* Epoksi yang memiliki sifat mekanik dan ketahanan termal yang baik sebagai kandidat bahan dasar pembuatan *printed circuit board* (PCB). Selain itu penelitian ini diharapkan dapat sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut terkait Epoksi.

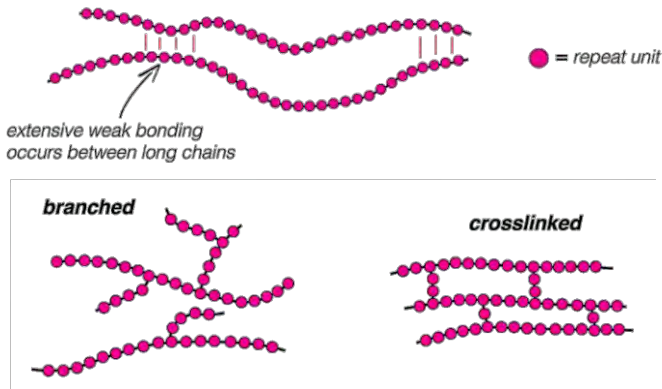


(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

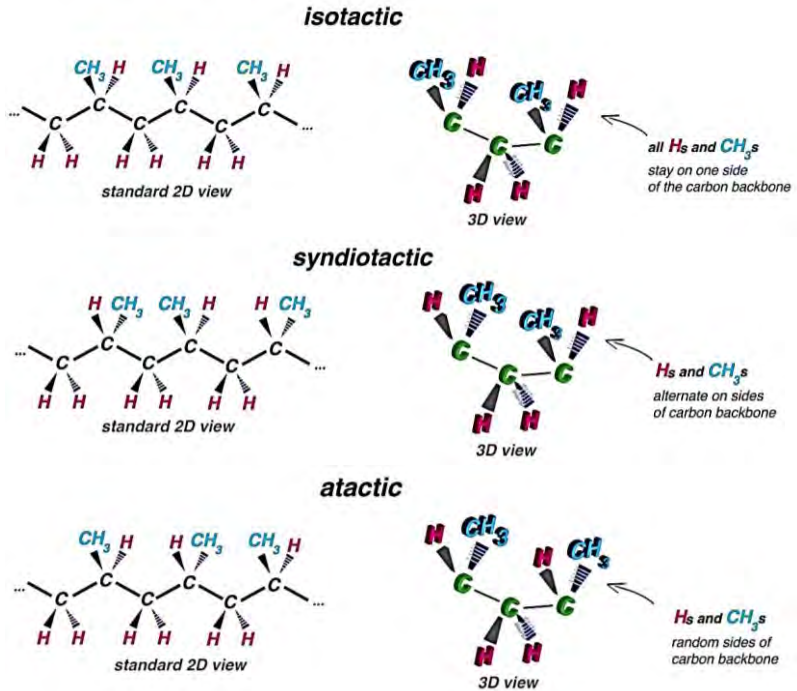
Kata polimer pertamanya kali digunakan oleh Berzelius ahli kimia dari Swedia pada tahun 1833. Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti unit atau bagian (Brent, 1996). Ciri utama dari polimer yaitu mempunyai rantai yang sangat panjang dan massa molekul yang besar (Stevens, 2001). Perkembangan industri polimer diawali dengan temuan Charles Goodyear pada tahun 1839 mengenai proses vulkanisasi dan setelah itu berbagai modifikasi pun mulai berkembang. Sifat-sifat polimer yang karakteristik antara lain mudah diolah, ringan, tahan korosi dan kerusakan terhadap lingkungan yang agresif, isolator yang baik terhadap listrik dan panas, berguna untuk bahan komponen khusus karena sifatnya yang elastis dan plastis, serta memiliki berat molekul yang besar sehingga kestabilan dimensinya tinggi.

Salah satu faktor yang menentukan sifat suatu polimer yaitu keteraturan rantainya. Keteraturan tersebut diwakili oleh struktur rantai, taktisitas, dan kristalinitas (Radiman, 2004). Berdasarkan struktur rantainya polimer dibedakan menjadi tiga yaitu linier, bercabang dan berikatan silang (*crosslink*). Polimer linier adalah polimer yang tidak memiliki cabang selain gugus-gugus yang berikatan pada rantai utamanya dan masih tergolong monomernya. Polimer bercabang memiliki cabang rantai yang timbul akibat dari proses kopolimerisasi atau akibat reaksi samping selama proses polimerisasi. Sedangkan polimer berikatan silang (*crosslinked*) memiliki derajat stabilitas dimensi yang baik. Karena terjadi pengikatan silang, rantai-rantai polimer tersebut kehilangan kemampuan untuk mengalirkan atau melewati satu rantai ke rantai lainnya sehingga sulit dibentuk (Stevens, 2000). Ilustrasi dari jenis rantai polimer dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Linear, Branch, and Crosslink Polymer*
 <URL: <https://firstyearengineer.com/material-science/introduction/polymers/>>

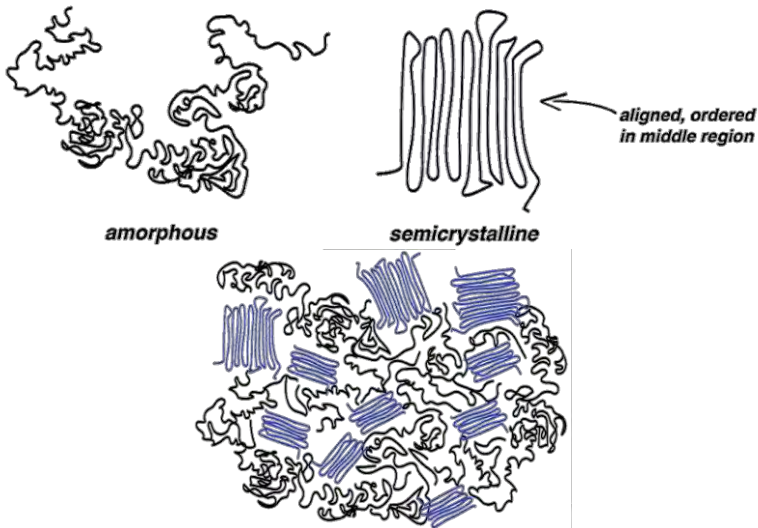
Taktisitas ditentukan berdasarkan kongfigurasi asimetrik atom karbon, yaitu letak gugus R terhadap rantai utama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dalam polimer isotaktik, seluruh gugus R berada pada satu sisi yang sama. Ppolimer sindiotaktik, gugus R bedara pada sisi yang bergantian terhadap sisi utama. dan sedangkan pada polimer ataktik, gugus R tidak beraturan. taktisitas sangat berpengaruh terhadap kristalinitas dari suatu polimer. Isotaktik cenderung bersifat kristalin, ataktik cenderung bersifat amorf, dan struktur sindiotaktik cenderung bersifat kristalin dan/atau semikristalin.



Gambar 2. 2 Taktisitas Polimer

<URL: <https://firstyearengineer.com/material-science/introduction/polymers/>>

Berdasarkan keteraturan rantainya, polimer dapat dibedakan menjadi polimer kristalin, semikristalin, dan amorf. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, polimer kristalin adalah polimer dengan susunan rantai yang teratur. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan antar rantai yang cukup kuat. Polimer amorf adalah polimer dengan susunan rantai acak. Polimer semikristalin memiliki sebagian rantai bersifat kristalin dan sebagian lagi bersifat amorf. Dan pada umumnya, polimer bersifat semikristalin. Kristalinitas polimer dapat ditentukan secara kuantitatif melalui difraksi sinar X (Nurhidayati, 2007).



Gambar 2. 3 Struktur Polimer berdasarkan Keteraturan Rantai
 <URL: <https://firstyearengineer.com/material-science/introduction/polymers/>>

2.1 Polimer Blend

Proses pencampuran polimer dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pencampuran secara fisika antara dua atau lebih polimer yang berbeda dan tidak membentuk ikatan kovalen antar komponen-komponen penyusunnya, yang disebut poliblend (polimer blend). Dan yang kedua yaitu proses pencampuran secara kimia dengan membentuk ikatan kovalen antar polimer-polimer penyusunnya, yang dikenal dengan kopolimer (Rabek, 1983).

Polimer blend pertama kali dipatenkan oleh Parker pada tahun 1846, Parker mencampurkan natural *rubber* dengan gutta-percha (semi-crystalline *trans*-1,4-polyisoprene). Pencampuran tersebut menghasilkan *crosslink* sebagian (*co-vulcanized*) material yang kekakuannya dapat dikontrol dengan mengatur komposisi. Metode polimer blend ini dilakukan sebagai salah satu cara efektif untuk menemukan sifat terbaik pada polimer dibanding dengan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

cara mengembangkan monomer polimer baru seperti yang dilakukan Parker (Charles, 1999). Polimer blend dapat dilakukan dengan beberapa metode preparasi yang dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Teknik Preparasi Polimer Blend
(Nurhayati, 2007)

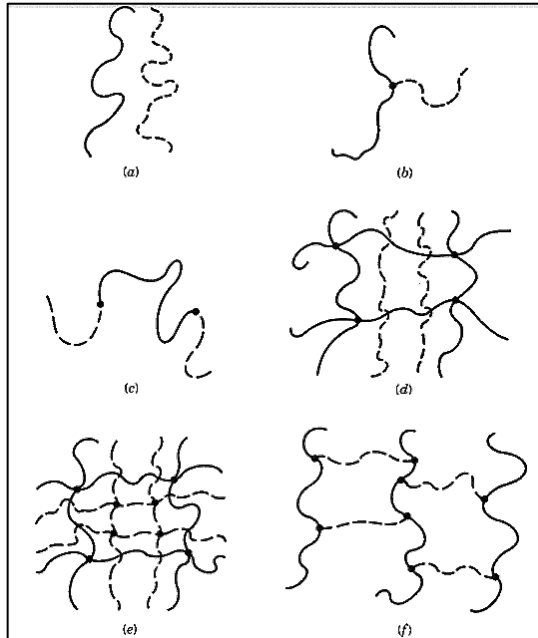
Teknik Preparasi	Deskripsi
Mechanical Blends	Polimer/kopolimer dicampur diatas temperatur T_g atau T_m masing-masing polimer yang bersifat amorf dan semikristalin.
Mechanichemical Blends	Polimer/kopolimer dicampur dengan laju geser yang cukup tinggi, sehingga polimer mengalami degradasi. Radikal bebas yang terbentuk berkombinasi menghasilkan campuran kompleks yang mengandung kopolimer blok atau cangkok.
Solution Cast Blends	Polimer/kopolimer dicampur dengan melarutkannya ke dalam pelarut tertentu hingga homogen, kemudian pelarut dihilangkan melalui penguapan sehingga dapat terbentuk film polimer.
Latex Blends	Dispersi halus dari polimer dalam air (lateks) dicampur, kemudian polimer-polimer yang bercampur dikoagulasi.

Terdapat enam bentuk dasar susunan rantai polimer yang terbentuk dari proses pencampuran polimer, seperti yang terdapat pada Gambar. 2.4. Pada gambar 2.4 (a) menunjukkan struktur rantai polimer blend, saling melarutkan satu dengan yang lainnya, tetapi tidak membentuk ikatan kimia (kovalen) antar polimer yang satu dengan yang lain. Gambar 2.4 (b) menunjukkan rantai polimer cangkok, dimana struktur ini terdapat *backbone* polimer yang berikatan secara kovalen dengan ujung polimer lainnya, sehingga



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

membentuk struktur cangkok. Gambar 2.4 (c) merupakan bentuk rantai blok kopolimer, dimana dalam struktur ini terjadi ikatan kovalen anantara ujung polimer yang satu dengan yang lain. Gambar 2.4 (d) menggambarkan susunan rantai *semi interpenetrating* yang tersusun dari dua rantai polimer yang terjerat, dimana salah satu rantainya berbentuk jaring (*network*) dan rantai yang lain linear. Tetapi kedua rantai tersebut tidak berikatan secara kimia, melainkan ikatan yang terjadi karena pengaruh jeratan pada rantai tersebut. Kemudian Gambar 2.4 (e) merupakan susunan polimer *interpenetrating network* yang tersusun dari dua kombinasi rantai berbentuk jaring pada kedua polimer yang berbeda. Jaringan ini saling menjerat dan tidak terjadi ikatan kimia antar jaringan polimer satu dengan lainnya. Dan pada Gambar 2.4 (f) menunjukkan susunan ikatan silang (*crosslinked*). Struktur ini terdiri dari dua rantai polimer, dengan polimer II berfungsi sebagai penghubung. Ujung-ujung dari polimer II dapat berikatan dengan polimer lain sehingga setelah dicampur dengan polimer I maka menghasilkan struktur cangkok dari polimer II terhadap *backbone* rantai polimer I (Sperling, 2006).



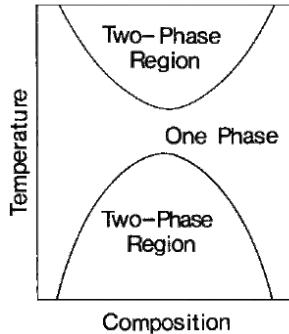
Gambar 2. 4 Bentuk Dasar Rantai Pencampuran Polimer
(a) Rantai Polimer Blend; (b) Rantai Polimer Cangkok; (c) Rantai Blok Kopolimer; (d) Rantai *Semi Penetrating*; (e) Rantai *Penetrating Network*; (f) Rantai *Crosslinked*
(Sperling, 2006)

Pada umumnya polimer blend dibedakan menjadi dua, homogen (*miscible*) atau heterogen (*immiscible*) blend. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5, dimana dua polimer dapat bersifat *miscible* pada temperatur rendah apabila polimer yang ingin dilarutkan dalam jumlah yang sangat kecil. Semakin tinggi temperatur maka semakin besar kemampuan dari masing-masing polimer untuk melarutkan polimer lainnya. Hingga pada temperatur diantara dua kubah, pencampuran dapat dilakukan pada berbagai komposisi. Dengan polimer yang saling campur menunjukkan tidak terjadinya pemisahan fasa pada skala makro maupun mikro. Daerah dalam kubah menunjukkan terjadinya



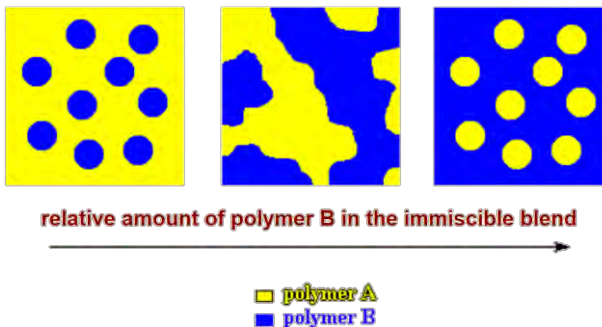
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pemisahan fasa dari kedua polimer. Pemisahan fasa ini terjadi akibat polimer tidak saling larut dengan polimer lain.

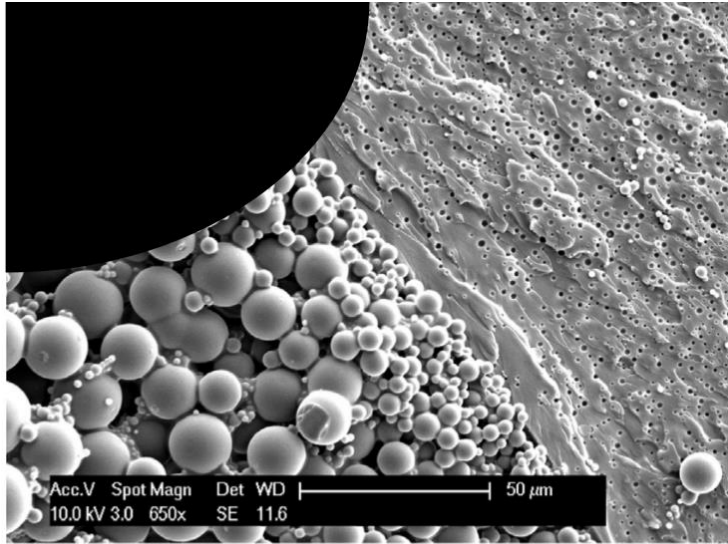


Gambar 2. 5 Diagram Fasa Polimer Blend

Morfologi dari polimer blend *immiscible* dan *miscible* berbeda satu sama lain. Pada polimer blend *immiscible*, terdapat dua fasa yang terbentuk. Yaitu fasa diskrit (domain), yang lebih rendah konsentrasinya dan fasa kontinu yang lebih tinggi konsentrasinya. Sedangkan pada polimer blend *miscible* hanya memperlihatkan satu fasa tunggal (Sharma, 2012), seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6. Dan Gambar 2.7 memperlihatkan morfologi dari hasil pengujian SEM pada berkas patahan Epoksi/*Poly(ε-caprolactone)* (PCL).



Gambar 2. 6 Persebaran Polimer Blend *Immiscible*



Gambar 2. 7 Mikrograf Epoksi/PCL (19.5) pada area patahan (Cohades, 2016)

Sisi sebelah kiri menunjukkan fasa epoksi diskrit pada matriks PCL, dan yang sebelah kanan fasa kontinu berpori PCL (Cohades, 2016).

Selain dilihat dari morfologinya, polimer blend *immiscible* dan *miscible* juga dapat dibedakan berdasarkan temperatur *glass* transisinya. Karena polimer blend *immiscible* terdiri dari dua polimer amorfus maka polimer blend *immiscible* memiliki dua temperatur *glass* transisi. Dan apabila hanya ditemukan satu temperatur *glass* transisi pada suatu campuran dua polimer maka polimer blend tersebut *miscible*.

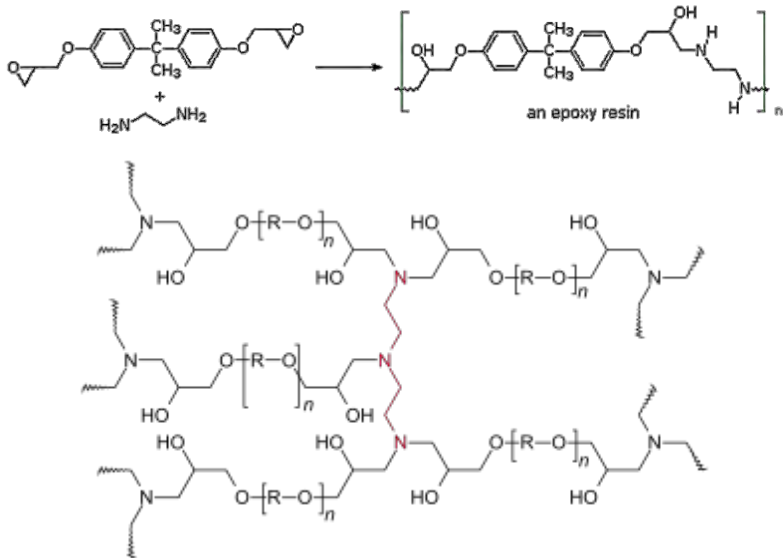
Dan dilihat dari sifat mekaniknya, polimer blend *immiscible* dengan morfologi polimer II tersebar dalam matriks polimer I, maka sifat mekaniknya berdasarkan sifat dari polimer I. Hal ini disebabkan seluruh tegangan dan energi yang terjadi pada saat pembebanan diserap oleh polimer I. Akan tetapi, sifat mekanik tersebut tidak akan lebih baik dari sifat mekanik polimer I murni (<http://pslc.ws/macrog/iblend.htm>).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

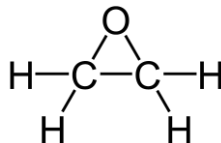
2.2 Epoksi Resin

Epoksi mulai dikenal sejak tahun 1936 ketika Dr Pierre Castan dari Switzerland berhasil melakukan sintesa Epoksi resin berbasis *bisphenol A* yang dikeraskan dengan menggunakan *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 tahun 1939 Dr S. O. Greenlee dari Amerika Serikat mengembangkan epoksi resin dari *epichlorohydrin* dan *bisphenol A*, yaitu jenis epoksi resin yang sering digunakan saat ini (S. O. Greenlee DeVoe & Reynolds, US Patent, 1948). Tujuan dari pengembangan epoksi resin adalah untuk menemukan *binding agent* untuk *coating* yang memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap bahan-bahan kimia, tetapi hingga saat ini epoksi menghasilkan sifat yang lebih baik daripada yang diinginkan. Pada tahun 1960, Nils Malmgren dan Curt Augustsson mulai memformulasikan dan menghasilkan produk yang berbahan dasar epoksi dan pengerasnya (*hardener*) (Augustsson, 2004), Gambar 2.8 menjelaskan reaksi yang terjadi antara epoksi dengan pengerasnya.



Gambar 2. 8 Struktur *Cured Epoxy with Hardener*
(Augustsson, 2004)

Epoksi resin adalah senyawa yang mengandung lebih dari satu kelompok epoksida dalam satu molekulnya. Kelompok epoksida atau yang sering disebut sebagai kelompok *glycidyl* inilah yang menjadi alasan pemberian nama Epoksi. Epoksi berasal dari oksigen yang berikatan dengan rantai karbon yang disebut *oxide*, kata pertama *epi* yang berarti “*the outside of*” dan kata kedua berasal dari *oxygen*, yang kemudian dikenal dengan sebutan epoksi. Gambar 2.9 menunjukkan gugus epoksida dari epoksi resin.

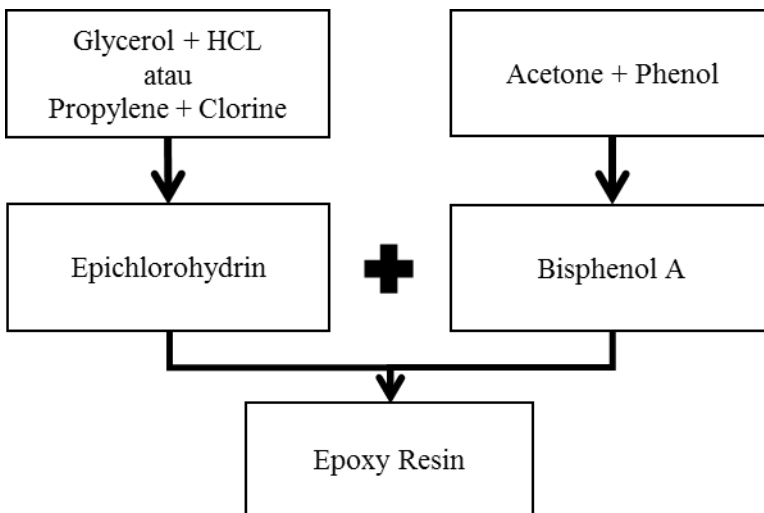


Gambar 2. 9 *Epoxy Group*
(Augustsson, 2004)

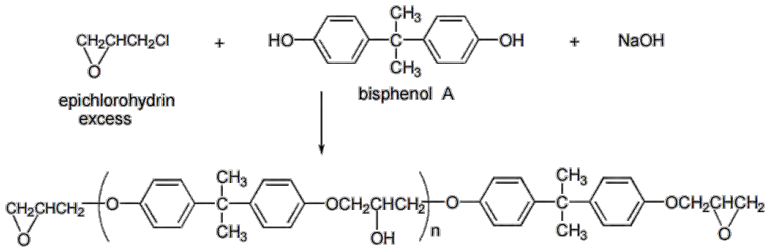


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, epoksi diperoleh dari *epichlorohydrin* atau dari reaksi epoksidasi langsung dari olefin dengan *peracids* (asam peroksi). Asam peroksi ini merupakan hasil dari asam karboksilat atau suatu gugus asil yang lain dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) bersama dengan katalis asam yang diperlukan (Gunstone, 1996). Biasanya katalis yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4), asam nitrat (HNO_3), dan asam klorida (HCl) (Dinda, 2008). Seperti yang sudah diketahui bahwa Epoksi pertama, dan yang sampai sekarang sering dijumpai dipasaran yaitu *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA), diproduksi dengan mereaksikan *epichlorohydrin* dengan *bisphenol A* dalam kondisi tertentu untuk memberikan gugus *diglycidyl ether*, seperti yang tampak pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Skema Sintesis Epoksi Resin



Gambar 2. 11 Sintesis *Diglycidyl Ether of Bisphenol A* (DGEBA) *Epoxy Resin* (Goodman, 1998)

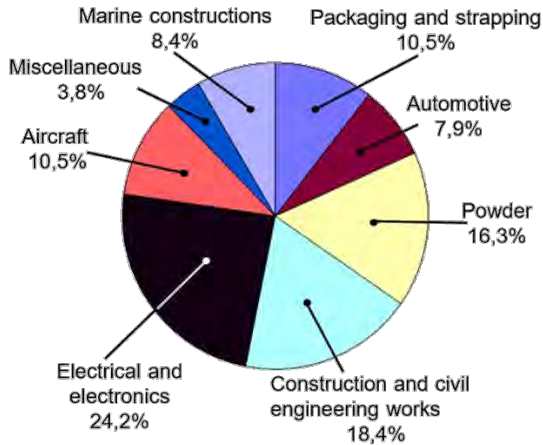
Sifat dari resin tergantung pada beberapa faktor seperti struktur pra-polimer, *curing agent*, stokiometri antara resin dan pengerasnya (*hardener*), waktu untuk *curing*, serta temperatur *curing*. Secara umum, tanpa memperhatikan jenis dan jumlah *hardener*, waktu dan temperatur *curing*, Epoksi resin 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 (Ellis dan Smith, 2009).

Pada umumnya Epoksi resin digunakan sebagai bahan pelapis permukaan karena sifat ketahanan terhadap zat kimia, kekuatan mekanik dan memiliki sifat adesif yang baik. Selain digunakan sebagai *coating*, Epoksi resin juga banyak digunakan pada komponen elektronik seperti resistor, transistor, kapasitor, fiber optik ataupun *printed circuit board* (PCB). Epoksi resin juga digunakan sebagai adesif atau perekat yang cukup baik pada bekerja pada temperatur tinggi. Biasanya digunakan untuk



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

menghubungkan bagian sayap dan badan pesawat, dan rotor helikopter. Epoksi resin juga digunakan untuk part mobil. Gambar 2.12 menjelaskan jenis aplikasi dari Epoksi.



Gambar 2. 12 Aplikasi Epoksi
(Augustsson, 2004)

2.3 Vinil Ester Resin

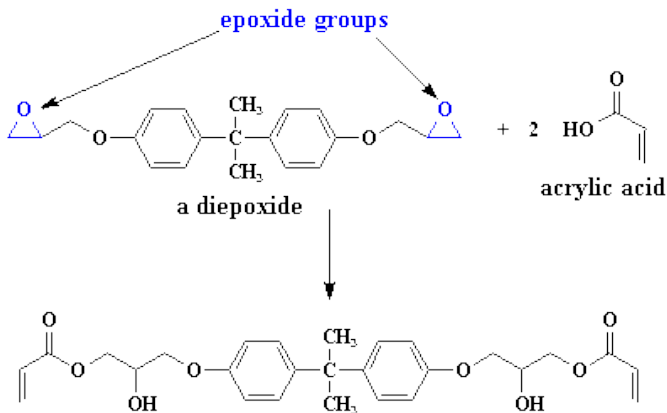
Resin vinyl ester atau yang dikenal dengan nama dagang *ripoxy* merupakan nama yang umum digunakan pada resin tak jenuh yang diproduksi dari reaksi esterifikasi dari Epoksi resin dan asam monokarboksilat tak jenuh yang kemudian dilarutkan dalam pelarut reaktif, stirena. Vinil Ester untuk pertama kali diperkenalkan pada tahun 1960 yang di produksi oleh Shell Chemical Company dengan nama dagang resin EPOCRYL dan kemudian tahun 1966 Dow Chemical Company memperkenalkan resin DERAKANE. Resin tersebut termasuk kedalam *Epoxy (meth)acrylates* yang memiliki ketahanan terhadap zat kimia lebih baik daripada *unsaturated polyesters*. Pada 1977, Interplastic Corporation and Reichhold Chemical Company memperkenalkan Vinil Ester dibawah nama dagang CoRezyn and Corrolite dan pada saat yang bersamaan DSM memperkenalkan ATLAC.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Vinil Ester merupakan hasil polimerisasi dari berbagai jenis resin dan *ethylenically unsaturated monocarboxylic acids*. Resin jenis ini merupakan salah satu jenis resin termoset tidak jenuh yang banyak digunakan di industri karena sifatnya yang ringan, berkekuatan tinggi, tahan korosi serta memberikan sifat mekanik yang baik. Hal tersebut dikarenakan kandungan *bisphenol A diepoxide* yang membeikan kekuatan tarik dan kelenturan yang sama baiknya (Hansmann dan Wismar, 2003). Berdasarkan paten yang berkembang hampir 30 tahun ini menyebutkan bahwa reaksi pembentukan oligomer Vinil Ester biasanya menggunakan katalis berupa *tertiary amines*, *phospines*, dan alkis atau garam onmium. Dan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan *triphenylphosphine* merupakan yang paling efektif dibandingkan dengan katalis yang lainnya. Biasanya reaksinya dilakukan selama 4 sampai 5 jam dengan temperatur 120°C (Cigdem, 2008).

Berdasarkan Gambar 2.13, *bisphenol A glycidylether* dengan asam *methacrylic* merupakan bahan yang paling sering digunakan untuk memproduksi Vinil Ester. *Bisphenol A* dapat digunakan sebagai *co-reactant* untuk menurunkan viskositas dan juga keuletan dari Vinil Ester yang dihasilkan.



Gambar 2. 13 Sintesa Vinil Ester

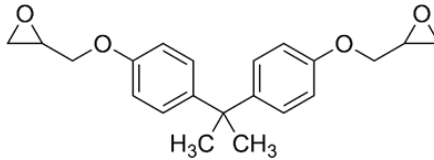
<<http://www.pslc.ws/macrog/composit.htm>>



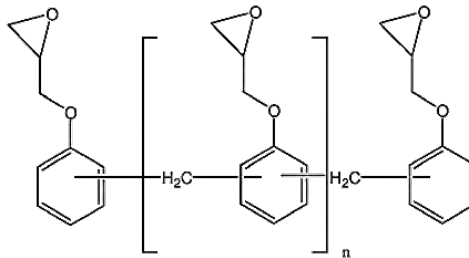
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Vinil Ester dengan struktur yang bervariasi dapat dihasilkan dengan mengkombinasikan Epoksi resin yang berbeda (Gambar 2.14) dengan berbagai asam tak jenuh (Gambar 2.15).

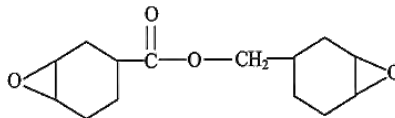
Epoxy Resins



Diglycidyl Ether of Bisphenol A



Novolac Epoxy

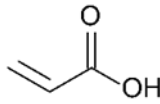


Cycloaliphathic Epoxy

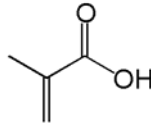
Gambar 2. 14 Jenis Epoksi Resin



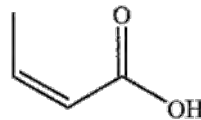
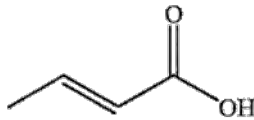
Unsaturated Acids



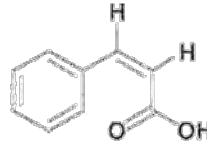
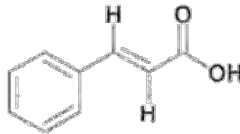
Acrylic Acid



Methacrylic Acid



Crotonic Acid



Cinnamic Acid

Gambar 2. 15 Asam Tak Jenuh

Sifat dari Vinil Ester merupakan paduan dari sifat Epoksi dan *Unsaturated Polyester*. Walaupun harga dari Vinil Ester lebih mahal dibandingkan dengan harga *Unsaturated Polyester*, tetapi Vinil Ester memiliki ketahan yang baik terhadap zat-zat kimia dan juga sedikit larut dalam air jika dibandingkan dengan *Unsaturated Polyester*. Dan pada saat yang sama, Vinil Ester menawarkan kecepatan dan kemudahan dalam proses *curing* dibandingkan dengan Epoksi resin. Vinil Ester dapat mengalami *curing* ada temperatur kamar dan juga memiliki sifat yang hampir sama dengan Epoksi resin. Adapun beberapa sifat dari Vinil Ester dijelaskan pada Tabel 2.2.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 2 Sifat Umum Vinil Ester
(Showa Highpolymer CO., LTD.)

Properties	R-802 EX	R-806 EX	H-630 EX
Specific Gravity (25°C)	1,134	1,13	1,127
Tensile Strength (MPa)	69 - 89	69 - 89	69 - 79
Flexural Strength (MPa)	120 - 150	120 - 150	130 - 140
Flexural Modulus (Gpa)	2,7 - 3,1	2,9 - 3,3	3,4 - 4,0
Compress Strength (MPa)	108 - 118	108 - 118	127 - 148
Charpy Impact (J/m ²)	4900 - 7900	4900 - 7900	1900 - 4000
Barcoll Hardness	35	40	42
Elongation (%)	6	3,2	2,5
Curing Shrinkage (%)	7,5 - 8,5	7,5 - 8,5	7,5 - 8,5

Vinil Ester dapat digunakan untuk semua aplikasi yang digunakan oleh poliester. Secara khusus Vinil Ester resin digunakan untuk aplikasi tahan korosi pada tangki, pipa serta saluran pada proses pembuatan asam encer, bahan bakar. Sedangkan pada pembuatan komponen listrik, Vinil Ester digunakan untuk komponen AC, pelembab dan peralatan rumah tangga lainnya. Sedangkan pada bidang kelautan, aplikasi Vinil Ester digunakan untuk pelapis pada lambung berbagai jenis kapal seperti perahu motor, perahu nelayan, dan kapal angkatan laut (Ratna, 2009). Biasanya Vinil Ester diaplikasikan sebagai struktur material, pelapisan, adesif, *molding compounds*, diaplikasikan sebagai alat-alat listrik, *dental materials*, dan juga diaplikasikan pada dunia militer ataupun pesawat luar angkasa. Karena sifatnya yang cukup baik maka Vinil Ester dinyatakan sebagai kandidat untuk diaplikasikan dalam dunia otomotif. Apabila diaplikasikan sebagai bahan *sheet molding compounds* (SMC), Vinil Ester akan memberikan ketangguhan, temperatur distorsi, serta ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan *unsaturated polyester*. Aplikasi lainnya yaitu sebagai perekat pada kayu lapis dan papan partikel, *coating*, atau sebagai matriks untuk laminat.



2.4 Printed Circuit Board (PCB)

Printed Circuit Board (PCB) adalah sebuah papan rangkaian yang digunakan pada peralatan elektronik yang berfungsi sebagai penyangga komponen secara mekanis dan sebagai jalur konduktif untuk komponen elektronik (Haugan dan Dalsjø, 2014). Secara umum, PCB merupakan suatu pola yang terbuat dari logam (konduktor) yang terbentuk diatas papan isolator. PCB diperkenalkan pada tahun 1936 oleh Dr. Paul Eisler. Ditahun 1943 Amerika Serikat menggunakan PCB pada Radio Militer mereka. Dan PCB mulai dipakai secara masal di industri elektronik pada tahun 1950.

Biasanya PCB terbuat dari komposit resin dan penguatnya. Resin dan penguat yang digunakan di industri dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Sanapala, 2008).

Tabel 2. 3 Tipe Material yang Digunakan sebagai PCB
(Sanapala, 2008)

Nomenclatre	Reinforcement	Resin	Flame Raterdant
FR-2	Cotton Paper	Phenolic	Yes
FR-3	Cotton Paper	Epoxy	Yes
FR-4	Woven Glass	Epoxy	Yes
CEM-1	CottonPaper/Woven Glass	Epoxy	Yes
CEM-2	CottonPaper/Woven Glass	Epoxy	No
CEM-3	Woven Glass/Matte Glass	Epoxy	Yes

Beberapa standard yang digunakan untuk pembuatan PCB menggunakan standard isola, G200 Epoxy Laminate & Prepeg



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 4 Spesifikasi PCB G200

<www.isola-group.com/products/G200>

Property	Specification (E/BT)	Standard
Tg by DSC	180 (°C)	2,4,25
Td by TGA at 5% weight loss	325 (°C)	ASTM D3850
Thermal Conductivity	0,35	ASTM D5930
Thermal Stress 10 sec at 288C		
a. Unetched	Pass	2,4,13,1
b. Etched	Pass	2,4,13,1
Flexural Strength		
a. Lengthwise Direction	86.900	2,4,4
b. Crosswise Direction	73.600	2,4,4
Tensile Strength		
a. Lengthwise Direction	51551 (lbf/inc ²)	-
b. Crosswise Direction	42436 (lbf/inc ²)	-
Youngs Modulus		
a. Lengthwise Direction	3489	ww
b. Crosswise Direction	3199	ww
Poissons Ratio		
a. Grain Direction	0,182	xx
b. Fill Direction	0,16	xx
Moisture Absorption	0,2	2,6,2,1
Flammability	V-0	UL 94
Max Operating Temp	140	-



Differential scanning calorimetry (DSC) adalah salah satu teknik untuk menganalisa *printed circuit board* (PCB) dalam industri manufaktur. Sebenarnya penggunaan *Epoxy* sebagai bahan dari PCB sudah cukup lama akan tetapi baru-baru ini banyak pengguna dan peneliti PCB meneliti sifat mekanik dan sifat fisik dari bahan tersebut. Penelitian pada PCB ini difokuskan pada dua aspek material, yaitu

1. Sifat thermal, seperti *melting point*, perubahan fasa dan temperatur *curing*, yang digunakan untuk menentukan struktur kimia material.
2. Dan yang kedua yaitu *degree of cure*. Hal tersebut dapat dilihat dari energi entalpi atau temperatur *glass transition*.

Kegunaan dari DSC untuk menentukan sifat *epoxide* dan *acrylic polymers*, dan untuk menyelesaikan permasalahan manufaktur seperti yang sudah dijelaskan diatas.

Prepeg adalah *B-stage epoxide resin/fiber glass* komposit yang digunakan untuk mengikat layer bagian dalam pada PCB. Resin yang ada tidak semuanya mengalami *curing* dan ketika dipanaskan akan mengalami *cross-linking*. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa standard *B-stage epoxide prepeg* menunjukkan hubungan antara *degree of cure*, entalpi dari *curing reaction*, dan jumlah aliran yang diperoleh dalam *lamination press*. Ini hasil yang menunjukkan dari kontrol kualitas yang baik dari prepeg yang digunakan pada multilayer PCB dan untuk mengurangi pemborosan melalui blistering oleh entrapasi udara, akibat tidakcukupnya pergerakan resin pada PCB saat dilaminating. Jumlah resin yang tidak ter-*curing* adalah proposional dengan entalpi dari reaksi ketika resin B-stage dipanaskan.

Prinsip ini telah digunakan untuk menyelesaikan masalah manufaktur pada komposit dinamakan *no flow prepeg*. Pada kasus ini resin berisi aditif yang menyebabkan komposit lebih fleksibel dan mempunyai flow lebih rendah saat dipanaskan. Hasil DSC menunjukkan transisi glass pada 60°C dengan reaksi eksoterm. Peak temperaturnya mencapai 180°C. Sedangkan temperatur tanpa pergerakan eksoterm sekitar 225°C. Perbedaan yang lain terdapat pada ketidakhadiran dari kenaikan kecil reaksi eksoterm pada 90°C,



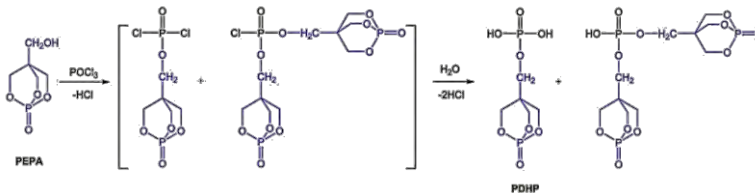
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

akibat katalis pada pereaksian resin. Oleh karena itu, mudah untuk membedakan dua sistem resin pada DSC.

2.5 Penelitian Sebelumnya

2.5.1 *The Novel Epoxy/PEPA Phosphate Flame Retardants: Synthesis, Characterization and Application in Transparent Intumescent Fire Resistant Coatings*

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Yanchao Shi dan Guojian Wang dari *Materials Science and Engineering, Tongji University, China*, dengan Judul *The Novel Epoxy/PEPA Phosphate Flame Retardants: Synthesis, Characterization and Application in Transparent Intumescent Fire Resistant Coatings*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *Transparent Intumescent Fire Resistant Coatings* dari Epoksi/PEPA (*1-oxo-4-hydroxymethyl-2,6,7-trioxo-1-phosphabicyclo[2.2.2]octane*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.

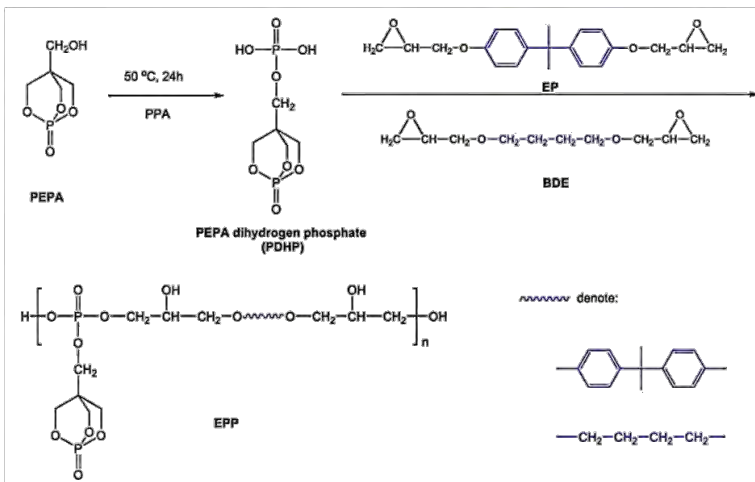


Gambar 2. 16 Sintesis PDHP dengan PDCl₃

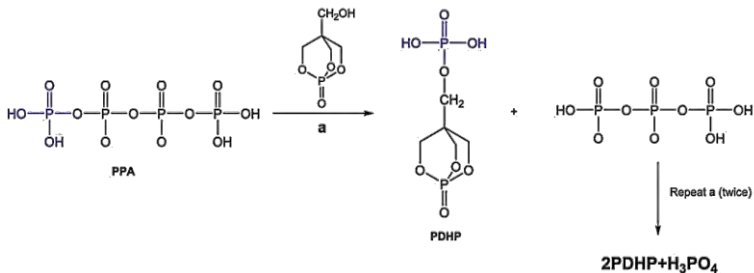
Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yang pertama yaitu proses sintesis PEPA *di hydrogen phosphate* (PDHP), dengan memanaskan PPA, 1,4-*dioxane* dan *acetonitrile* pada temperatur 50°C selama 6 jam. Kemudian sintesis Epoksi/PEPA *phosphate (EPP) flame raterdant*. Yaitu dengan mencampur PDHP, EP dan BDE dalam etanol/*acetonitrile* dengan reflux selama 96 jam, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.17 dan 2.18. Dan kemudian preparasi *transparent intumescent fire raterdant coating*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

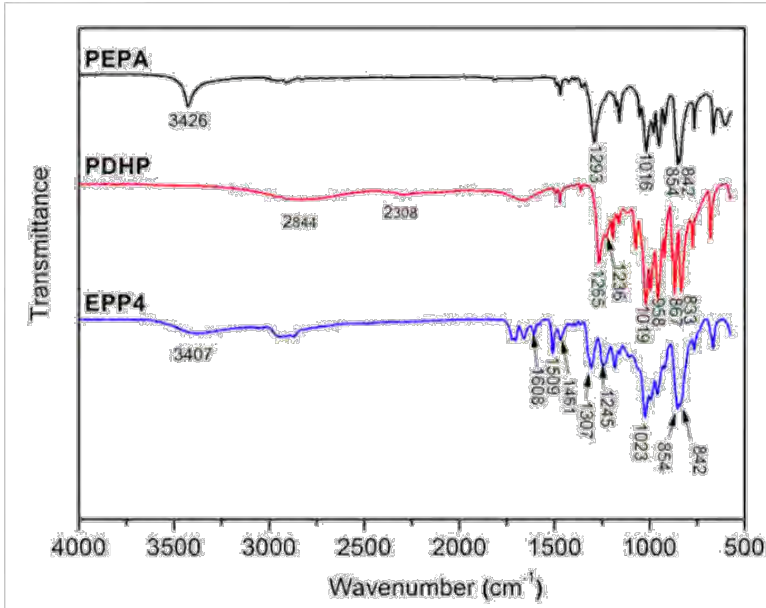


Gambar 2. 17 Sintesis PDHP dan EPP



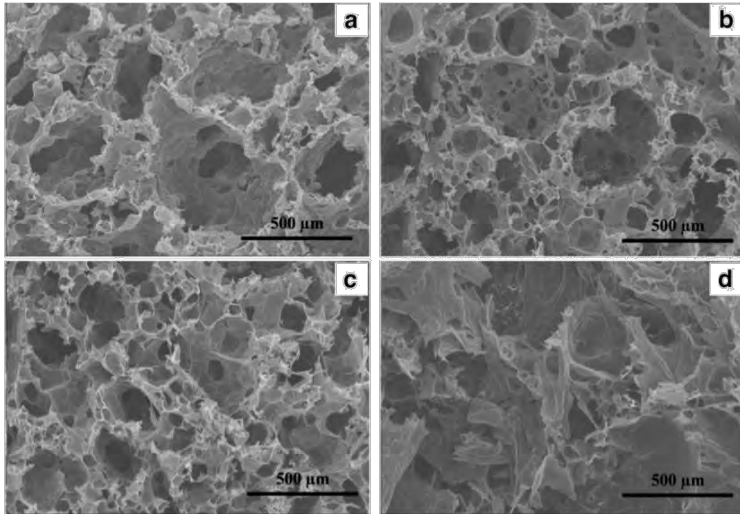
Gambar 2. 18 Reaksi antara PPA dan PEPA

Berdasarkan hasil penelitian tersebut diperoleh hasil karakterisasi struktur dari PDHP dan EPP dengan menggunakan FTIR seperti terlihat pada Gambar 2.19. karakteristik dari PEPA ditunjukkan pada puncak 3426 cm^{-1} (O-H), 1293 cm^{-1} (P=O), 1016 cm^{-1} , $854, 842\text{ cm}^{-1}$ (*caged phosphate*).



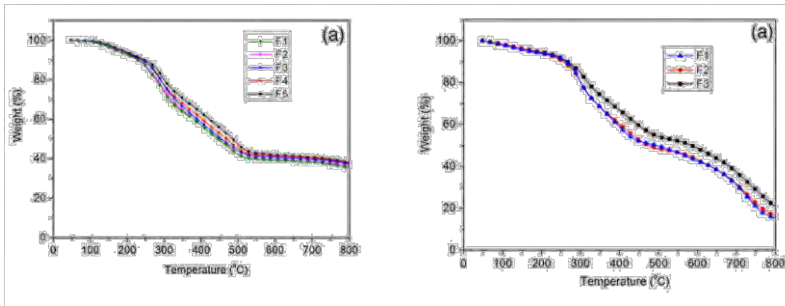
Gambar 2. 19 Spektrum FTIR dari PEPA, PDHP dan EPP4

Hasil dari pengamatan morfologi dari *intumescent layers* diamati dengan menggunakan SEM seperti pada gambar 2.20. gambar (a) menunjukkan adanya poros dengan diameter $\pm 500\mu\text{m}$, sehingga dapat dengan mudah mentransfer panas yang akan menurunkan *fire protection*. Dengan meningkatnya EP/BDE maka poros dari *fire resistant coating* F2 dan F3 semakin mengecil dan rata sehingga dapat menahan transfer panas lebih efektif. Dan pada F4 poros ssemakin besar sehingga menurunkan sifat *fire protection*-nya.



Gambar 2. 20 Mikrograf SEM (a) F1; (b) F2; (c) F3; (d) F4

Berdasarkan Gambar 2.21 proses degradasi *coating* dibagi menjadi 3 tahapan dibawah 550°C. Tahap pertama temperatur 50°C-200°C, amino resin akan melepaskan beberapa molekul kecil yang menyebabkan terjadinya penurunan berat (7,5 wt%). Tahap kedua 200°C-370°C menunjukkan dekomposisi dari EPP dan resin amino. EPP yang terdekomposisi adalah turunan asa fosphat dan alkena, yang membentuk char cair. Dan amino resin yang terdekomposisi menjadi gas *nonflammable* yang dapat membuat char cair membentuk lapisan intumescent char. Dan tahap ketiga pada 370°C-550°C bertujuan untuk pirolisis termal *uncarbonized segmen*, struktur tidak stabil atau oksidasi residu.



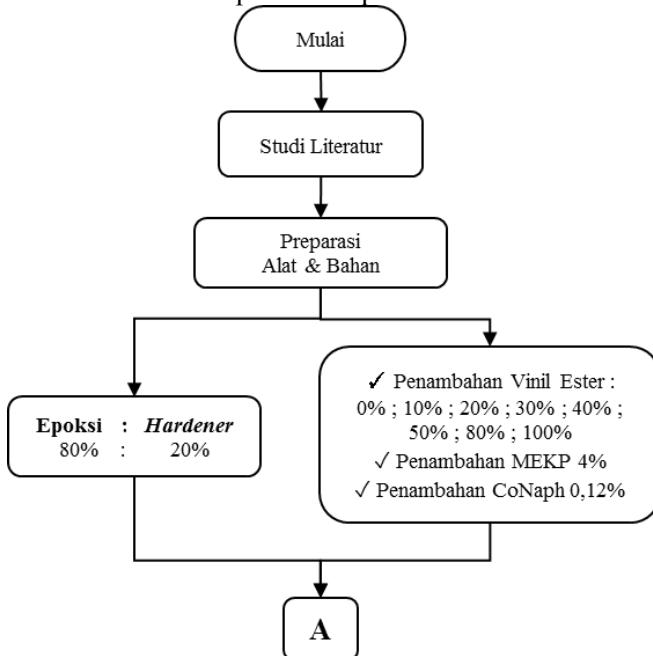
Gambar 2. 21 Termograf TGA *Fire Resistant Coating* pada Nitrogen (kiri) dan Udara (kanan)

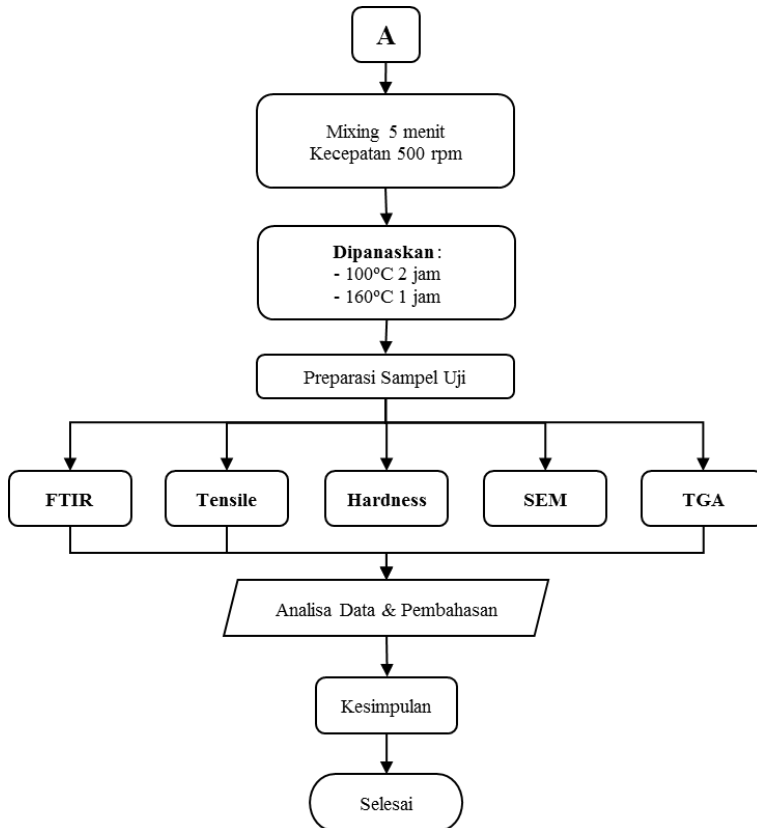
Dari hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sifat coating tahan api sangat dipengaruhi oleh rasio EP/BDE, dan rasio terbaik berdasarkan penelitian tersebut yaitu 1/2. Hasil pengujian SEM menunjukkan struktur *foam* dari lapisan char yang dengan signifikan membaik ketika rasio EP/BDE tidak lebih dari 1/2. Dan hasil TGA menunjukkan bahwa penggabungan EP dalam EPP meningkatkan stabilitas termal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan Epoksi Resin Eposchon A dan *Hardener* Eposchon B, Vinil Ester Ripoxy R-802 EX-1 dengan inisiator *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) serta akselerator *Cobalt Naphthenate* (CoNaph). Variasi komposisi pada Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80% dan 100% Vinil Ester. Masing-masing komposisi dipanaskan dalam oven selama 3 jam dan kemudian dipreparasi sebelum dilakukan pengujian. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi FTIR, SEM, TGA, uji tarik dan uji kekerasan. Kemudian dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap hasil pengujian yang kemudian ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Untuk diagram alir dari penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

3.2 Metodologi Penelitian

Acuan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Buku, jurnal serta berbagai sumber informasi dari situs penelitian merupakan acuan dari dilakukannya penelitian ini. Beberapa sumber referensi tersebut membahas serta menjelaskan secara umum mengenai proses polimerisasi serta sifat-sifatnya.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dan beberapa referensi menjelaskan secara khusus mengenai proses pencampuran dua atau lebih polimer untuk mendapatkan polimer dengan sifat khusus yang diinginkan. Serta berbagai standard pengujian seperti ASTM yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini.

2. Eksperimental

Pada penelitian ini terdapat beberapa eksperimen yang dilakukan untuk mendukung serta menjawab tujuan dari penelitian ini. Adapun eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini diantaranya yaitu pengujian FTIR untuk mengetahui ikatan yang terbentuk pada Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pengujian SEM untuk mengamati dan mengetahui topografi dan morfologi permukaan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pengujian TGA dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan keuletan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Dan uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Bahan Penelitian

Berikut ini adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

1. Vinil Ester

Vinil Ester atau yang dikenal dengan *ripoxy* merupakan cairan kental berwarna kuning, bahan baku utama dalam proses penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini. Vinil Ester yang digunakan merupakan tipe RIPOXY R-802 EX-1 yang diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya, seperti pada Gambar 3.2. adapun spesifikasi dari Vinil Ester tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Tabel 3. 1 Properties RIPOXY R-802 EX-1
(Showa Highpolymer CO., LTD.)

General Properties RIPOXY R-802 EX-1	
MEKP 2,5 PHR	
Promoter 0,6 PHR (6% CoNaph & 40% Dimethylaniline)	
Color (Gardner)	5 or less than
Acid Value (KOH mg/g)	7 – 13
Vviscosity (Pa•s at 25°C)	0,4 - 0,6
High Temp. Stability (min. At 120°C)	60 or longer
Gel Time (min. At 30°C)	30 – 40
Properties of Cured Resin	
After Cure at 120°C & 2 hours	
Specific Gravity (25°C)	1,134
Tensile Strength (MPa)	69 – 89
Elongation at Break (%)	06-Agu
Flexural Strength (MPa)	120 – 150
Flexural Modulus (GPa)	2,7 - 3,1
Compressive Strength (MPa)	108 – 118
Barcoll Hardness	35 – 40
Heat Distortion Temp. (°C)	100 – 110
Shrinkage (%)	35 – 40



Gambar 3. 2 Vinyl Ester (RIPOXY R-802 EX-1)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

2. Epoksi A

Epoksi merupakan cairan kental tidak berwarna atau transparan. Epoksi yang digunakan merupakan tipe Eposchon A, Gambar 3.3, yang diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



Gambar 3. 3 Epoksi (Eposchon A)

3. Epoksi B (*Hardener*)

Epoksi B atau yang dikenal sebagai *hardener Epoxy* merupakan cairan kental berwarna kuning. *Epoxy B* digunakan sebagai pengeras Epoksi A. Epoksi B yang digunakan merupakan tipe Eposchon B, Gambar 3.4, yang diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



Gambar 3. 4 *Hadener* (Eposchon B)



4. *Methyle Ethyl Ketone Peroxide* (MEPK)

Methyl Ethyl Ketone Peroxide, Gambar 3.5, merupakan larutan yang digunakan sebagai katalis dalam penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Kawaguchi Kimia Indonesia.



Gambar 3. 5 Katalis MEPK

5. *Cobalt Naphthenate*

Cobalt Naphthenate merupakan larutan berwarna biru pekat yang digunakan sebagai promotor atau akselerator pada penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Gambar 3.7, *Cobalt Naphthenate* yang digunakan diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



Gambar 3. 6 Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)



3.3.2 Alat Penelitian

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

1. Pengaduk Mekanik

Mesin pengaduk, Gambar 3.8, digunakan untuk mengaduk bahan agar tercampur dengan homogen. Kecepatan pengadukan yang digunakan pada masing-masing komposisinya sebesar 500 rpm.



Gambar 3. 7 Pengaduk Mekanik

2. Tachometer

Tachometer, Gambar 3.6, digunakan untuk mengidentifikasi kecepatan putar mixer sehingga terukur dalam satuan RPM (Rotation Per Minute).



Gambar 3. 8 Promotor *Cobalt Naphthenate*



3. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

Neraca analitik, Gamabr 3.9) digunakan untuk mengukur massa dari Epoksi, Vinil Ester, inisiator MEKP dan *Cobalt Naphthenate* sebelum dicampur menjadi satu.



Gambar 3. 9 Tachometer

4. Cetakan Spesimen Uji Tarik

Cetakan pada Gambar 3.10, digunakan sebagai tempat untuk mencetak Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester menjadi bentuk spesimen uji tarik dengan ukuran sesuai ASTM D638.



Gambar 3. 10 Cetakan Spesimen Uji Tarik



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

5. Oven

Oven pada Gambar 3.11, digunakan untuk memanaskan sampel dengan temperatur pemanasan 100°C selama dua jam, kemudian dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur 160°C selama 1 jam.



Gambar 3. 11 Oven

6. Mesin Gerinda dan Kertas Amplas

Mesin gerinda, Gambar 3.12, dan kertas amplas, Gambar 3.13, digunakan untuk merapikan permukaan dari sampel uji sebelum dilakukan pengujian.



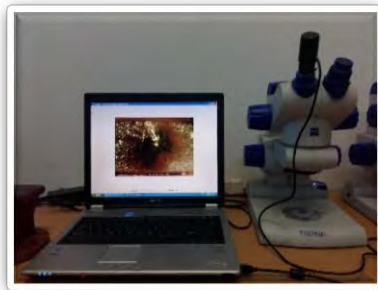
Gambar 3. 12 Mesin Gerinda



Gambar 3. 13 Kertas Amplas

7. Mikroskop Stereo

Mikroskop stereo digunakan untuk struktur makro yang terbentuk dari berkas patahan sampel uji tarik. Pengujian mikroskop makro ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi, FTI-ITS. Dengan menggunakan mikroskop Zeiss, yang ditunjukkan oleh Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Mikroskop Zeiss

8. Alat Uji FTIR (*Fouried Transform Infra Red*)

Alat FTIR digunakan untuk mengetahui ikatan-ikatan kimia yang terdapat pada Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Ikatan tersebut ditunjukkan dengan puncak yang dihasilkan dari penyerapan spektrum inframerah yang ditembakkan pada sampel uji. Masing-masing jenis ikatan memiliki daerah puncak



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

penyerapan yang berbeda-beda. Dengan menyesuaikan puncak yang muncul dengan referensi yang ada maka dapat diprediksikan ikatan apa yang ada pada Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.

Pengujian FTIR dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Jurusan teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS dengan menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicrolet IS10, Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Alat Uji FTIR

9. Alat Uji TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

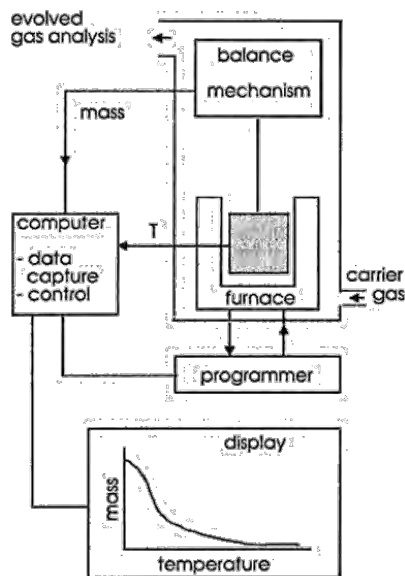
Thermogravimetric Analysis (TGA) adalah alat pengukuran perubahan massa yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur. TGA dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan massa sampel (*weight loss*) Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Analisa termal gravimetri merupakan metode analisis yang menunjukkan sejumlah urutan dari lengkungan termal, kehilangan berat dari bahan setiap tahap, dan temperatur awal penurunan. Analisa termal gravimetri dilakukan untuk menentukan kandungan pengisi dan kestabilan termal dari suatu bahan. Metode TGA ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi yang biasanya sekitar 900°C. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Pada pemanasan yang terus menerus dari temperatur kamar, maka pada temperatur-temperatur tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak-puncak dari histogram FTIR. Sehingga biasanya TGA digunakan untuk melakukan analisa proximate seperti kadar air, kadar senyawa volatil dan kadar abu dalam bahan. Adapun cara kerja dari TGA ditunjukkan pada Gambar 3.16.

Pengujian TGA dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS dengan menggunakan instrumen Gas Controller GC 200 STAR^e System, Gambar 3.17.



Gambar 3. 16 Cara Kerja Alat Uji TGA

<http://www.globalspec.com/reference/36940/203279/chapter-3-thermogravimetry-tg>

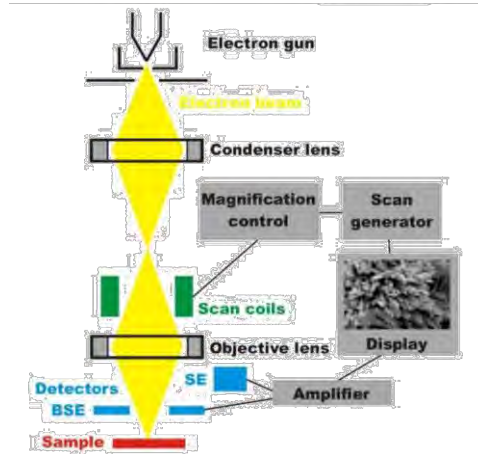


Gambar 3. 17 Alat Uji TGA

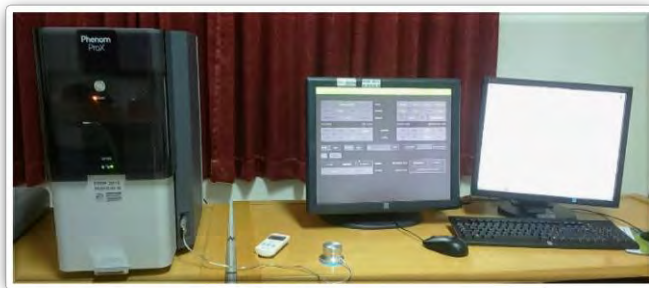
10. Alat Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning electron microscope (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pada SEM, Gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut discan dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Di layar CRT ini Gambar struktur obyek yang sudah diperbesar dapat dilihat. Mekanisme kerja dari SEM dapat dilihat pada Gambar 3.18.

Pengujian SEM pada penelitian ini dilakukan di PPNS, dengan menggunakan instrumen Phenom ProX, Gambar 3.19.



Gambar 3. 18 Cara Kerja Alat Uji SEM
 <<http://www.microscopy.ethz.ch/sem.htm>>



Gambar 3. 19 Alat Uji SEM

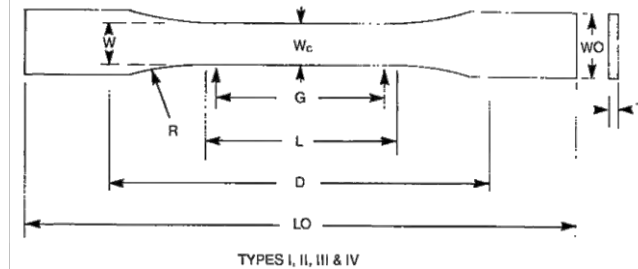
11. Alat Uji Tarik (*Tensile*)

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester berdasarkan ASTM D638. Kekuatan tarik menunjukkan kemampuan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester rusak atau putus. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan *Tensile Strength* dan *Elongation at Break* dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Dan dari hasil pengujian ini akan didapatkan kurva Tegangan-Regangan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian tarik ini dilakukan di Balai Latihan Kerja Industri-Surabaya, dengan menggunakan instrumen GOTECH GT-7001-LC50, Gambar 3.21.



Gambar 3. 20 Spesimen Uji Tarik (ASTM D638)



Gambar 3. 21 Alat Uji Tarik

Berdasarkan ASTM D638 untuk jenis spesimen yang digunakan pada penelitian ini merupakan tipe I dengan ketebalan dibawah 7 mm, seperti Gambar 3.20. Untuk klasifikasi ukuran dari spesimen uji tarik dapat dilihat di Tabel 3.2.

$$\text{Kekuatan Tarik} \quad \sigma_{ultimate} = \frac{P_{ultimate}}{A} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{Elongasi} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :



- P = beban yang diberikan pada spesimen (N)
- A = luas penampang specimen (mm²)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)
- Lo = panjang awal spesimen (mm)

Tabel 3. 2 Dimensi Spesimen berdasarkan Ketebalan
(sumber : ASTM D638)

Dimension	7 (0,28) or Under		Tolerances
	Type I	Type II	
W - Width of narrow section	13 (0,50)	6 (0,25)	± 0,5 (± 0,02)
L-Length of narrow section	57 (2,25)	57 (2,25)	± 0,5 (± 0,02)
WO-Width overall, min	19 (0,75)	19 (0,75)	+ 6,4 (+0,25)
LO-Length overall, min	165 (6,5)	183 (7,2)	no max
G-Gage length	50 (2,00)	50 (2,00)	± 0,25 (± 0,010)
D-Distance between grips	115 (4,5)	135 (5,3)	± 0,5 (± 0,02)
R-Radius of fillet	76 (3,00)	76 (3,00)	± 1 (± 0,04)

12. Durometer (Alat Uji Kekerasan/*Hardness*)

Uji kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pengujian kekerasan ini dilakukan berdasarkan ASTM D2240. Durometer yang digunakan dalam penelitian ini durometer dengan merk Krisbow, Gambar 3.22.



Gambar 3. 22 Durometer



3.4 Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah prosedur penelitian yang dilakukan oleh penulis :

3.4.1 Pembuatan Sampel Uji

Pembuatan sampel diawali dengan pencampuran 80% Epoksi resin (Eposchon A) dengan 20% *hardener* (Eposchon B), kemudian menambahkan Vinil Ester (Ripoxy R-802 EX-1) sebesar 0, 10, 20, 30, 40, 50, 80, dan 100 % berat. Campuran tersebut ditambahkan inisiator *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* (MEKP) sebanyak 4% (Ramaputra, 2013) dan *Cobalt Naphthenate* (CoNaph) sebanyak 0,12% (Ohama, 2005). Kemudian campuran tersebut diaduk dengan menggunakan pengaduk mekanik selama \pm 5 menit dengan kecepatan pengadukan 500 rpm, dan kemudian dipanaskan didalam oven pada temperatur 100°C selama 2 jam dan dilanjutkan pada pemanasan 160°C selama 1 jam. Kemudian dilakukan karakterisasi untuk dilakukan analisis hasil penelitian.

3.4.2 Preparasi Sampel Uji

Preparasi sampel Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester dilakukan sesuai dengan kriteria pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Uji FTIR

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material jurusan Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS dengan instrumen Thermo Scientific Nicrolet IS10. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM E1252. Pada penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini menggunakan sampel uji dengan bentuk padatan, dengan dimensi 3 x 3 x 1 mm. Penulis menggunakan potongan sampel kecil yang permukaannya dihaluskan dengan menggunakan gerinda dan/atau kertas amplas.

2. Uji SEM

Pengujian SEM di PPNS dengan instrumen Phenom ProX, dengan menggunakan standard ASTM E986-97. Sampel uji yang digunakan untuk pengujian SEM berasal dari patahan spesimen uji



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

tarik dengan dimensi tidak lebih dari 1 cm. Permukaan sampel yang akan diuji SEM, sebelumnya perlu dilakukan pelapisan terlebih dahulu. Hal ini perlu dilakukan karena sampel pada penelitian ini memiliki sifat bukan logam. Agar profil permukaan sampel dapat terlihat jelas, maka permukaan material tersebut harus dilapisi dengan film tipis logam sehingga dapat memantulkan berkas elektron. Dua metode yang biasa digunakan untuk pelapisan spesimen SEM non konduktif yaitu dengan pelapisan evaporasi dan sputter. Logam yang biasa digunakan sebagai pelapis adalah emas (Au), karbon (C), perak (Ag), paladium (Pd) dan lain-lain. Pada penelitian ini metode pelapisan yang digunakan adalah metode sputter yang dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Negeri Surabaya.

3. Uji Tarik

Sampel uji tarik pada penelitian ini dibuat berdasarkan ASTM D638 tipe I untuk *rigid material* dengan ketebalan maksimum 7 mm. Panjang sampel 165 mm, panjang *gage* 50 mm dan lebar *gage* 13 mm. Permukaan sampel uji tarik dihaluskan dengan menggunakan mesin gerinda dan kertas amplas untuk meminimalisasi terjadinya konsentrasi tegangan yang akan mempengaruhi hasil dari pengujian tariknya.

4. Uji Kekerasan

Untuk sampel uji kekerasan pada penelitian ini berdasarkan ASTM D2240 *presser foot* tipe D dengan ketebalan sampel uji lebih dari 6 mm dan luas permukaan lebih dari 500 mm². Untuk meratakan permukaannya, sampel uji dihaluskan dengan menggunakan mesin gerinda dan kertas amplas.

5. Uji Mikroskop Stereo

Pengujian stereo dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan berkas patahan yang terbentuk dari hasil sampel uji tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester secara makro. Pengujian stereo dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS dengan menggunakan



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Mikroskop Seizz. Sampel yang digunakan untuk pengujian makro ini menggunakan potongan berkas patahan sampel uji tarik.

6. Uji TGA

Pengujian TGA dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS dengan menggunakan instrumen Gas Controller GC 200 STAR^e System. Pengujian stabilitas termal dilakukan dengan memanaskan sampel uji Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester pada temperatur 50°C hingga temperatur 500°C dengan *rate* pemanasan 10°C. Sampel uji yang digunakan untuk pengujian TGA berupa serbuk.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pencampuran Epoksi dan Vinil Ester dengan inisiator *methyl ethyl ketone peroxide* (MEKP) 4% dan *cobalt naphthenate* (CoNaph) sebagai akselerator. Dari proses pencampuran tersebut diperoleh material Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester dengan komposisi Epoksi (100), Epoksi/VE (10), Epoksi/VE (20), Epoksi/VE (30), Epoksi/VE (40), Epoksi/VE (50), Epoksi/VE (80) dan Vinil Ester (100). Hasil dari pencampuran tersebut dipreparasi untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis seperti berikut.

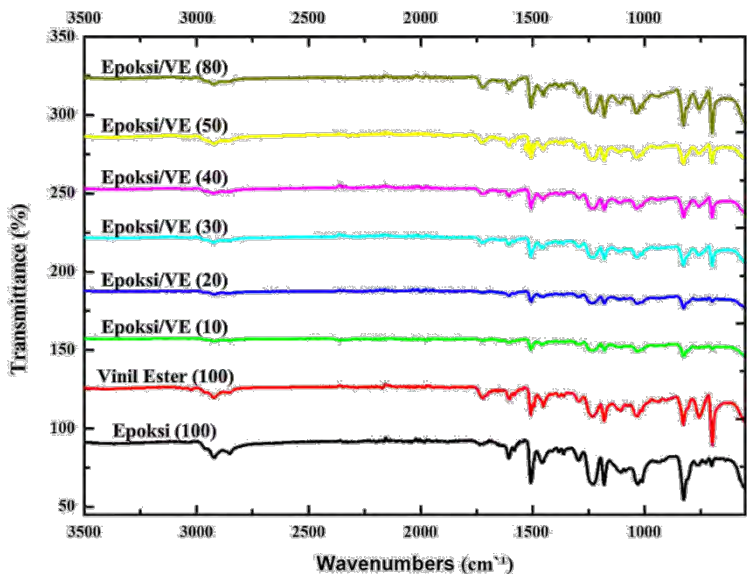
4.1 Analisis Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi Epoksi dan gugus fungsi Vinil Ester yang merupakan komponen penyusunnya dengan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester secara keseluruhan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data seperti pada Gambar 4.1.

Dilihat dari struktur molekulnya, Epoksi dan Vinil Ester tersusun dari gugus fungsi yang hampir sama, yaitu gugus aromatik benzena, eter, alkohol, dan gugus ester pada Vinil Ester. Hal ini terjadi karena Vinil Ester disintesa melalui reaksi esterifikasi Epoksi dengan asam monokarboksilat tak jenuh. Perbedaan kedua material ini terdapat pada gugus amida (N-H *deformation* dan C-N *stretching*) pada 1605,17 cm^{-1} yang muncul pada epoksi karena adanya *hardener* (pengeras) sebagai agen ikatan silang dan gugus ester pada Vinil Ester C=O pada 1718,94 cm^{-1} . Adapun gugus fungsi utama Epoksi yang muncul pada pengujian FTIR ini yaitu pada 1507,27 cm^{-1} menunjukkan adanya C=C dari gugus fungsi benzena. 1230,97 cm^{-1} menunjukkan Ar-O-R dari gugus eter, gugus fungsi alkohol pada daerah serapan 1293,83 cm^{-1} (O-H *deformation*) dan 1179,71 cm^{-1} (C-O *stretching*), serta N-H *deformation* dan C-N *stretching* pada 1605,17 cm^{-1} yang



menunjukkan adanya ikatan *crosslink* pada material epoksi (100) tersebut. Dan gugus fungsi Vinil Ester yang terekam oleh mesin FTIR ini diantaranya adalah gugus ester C=O pada $1718,94\text{ cm}^{-1}$, C=C benzena pada $1603,13\text{ cm}^{-1}$ dan $1507,7$, gugus alkohol pada $1292,39\text{ cm}^{-1}$ O-H *deformation* dan $1179,66\text{ cm}^{-1}$ C-O *stretching*, gugus eter Ar-O-R muncul pada 1232 cm^{-1} , dan pada material Vinil Ester (100) tidak terlihat adanya gugus alkena (C=C) hal tersebut menunjukkan bahwa Vinil Ester (100) bereaksi sempurna. Selain menunjukkan persamaan yang terjadi dari penambahan Vinil Ester, Gambar 4.1 juga menunjukkan perubahan yang cukup signifikan pada puncak $690\text{-}710\text{ cm}^{-1}$ dengan adanya penambahan Vinil Ester. Hal tersebut disebabkan adanya mono substitusi cincin pada stirena (Mistry, 2009).



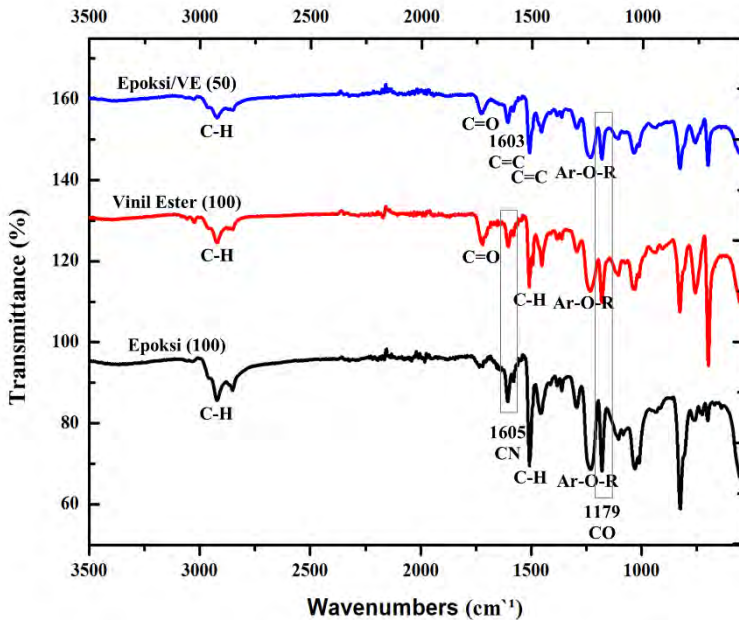
Gambar 4. 1 Spektrum FTIR Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Gugus fungsi pada campuran Epoksi dan Vinil Ester yang telah diperoleh dari hasil FTIR, menunjukkan perpaduan gugus fungsi dari polimer penyusunnya. Seperti pada Gambar 4.2, pada material Epoksi/VE (50) terdapat gugus benzena C=C pada daerah serapan $1581,73\text{ cm}^{-1}$, gugus alkohol O-H dan C-O pada $1292,98$



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

cm^{-1} dan $1180,21 \text{ cm}^{-1}$, eter Ar-O-R pada $1231,50 \text{ cm}^{-1}$, N-H dan C-N pada $1605,17 \text{ cm}^{-1}$ serta ester C=O pada 1725 cm^{-1} .



Gambar 4. 2 Spektrum FTIR Epoksi (100), Vinil Ester (100) dan Epoksi/VE (50)

Berdasarkan analisis dari hasil pengujian diatas, maka dapat diasumsikan bahwa tidak terdapat gugus fungsi dengan ikatan kovalen baru yang terbentuk. Seperti yang dijelaskan oleh Rabek (1983), polimer blend terbentuk dari pencampuran dua atau lebih polimer yang tanpa diikuti adanya ikatan kovalen antar komponen penyusunnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester berhasil terbentuk dengan interaksi fisik, berupa kontak permukaan antar molekul polimer.



4.2 Analisis Morfologi Hasil SEM

Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengamati fasa yang terbentuk dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Secara umum terlihat pada Gambar 4.3, mikrograf dari berkas patahan sampel uji tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester terlihat homogen. Pada masing-masing material dengan adanya penambahan Vinil Ester hingga 80% tidak menunjukkan adanya perbedaan fasa atau dapat diasumsikan bahwa Epoksi dan Vinil ester dapat tercampur sempurna atau *miscible* (Sharma, 2012).

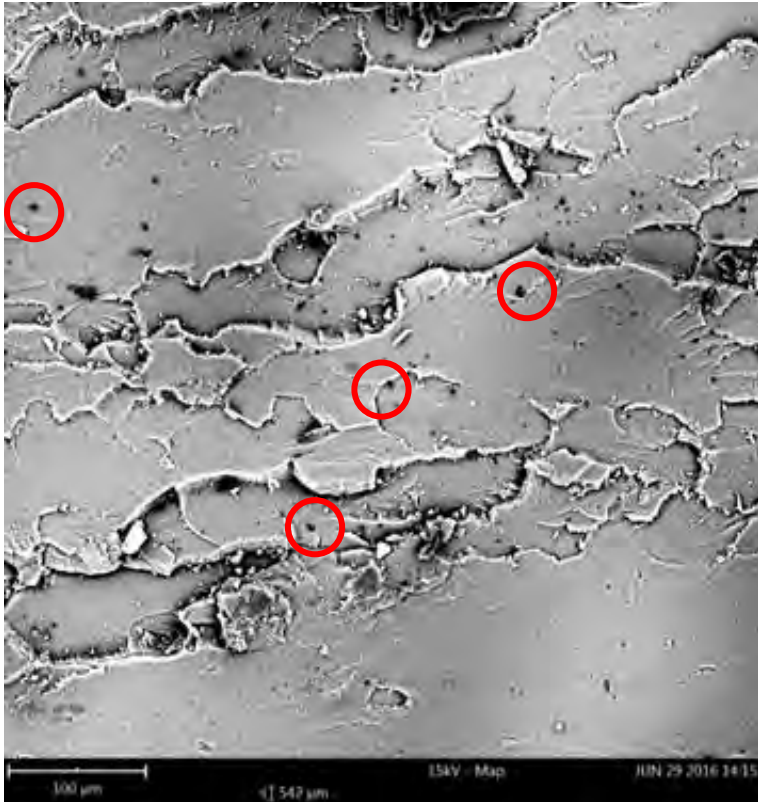
Berdasarkan mikrograf pada Gambar 4.3, terlihat adanya beberapa mikro poros yang terbentuk yang mungkin disebabkan oleh adanya gelembung udara atau *bubble* yang terjebak pada saat proses pencampuran Epoksi dan Vinil Ester. Dengan adanya mikro poros tersebut menyebabkan adanya penurunan pada sifat mekanik seperti yang terlihat pada Gambar 4.4.



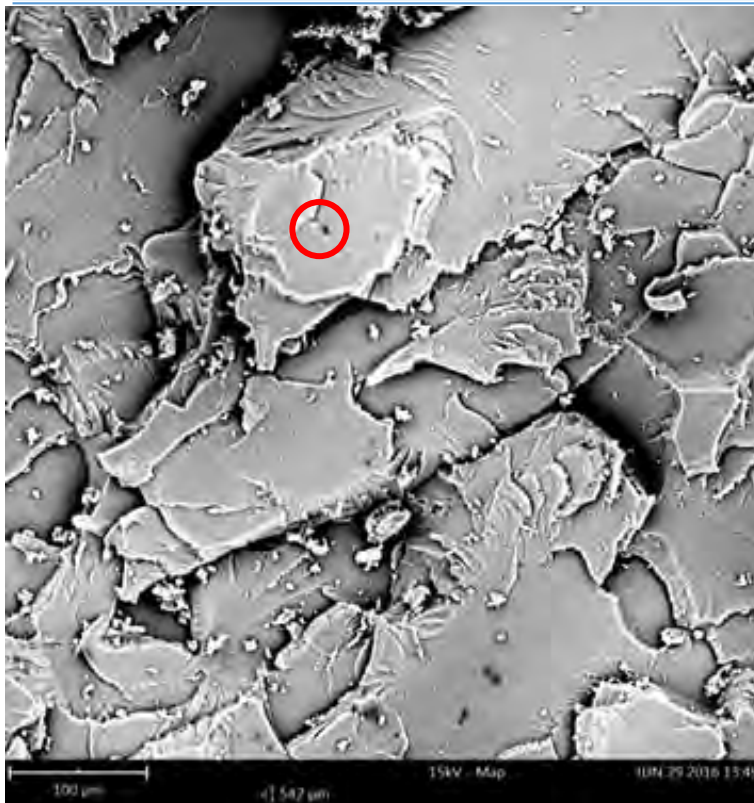
(a) Epoksi (100); 500x



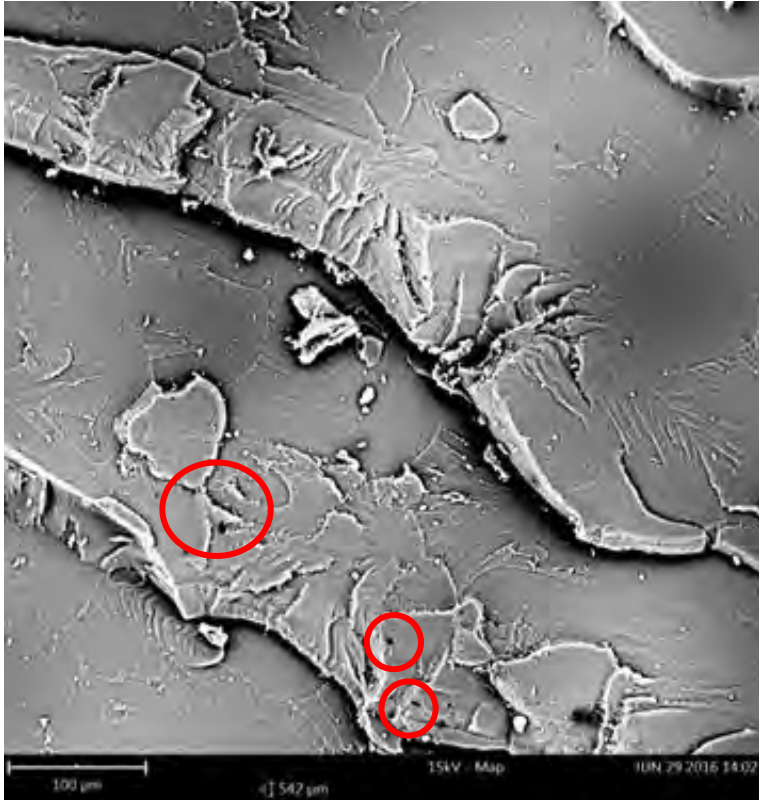
(b) Epoksi/VE (10); 500x



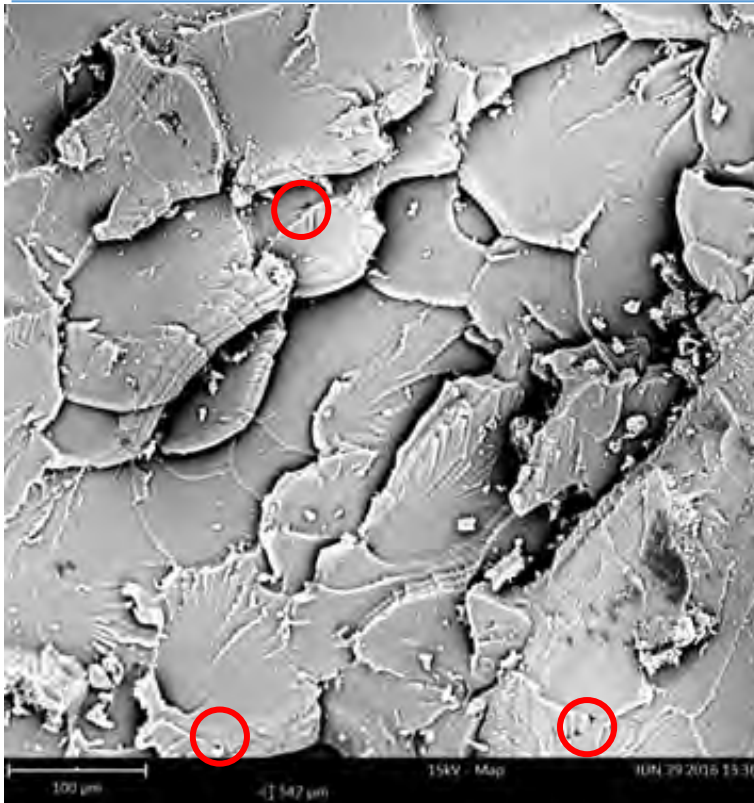
(c) Epoksi/VE (30); 500x



(d) Epoksi/VE (50); 500x



(e) Epoksi/VE (80); 500x



(f) Vinil Ester (100); 500x

Gambar 4. 3 Mikrograf SEM Perbesaran 500x Polimer Blend Epoksi (100) (a), Epoksi/VE (10) (b), Epoksi/VE (30) (c), Epoksi/VE (50) (d), Epoksi/VE (80) (e), Vinil Ester (100) (f)

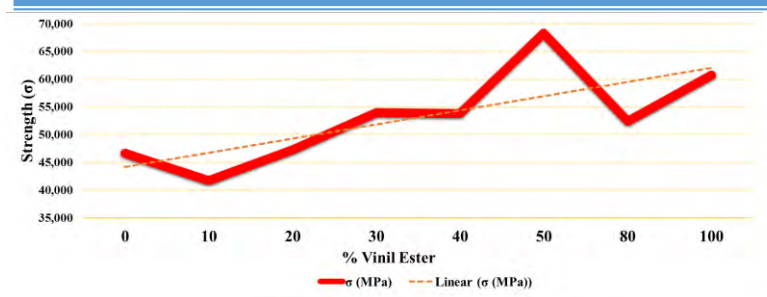


4.3 Sifat Mekanik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Polimer blend dibuat dengan tujuan untuk memperbaiki sifat dari masing-masing polimer penyusunnya. Selain harus memiliki sifat yang sesuai dengan aplikasinya, pencampuran tersebut diharapkan dapat mengoptimalkan sifat-sifat yang ada. Untuk mengetahui sifat mekanik yang terbentuk pada penelitian Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ini, maka telah dilakukan dua pengujian mekanik, yaitu uji tarik dan uji kekerasan. Adapun hasil analisis dari masing-masing pengujian adalah sebagai berikut.

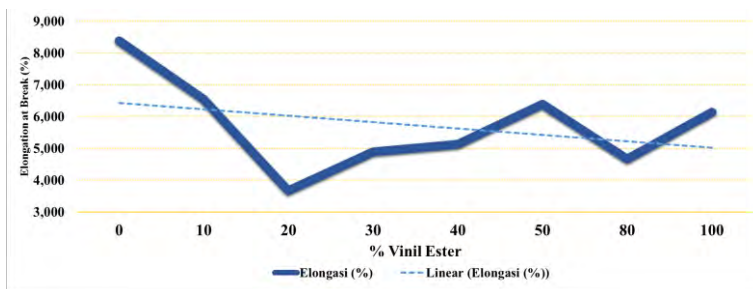
4.3.1 Pengujian Tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Gambar 4.4 merupakan grafik nilai kekuatan tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Pada grafik tersebut terlihat kekuatan tarik dari Epoksi (100) lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik Vinil Ester (100). Hal tersebut mungkin terjadi apabila rasio pencampuran antara epoksi resin dan *hardener* tidak tepat sehingga epoksi atau *hardener* tidak bereaksi sempurna (Suwanto). Secara umum dapat terlihat bahwa dengan penambahan Vinil Ester dapat meningkatkan kekuatan tarik dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester hingga mencapai kekuatan optimumnya pada material Epoksi/VE (50) dengan nilai 68,303 MPa, atau mengalami peningkatan 46% dari kekuatan Epoksi (100). Peningkatan kekuatan tarik yang terjadi pada Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester tersebut disebabkan adanya *bisphenol A* pada Vinil Ester, sehingga semakin banyak gugus benzena yang berulung dalam material tersebut (Cao, 2002). Sedangkan untuk penurunan nilai kekuatan yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti adanya porositas. Adanya porositas dapat mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan dalam menahan tegangan tarik (Pamungkas, 2011).



Gambar 4. 4 Kekuatan Tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Selain kekuatan tarik, hasil pengujian tarik juga berpengaruh terhadap elongasi atau keuletan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Elongasi dari hasil pengujian tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Elongasi Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

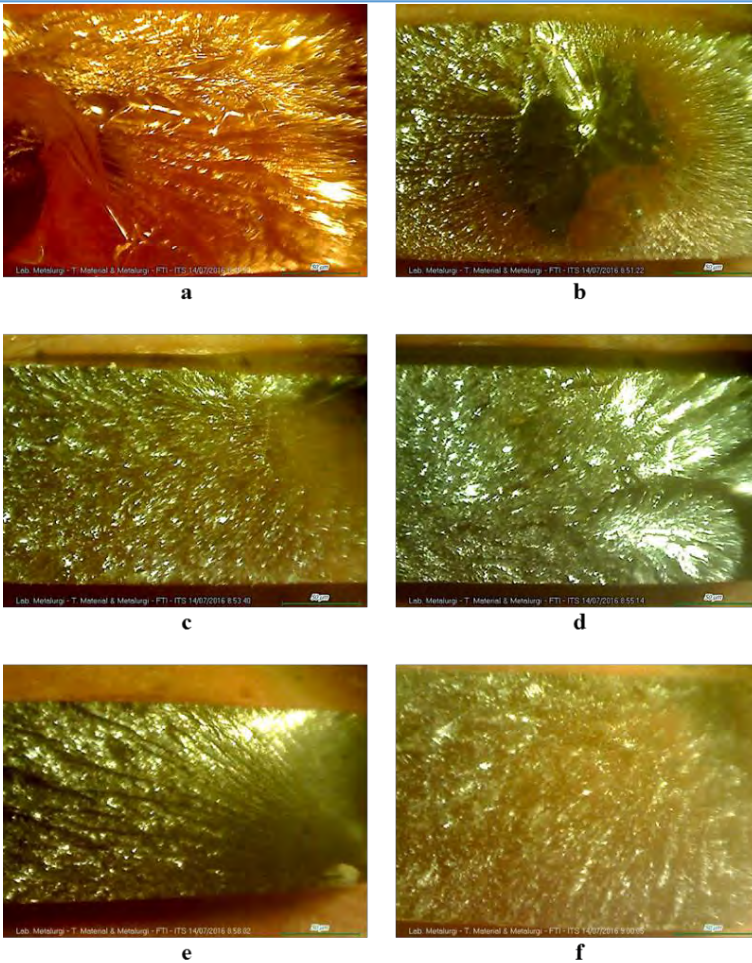
Berdasarkan grafik elongasi yang diperoleh dari pengujian tarik diatas, diketahui bahwa elongasi tertinggi dimiliki material Epoksi/VE (0) dengan nilai 8,4% dan nilai terendah pada material Epoksi/VE (20) yaitu 3,7%. Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa dengan adanya penambahan Vinil Ester menurunkan elongasi dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester.

Dengan semakin turunnya nilai elongasi maka menunjukkan bahwa material yang terbentuk semakin *brittle* atau getas. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pengamatan secara



makro dengan menggunakan mikroskop stereo seperti pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 memperlihatkan tekstur permukaan dari berkas patahan sampel uji tarik material Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Gambar 4.6 (a), Epoksi (100) menunjukkan berkas patahan yang terjadi adalah patahan ulet, terlihat dari tekstur patahan yang berserat (Callister, 2007). Material Epoksi/VE (10), Gambar 4.6 (b) memiliki jenis patahan campuran, dominan ulet. Dan pada Gambar 4.6 (e), material Epoksi/VE (80) menunjukkan pola patahan berupa garis yang menjulur dari asal patahan dan membentuk struktur kipas (Callister, 2007). Berdasarkan pola patahan yang terbentuk, dari adanya penambahan Vinil Ester akan menghasilkan patahan yang semakin getas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hal tersebut juga sesuai dengan penurunan nilai elongasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.

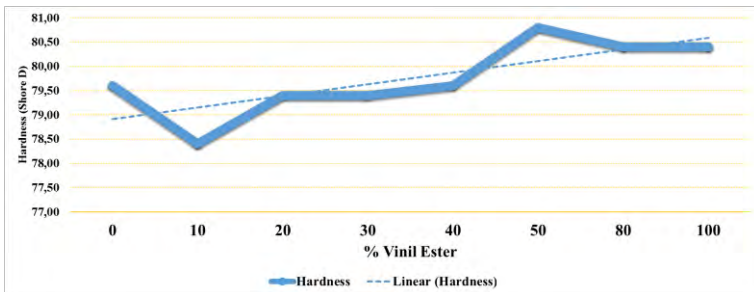


Gambar 4. 6 Berkas Patahan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester
 (a) Epoksi (100), (b) Epoksi/VE (10), (c) Epoksi/VE (30), (d)
 Epoksi/VE (50), (e) Epoksi/VE (80), (f) Vinil Ester (100)



4.3.2 Kekerasan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

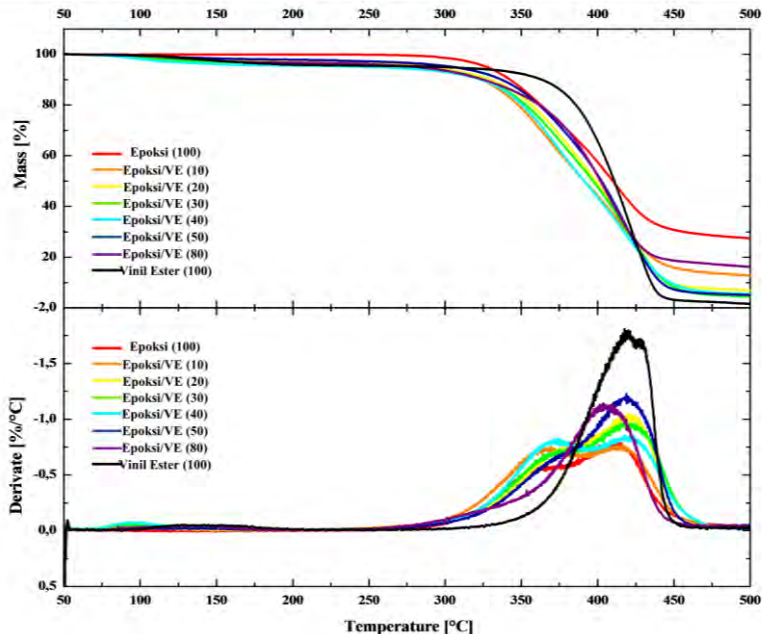
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 menggunakan indentor durometer shore D. Gambar 4.7 menunjukkan nilai kekerasan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester yang semakin meningkat dengan adanya penambahan Vinil Ester sesuai dengan kekuatan tariknya (Gambar 4.4). Nilai kekerasan optimum dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester berada pada material Epoksi/VE (50) dengan nilai kekerasan 80,80 Shore D. Hal tersebut membuktikan bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan tarik dan berbanding terbalik dengan elongasinya (Ramaputra, 2013).



Gambar 4. 7 Kekerasan Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

4.4 Stabilitas Termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Hasil pengujian TGA yang diperoleh berupa kurva pengaruh peningkatan temperatur terhadap pengurangan massa sampel seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Stabilitas Termal Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Berdasarkan Gambar 4.8, kurva derivatif terhadap temperatur diperoleh temperatur degradasi dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester. Dari data tersebut dapat ditentukan onset dan enset yang merupakan persimpangan garis singgung dari puncak (*peak*) dengan dasar ekstrapolasi. Onset adalah temperatur awal mula terjadi degradasi dari suatu material. *Peak temperature* adalah temperatur maksimum atau minimum dari peristiwa termal tersebut.

Berdasarkan Gambar tersebut didapatkan onset maksimum pada material Epoksi/VE (50) yaitu pada 365°C dan enset pada 449°C. Untuk material Epoksi/VE (10) terdapat dua onset dan enset, yaitu onset pertama pada temperatur 71,93 °C dengan onset 127,21 °C, sedangkan onset kedua 308,83 °C dengan enset 450,42 °C. Hal tersebut mungkin terjadi karena terdapat pemutusan rantai ataupun pembentukan rantai baru, akan tetapi berdasarkan hasil pengujian FTIR yang telah dilakukan tidak didapatkan gugus



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

fungsi yang hilang atau terbentuknya gugus fungsi baru. Oleh karena itu, munculnya dua puncak pada satu material dapat diasumsikan karena tidak stabilnya material terhadap perubahan temperatur. Untuk hasil onset dan enset dari Polimer Epoksi/Vinil Ester dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Temperatur Degradasi Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Material	Onset (°C)		Enset (°C)		Peak (°C)	
	1	2	1	2	1	2
Epoksi (100)	312,17	-	433,42	-	411,67	-
Epoksi/VE (10)	71,93	308,83	127,21	450,42	97,91	414,62
Epoksi/VE (20)	62,00	291,60	174,48	449,74	91,92	420,51
Epoksi/VE (30)	70,91	345,27	182,48	454,25	90,95	417,34
Epoksi/VE (40)	66,75	202,78	202,78	419,70	100,86	417,39
Epoksi/VE (50)	356,64	-	449,69	-	417,39	-
Epoksi/VE (80)	352,91	-	440,97	-	405,23	-
Vinil Ester (100)	79,35	369,87	240,88	469,41	129,88	419,70

Persentase berat sisa dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berat sisa tersebut dihitung berdasarkan persentase berat yang tersisa dari material Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester yang tersisa pada temperatur 500°C. Material dengan berat terbanyak dimiliki oleh Epoksi (100) yaitu sebesar 27,27%, kemudian Epoksi/VE (80) 12,71% dan Epoksi/VE (10) yaitu 12,71% dan berat sisa paling rendah dimiliki oleh



material Vinil Ester (100) yaitu 1,50%. Sedangkan material Epoksi/VE (50) memiliki berat sisa 5,01%.

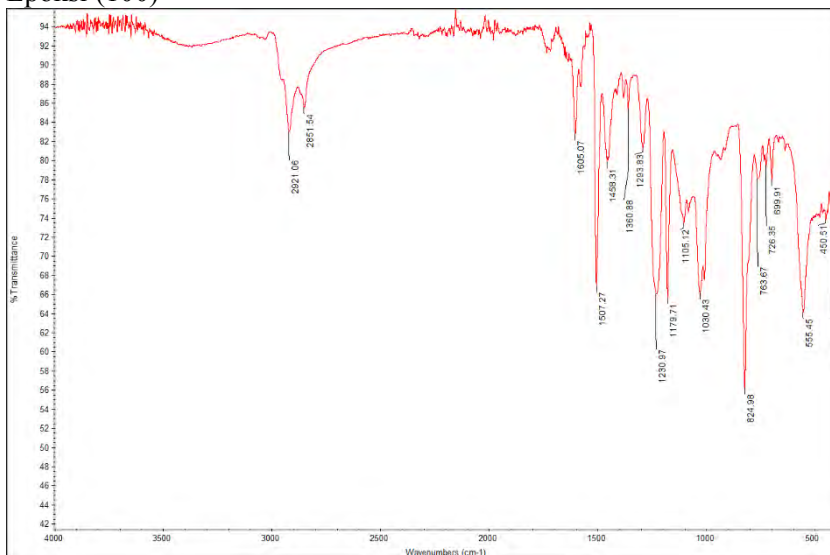
Tabel 4. 2 Berat Sisa Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester

Material	Persentase Sisa Berat (% Berat)
Epoksi/VE (0)	27,27
Epoksi/VE (10)	12,71
Epoksi/VE (20)	6,85
Epoksi/VE (30)	4,46
Epoksi/VE (40)	5,48
Epoksi/VE (50)	5,01
Epoksi/VE (80)	15,90
Epoksi/VE (100)	1,50

Berdasarkan hasil analisis ketahanan termal yang telah dilakukan, dapat diasumsikan bahwa material Epoksi/VE (50) cukup stabil sehingga cocok untuk diaplikasikan pada bidang elektronik, khususnya sebagai kandidat material *Printed Circuit Board* (PCB).

LAMPIRAN

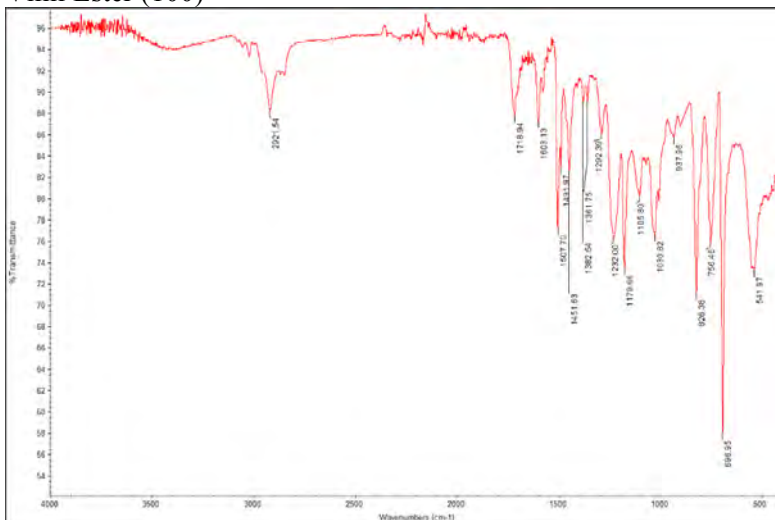
FTIR Epoksi (100)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi (100)	2921,06	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	2851,54	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1605,07	N-H def. + C-N str.	Amide
	1507,27	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1458,31	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1360,88	CH ₃ def.	Alkil
	1293,83	O-H def.	Alkohol
	1230,97	Ar-O-R str.	Eter
	1179,71	C-H	Monosubstituted Benzene
	1105,12	C-OH str.	Alkohol
	1030,43	C-O str.	Alkohol
	824,98	C-H def.	Benzene
763,67	C-H def.	Benzene	

726,35	C-N str.	Amide
699,91	C-H def.	Monosubstituted Benzene
555,45	C-N str.	Amide

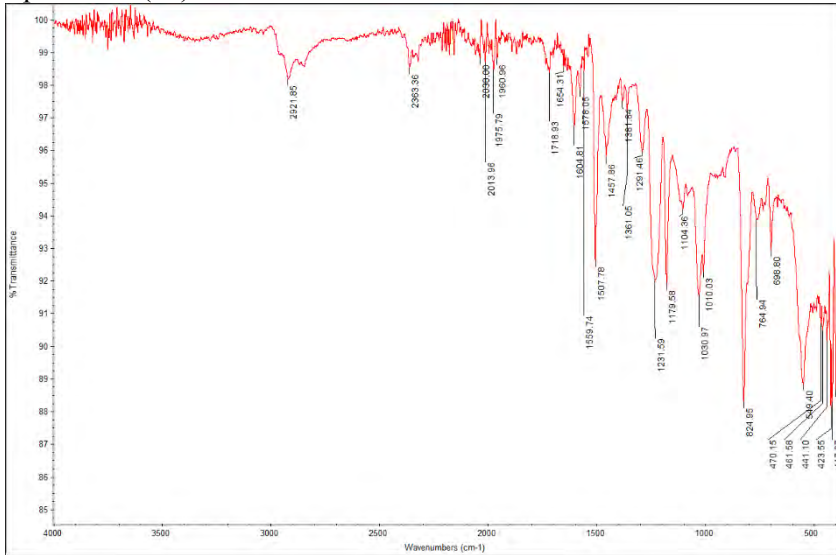
Vinil Ester (100)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Vinil Ester (100)	2921,54	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1718,94	C=O str.	Ester
	1603,13	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1507,7	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1491,97	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1451,63	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1382,54	CH ₃ def.	Alkil
	1361,75	CH ₃ def.	Alkil
	1292,39	O-H def.	Alkohol
	1232	Ar-O-R str.	Eter
	1179,66	C-O str.	Ester
	1105,8	C-OH str.	Alkohol
1030,82	C-O str.	Alkohol	

937,96	O-H def.	Alkohol
826,38	C-H def.	Benzene
756,46	C-H def.	Benzene
696,95	C-H def.	Monosubstituted Benzene

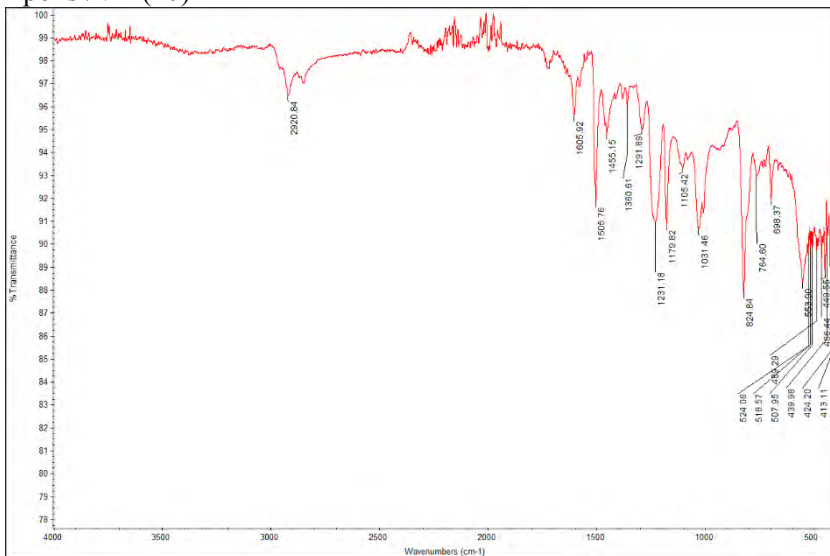
Epoksi/VE (10)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi/VE (10)	2921,85	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1718,93	C=O str.	Ester
	1654,31	C=C str.	Alkena
	1604,81	N-H def. + C-N str.	Amide
	1578,05	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1559,74	N-H def. + C-N str.	Amide
	1507,78	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1457,86	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1381,84	CH ₃ def.	Alkil
1361,05	CH ₃ def.	Alkil	

1291,46	O-H def.	Alkohol
1231,59	Ar-O-R str.	Eter
1179,58	C-O str.	Ester
1104,36	C-OH str.	Alkohol
1030,97	C-O str.	Alkohol
1010,03	C-OH	Alkohol
824,95	C-H def.	Benzene
764,94	C-H def.	Benzene
698,8	C-H def.	Monosubstituted Benzene
549,4	C-N str.	Amide

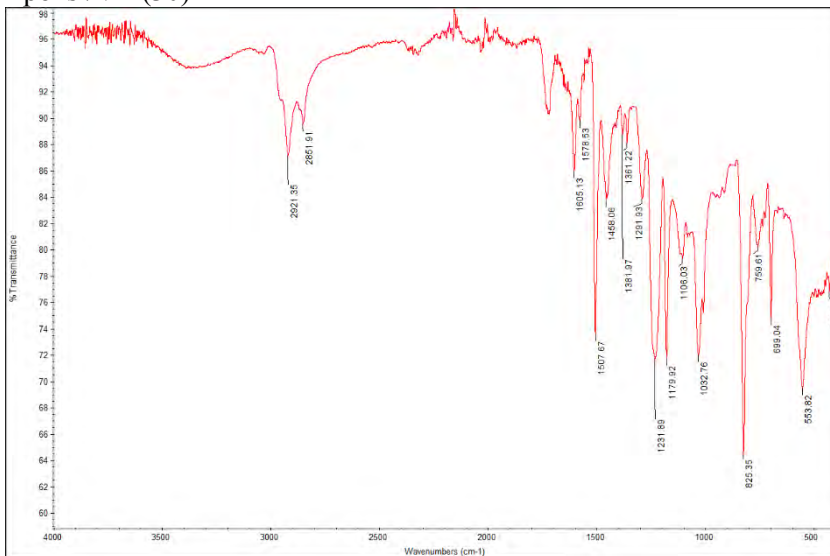
Epoksi/VE (20)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi/VE (20)	2920,84	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1605,92	N-H def. + C-N str.	Amide
	1505,76	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1455,15	C-H def.	Alkana (-CH ₃)

1360,61	CH ₃ def.	Alkil
1291,89	O-H def.	Alkohol
1231,18	Ar-O-R str.	Eter
1179,82	C-O str.	Ester
1105,42	C-OH str.	Alkohol
1031,18	C-O str.	Alkohol
824,8	C-H def.	Benzene
764,6	C-H def.	Benzene
698,37	C-H def.	Monosubstituted Benzene
553,9	C-N str.	Amide

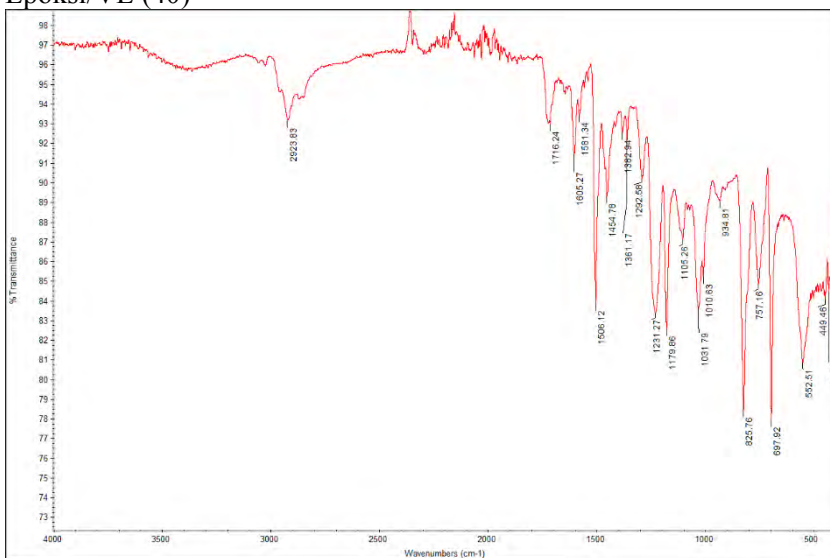
Epoksi/VE (30)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi/VE (30)	2921,35	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	2851,91	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1605,13	N-H def. + C-N str.	Amide
	1578,53	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic

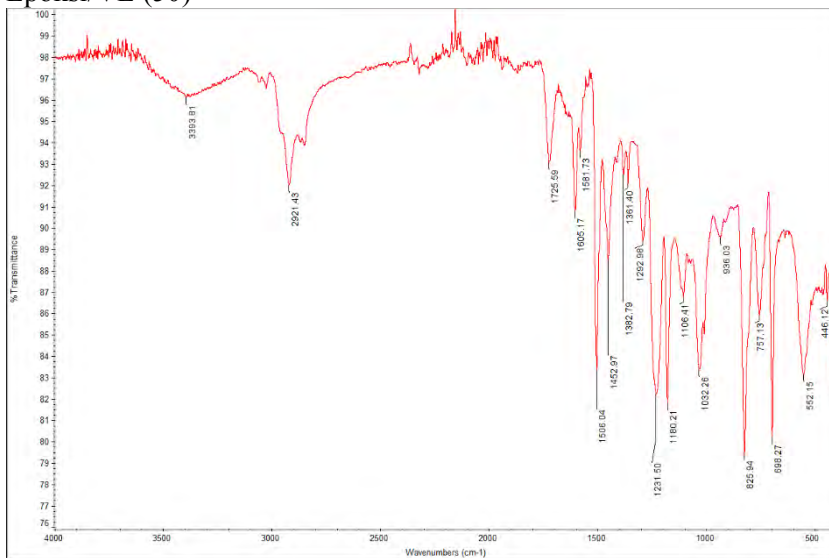
1507,67	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
1458,06	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
1381,97	CH ₃ def.	Alkil
1361,22	CH ₃ def.	Alkil
1291,93	O-H def.	Alkohol
1231,89	Ar-O-R str.	Eter
1179,92	C-O str.	Ester
1106,03	C-OH str.	Alkohol
1032,76	C-O str.	Alkohol
825,35	C-H def.	Benzene
759,61	C-H def.	Benzene
699,04	C-H def.	Monosubstituted Benzene
553,82	C-N str.	Amide

Epoksi/VE (40)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoki/VE (40)	2923,83	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1716,24	C=O str.	Ester
	1605,27	N-H def. + C-N str.	Amide
	1581,34	C=C str.	Alkena
	1506,12	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1454,78	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1382,94	CH ₃ def.	Alkil
	1361,17	CH ₃ def.	Alkil
	1292,58	O-H def.	Alkohol
	1231,27	Ar-O-R str.	Eter
	1179,86	C-O str.	Ester
	1105,26	C-OH str.	Alkohol
	1031,79	C-O str.	Alkohol
	1010,63	C-OH	Alkohol
	825,76	C-H def.	Benzene
	757,16	C-H def.	Benzene
	697,92	C-H def.	Monosubstituted Benzene
552,51	C-N str.	Amide	

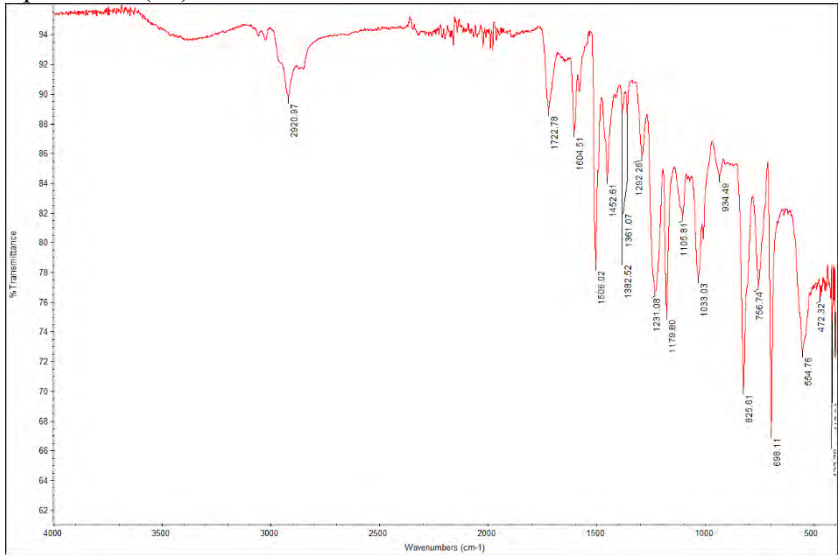
Epoksi/VE (50)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi/VE (50)	3393,81	O-H str.	Alkohol
	2921,43	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1725,59	C=O str.	Ester
	1605,17	N-H def. + C-N str.	Amide
	1581,73	C=C str	Alkena
	1506,04	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1452,97	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1382,79	CH ₃ def.	Alkil
	1361,4	CH ₃ def.	Alkil
	1292,98	O-H def.	Alkohol
	1231,5	Ar-O-R str.	Eter
	1180,21	C-O str.	Ester
	1106,41	C-OH str.	Alkohol
	1032,26	C-O str.	Alkohol
936,03	O-H def.	Alkohol	

825,94	C-H def.	Benzene
757,73	C-H def.	Benzene
698,27	C-H def.	Monosubstituted Benzene
552,15	C-N str.	Amide

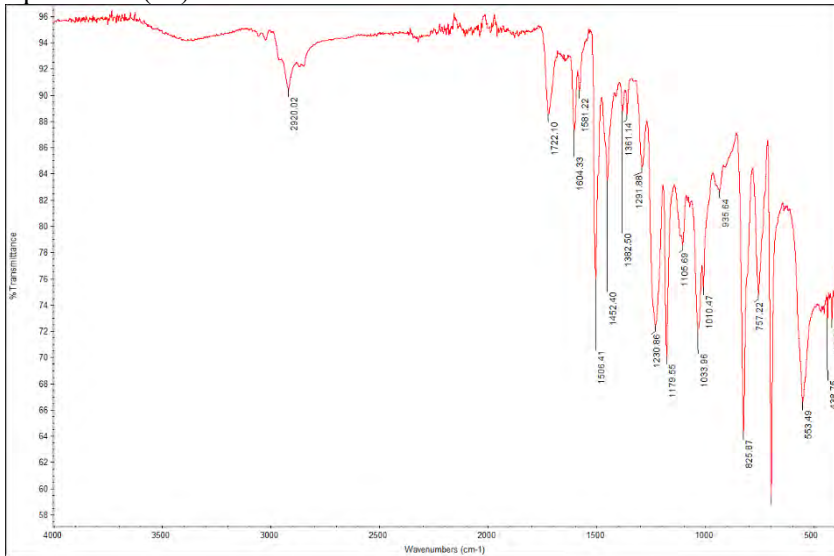
Epoksi/VE (60)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi (60)	2920,97	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1722,78	C=O str.	Ester
	1604,51	N-H def. + C-N str.	Amide
	1506,02	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1452,61	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1382,52	CH ₃ def.	Alkil
	1361,07	CH ₃ def.	Alkil
	1292,26	O-H def.	Alkohol
	1231,08	Ar-O-R str.	Eter
	1179,8	C-O str.	Ester

1105,81	C-OH str.	Alkohol
1033,03	C-O str.	Alkohol
934,49	O-H def.	Alkohol
825,61	C-H def.	Benzene
698,11	C-H def.	Monosubstituted Benzene
554,76	C-N str.	Amide

Epoksi/VE (80)



Material	Daerah Serapan	Ikatan	Gugus Fungsi
Epoksi/VE (80)	2920,02	C-H str.	Alkana (-CH ₂ -)
	1722,1	C=O str.	Ester
	1604,33	N-H def. + C-N str.	Amide
	1581,22	C=C str	Alkena
	1506,41	C=C i-p vib.	Aromatic Homocyclic
	1452,4	C-H def.	Alkana (-CH ₃)
	1382,5	CH ₃ def.	Alkil
	1361,14	CH ₃ def.	Alkil
1291,88	O-H def.	Alkohol	

	1230,86	Ar-O-R str.	Eter
	1179,55	C-O str.	Ester
	1105,69	C-OH str.	Alkohol
	1033,96	C-O str.	Alkohol
	1010,47	C-H def.	Aromatic
	935,64	O-H def.	Alkohol
	825,87	C-H def.	Benzene
	757,22	C-H def.	Benzene
	698,08	C-H def.	Monosubstituted Benzene
	553,49	C-N str.	Amide

Tensile

Pengujian Pertama

Material	A			
	σ (kgf/mm ²)	σ (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (GPa)
Epoksi/VE (0)	4,890	47,955	9,020	0,005
Epoksi/VE (10)	4,120	40,403	9,560	0,004
Epoksi/VE (20)	4,900	48,053	3,920	0,012
Epoksi/VE (30)	5,620	55,113	4,840	0,011
Epoksi/VE (40)	5,760	56,486	4,920	0,011
Epoksi/VE (50)	7,970	78,159	7,110	0,011
Epoksi/VE (60)	5,210	51,093	5,330	0,010
Epoksi/VE (80)	5,740	56,290	5,050	0,011
Epoksi/VE (100)	6,250	61,292	5,500	0,011

Pengujian Kedua

Material	B			
	σ (kgf/mm ²)	σ (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (GPA)
Epoksi/VE (0)	4,630	45,405	7,750	0,006
Epoksi/VE (10)	4,390	43,051	3,530	0,012
Epoksi/VE (20)	4,740	46,484	3,420	0,014
Epoksi/VE (30)	5,390	52,858	4,940	0,011
Epoksi/VE (40)	5,210	51,093	5,330	0,010
Epoksi/VE (50)	5,960	58,448	5,670	0,010
Epoksi/VE (60)	6,850	67,176	6,080	0,011
Epoksi/VE (80)	4,950	48,543	4,280	0,011
Epoksi/VE (100)	6,140	60,213	6,770	0,009

Rata-rata

Material	Rata - Rata			
	σ (kgf/mm ²)	σ (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (GPA)
Epoksi/VE (0)	4,760	46,68	8,39	0,0056
Epoksi/VE (10)	4,255	41,73	6,55	0,0082
Epoksi/VE (20)	4,820	47,27	3,67	0,0129
Epoksi/VE (30)	5,505	53,99	4,89	0,0110
Epoksi/VE (40)	5,485	53,79	5,13	0,0105
Epoksi/VE (50)	6,965	68,30	6,39	0,0107
Epoksi/VE (60)	6,030	59,13	5,71	0,0103

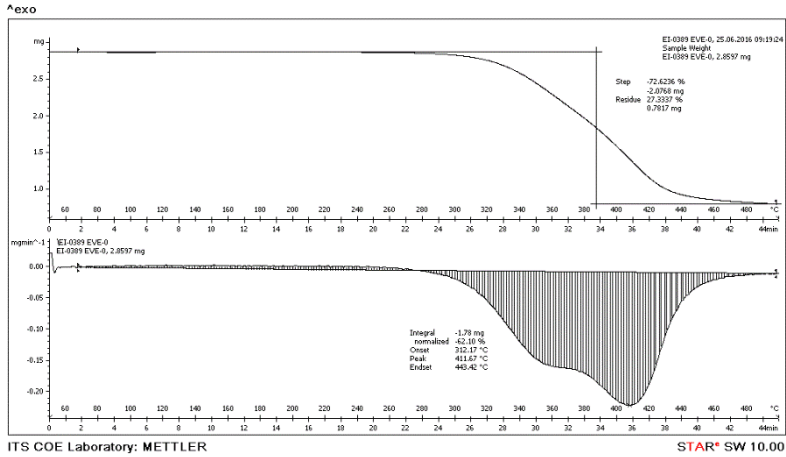
Epoksi/VE (80)	5,345	52,42	4,67	0,0112
Epoksi/VE (100)	6,195	60,75	6,14	0,0100

Hardness

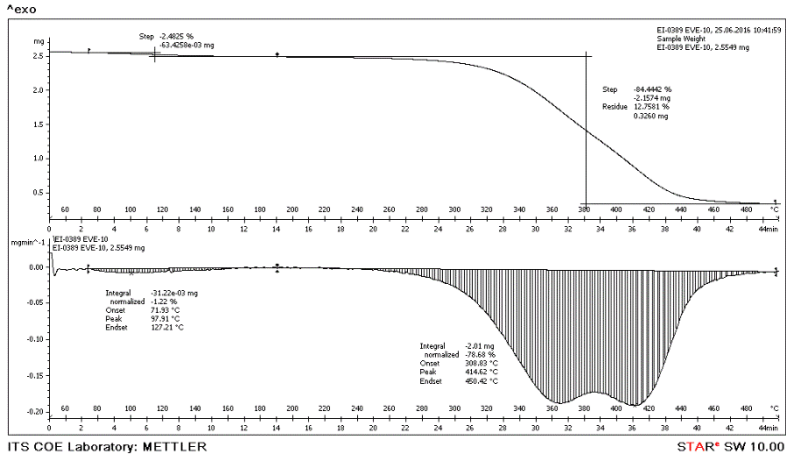
Material	Hardness					
	1	2	3	4	5	Rata-Rata
Epoksi (100)	79	80	80	80	79	79,60
Epoksi/VE (10)	80	81	76	75	80	78,40
Epoksi/VE (20)	80	82	75	79	81	79,40
Epoksi/VE (30)	78	79	81	80	79	79,40
Epoksi/VE (40)	79	80	81	79	79	79,60
Epoksi/VE (50)	82	81	81	80	80	80,80
Epoksi/VE (60)	83	80	80	81	79	80,60
Epoksi/VE (80)	79	82	80	81	80	80,40
Vinil Ester (100)	80	81	80	80	81	80,40

TGA

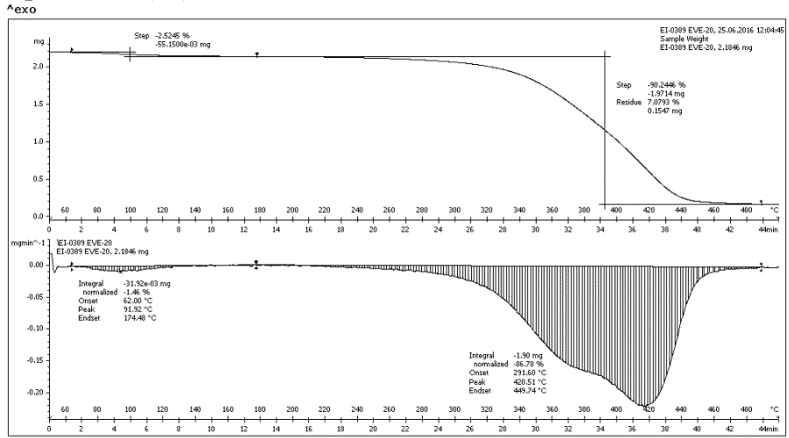
Epoksi (100)



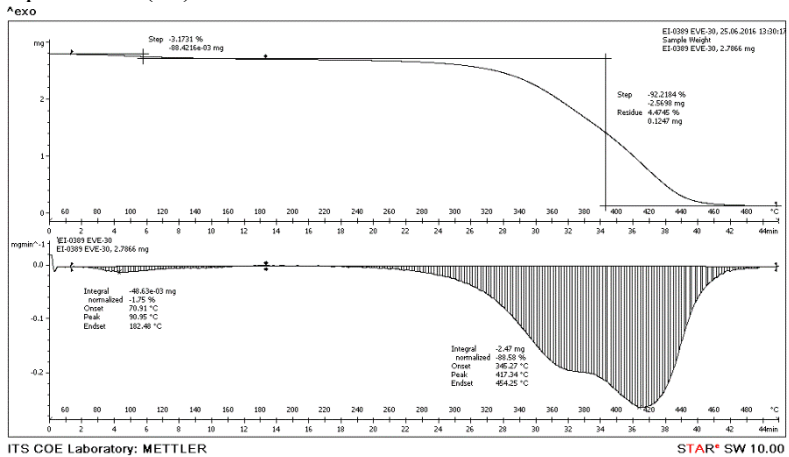
Epoksi/VE (10)



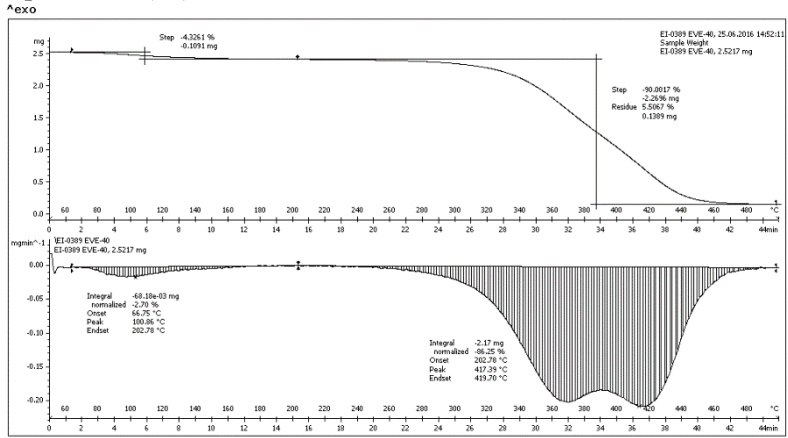
Epoksi/VE (20)



Epoksi/VE (30)



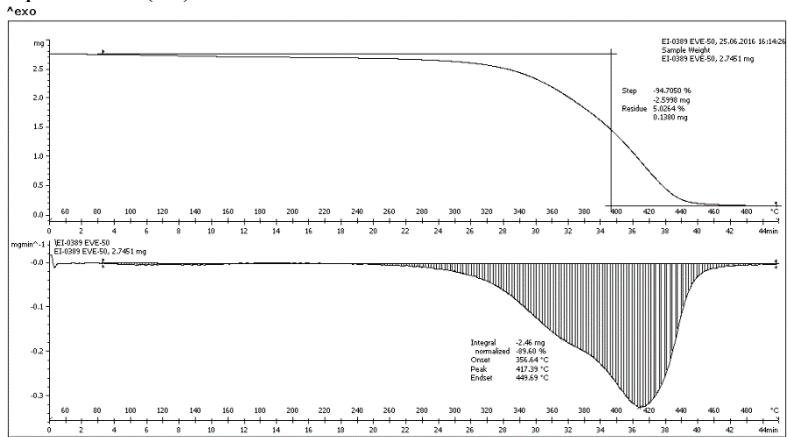
Epoksi/VE (40)



ITS COE Laboratory: METTLER

STAR[®] SW 10.00

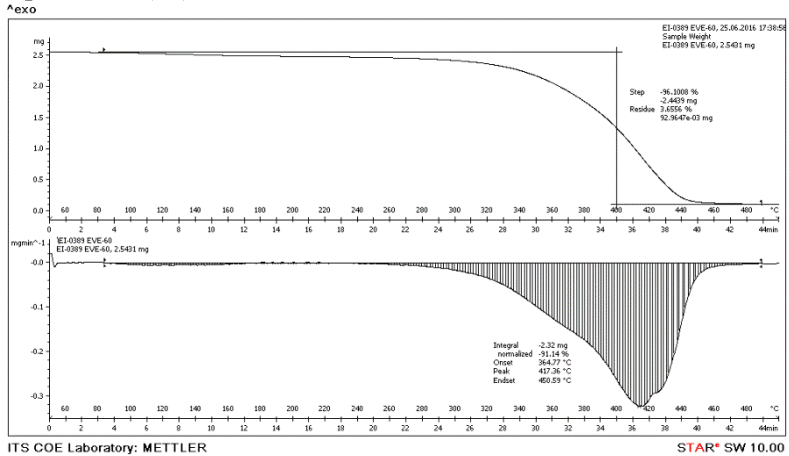
Epoksi/VE (50)



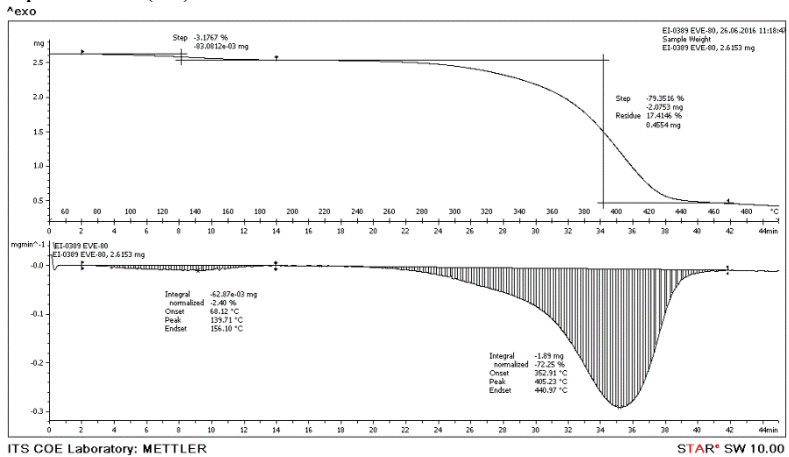
ITS COE Laboratory: METTLER

STAR[®] SW 10.00

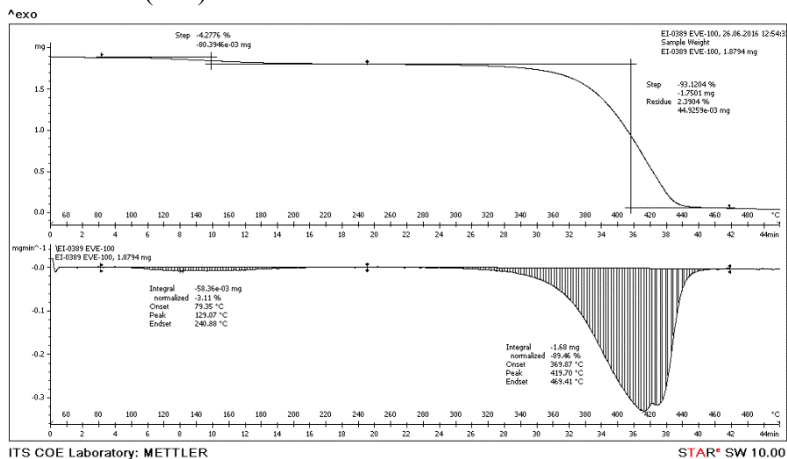
Epoksi/VE (60)



Epoksi/VE (80)



Vinyl Ester (100)



Spesifikasi Ripoxy



TECHNICAL NOTE

SHOWA HIGHPOLYMER CO., LTD.

KANDA CHUO BLDG
3-20 KANDA NISHIKI-CHO, CHIYODA-KU
TOKYO 100, JAPAN

TEL. TOKYO 03(3293)3636
FAX TOKYO 03(3233)0137
TELEX 02223588 SHPTK J

No. 5115

EPOXY ACRYLATE RESINS
VINYL ESTER RESINS

RIPOXY

RIPOXY R-802 EX-1
RIPOXY R-804 EX-1
RIPOXY R-806 EX-1

1. General description
2. Ripoxy grades and general properties

- 2-1 Ripoxy grades
- 2-2 Properties of Cured resins
- 2-3 Applications
- 2-4 Instructions for use

Dr. Jusur Kimistaya
JAKARTA

Des 2009

1. General description

Ripoxy R-802 EX-1, R-804 EX-1 and R-806 EX-1 are vinyl ester resins that offer unique performance and a wide range of versatility. They have outstanding corrosion resistance to a variety of acids, salt and alkalies. They also have outstanding mechanical properties such as resiliency and elongation, which cannot be obtained with other types of resin, and they are suitable for large-sized filament winding process. Low viscosity and rapid curing make Ripoxy R-802 EX-1, R-804 EX-1 and R-806 EX-1 suitable to general hand lay-up molding and other applications.

2. Ripoxy grades and general properties

2-1) Ripoxy grades

Table-1 General properties of Ripoxy R-800 series

Items	R-802 EX-1	R-804 EX-1	R-806 EX-1
Color (Gardner)	6 ~ 8	6 ~ 8	6 ~ 8
Specific gravity (25°C)	1.046	1.044	1.042
Viscosity (poise at 25°C)	2 ~ 6	2 ~ 3.5	0.9 ~ 2.5
Styrene content (%)	46	45	45
Ambient temperature curing properties(*)			
Gel-time (min)	30 ~ 40	20 ~ 25	20 ~ 25
Minimum cure time (min)	50 ~ 70	27 ~ 40	27 ~ 40
Maximum exothermic temperature (°C)	100 ~ 140	100 ~ 160	100 ~ 160
Curing shrinkage (**) (volume %)	7.5 ~ 8.5	7.5 ~ 8.5	7.5 ~ 8.5

* With MEXPO / Promoter-EX = 2.5 / 0.6 added to 100 parts of resin at 25°C

** Determined by specific gravity conversion method

P.T. Justus Kimiataya
JAKARTA

2-2) Properties of cured resins

2-2-1 General properties

Table-2 Physical properties of Ripoxy R-800 series

Items	R-802 EX-1		R-804 EX-1		R-806 EX-1	
	Cast	Laminate	Cast	Laminate	Cast	Laminate
(1) Specific gravity (25°C)	1.134		1.132		1.130	
(2) Rockwell hardness	M-96		M-98		M-100	
(3) Heat distortion temp.(°C)	100		105		110	
(4) Resin content (%)		73.1		72.0		72.5
(5) Flexural strength (Kg/mm ²)	13~15	13.0	13~15	14.3	13~15	13.5
(6) Flexural modulus (Kg/mm ²)	272	598	280	560	310	655
(7) Tensile strength (Kg/mm ²)	7~8	8.0	7~8	9.5	7~8	9.0
(8) Tensile elongation (%)	6.0	2.2	4.6	2.2	3.2	2.2
(10) Charpy impact strength (Kg-cm/cm ²)	5~8	—	5~8	—	2~4	—

Note : Glass composition of laminate

S.M. + C.M. + C.M. + C.M. + S.M.

S.M.: Surface mat (30g/m²)

C.M.: Chopped strand mat (450g/m²)

Standard PCB G200 Epoxy Laminate and Prepreg

G200 Specifications

Property	Typical Values			
	Typical Value	Specification	Units Metric (English)	Test Method IPC-TM-650 (or as noted)
Glass Transition Temperature (T _g) by DSC	180	150-200	°C	2.4.25
Decomposition Temperature (T _d) by TGA @ 5% weight loss	325	—	°C	ASTM D3850
T260	60	—	Minutes	ASTM D3850
T288	>10	—	Minutes	ASTM D3850
CTE, Z-axis	A. Pre-Tg	55	AABUS	ppm/°C
	B. Post-Tg	275	—	
CTE, X-, Y-axes	A. Pre-Tg	13/14	AABUS	ppm/°C
	B. Post-Tg	14/17	—	
Z-axis Expansion (50-200°C)	—	—	—	2.4.24
Thermal Conductivity	3.30	—	—	2.4.24
Thermal Conductivity	0.35	—	W/mK	ASTM D6930
Thermal Stress 10 sec @ 268°C (550.4°F)	A. Unetched	Pass	Pass Visual	2.4.13.1
	B. Etched	—	—	
Dk, Permittivity (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	3.80	5.4	2.5.5.3
	B. @ 1 GHz (HP4291A)	3.70	—	2.5.5.9
	C. @ 2 GHz (Bereskin Stripline)	3.70	—	2.5.5.5
	D. @ 5 GHz (Bereskin Stripline)	3.65	—	2.5.5.5
	E. @ 10 GHz (Bereskin Stripline)	3.65	—	2.5.5.5
Df, Loss Tangent (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	0.0150	0.035	2.5.5.3
	B. @ 1 GHz (HP4291A)	0.0150	—	2.5.5.9
	C. @ 2 GHz (Bereskin Stripline)	0.0130	—	2.5.5.5
	D. @ 5 GHz (Bereskin Stripline)	0.0150	—	2.5.5.5
	E. @ 10 GHz (Bereskin Stripline)	0.0150	—	2.5.5.5
Volume Resistivity	A. 95/35/50	—	1.0x10 ⁹	MΩ-cm
	B. After moisture resistance	8.9x10 ⁸	—	
	C. At elevated temperature	6.5x10 ⁸	1.0x10 ⁹	
Surface Resistivity	A. 95/35/50	—	1.0x10 ⁹	MΩ
	B. After moisture resistance	2.2x10 ⁸	—	
	C. At elevated temperature	4.4x10 ⁸	1.0x10 ⁹	
Dielectric Breakdown	>60	—	kV	2.5.6
Arc Resistance	130	60	Seconds	2.5.1
Electric Strength (Laminate & prepreg as laminated)	45 (1175)	30 (750)	kV/mm (V/mil)	2.5.6.2
Comparative Tracking Index (CTI)	3 (175-249)	—	Class (Volts)	UL-746A ASTM D9638
Peel Strength	A. Low profile copper foil and very low profile – all copper weights >17 microns	1.14 (6.5)	0.70 (4.0)	N/mm (lb/inch)
	B. Standard profile copper	—	—	
	1. After thermal stress	0.96 (5.5)	0.80 (4.5)	
	2. At 125°C (257°F)	—	0.70 (4.0)	
	3. After process solutions	0.90 (5.1)	0.55 (3.0)	—
Flexural Strength	A. Lengthwise direction	86,900	—	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	73,600	—	
Tensile Strength	A. Lengthwise direction	51,551	—	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	42,436	—	
Young's Modulus	A. Grain direction	3489	—	ksi
	B. Fill direction	3199	—	
Poisson's Ratio	A. Grain direction	0.182	—	—
	B. Fill direction	0.160	—	
Moisture Absorption	—	—	%	2.6.2.1
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	V-0	—	Rating	UL 94
Max Operating Temperature	140	UL Cert	°C	—

This data, while believed to be accurate and based on analytical methods considered to be reliable, is for information purposes only. Any sales of these products will be governed by the terms and conditions of the agreement under which they are sold.

www.isola-group.com/products/G200

This Isola name and logo are registered trademarks of Isola Corp. USA in the USA and other countries. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. © 2014, Isola Group, All rights reserved.

04/14 DS2008

isola

DE104 Laminate and Prepreg

DE104 Specifications

Property	Typical Values				
	Typical Value	Specification	Units (Metric Equivalent)	Test Method (IPC-TM-650 or as noted)	
Glass Transition Temperature (Tg) by DSC	135	—	°C	2.4.25	
Decomposition Temperature (Td) by TGA @ 5% weight loss	315	—	°C	ASTM D3850	
T260	12	—	Minutes	2.4.24.1	
T288	—	—	Minutes	2.4.25	
CTE, Z-axis	A. Pre-Tg	70	—	ppm/°C	2.4.24
	B. Post-Tg	250	—	ppm/°C	2.4.24
CTE, X-, Y-axes	A. Pre-Tg	161/3	—	ppm/°C	2.4.24
	B. Post-Tg	14/2	—	ppm/°C	2.4.24
Z-axis Expansion (50-260°C)	4.2	—	%	2.4.24	
Thermal Conductivity	0.36	—	W/mK	ASTM D5930	
Thermal Stress 10 sec @ 288°C (550.4°F)	A. Unetched	Pass	Pass Visual	Rating	2.4.13.1
	B. Etched	—	—	—	—
Dk, Permittivity (Laminate & prepreg as laminated) Split Post Method, Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz	4.46	—	—	—
	B. @ 500 MHz	4.40	5.40	—	2.5.5.3
	C. @ 1 GHz	4.37	—	—	2.5.5.9
	D. @ 2 GHz	4.35	—	—	2.5.5.5
	E. @ 5 GHz	4.32	—	—	—
Df, Loss Tangent (Laminate & prepreg as laminated) Split Post Method, Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz	0.020	—	—	—
	B. @ 500 MHz	0.021	0.035	—	2.5.5.3
	C. @ 1 GHz	0.022	—	—	2.5.5.9
	D. @ 2 GHz	0.023	—	—	2.5.5.5
	E. @ 5 GHz	0.024	—	—	—
Volume Resistivity	A. 96/35/90	—	—	—	—
	B. After moisture resistance	1.3x10 ⁹	1.0x10 ⁴	MΩ-cm	2.5.17.1
	C. At elevated temperature	3.4x10 ⁷	1.0x10 ³	—	—
Surface Resistivity	A. 96/35/90	—	—	—	—
	B. After moisture resistance	1.0x10 ⁹	1.0x10 ⁴	MΩ	2.5.17.1
	C. At elevated temperature	7.2x10 ⁸	1.0x10 ³	—	—
Dielectric Breakdown	>50	40	kV	2.5.6	
Arc Resistance	105	60	Seconds	2.5.1	
Electric Strength (Laminate & prepreg as laminated)	54 (1350)	29 (736)	kV/mm (V/mil)	2.5.6.2	
Comparative Tracking Index (CTI)	2	—	Class (Volta)	—	
Peel Strength	A. Low profile copper foil and very low profile -- all copper weights >17 microns	1.23 (7.0)	0.70 (4.0)	—	2.4.8
	B. Standard profile copper	—	—	N/mm (lb/inch)	2.4.8.2
	1. After thermal stress 2. At 125°C (257°F) 3. After process solutions	1.58 (9.0) 1.23 (7.0) 1.58 (9.0)	1.05 (6.0) 0.70 (4.0) 0.80 (4.5)	—	—
Flexural Strength	A. Lengthwise direction	84,000	—	lb/inch ²	2.4.4
	B. Crosswise direction	65,200	—	lb/inch ²	—
Tensile Strength	A. Lengthwise direction	57,000	—	lb/inch ²	—
	B. Crosswise direction	42,400	—	lb/inch ²	—
Moisture Absorption	0.3	0.8	%	2.6.2.1	
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	V-0	V-0	Rating	UL 94	
Max Operating Temperature	130	UL Cert	°C	—	

The data, while believed to be accurate and based on analytical methods considered to be reliable, is for information purposes only. Any sales of these products will be governed by the terms and conditions of the agreement under which they are sold.

www.isola-group.com/products/DE104

The Isola name and logo are registered trademarks of Isola Corp. USA in the USA and other countries. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. © 2013, Isola Group, All rights reserved.

13/2013 DSDE104C

isola

DURAVER-E-Cu Quality DE104 KF Laminate and Prepreg

DE104 KF Specifications

Property	Typical Values			Test Method (or as noted)
	Typical Value	Specification	Units (Metric (English))	
Glass Transition Temperature (Tg) by DSC	135	110-150	°C	2.4.25
Decomposition Temperature (Td) by TGA @ 5% weight loss	315	—	°C	ASTM D3950
T280	12	—	Minutes	2.4.25
T288	—	—	Minutes	2.4.25
CTE, Z-axis	A. Pre-Tg	45	—	ppm/°C
	B. Post-Tg	230	—	
CTE, X-, Y-axis	A. Pre-Tg	16/13	—	ppm/°C
	B. Post-Tg	14/7	—	
Z-axis Expansion (50-260°C)	—	—	%	2.4.24
Thermal Conductivity	—	—	W/mK	ASTM D5990
Thermal Stress @ 288°C (550.4°F)	A. Unetched	≥10	—	Seconds
	B. Etched	≥10	—	
Dk, Permittivity @ 1 MHz (Laminate & prepreg as laminated) Split Post Method, Tested at 50% resin	4.6-4.9	5.40	—	2.5.5.3
Df, Loss Tangent @ 1 MHz (Laminate & prepreg as laminated) Split Post Method, Tested at 50% resin	0.020	0.035	—	2.5.5.3
Volume Resistivity	A. 95/05/90	—	—	MΩ-cm
	B. After moisture resistance	1.0x10 ⁹	1.0x10 ⁹	
	C. At elevated temperature	1.0x10 ⁹	1.0x10 ⁹	
Surface Resistivity	A. 95/05/90	—	—	MΩ
	B. After moisture resistance	1.0x10 ⁹	1.0x10 ⁹	
	C. At elevated temperature	1.0x10 ⁹	1.0x10 ⁹	
Dielectric Breakdown	45	40	KV	2.5.6
Arc Resistance	—	60	Seconds	2.5.1
Electric Strength (Laminate & prepreg as laminated)	39	—	kV/mm (V/mil)	2.5.6.2
Comparative Tracking Index (CTI)	400	—	Class (Volts)	—
Foil Strength	A. Low profile copper foil and very low profile – all copper weights >17 microns	—	0.70 (4.0)	N/mm (lb/inch)
	B. Standard profile copper	—	—	
	1. After thermal stress	1.60	1.05 (6.0)	
	2. At 125°C (257°F)	1.60	0.70 (4.0)	
3. After process solutions	1.8	0.80 (4.5)	—	
Flexural Strength	A. Lengthwise direction	580	415	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	460	345	
Tensile Strength	A. Lengthwise direction	—	—	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	—	—	
Moisture Absorption	0.13	0.8	%	2.6.2.1
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	V-0	V-1	Rating	UL 94
Max Operating Temperature	—	UL Cert	°C	—

The data, while believed to be accurate and based on analytical methods considered to be reliable, is for information purposes only. Any sales of these products will be governed by the terms and conditions of the agreement under which they are sold.

www.isola-group.com

The Isola name and logo are registered trademarks of Isola Corp. USA in the USA and other countries. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. © 2013, Isola Group. All rights reserved.

03/2013 03D6194KFR

isola

IS410 Lead-free Epoxy Laminate and Prepreg

IS410 Specifications

Property	Typical Values			
	Typical Value	Specification	Units	Test Method
Glass Transition Temperature (T _g) by DSC	180	170-200	°C	2.4.25
Decomposition Temperature (Td) by TGA @ 5% weight loss	350	-	°C	ASTM D3850
Y280	50 ^a	-	Minutes	ASTM D3850
Z288	10	-	Minutes	ASTM D3850
CTE, Z-axis	A. Pre-Tg	55	AABUS	ppm/°C
	B. Post-Tg	250		
CTE, X-, Y-axes	A. Pre-Tg	11	AABUS	ppm/°C
	B. Post-Tg	13		
Z-axis Expansion (50-260°C)	3.5	-	-	2.4.24
Thermal Conductivity	0.5	-	W/mK	ASTM D5930
Thermal Stress 10 sec @ 288°C (550.4°F)	A. Unetched B. Etched	Pass	Pass Visual	Rating
Dk, Permittivity (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 60% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	3.96	5.4	2.5.5.3
	B. @ 1 GHz (HP4291A)	3.90	-	2.5.5.9
	C. @ 2 GHz (Bereskin Stripline)	3.97	-	2.5.5.5
	D. @ 5 GHz (Bereskin Stripline)	3.87	-	2.5.5.5
	E. @ 10 GHz (Bereskin Stripline)	3.87	-	2.5.5.5
Df, Loss Tangent (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 60% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	0.0149	0.035	2.5.5.3
	B. @ 1 GHz (HP4291A)	0.0189	-	2.5.5.9
	C. @ 2 GHz (Bereskin Stripline)	0.0200	-	2.5.5.5
	D. @ 5 GHz (Bereskin Stripline)	0.0230	-	2.5.5.5
	E. @ 10 GHz (Bereskin Stripline)	0.0230	-	2.5.5.5
Volume Resistivity	A. 9635/90	-	1.0x10 ⁶	MΩ-cm
	B. After moisture resistance	5.0x10 ⁶	-	
	C. At elevated temperature	3.6x10 ⁶	1.0x10 ³	
Surface Resistivity	A. 9635/90	8.0x10 ⁶	1.0x10 ⁴	MΩ
	B. After moisture resistance	4.5x10 ⁶	-	
	C. At elevated temperature	-	1.0x10 ³	
Dielectric Breakdown	>50	-	kV	2.5.6
Arc Resistance	129	60	Seconds	2.5.1
Electric Strength (Laminate & prepreg as laminated)	44 (1100)	30 (750)	kV/mm (V/mil)	2.5.6.2
Comparative Tracking Index (CTI)	3 (175-249)	-	Class (Volts)	UL-746A ASTM D3638
Peel Strength	A. Low profile copper foil and very low profile - all copper weights >17 microns	1.14 (6.5)	0.70 (4.0)	2.4.8
	B. Standard profile copper	-	-	2.4.8.2
	1. After thermal stress	1.225 (7.0)	0.80 (4.5)	2.4.8.3
	2. At 125°C (257°F)	1.14 (6.5)	0.70 (4.0)	-
3. After process solutions	0.90 (5.1)	0.55 (3.0)	-	-
Flexural Strength	A. Lengthwise direction	82,600	-	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	68,400	-	-
Tensile Strength	A. Lengthwise direction	60,890	-	lb/inch ²
	B. Crosswise direction	45,750	-	-
Young's Modulus	A. Grain direction	3677	-	ksi
	B. Fill direction	3179	-	-
Poisson's Ratio	A. Grain direction	0.175	-	-
	B. Fill direction	0.143	-	-
Moisture Absorption	0.20	-	%	2.6.2.1
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	V-0	-	Rating	UL 94
Max Operating Temperature	130	UL Cert	°C	-

The data, while believed to be accurate and based on analytical methods considered to be reliable, is for information purposes only. Any sales of these products will be governed by the terms and conditions of the agreement under which they are sold.

www.isola-group.com/products/IS410

The logo name and logo are registered trademarks of Isola Corp. USA in the USA and other countries. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. © 2012, Isola Group. All Rights Reserved. 04/14 D38410B

isola

IS420 Lead-free Laminate and Prepreg

IS420 Specifications

Property	Typical Values			Test Method
	Typical Value	Specification	Units Metric (English)	
Glass Transition Temperature (Tg) by DSC	170	170-200	°C	IPC-TM-650 (as noted)
Decomposition Temperature (Td) by TGA @ 5% weight loss	350	—	°C	ASTM D3650
T288	60	—	Minutes	ASTM D3650
T288	>15	—	Minutes	ASTM D3650
CTE, Z-axis	A. Pre-Tg B. Post-Tg	45 —	ppm/°C	2.4-24
CTE, X-, Y-axes	A. Pre-Tg B. Post-Tg	13/14 14/17	ppm/°C	2.4-24
Z-axis Expansion (50-260°C)	—	2.8	%	2.4-24
Thermal Conductivity	—	0.4	W/mK	ASTM D5930
Thermal Stress 10 sec @ 288°C (550.4°F)	A. Unetched B. Etched	Pass	Pass Visual	Rating 2.4-13.1
Dk, Permittivity (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	4.24	5.4	2.5-5.3
	B. @ 1 GHz (HP4231A)	4.17	—	2.5-5.9
	C. @ 2 GHz (Berkeskin Stripline)	4.04	—	2.5-5.5
	D. @ 5 GHz (Berkeskin Stripline)	3.92	—	2.5-5.5
	E. @ 10 GHz (Berkeskin Stripline)	3.92	—	2.5-5.5
Df, Loss Tangent (Laminate & prepreg as laminated) Tested at 50% resin	A. @ 100 MHz (HP4285A)	0.0150	0.035	2.5-5.3
	B. @ 1 GHz (HP4231A)	0.0161	—	2.5-5.9
	C. @ 2 GHz (Berkeskin Stripline)	0.0210	—	2.5-5.5
	D. @ 5 GHz (Berkeskin Stripline)	0.0250	—	2.5-5.5
	E. @ 8 GHz (Berkeskin Stripline)	0.0250	—	2.5-5.5
Volume Resistivity	A. 95/5/90	—	1.0x10 ⁶	2.5-17.1
	B. After moisture/resistance C. At elevated temperature	3.0x10 ⁶ 7.0x10 ⁶	1.0x10 ⁶	MC2-cm
Surface Resistivity	A. 95/5/90	—	1.0x10 ⁶	2.5-17.1
	B. After moisture/resistance C. At elevated temperature	3.0x10 ⁶ 2.0x10 ⁶	1.0x10 ⁶	MC2
Dielectric Breakdown	—	>50	—	kV 2.5-6
Arc Resistance	—	115	60	Seconds 2.5-1
Electric Strength (Laminate & prepreg as laminated)	—	54 (1350)	30 (750)	kV/mm (V/mil) 2.5-6.2
Comparative Tracking Index (CTI)	—	3 (175-249)	—	Class (Volts) UL-746A ASTM D3638
Peel Strength	A. Low profile copper foil and very low profile – all copper weights >17 microns	1.14 (6.5)	0.70 (4.0)	— 2.4-8
	B. Standard profile copper	—	—	N/mm (lb/inch) 2.4-8.2
	C. After thermal stress	1.25 (7.0)	0.80 (4.5)	—
	D. At 125°C (257°F)	1.25 (7.0)	0.70 (4.0)	—
Flexural Strength	1. After process solutions	1.25 (7.0)	0.55 (3.0)	—
	2. After process solutions	1.14 (6.5)	—	—
	3. After process solutions	1.14 (6.5)	—	—
Tensile Strength	A. Lengthwise direction	TBD	—	lb/inch ² 2.4-4
	B. Crosswise direction	TBD	—	—
Moisture Absorption	A. Lengthwise direction	TBD	—	—
	B. Crosswise direction	TBD	—	—
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	—	0.15	—	% 2.6-2.1
Flammability (Laminate & prepreg as laminated)	—	V-0	—	Rating UL 94
Max Operating Temperature	—	130	UL Cert	°C —

The data, while believed to be accurate and based on analytical methods considered to be reliable, is for information purposes only. Any sales of these products will be governed by the terms and conditions of the agreement under which they are sold.

www.isola-group.com/products/IS420

The Isola name and logo are registered trademarks of Isola Corp. USA in the USA and other countries. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. © 2014, Isola Corp. All rights reserved.

04/14 DSIS420B

isola

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pencampuran Epoksi Resin dan Vinil Ester dengan penambahan inisiator MEKP 4% dan akselerator 0,12% berhasil terbentuk Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester *miscible*, dan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sifat mekanik dan morfologi dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester mengalami peningkatan dengan adanya penambahan Vinil Ester
 - ✚ Kekuatan tarik Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester mengalami peningkatan yang signifikan pada penambahan 50% Vinil Ester dengan nilai kekuatan 68,30 MPa.
 - ✚ Nilai kekerasan dari Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester mengalami peningkatan pada penambahan 50% Vinil Ester dengan nilai kekerasan 80,80 MPa.
 - ✚ Morfologi dari Polimer Blend Epoksi/VE (50) menunjukkan satu fasa tunggal atau *miscible*.
2. Stabilitas termal dari Polimer Epoksi/Vinil Ester dengan temperatur degradasi tertinggi dimiliki oleh material Epoksi/VE (50) dengan temperatur degradasi tertinggi 356,64°C dan berat sisa 5,01%.

5.2 Saran

Berikut ini saran beberapa saran yang harapannya dapat dilakukan pada penelitian berikutnya :

- ✚ Penggunaan variasi inisiator dan akselerator untuk mendapatkan hasil optimal
- ✚ Menggunakan sistem vakum untuk mengurangi kemungkinan terjadinya porositas
- ✚ Menghitung permitivitas dan sifat adhesif Polimer Blend Epoksi/Vinil Ester



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Augustsson, Curt. 2004. *NM Epoxy Handbook*. Sweden : Nils Mamlgren AB.
- Bhavsar, Nilesh R. H. P. Shinde. Mahesh Bhat. 2014. *Determination of Mechanical Properties of PCB*. COE, Pune.
- Callister, William D. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction Eight Edition*. USA : John Willey & Sons.
- Cao, Xia. 2002. *Dissertation : Integrated Analysis Of Low Profile Unsaturated Polyester And Vinylester Resins Cured at Low Temperatures*. USA : Ohio State University.
- Cohades, Amaël., et al. 2016. *Thermal Mending in Immiscible Poly(ϵ -Caprolactone)/Epoxy Blends*. Switzerland : Institute of Material, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Dinda, S., Patwardhan, V. A., Goud., V. V., dan Pradhan, C. N. 2008. "Epoxidation of Cottonseed Oil by Aqueous Hydrogen Peroxide Catalised by Liquid Inorganic Acids". *Bioresource Technology*. 99. pp. 3737-3744.
- Ellis, Bryan. Ray Smith. 2009. *Polymer a Property Database*. Boca Raton : Taylor & Francis Group.
- F. Scott, Timothy, 2002. *Kinetics and Network Structure of Thermally Cured Vinyl Ester Resins*.
- Fink, Bruce. 2002. *Thermochemical Respose of Vinyl Ester Resin*. Army Research Laboratory.
- Gustone, D. F. 1996. *Fatty Acid and Lipid Chemistry*. pp. 186-188. Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall. Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow.
- Hansmann, H., Wismar, Hochschule. 2003. *Polyester Resins*. ASM Handbook Vol:21 Composites.
- Harisankar, P., Reddy, Y. V. Mohana. 2014. *Polymer Blended (Epoxy/Vinyl Ester) Nanocomposites Resistance against Pulling & Sliding Wera Loads*. India.
- Harper, Charles A. 2000. *Modern Plastics Handbook*. USA : McGraw-Hill
- Mauren A., Boyle, Cary J. Martin, John DD. Neuner. *Epoxy Resins*.

- Mistry, B.D. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry (UV, IR, ¹³CNMR and Mass Spectroscopy)*. India : Oxford Book Company.
- Nurhidayati. 2007. "Sintesis Poliblend antara Polistiren dengan Pati Tapioka serta Karakterisasinya". Bandung : Program Studi Kimia ITB.
- Ohama, Y. 1995. *Disposal and Recycling of Organic and Polymeric Construction Materials*. TOKYO : E & FN SPON.
- Pamungkas, Adi, "Studi Sifat Mekanik dengan Pengujian Tarik dan Ketangguhan Retak pada Komposit Epoxy-Kaolin", MeTriK Polban.
- Rabek, JF. 1983. *Experimental Methods in Polymer Chemistry*. New York : John Wiley.
- Ramaputra, Delsandy Wega. 2013." Pengaruh Penambahan Metil Etil Keton Peroksida (Mepoxe) terhadap Sifat Mekanik dan Stabilitas Thermal Epoksi sebagai Bahan Adhesif Baja A-36".
- Ratna, Debdatta. 2009. *Handbook of Thermoset Resin*. United Kingdom : iSmithers.
- Sharma, Kai Renganathan. 2012. *Polymer Thermodynamics : Blends, Copolymers and Reversible Polymerization*. Boca Raton : Taylor & Francis Group.
- Shi, Yanchao. Guojian Wang. 2016. *The Novel Epoxy/PEPA Phosphate Flame Retardants : Synthesis, Characterization and Application in Transparent Intumescent Fire Resistant Coatings*. China : Materials Science and Engineering, Tongji University.
- Sperling, L. H. 2006. *Introduction to Physical Polymer Science*. Lehigh University. Bethlehem, Pennsylvania.
- Stevens, MP. 2001. *Kimia Polimer*. Sopyan I, penerjemah. Jakarta : Erlangga. Terjemahan dari *Polymer Chemistry An Introduction*.
- Sultania, M., Yadaw, S. B., Rai, J. S P., Srivastava, Deepak. 2010. *Studies on The Synthesis and Curing of Epoxidized Vinyl Ester Resin from Renewable Resource Material*. Material Science and Engineering A, 527:4560-4570.

- Suprayogi, Hendra. 2007. *Pencirian Poliblend Poliasamglikolat dengan Polikaprolakton*. Bogor : Departemen Kimia IPB.
- Suwanto, Bodja. “Pengaruh Temperatur Post-Curing terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoksi Resin yang Diperkuat Woven Serat Pisang”. Semarang : Politeknik Negeri Semarang.
- Zeytin Derin, Cidgen. 2008. *Synthesis and Characterization of Epoxy-Acrylate Vinyl Ester Resin and Network Structure*. Middle East Technical University.
- Zhang, W., X. LI, R. Yang. 2011. *Pyrolysis and Free Behavior of Epoxy Resin Composites Based on a Phosphorus Containing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (DOPO-POSS)*. *Polymer Degradation and Stability* 96 (2011) 1821-1832.
- Composit.** <URL: <http://www.pslc.ws/macrog/composit.htm>>
- Polymers.** <URL: <https://firstyearengineer.com/material-science/introduction/polymers/>>
- DURAVER®-E-Cu quality 104 (DE104).** <URL: <http://www.isola-group.com/products/de104/>>
- Isola Group's Bismaleimide/Triazine family G200.** <URL: <http://www.isola-group.com/products/g200/>>
- High Performance FR-4 Epoxy Laminate and Prepeg.** <URL: <http://www.isola-group.com/products/is410/>>
- High Performance FR-4 Epoxy Laminate and Prepeg.** <URL: <http://www.isola-group.com/products/is410-bc/>>

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Ngawi, Jawa Timur 04 Agustus 1995, putri tunggal dari Dakir dan Erlis Yuliani. Penulis memulai pendidikan di TK Kartika Jaya V pada tahun 1999. Dan memulai pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri Cepoko II pada tahun 2000-2006, SMP Negeri 1 Widodaren pada tahun 2006-2009, SMA Negeri 3 Surakarta tahun 2009-2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama berkuliah di ITS penulis aktif dalam bidang akademik maupun non akademik. Penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS sebagai staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada tahun kedua (semester 3 dan 4), kemudian pada tahun ketiga (semester 5 dan 6) penulis menjabat sebagai Wakil II Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa. Selain aktif dalam organisasi penulis juga cukup aktif dalam mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dalam bidang penelitian. Judul PKM penulis yang berhasil didanai oleh DIKTI yaitu “Pengaruh Komposisi Katalis dan Temperatur terhadap Proses Sintesis Resin *Vynil Ester*” disini penulis sebagai ketua tim dan yang kedua “Sintesa *Bio-Polyurethane* dari Minyak Jarak untuk Meningkatkan Kemampuan Ingat (*Shape Memory*) dalam Aplikasi Estetik *Wire Orthodontic*” sebagai anggota.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti yakni kerja praktik pada bulan Juni hingga September 2015 di PT. Autoplastik Indonesia. Disini penulis mempelajari terkait proses Injeksi Plastik khususnya untuk *part* otomotif roda 4 (*4W*).