



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH AKSELERATOR DAN PENAMBAHAN  
VINIL ESTER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN  
STABILITAS TERMAL POLIMER *BLEND*  
POLIESTER TAK JENUH / VINIL ESTER  
SEBAGAI KANDIDAT MATRIKS KOMPOSIT  
KAPAL

FABIAN DANANDJAYA PUSPADEWA  
NRP 2712 100 132

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

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016





FINAL PROJECT - TL141584

# EFFECT OF ACCELERATOR AND ADDITION OF VINYL ESTER ON MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL STABILITY OF UNSATURATED POLYESTER / VINYL ESTER BLEND AS COMPOSITE MATRIX CANDIDATE FOR BOAT

FABIAN DANANDJAYA PUSPADEWA  
NRP 2712 100 132

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

Material and Metallurgical Engineering Dept.  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**Pengaruh Akselerator Dan Penambahan Vinil Ester  
Terhadap Sifat Mekanik Dan Stabilitas Termal Polimer  
Blend Poliester Tak Jenuh / Vinil Ester  
Sebagai Kandidat Matriks Komposit Kapal**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**FABIAN DANANDJAYA PUSPADEWA**

NRP. 2712100132

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si..... (Pembimbing II)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “ **Pengaruh Akselerator Dan Penambahan Vinil Ester Terhadap Sifat Mekanik Dan Stabilitas Termal Polimer *Blend* Poliester Tak Jenuh / Vinil Ester Sebagai Kandidat Matriks Komposit Kapal**” yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, dan bimbingan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng. selaku Dosen Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Dr. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir, yang senantiasa memberikan bimbingannya.
4. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik dan segenap Dosen dan Karyawan Teknik Material dan Metalurgi ITS yang membantu penulis untuk menyelesaikan proses perkuliahan di ITS.
5. Serta kepada seluruh teman – teman mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS, Laboratorium Material Inovatif dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

**PENGARUH AKSELERATOR DAN PENAMBAHAN VINIL  
ESTER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STABILITAS  
TERMAL POLIMER *BLEND* POLIESTER TAK JENUH / VINIL  
ESTER SEBAGAI KANDIDAT MATRIKS KOMPOSIT KAPAL**

**Nama** : Fabian Danandjaya Puspadewa  
**NRP** : 2712100132  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si

**ABSTRAK**

*Resin Polieseter Tak Jenuh (RPTJ) sering digunakan sebagai matriks dari komposit karena harganya murah dan mudah curing, tetapi kekuatan tarik, regangan, dan stabilitas termalnya rendah. Resin Vinil Ester, (RVE) ditambahkan pada resin poliester tak jenuh sebagai polimer blend poliester tak jenuh/vinil ester (PTJ/VE) dengan komposisi 0, 10, 20, 30, 40, 80, dan 100 (%berat) untuk meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas termalnya. Proses curing dilakukan pada temperatur kamar dan kecepatan pengadukkan yang konstan dengan inisiator MEKP 4wt% baik tanpa akselerator maupun dengan akselerator cobalt naphthanete 0,1wt%. Spesimen diuji dengan menggunakan FTIR, SEM, Uji Tarik, Uji Kekerasan, Uji Waktu Curing, Uji Rasio Swelling dan TGA. Penambahan vinil ester mampu meningkatkan kekuatan tarik, elongasi, kekerasan dan stabilitas termal. Kekuatan tarik maksimal pada komposisi 40% vinil ester, 35,9 MPa (PTJ/VE) dan 34,5 MPa (PTJ/VE/akselerator). Komposisi 80% vinil ester temperatur degradasi 5% pada 322°C (PTJ/VE) dan 307°C (PTJ/VE/akselerator). Kekerasan maksimal pada komposisi 20% vinil ester yaitu 80,5 shore D baik dengan akselerator maupun tidak. Dari hasil karakterisasi yang didapatkan, pengaruh akselerator dapat mempercepat waktu curing dan meningkatkan rasio swelling, sehingga polimer blend ini dapat dijadikan sebagai kandidat matriks komposit kapal.*

**Kata kunci** : poliester tak jenuh, vinil ester, polimer blend, metil etil keton peroksida, cobalt naphthanate

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**EFFECT OF ACCELERATOR AND ADDITION VINYL ESTER OF MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL STABILITY OF UNSATURATED POLYESTER / VINYL ESTER BLEND AS MATRIX COMPOSITE FOR BOAT**

**Name** : Fabian Danandjaya Puspadewa  
**NRP** : 2712100132  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Dr. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc  
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si

**ABSTRACT**

*Unsaturated polyester resin (UPR) is widely used as a thermoset matrix composites because it's cheap and easy to cure, but have lowest mechanical and thermal properties. Vinyl ester resin (VER) added to UPR as a polymer blend of unsaturated polyester / vinyl ester (UP/VE) with a composition of 0, 10, 20, 30, 40, 80, and 100 (wt%) to improve the mechanical properties and thermal stability. The curing process is conducted at room temperature and constant mixing speed with 4wt% MEKP as initiator and also both with the addition of Cobalt Naphthanete 0,1wt% as accelerator and without.. The specimens were tested using FTIR, SEM, Tensile Test, Hardness Test, Curing Time Test, Swelling Rasio Test and TGA. The addition of vinyl esters can improve tensile strength, elongation, hardness and thermal stability. Maximum tensile strength achieved in the composition of 40% vinyl ester is 35.9 MPa (UP/VE) and 34.5 MPa (UP/VE/ accelerator). At the composition of 80% vinyl ester, degradation temperature of 5% weight at 322°C (UP/VE) and 307°C (UP/VE/ accelerator). Maximum hardness achieved in the composition of 20% vinyl ester is 80.5 shore D both with accelerator and without. From the characterization result showed that effect of accelerators speed up curing time and increase swelling rasio. So this polymer blend can be used as a composite matrix candidate for boat.*

**Keywords:** *unsaturated polyester, vinyl ester, cobalt naphthanete, methyl ethyl ketone peroxide*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| KATA PENGANTAR.....                  | 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 Penelitian .....         | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....          | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....          | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....         | 5    |
| 2.1 Polimer .....                    | 5    |
| 2.1.1 Reaksi Polimerisasi.....       | 5    |
| 2.1.2 Struktur Polimer .....         | 7    |
| 2.1.3 Klasifikasi Polimer .....      | 8    |
| 2.2 Polimer <i>Blend</i> .....       | 9    |
| 2.3 Resin Poliester Tak Jenuh .....  | 13   |
| 2.4 Matriks Komposit Kapal .....     | 16   |
| 2.5 Resin Vinil Ester .....          | 19   |
| 2.6 Metil Etil Keton Peroksida ..... | 21   |
| 2.7 Cobalt Naphthenate .....         | 22   |
| 2.8 Penelitian Sebelumnya .....      | 23   |
| BAB III METODOLOGI .....             | 25   |
| 3.1 Diagram Alir .....               | 25   |
| 3.2 Bahan Penelitian.....            | 26   |
| 3.3 Peralatan Penelitian .....       | 28   |
| 3.4 Variabel Penelitian .....        | 31   |

|   |                                  |    |
|---|----------------------------------|----|
| 3.5                                       | Prosedur Penelitian.....         | 31 |
| 3.6                                       | Proses Pengujian .....           | 32 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN ..... |                                  | 39 |
| 4.1                                       | Analisis Waktu Curing.....       | 39 |
| 4.2                                       | Analisis Gugus Fungsi .....      | 44 |
| 4.3                                       | Analisis Densitas Crosslink..... | 49 |
| 4.4                                       | Analisis Kekuatan Tarik.....     | 51 |
| 4.5                                       | Analisis Kekerasan.....          | 55 |
| 4.6                                       | Analisis Stabilitas Termal ..... | 56 |
| 4.7                                       | Analisis Morfologi .....         | 59 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....           |                                  | 65 |
| 5.1                                       | Kesimpulan .....                 | 65 |
| 5.2                                       | Saran.....                       | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA.....                       |                                  | 67 |
| LAMPIRAN                                  |                                  |    |
| BIOGRAFI PENULIS                          |                                  |    |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi Adisi (Callister, 2009).....  | 6  |
| Gambar 2. 2 Mekanisme Reaksi Kondensasi (Callister, 2009).....   | 7  |
| Gambar 2. 3 Representasi Skematik Struktur Polimer; a. Linear,<br>b. Branched, c. Cross-linked, d. Network<br>(Callister,2009) ..... | 8  |
| Gambar 2. 4 Klasifikasi Polimer (Young, 2011).....   | 9  |
| Gambar 2. 5 Bentuk Dasar Rantai Pencampuran Polimer<br>(Sperling, 2006) .....  | 11 |
| Gambar 2. 6 Diagram Fasa Polimer <i>Blend</i> (Sperling, 2006).....  | 12 |
| Gambar 2. 7 Sintesis Resin Poliester Tak Jenuh (Debdatta, 2009)<br>.....   | 14 |
| Gambar 2. 8 Proses Curing dari RPTJ (Andreas K, 2014).....   | 14 |
| Gambar 2. 9 Skema metode <i>hand lay-up</i> (Goodman, 2014).....   | 18 |
| Gambar 2. 10 Sintesis Resin Vinil Ester (Debdatta, 2009).....  | 19 |
| Gambar 2. 11 Struktur Kimia dan Sifat Resin Vinil Ester (Xia<br>Cao, 2002).....  | 20 |
| Gambar 2. 12 Struktur MEKP (Pubchem, 2005) .....   | 21 |
| Gambar 2. 13 Struktur <i>Cobalt</i> Naphthenate ( <i>Pubchem</i> , 2007)....   | 23 |
| <br>   |    |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....   | 25 |
| Gambar 3. 2 Resin Poliester Tak Jenuh .....  | 26 |
| Gambar 3. 3 Resin Vinil Ester.....   | 26 |
| Gambar 3. 4 Inisiator <i>Metil Etil Keton Peroksida</i> .....  | 27 |
| Gambar 3. 5 Akselerator <i>Cobalt Naphthenate</i> .....  | 27 |
| Gambar 3. 6 Pengaduk/ <i>Mixer</i> .....   | 28 |
| Gambar 3. 7 Cetakan Spesimen Uji Tarik.....  | 29 |
| Gambar 3. 8 Tachometer .....   | 29 |
| Gambar 3. 9 <i>Hot Plate Stirer</i> .....  | 30 |
| Gambar 3. 10 Mesin FTIR .....  | 33 |
| Gambar 3. 11 Mesin SEM.....  | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3. 12 Alat Durometer Hardness Test .....   | 34 |
| Gambar 3. 13 Mesin Uji Tarik .....  | 35 |
| Gambar 3. 14 Mesin TGA.....   | 36 |
| <br>  |    |
| Gambar 4. 1 Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester<br>terhadap Waktu <i>Curing</i> Polimer <i>Blend</i> PT/VE.....                                 | 40 |
| Gambar 4. 2 Spesimen Tarik Penambahan Komposisi VE pada<br>Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE .....  | 41 |
| Gambar 4. 3 Spesimen Tarik Penambahan Komposisi VE pada<br>Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE dengan Akselerator .....   | 43 |
| Gambar 4. 4 Spektra FTIR Resin Poliester Tak Jenuh dan Resin<br>Vinil Ester .....   | 45 |
| Gambar 4. 5 Spektra Hasil FTIR Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE .....  | 46 |
| Gambar 4. 6 Spektra Hasil FTIR Polimer <i>Blend</i><br>PTJ/VE/Akselerator .....   | 47 |
| Gambar 4. 7 Rasio <i>Swelling</i> Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE.....  | 50 |
| Gambar 4. 8 Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester<br>terhadap Kekuatan Tarik Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE .....                                    | 51 |
| Gambar 4. 9 Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester<br>terhadap Elongasi Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE .....  | 52 |
| Gambar 4. 10 Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester<br>terhadap Kekerasan Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE.....   | 55 |
| Gambar 4. 11 Grafik Stabilitas Termal Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE.....  | 57 |
| Gambar 4. 12 Grafik Stabilitas Termal Polimer <i>Blend</i><br>PTJ/VE/Akselerator .....  | 58 |
| Gambar 4. 13 Morfologi Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE tanpa<br>Akselerator pada Komposisi Vinil Ester a. 0% , b.<br>30%, c. 80% pembesaran 1000x .....         | 61 |
| Gambar 4. 14 Morfologi Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE dengan<br>Akselerator pada Komposisi Vinil Ester a. 0% , b.<br>30%, c. 80% d. 100% pembesaran 1000x..... | 63 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Resin Poliester Tak Jenuh (RPTJ) (___ASM, 2001)                     | 15 |
| Tabel 2. 2 Sifat FRP dengan beberapa tipe (___ASM,2001)....                    | 17 |
| Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Minimal Resin (___BKI, 2014).....                     | 17 |
| Tabel 2. 4 Kekuatan Minimal Kapal ukuran kurang dari 24m<br>(___GL, 2012)..... | 18 |
| Tabel 2. 5 Sifat Resin Vinil Ester (___ASM, 2001).....                         | 21 |
| Tabel 2. 6 Sifat campuran RPTJ/elastomer (Cherian, 2003).....                  | 24 |
|  |    |
| Tabel 4. 1 Daftar Spektra FTIR.....  | 48 |
| Tabel 4. 2 Sifat Mekanik Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE.....                      | 54 |
| Tabel 4. 3 Nilai Kekerasan Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE .....                   | 56 |
| Tabel 4. 4 Stabilitas Termal Polimer <i>Blend</i> PTJ/VE.....                  | 59 |

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan industri manufaktur baik otomotif, pesawat terbang, perkapalan atau lainnya saat ini, sangat dibutuhkan material yang mampu menciptakan karakteristik struktural yang tinggi. Di samping harus memiliki sifat seperti kekuatan tarik, ketahanan impak, ketahanan korosi, maupun stabilitas termal yang tinggi, tetapi juga dibutuhkan sifat yang mudah dibentuk, ringan, dan tentu berbiaya lebih rendah. Polimer termoset biasa dijadikan matriks dalam komposit karena sifat dari termoset mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Komposit matriks polimer ini banyak diaplikasikan pada pembuatan tangki, pipa, komponen pada industri transportasi seperti perkapalan, penerbangan, maupun otomotif.

Termoset merupakan jenis polimer yang sudah berkembang pesat secara industri sejak ditemukannya bakelit, dan bagaimana proses *molding*-nya oleh Leo Baekeland pada tahun 1909 (Goodman, 1998). Hingga saat ini, termoset memiliki beberapa tipe di antaranya resin epoksi, resin poliester tak jenuh, resin fenolik, dan resin poliuretan. Salah satu tipe termoset yang banyak digunakan dan mudah dipakai adalah resin poliester tak jenuh (RPTJ) atau *unsaturated polyester resin* (UPR).

Harganya yang murah, mampu *curing* pada temperatur kamar dan lebih mudah digunakan merupakan keunggulan dari RPTJ selain memiliki berat yang ringan dan kekuatan yang cukup. Akan tetapi, dibandingkan dengan termoset sejenis lainnya, RPTJ memiliki sifat mekanik dan stabilitas termal rendah. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan sifat mekanik dan stabilitas termal pada RPTJ, dimana salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan metode polimer *blend*.

Resin poliester tak jenuh merupakan hasil reaksi kondensasi dari asam tak jenuh atau anhidrid dan diol



dengan/tanpa *diacids*. Umumnya RPTJ disintesis dengan maleik anhidrid, phthalik anhidrid dan propilen glikol (Bharat, 2012). RPTJ merupakan polimer dengan berat molekul yang rendah dimana terdiri dari ikatan ganda karbon-karbon (C=C) yang dapat membentuk struktur *crosslink* dengan mekanisme radikal bebas bila ditambahkan dengan inisiator seperti peroksida (Penczek, 2005).

Polimer *blend* adalah campuran sedikitnya dua substansi makro molekul, polimer atau kopolimer, dimana kadarnya di atas 2 wt%. Dengan pencampuran ini memberikan beberapa keuntungan di antaranya, memberikan material dengan sifat yang diinginkan pada harga terendah, memperpanjang pemakaian resin, dan meningkatkan sifat tertentu seperti kekuatan impak (Utracki, 2002).

Resin vinil ester (RVE) atau Vinyl ester resin (VER) terbentuk dari reaksi antara epoksi resin dengan asam karboksil tak jenuh seperti *acylic acid* atau *methacrylic acid*. RVE memperlihatkan sifat mekanik dan stabilitas termal seperti epoksi dan juga kemudahan pemrosesan seperti resin poliester. Oleh karena itu, pada penelitian ini Resin poliester tak jenuh dicampur resin vinil ester dengan variasi komposisi antara 0 – 100 wt% agar mendapatkan sifat mekanik dan stabilitas termal yang lebih baik untuk diaplikasikan sebagai matriks komposit kapal. Polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester ini juga menggunakan inisiator berupa metil etil keton peroksida atau *methyl ethyl ketone peroxide* 4wt% dengan/tanpa akselerator *cobalt naphthenate* sebesar 0,1 wt%.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran latar belakang diatas dapat ditemukan perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh komposisi vinil ester terhadap sifat mekanik dan stabilitas termal dari polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester sebagai kandidat matriks komposit untuk kapal?



2. Bagaimana pengaruh akselerator terhadap sifat mekanik dan stabilitas termal dari polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester sebagai kandidat matriks komposit untuk kapal?

### 1.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh tekanan diabaikan.
2. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh komposisi vinil ester pada polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester terhadap sifat mekanik dan stabilitas termal sebagai kandidat matriks komposit untuk kapal.
2. Menganalisis pengaruh akselerator pada polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester terhadap sifat mekanik dan stabilitas termal sebagai kandidat matriks komposit untuk kapal.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh vinil ester polimer *blend* antara poliester tak jenuh/vinil ester dan penggunaan akselerator terhadap sifat mekanik dan stabilitas termal, sehingga didapatkan nilai optimum dari campuran tersebut dan dapat menjadi kandidat matriks komposit kapal. Serta berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan resin poliester tak jenuh.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Polimer

Polimer telah ada dalam bentuk natural sejak dimulainya kehidupan seperti pada DNA, RNA, protein dsb yang memegang peranan penting bagi kehidupan. Manusia sudah memanfaatkan polimer tersebut sebagai material untuk memenuhi kebutuhannya seperti sebagai pakaian, peralatan, senjata, komponen listrik, transportasi, dsb. (Young, 2011) Secara sederhana, polimer dapat dibayangkan sebagai sebuah rantai dimana setiap individu rantai dapat dikatakan sebagai molekul kecil yang secara kimia membentuk ikatan rantai tersebut. Oleh karena itu, polimer adalah sebuah molekul (makromolekul) yang tersusun dari molekul lebih kecil (monomer) yang saling berikatan karena ikatan kimia. Polimer sendiri secara harafiah berarti banyak unit (poli = banyak, mer = unit).

Kebanyakan polimer merupakan material organik. Material organik merupakan sebuah hidrokarbon, tersusun oleh atom hidrogen dan karbon yang membentuk ikatan kovalen. Molekul yang memiliki ikatan ganda atau lebih disebut hidrokarbon tak jenuh, sedangkan molekul yang memiliki ikatan tunggal disebut sebagai hidrokarbon jenuh. Atom karbon akan membentuk struktur *backbone* dari polimer dan akan mengikat atom hidrogen dan atom lainnya menjadi sebuah rantai polimer (Callister, 2009).

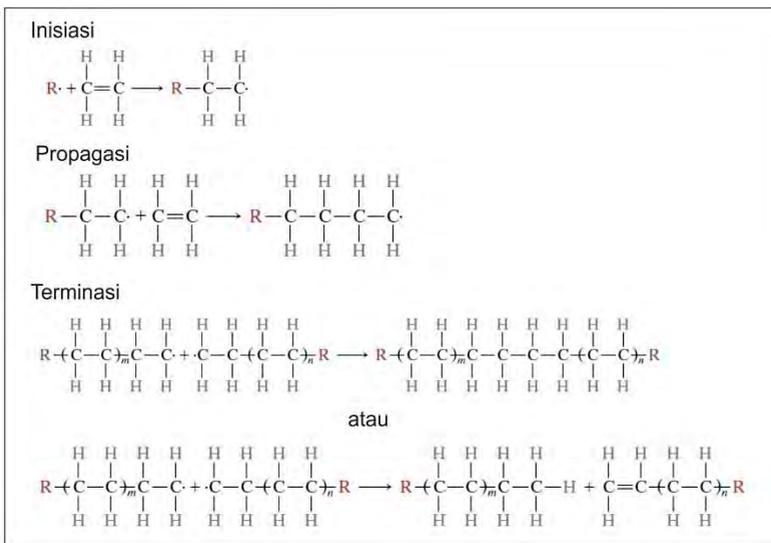
#### 2.1.1 Reaksi Polimerisasi

Reaksi polimerisasi dibagi menjadi dua yaitu reaksi kondensasi atau *step reaction* dan adisi atau *chain reaction* (Fred, 1984). Reaksi adisi adalah sebuah proses dimana beberapa unit monomer saling berikatan dalam satu waktu seperti susunan rantai untuk menjadi sebuah makromolekul linear. Komposisi dari



produk resultan molekul tersebut adalah hasil penjumlahan dari monomernya.

Terdapat tiga tahap dari reaksi adisi, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi (Callister, 2009). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**, pada tahap inisiasi, sebuah pusat aktif dan mampu berpropagasi terbentuk oleh reaksi dari inisiator (atau katalis (R)) dengan monomer. Tahap propagasi merupakan tahap pertumbuhan rantai linear polimer oleh penambahan monomer pada rantai aktif molekul tersebut. Terdapat dua cara pada tahap terminasi. Yang pertama, ujung yang aktif pada dua rantai propagasi akan saling menyambung membentuk satu molekul. Atau yang kedua, dua rantai propagasi yang aktif tersebut akan tetap menjadi dua rantai yang tidak bisa lagi tumbuh.

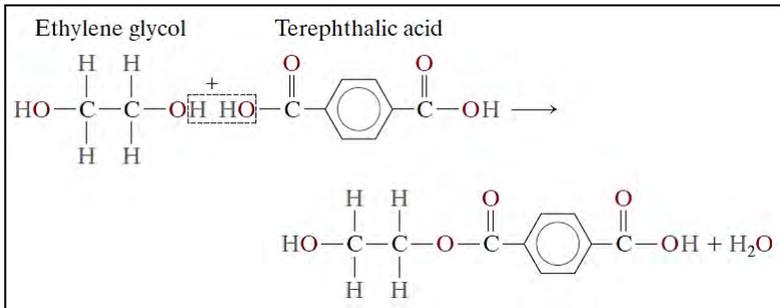


**Gambar 2. 1** Mekanisme Reaksi Adisi (Callister, 2009)

Sedangkan, reaksi kondensasi adalah formasi polimer yang terbentuk oleh tahapan reaksi kimia intermolekul yang melibatkan lebih dari satu jenis monomer. Reaksi tersebut akan



menggabungkan monomer – monomer dengan melepaskan molekul kecil. Waktu reaksi kondensasi lebih lama daripada adisi dan mampu membentuk ikat silang (*crosslink*) dan jaringan (*network*) polimer. **Gambar 2.2** merupakan contoh mekanisme kondensasi dapat dilihat pada proses polimerisasi dari poly(ethylene terephthalate) atau PET dimana ketika etilen glikol dan asam terephthalik direaksikan, akan menghasilkan stuktur polimer PET dan melepaskan H<sub>2</sub>O (Callister, 2009).



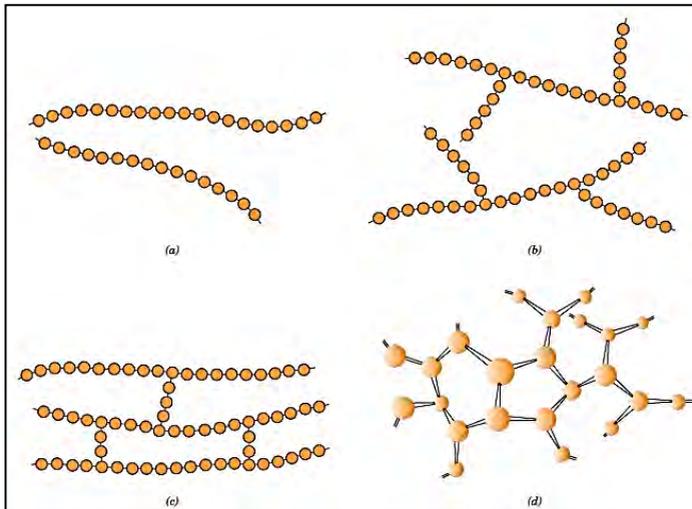
**Gambar 2. 2** Mekanisme Reaksi Kondensasi (Callister, 2009)

### 2.1.2 Struktur Polimer

Struktur molekul polimer dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu linear, bercabang, *crosslinked*, dan jaringan (Callister, 2009). Polimer linear (**Gambar 2.3a**) adalah polimer yang monomernya saling berikatan pada setiap ujungnya dalam satu rantai. Rantai linear yang panjang ini cukup fleksibel dan dipengaruhi oleh gaya Van der Waals serta ikatan hidrogen. Contoh polimer linear seperti polietilena, polistirena, poli(vinil klorida), nylon, dsb. Lalu polimer bercabang, atau *branched*, (**Gambar 2.3b**) adalah polimer yang pada rantai utamanya memiliki cabang akibat terjadi reaksi samping selama sintesis polimer,. Rantai bercabang ini akan mengakibatkan penurunan densitas polimer, seperti contohnya *high-density polyethylene* (HDPE) yang merupakan contoh linear polimer, tetapi juga memiliki jenis yang berdensitas rendah (LDPE) akibat cabang



pendek pada rantai poliethilena. Polimer *cross-linked* (**Gambar 2.3c**) adalah polimer linear yang saling terhubung satu sama lain di berbagai posisi oleh karena ikatan kovalen dari atom atau molekul additive saat sintesis dan juga dapat diakibatkan reaksi kimia permanen. Karet elastis atau *rubber* merupakan contoh dari polimer *cross-linked*. Sedangkan polimer jaringan, atau *network*, (**Gambar 2.3d**) adalah ketika beberapa multifungsional monomer membentuk tiga atau lebih ikatan kovalen aktif menjadi jaringan tiga dimensi. Polimer ini memiliki sifat mekanik dan sifat termal yang baik, contohnya epoksi dan phenol-formaldehide.



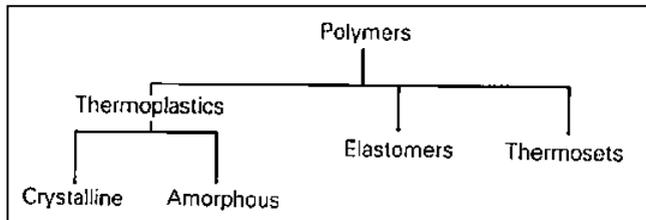
**Gambar 2. 3** Representasi Skematik Struktur Polimer; a. Linear, b. Branched, c. Cross-linked, d. Network (Callister,2009)

### 2.1.3 Klasifikasi Polimer

Klasifikasi polimer yang paling umum dapat dilihat pada **Gambar 2.4**, dimana mereka dibagi menjadi tiga bagian, yaitu termoplastik, elastomer, dan termoset (Young, 2011). Termoplastik atau sering juga hanya disebut plastik, merupakan



polimer linear atau *branched* yang dapat meleleh ketika dipanaskan. Mereka dapat di cetak maupun dicetak ulang ke dalam berbagai bentuk dengan berbagai cara seperti ekstrusi dan cetakan injeksi. Banyak termoplastik yang bersifat *amorphus* dan tidak mampu membentuk kristalin. Fase kristalinnya terkarakterisasi oleh temperatur lelehnya ( $T_m$ ). Fase *amorphous*-nya terkarakterisasi oleh temperatur transisi gelasnya ( $T_g$ ), temperatur saat dimana mereka bertransformasi dari gelas (keras) menjadi *rubber* (lunak). Kenaikan  $T_m$  dan  $T_g$  akan meningkatkan kekakuan rantai dan energi atraksi intermolekulnya.



**Gambar 2. 4** Klasifikasi Polimer (Young, 2011)

Elastomer merupakan polimer karet yang memiliki rantai jaringan *cross-linked* berdensitas rendah dan mampu meregang dengan tingkat keregangannya tinggi ketika diberi usaha serta kembali ke bentuknya semula ketika usaha dilepaskan. Elastomer mengalami regangan akibat deformasi, tetapi regangan tersebut tidak permanen karena struktur *cross-linked*. Sedangkan polimer termoset adalah material kaku dan merupakan polimer berstruktur jaringan dimana rantainya bergerak sangat terbatas karena densitas *cross-linked* yang tinggi serta tahan terhadap pemanasan.

## 2.2 Polimer Blend

Polimer *blend* pertama kali dipatenkan oleh Parker pada tahun 1846 antara natural *rubber* dengan gutta-percha (semi-kristalin *trans*-1,4-polyisoprene). Pencampuran tersebut menghasilkan *crosslinked* sebagian (*co-vulcanized*) material yang kekakuannya dapat dikontrol dengan mengatur komposisi. Metode



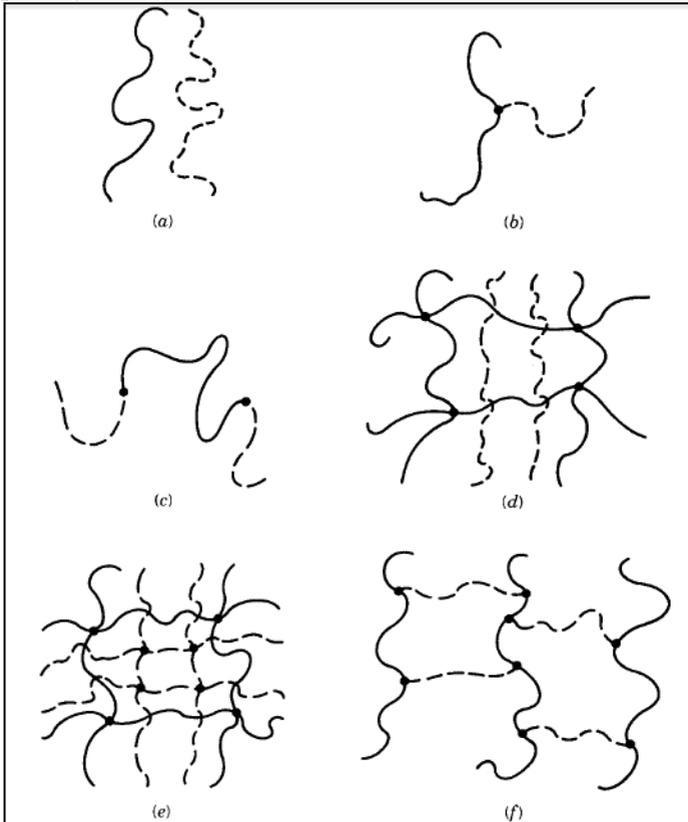
polimer *blend* ini dilakukan sebagai salah satu cara efektif untuk menemukan sifat terbaik pada polimer dibanding dengan cara mengembangkan monomer polimer baru.

Polimer *blend* adalah campuran paling sedikit dua makromolekul, polimer atau kopolimer, dimana komposisinya penambahannya di atas 2wt% (Walsh, 1985). Polimer dapat menghasilkan sifat baru dengan mencampurkan rantai polimer yang memiliki sifat yang diinginkan. Sifat yang dihasilkan dari rantai yang terbentuk dipengaruhi oleh interaksi yang terjadi pada rantai – rantai tersebut ketika mengalami pencampuran. Semakin baik interaksi yang terjadi antar rantai, tentu dapat menghasilkan sifat yang semakin baik. Ketika pencampuran polimer mengalami ketidaksesuaian, pencampuran tersebut akan menghasilkan suatu lapisan antar permukaan polimer – polimer tersebut. Lapisan ini memisahkan antarmuka pada masing – masing polimer sehingga sifat yang dihasilkan tidak maksimal (Lipatov, 1978).

Terdapat enam bentuk dasar susunan rantai polimer yang terbentuk saat pencampuran polimer (**Gambar. 2.5**). Pada **Gambar 2.5a** menunjukkan struktur rantai polimer *blend* yang saling melarutkan satu dengan yang lainnya, tetapi tidak terdapat ikatan kimia antara polimer yang satu dengan yang lain. Lalu **Gambar 2.5b** menunjukkan rantai polimer cangkok dimana struktur ini terdapat *backbone* polimer yang berikatan secara kovalen dengan ujung polimer lain, sehingga membentuk struktur cangkok. **Gambar 2.5c** merupakan bentuk dari rantai blok kopolimer, dimana dalam struktur ini, terjadi ikatan kovalen antara ujung polimer yang satu dengan yang lain. Sedangkan pada **Gambar 2.5d** menunjukkan susunan rantai *semi interpenetrating* yang tersusun dari dua rantai polimer yang terjerat, dimana salah satu rantainya berbentuk jaringan (*network*) dan rantai yang lain berbentuk linear. Kedua rantai ini tidak berikatan secara kimia satu sama lain melainkan ikatan yang terjadi karena pengaruh jeratan pada rantai tersebut. Kemudian **Gambar 2.5e** merupakan susunan polimer *interpenetrating network* yang tersusun dari dua kombinasi rantai berbentuk jaring pada kedua polimer yang



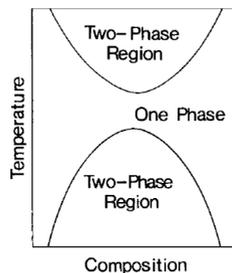
berbeda. Jaringan ini saling menjerat dan tidak terjadi ikatan kimia antara jaringan polimer satu dengan yang lain. Terakhir **Gambar 2.5f** menunjukkan susunan ikat silang (*cross-linked*) pada susunan ini terdapat polimer II yang berfungsi sebagai penghubung. Ujung – ujung dari polimer II dapat berikatan 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. 5** Bentuk Dasar Rantai Pencampuran Polimer (Sperling, 2006)



Diagram fase pencampuran polimer dapat dilihat pada **Gambar 2.6**, dimana dua polimer dapat bersifat *micible* pada daerah satu fase berada pada kondisi dimana polimer yang ingin dilarutkan ditambahkan dalam komposisi yang sangat rendah apabila proses pencampuran dilakukan pada temperatur rendah. Semakin tinggi temperatur maka semakin besar kemampuan dari masing – masing polimer untuk melarutkan polimer lain. Hingga pada temperatur di antara dua kubah, pencampuran dapat dilakukan di berbagai komposisi. Polimer yang saling campur menunjukkan tidak terjadinya pemisahan fase pada skala makro maupun mikro. Daerah dalam kubah menunjukkan terjadinya pemisahan fase dari kedua polimer. Pemisahan fase ini terjadi akibat polimer yang tidak saling larut dengan polimer lain. Oleh karena itu, struktur fase pada polimer *blend* dapat berupa *micible* dan *immicible*. Oleh karena massa molar yang tinggi, entropi dari campuran polimer relatif rendah dan akibatnya interaksi spesifik dibutuhkan untuk menghasilkan campuran yang *micible* atau homogen pada skala molekular.



**Gambar 2. 6** Diagram Fasa Polimer *Blend* (Spertling, 2006)

Pada polimer *blend* yang *immicible* sifat mekaniknya bergantung pada parameter struktur tertentu, yaitu interfasial tensi yang sesuai untuk ukuran fase yang kecil yang dapat dikatakan homogen secara makro dan memiliki adhesi yang kuat antar fase. *Immicible* polimer *blend* tentu memiliki morfologi yang lebih kasar dibanding *micible* polimer *blend*. Dengan pencampuran ini memberikan beberapa keuntungan diantaranya, memberikan material dengan sifat yang



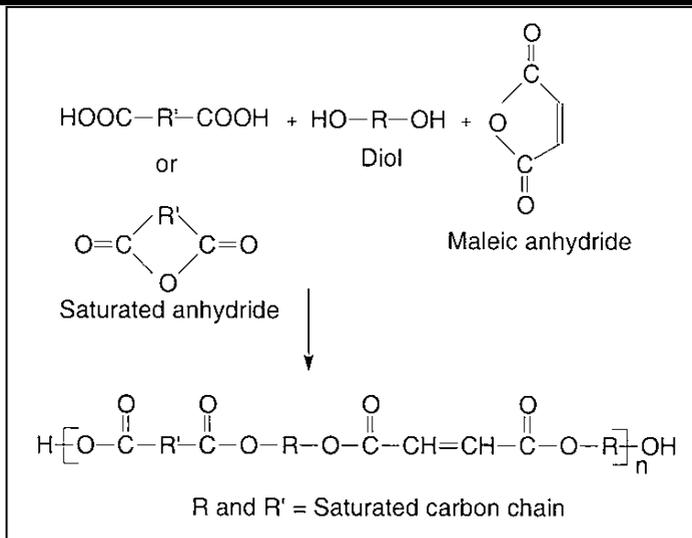
diinginkan pada harga terendah, memperpanjang pemakaian resin, dan meningkatkan sifat tertentu seperti kekuatan impak (Utracki, 2002).

### 2.3 Resin Poliester Tak Jenuh

Resin Poliester Tak Jenuh (RPTJ) atau *Unsaturated Polyester Resin* (UPR) merupakan jenis polimer termoset. Resin Poliester Tak Jenuh (RPTJ) adalah makromelekul yang terbentuk dari *diacid* atau *dianhydride* dengan *dihydroxy compound* (*diols*) yang ditemukan pada awal tahun 1940. Reaksi kimia dan struktur poliester jenuh dapat dilihat pada **Gambar 2.7** dimana maleik anhidrid atau asam fumerik ditambahkan kedalam asam jenuh, yang mana akan memberikan struktur tak jenuh. Anhidrid yang paling sering digunakan adalah maleik anhidrid (tak jenuh) dan phthalik anhidrid (jenuh). Sedangkan diols yang sering digunakan adalah etilena glikol atau propilena glikol (Debdatta, 2009).

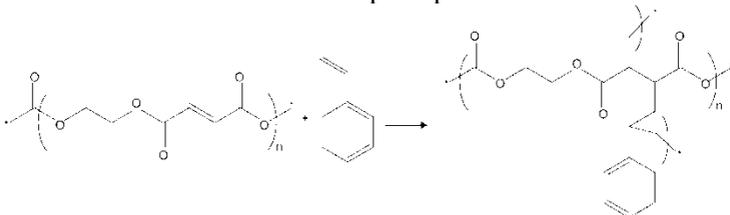
Reaksi sintesis polikondensasi dari RPTJ bergantung pada struktur kimia reaktan (*diacid* dan *diol*) dan stoikiometri dari reaktan. Pada umumnya, glikol digunakan sedikit berlebih untuk mengkompensasi potensi hilangnya glikol melalui penguapan. Reaksi ini terdiri dari dua tahap, yaitu formasi dari monoester diikuti dengan polikondensasi pada temperatur tinggi. Reaksi bersifat *reversible* dan menghasilkan air (Debdatta, 2009).

Pada produk akhir resin ini, biasanya memiliki massa molekul rata - rata diantara 1000 dan 3000, dan lebih dari 90% terdapat ikatan ganda karbon. Dalam resin ini juga, RPTJ biasanya dicampur dengan monomer vinil, biasanya stirena, sekitar 30% dari berat total (Paci, 1982). Kekuatan maksimum yang dapat dicapai RPTJ adalah ketika konten styrene dalam resin sebanyak 24% (Sanchez, 1999). Semakin banyak kandungan monomer styrene pada resin akan menurunkan kekuatan tarik dan modulus dari hasil curing resin nantinya (Osman, 2012).



**Gambar 2. 7** Sintesis Resin Poliester Tak Jenuh (Debdatta, 2009)

Proses *curing* dari Resin Poliester Tak Jenuh merupakan hasil dari reaksi radikal bebas antara ikatan yang tak jenuh dan monomer. Untuk menginisiasi radikal bebas, dapat digunakan beberapa inisiator seperti senyawa peroksida, azo, dan azine yang diaktifkan oleh senyawa metal, amina tertier dan mercaptans, atau dapat juga dengan aktivasi termal (Hossein, 2005). Peroksida organik merupakan inisiator yang sering digunakan dengan tambahan akselerator untuk mempercepat reaksi.



**Gambar 2. 8** Proses Curing dari RPTJ (Andreas K, 2014)



*Methyl ethyl ketone peroxide* (MEKP) dan benzoil peroksida merupakan contoh peroksida organik. Sedangkan contoh akselerator yang digunakan seperti *cobalt naphthenate* atau *cobalt octoate* dengan jumlah yang kecil (sekitar 0,02 wt%). Dalam Resin Poliester Tak Jenuh terdapat beberapa campuran di dalamnya, yaitu poliester tak jenuh, stirena, dan inhibitor. Ketika direaksikan dengan inisiator dan akselerator, tahap awal proses *curing*, radikal bebas digunakan oleh inhibitor. Ketika inhibitor telah habis, reaksi polimerisasi poliester akan berlangsung. Seperti pada **Gambar 2.8** stirena akan berperan sebagai agen untuk menghubungkan molekul poliester, sehingga terbentuk jaringan *crosslinked* (Debdatta, 2009). *Crosslink* antara stirena dengan poliester tak jenuh akan membentuk formasi mikrostruktur dan transisi liquid – solid pada mula – mula reaksi, dimana konversi totalnya <5%. Mikrostruktur yang terbentuk dapat terlihat berbentuk seperti partikel spiral atau flake (Hsu, 1990).

**Tabel 2. 1** Resin Poliester Tak Jenuh (RPTJ) (\_\_\_ASM, 2001)

|   |      |
|---|------|
| <i>Tensile strenght (MPa)</i>           | 55   |
| <i>Tensile modulus (GPa)</i>            | 3.4  |
| <i>Elongasi (%)</i>                     | 2.1  |
| <i>Flexural strength (MPa)</i>          | 80   |
| <i>Flexural modulus (GPa)</i>           | 3.45 |
| <i>Heat Deflection Temperature (°C)</i> | 80   |

Resin Poliester Tak Jenuh memiliki sifat mekanik yang cukup, sifat adesi yang cukup, viskositas rendah, penyusutan tinggi, dan tahan terhadap reaksi kimia yang cukup. Namun Resin Poliester Tak Jenuh juga memiliki nilai penyusutan yang tinggi, yaitu berkisar 7 – 10% selama proses *curing* (Mehran, 2004).



Selain itu RPTJ juga digunakan untuk pelapisan, pembuatan pipa, tangki, komponen elektronik, dan sebagainya (Charles, 2000). Sifat mekanik RPTJ dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

## 2.4 Matriks Komposit Kapal

Dalam industri Resin Poliester Tak Jenuh banyak digunakan sebagai matriks komposit *fibre reinforced polymer* (FRP) terutama dalam industri marine atau kapal. Perkembangan penggunaan FRP pada industri maritim sudah dimulai awal tahun 1950 untuk kapal kecil seperti perahu keselamatan dan terus berkembang hingga mampu digunakan untuk kapal dengan panjang 60 m. FRP merupakan komposit dengan performa yang tinggi terutama karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan densitas rendah. FRP dengan matriks Resin Poliester Tak Jenuh akan menghasilkan efisien struktur dengan konfigurasi *sandwich*. Hampir 75% kapal kecil ukuran hingga 24m seperti untuk wisata ( *leisure boat* ), terutama untuk pembuatan lambung kapal, menggunakan fiber *e-glass woven roving* dan Resin Poliester Tak Jenuh dimana konten fiber yang biasa digunakan 30-70% dengan metode *hand lay up* (Shenoi, 1993). Sifat mekanik FRP dapat dilihat lebih lengkap pada **Tabel 2.2**.

Metode *hand lay-up* (**Gambar 2.9**) merupakan metode yang mudah dan sederhana dimana dapat dilakukan pada temperatur kamar. Sebelum diberikan resin dan fibernya, cetakan dilapisi dengan gel pelindung (*gel coat*) untuk melindungi dari pengaruh luar. Setelah itu resin cair dan penguat fibernya disusun lapis per lapis. Untuk mendapatkan hasil yang baik penguat yang ditambahkan kedalam komposit sedikitnya 35% (Goodman, 2014). Menurut aturan standar Balai Klasifikasi Indonesia, ada batas minimal kekuatan yang harus dihasilkan oleh resin untuk komposit dengan matriks polimer ini. Pada **Tabel 2.3** dijelaskan nilai minimal dari mekanik resin yang digunakan untuk membuat kapal komposit fiber glass berdasarkan standar *Rules For The Classification and Construction*, Biro



Klasifikasi Indonesia (BKI) pada tahun 2014. Nilai minimal tersebut digunakan untuk membuat kapal yang berukuran dari 6 – 24 m dengan komposisi E-glass yang digunakan sebesar 30%.

**Tabel 2. 2** Sifat FRP dengan beberapa tipe (\_\_\_ASM,2001)

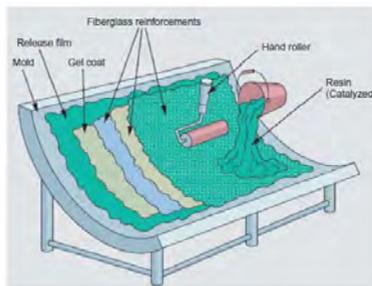
| Tipe Fiber                   | Konten Glass (%) | Tensile Strength (MPa) | Tensile Modulus (GPa) | Flexural Strength (MPa) | Flexural Modulus (GPa) |
|------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| nil                          | 0                | 59                     | 5.4                   | 88                      | 3.9                    |
| Chopped-stretched mat        | 50               | 288                    | 16.7                  | 197                     | 14.5                   |
| Roving fabric                | 60               | 314                    | 19.5                  | 317                     | 15.0                   |
| Woven glass fabric           | 70               | 331                    | 25.8                  | 403                     | 17.4                   |
| Unidirectional rocing fabric | 70               | 611                    | 32.5                  | 403                     | 29.4                   |

**Tabel 2. 3** Sifat Mekanik Minimal Resin (\_\_\_BKI, 2014)

|                                  | Minimum Values |
|----------------------------------|----------------|
| Tensile strength                 | 40 MPa         |
| Fracture strain                  | 2.0 %          |
| Modulus of elasticity            | 2700 MPa       |
| Bending strength                 | 80 MPa         |
| Dimensional stability under heat | 60 °C          |



Sedangkan menurut aturan standar organisasi *Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft*, ada batas minimal kekuatan yang harus dihasilkan oleh komposit dengan matriks polimer ini. Pada **Tabel 2.4** dijelaskan nilai minimal dari mekanik kapal yang memiliki panjang hingga 24 m. Dimana kekuatan tersebut harus dicapai dengan komposisi penguat E-gelas 30%.



**Gambar 2. 9** Skema metode *hand lay-up* (Goodman, 2014)

**Tabel 2. 4** Kekuatan Minimal Kapal ukuran kurang dari 24m (\_\_\_GL, 2012)

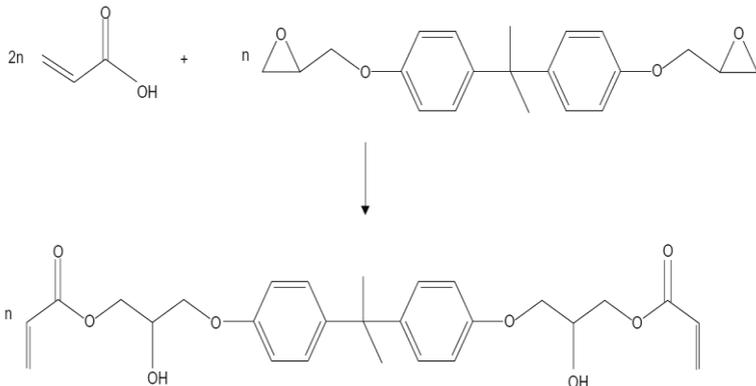
| Mechanical properties of basic laminate (minimum values) |  | $\frac{N}{mm^2}$ |
|--|--|------------------|
| Tensile strength (fracture)                              | $\sigma_{zB}$  | 85               |
| Young's modulus (tension)                                | $E_z$  | 6350             |
| Flexural strength (fracture)                             | $\sigma_{bB}$  | 152              |
| Compressive strength (fracture)                          | $\sigma_{dB}$  | 117              |
| Shear strength (fracture)                                | $\tau_B$   | 62               |
| Shear modulus  | G  | 2750             |
| Interlaminar shear strength                              | $\tau_{ib}$  | 17               |
| Specific thickness                                       | = 0,70 mm per 300 g/m <sup>2</sup> glass reinforcement |                  |
| Glass content by weight $\Psi$                           | = 0,30   |                  |



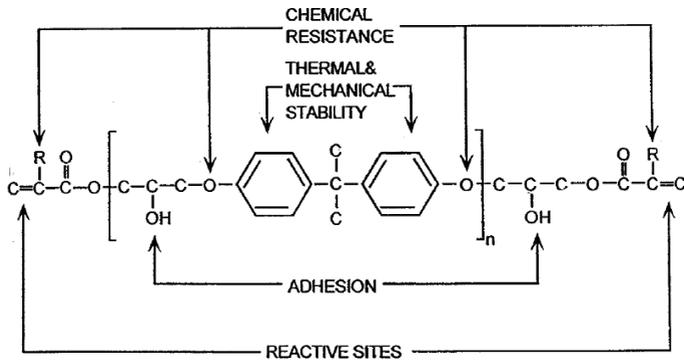
## 2.5 Resin Vinil Ester

Resin Vinil Ester (RVE) atau Vinyl Ester Resin (VER) merupakan polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara epoksi resin dengan asam karboksil tak jenuh seperti *acylic acid* atau asam metakrilik. Cara paling sederhana untuk mensintesis Resin Vinil Ester adalah dengan mereaksikan satu mol *diglycidyl ether of bisphenol A* dan dua mol *methacrylic acid* (**Gambar 2.10**) dimana reaksi berlangsung pada temperatur 100°C menggunakan inisiator seperti tripenil *phospine*. Untuk menghentikan polimerisasi dari *methacrylic acid*, inhibitor seperti *hydroquinone* perlu digunakan (Debdatta, 2009).

Resin Vinil Ester memperlihatkan sifat mekanik seperti epoksi dan juga kemudahan pemrosesan seperti resin poliester tak jenuh. RVE mengalami proses *curing* dengan mekanisme radikal bebas seperti RPTJ. Pada temperatur kamar, Resin Vinil Ester direaksikan dengan MEKP dan *cobalt napthenate*. Pada temperatur lebih tinggi, inisiator benzoil peroksida dan *dimethyl aniline* juga digunakan untuk mendapatkan ketahanan korosi yang lebih baik. Oleh karena itu, hasil *curing* vinil ester bergantung pada sistem inisiatornya, kondisi *curing*, dan juga waktu *gel time* (Debdatta, 2009).



**Gambar 2. 10** Sintesis Resin Vinil Ester (Debdatta, 2009)



**Gambar 2. 11** Struktur Kimia dan Sifat Resin Vinil Ester  
(Xia Cao, 2002)

Resin Vinil Ester memiliki jumlah crosslink yang lebih sedikit dibanding RPTJ karena *unsaturation* hanya muncul pada ujung rantai Resin Vinil Ester sehingga RVE lebih fleksibel. RVE juga memiliki sifat adesi yang lebih baik dibanding RPTJ karena adanya grup hidroksil yang memberikan ikatan H untuk membentuk grup yang sama di fiber *glass* (Debdatta, 2009). Adanya gugus benzena juga memberikan sifat kekuatan tarik dan stabilitas termal yang lebih baik, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**. Resin vinil ester pertama kali diperkenalkan pada tahun 1960, dan RVE banyak digunakan untuk pelapisan, komponen listrik, peralatan rumah tangga, dan lainnya. RVE juga memberikan performa lebih baik untuk pemakain didalam air dibanding epoksi, sehingga juga banyak digunakan pada industri konstruksi kapal (Jyoti, 2013). Sifat mekanik Resin Vinil Ester dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

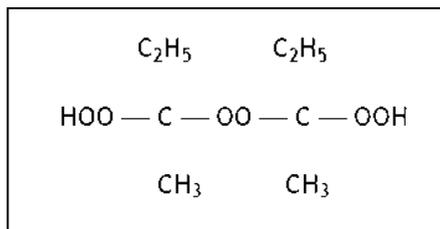


**Tabel 2. 5** Sifat Resin Vinil Ester (\_\_\_ASM, 2001)

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Tensile strenght (MPa)           | 80   |
| Tensile modulus (GPa)            | 3.59 |
| Elongasi (%)                     | 4    |
| Flexural strength (MPa)          | 140  |
| Flexural modulus (GPa)           | 3.72 |
| Heat Deflection Temperature (°C) | 100  |

## 2.6 Metil Etil Keton Peroksida

Metil Etil Keton Peroksida atau Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) merupakan jenis inisiator peroksida organik. Struktur kimia MEKP dapat dilihat pada **Gambar 2.12**. Peroksida organik digunakan sebagai inisiator pada proses curing baik untuk resin poliester tak jenuh maupun resin vinil ester. MEKP merupakan peroksida organik yang tidak stabil, sehingga dapat menghasilkan reaksi eksotermik. MEKP berupa cairan bening dan berbau dimana umumnya memiliki rumus molekul  $C_8H_{18}O_6$ . MEKP digunakan pada keadaan temperatur kamar dan memberikan efek curing yang cukup cepat. Biasanya MEKP yang ditambahkan ke dalam resin antara 1 – 4 wt% (Debdatta, 2009).



**Gambar 2. 12** Struktur MEKP (Pubchem, 2005)

Radikal bebas yang dihasilkan dari dekomposisi peroksida akan menginisiasi terbentuknya struktur ikat silang (*crosslink*)

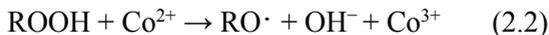


pada rantai polimer tersebut. Namun sebelum menginisiasi polimerisasi, radikal bebas yang terbentuk mengonsumsi inhibitor terlebih dahulu. Setelah inhibitor habis reaksi polimerisasi dapat dilakukan. MEKP dapat terdekomposisi tanpa bantuan akselerator pada temperatur kamar dengan mekanisme reaksi sebagai berikut :

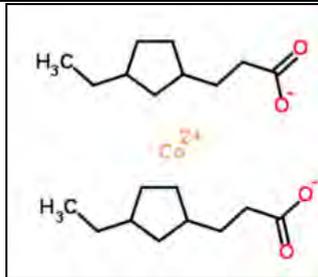


### 2.7 Cobalt Naphthenate

*Cobalt Naphthenate* ( $\text{C}_{20}\text{H}_{34}\text{CoO}_4$ ) merupakan sebuah akselerator atau promotor yang digunakan bersama dengan suatu inisiator untuk mempercepat reaksi pada proses *curing resin poliester tak jenuh maupun resin vinil ester*. Struktur kimia *Cobalt Naphthenate* dapat dilihat pada **Gambar 2.13**. *Cobalt Naphthenate* berfungsi untuk mempercepat dekomposisi peroksida yang ada pada inisiator. Dekomposisi akselerator ini akan membantu peroksida menghasilkan satu radikal bebas. Mekanisme reaksi dekomposisi dengan *Cobalt Naphthenate* sebagai berikut :

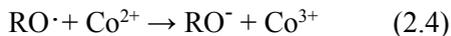


Ion cobalt akan membantu pelepasan radikal bebas dan siklus reaksi tersebut akan terus berlanjut hingga semua peroksida terdekomposisi (F Toorkey, 1996). Radikal bebas tersebut akan menjadi seperti katalis bagi peroksida yang menginisiasi reaksi rantai pada daerah tak jenuh dari poliester dan monomer. Akselerator cobalt ini biasa digunakan sebanyak 0,02 – 0,3 wt% (Debdatta, 2009).



**Gambar 2. 13** Struktur *Cobalt Naphthenate* (*Pubchem, 2007*)

*Kelebihan akselerator juga tidaklah baik karena dapat mengganggu proses inisiasi. Ion metal yang terkandung pada akselerator dapat menghancurkan radikal bebas berubah menjadi ion, sehingga kemampuannya menginisiasi berkurang (Xia Cao, 2002). Mekanisme perubahan radikal bebas dijelaskan pada mekanisme dibawah ini :*



## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Benny Cherian (2003) tentang *Blends of Unsaturated Polyester Resin with Functional Elastomers*, gugus fungsi elastomer ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan dan ketahanan terhadap impak pada resin poliester tak jenuh . Pada studi ini digunakan beberapa macam elastomer untuk membandingkan hasil, diantaranya *epoxidized natural rubber (ENR)*, *hydroxy terminated natural rubber (HTNR)*, *hydroxy terminated polybutadiene (HTPB)*, dan *maleated nitrile rubber (MA-g-NBR)*. Pada proses *curing* digunakan inisiator MEKP dan akselerator cobalt naphthenate pada temperatur ruang selama 24 jam, dan diikuti dengan pemanasan pada 80°C selama 3 jam. Elastomer dalam bentuk larutan dalam styrene sebanyak 0-5wt% ditambahkan kedalam RPTJ.



Dari hasil campuran RPTJ dengan elastomer diketahui bahwa penambahan 2,5% elastomer akan meningkatkan kekuatan tarik, tetapi lebih dari itu akan menurunkan kekuatan tariknya. Ketangguhan akan naik hingga 400% didapatkan dari campuran 2,5% NBR dan dengan 2,5% NBR juga didapatkan peningkatan ketahanan impak dan penyerapan air. Nilai sifat mekanik hasil pengujian campuran elastomer dapat dilihat pada **Tabel 2.6**. Namun penambahan elastomer menurunkan kekerasan pada permukaan campuran RPTJ/elastomer. Selain itu, harga elastomer yang digunakan cukup mahal. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian ini dapat dilakukan pencampuran dengan bahan yang lebih murah serta dapat diproses lebih mudah, tetapi memiliki kekuatan tarik, kekerasan dan sifat lainnya yang lebih baik.

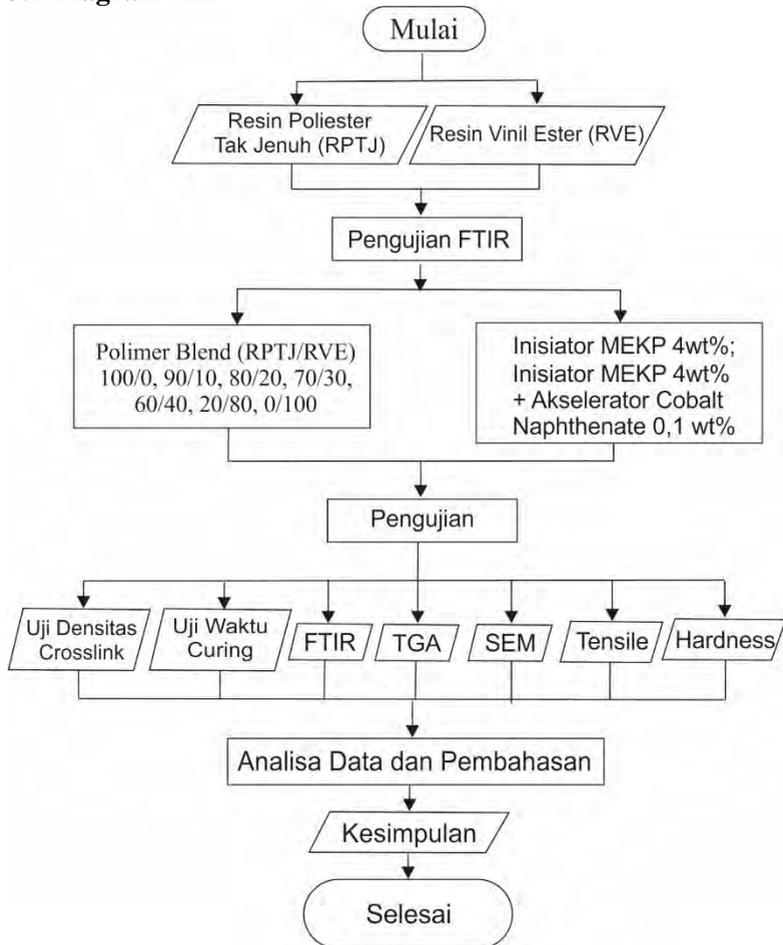
**Tabel 2. 6** Sifat campuran RPTJ/elastomer (Cherian, 2003)

| Property   | UPR  | Maximum Improvement Achieved (%)/<br>Elastomer Concentration (%) |         |          |          |
|--|------|--|---------|----------|----------|
|  |      | HTNR   | ENR     | HTPB     | MA-g-NBR |
| Tensile strength (MPa)                                 | 33.3 | 28.6/2   | 82.6/2  | 63.2/2.5 | 97.8/2.5 |
| Modulus ( $\times 10^2$ MPa)                           | 14.1 | -27.3/1  | 4.6/2   | 14.2/2.5 | 8.9/2.5  |
| Elongation at break (%)                                | 2.25 | 137/2  | 86.7/2  | 52.4/2.5 | 95.6/2.5 |
| Toughness (MPa)  | 0.36 | 208/2  | 267/2   | 158/2.5  | 303/2.5  |
| Impact strength ( $\times 10^{-2}$ J/mm <sup>2</sup> ) | 1.21 | 201/2.5  | 198/2.5 | 121/2.5  | 247/2.5  |
| Hardness (shore D)                                     | 88   | -1.7/1   | 0/1     | -2.5/1   | 0/1      |
| Abrasion loss (cc)                                     | 0.37 | 78.4/5   | 16.2/5  | 56.8/5   | 27.0/5   |
| Water absorption (%)                                   | 0.21 | 100/5  | 33.3/5  | 57.1/5   | 57.1/5   |



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Resin Poliester Tak Jenuh

Resin Poliester Tak Jenuh seperti pada **Gambar 3.2**, merupakan bahan utama untuk campuran polimer *blend* berupa *liquid* kental berwarna coklat bening. Resin Poliester Tak Jenuh didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe YUKALAC® 157 BQTN-EX.



**Gambar 3. 2** Resin Poliester Tak Jenuh

2. Resin Vinil Ester

Resin Vinil Ester seperti pada **Gambar 3.3**, merupakan bahan utama untuk campuran polimer *blend* berupa *liquid* kental berwarna kuning bening. Resin Vinil Ester didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe RIPOXY R-802 EX-1.



**Gambar 3. 3** Resin Vinil Ester



3. *Metil Etil Keton Peroksida (MEKP)*  
*Metil Etil Keton Peroksida (MEKP)* seperti pada **Gambar 3.4**, merupakan bahan yang digunakan sebagai inisiator untuk polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. *Metil Etil Keton Peroksida (MEKP)* yang digunakan dari PT Kawaguchi Kimia Indonesia.



**Gambar 3. 4** Inisiator *Metil Etil Keton Peroksida*

4. *Cobalt Naphthenate*  
*Cobalt naphthenate* seperti pada **Gambar 3.5**, merupakan bahan yang digunakan sebagai akselerator proses *curing* polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. *Cobalt naphthenate* didapatkan dari PT Justus Kimiaraya Surabaya.



**Gambar 3. 5** Akselerator *Cobalt Naphthenate*

5. Oli  
Oli digunakan untuk proses perendaman sampel dengan pemanasan pada pengujian densitas *crosslink*.
6. Xilena



Xilena digunakan pada proses perendaman sampel pada pengujian densitas *crosslink*. Xilena yang digunakan diperoleh dari UD. Sumber Ilmiah Persada.

### 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium

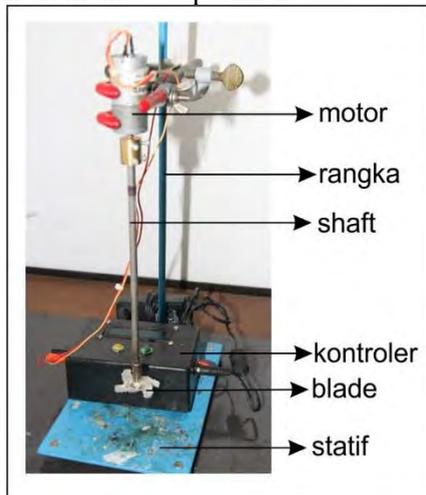
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran resin poliester tak jenuh/vinil ester.

2. Timbangan Digital

Timbangan digital Mettler Toledo digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.

3. Alat Pengaduk/Mixer

Alat pengaduk seperti pada **Gambar 3.6**, ini digunakan untuk mengaduk campuran resin poliester tak jenuh/vinil ester untuk membuat spesimen.



**Gambar 3. 6** Pengaduk/*Mixer*

4. Pipet

Pipet digunakan untuk mengambil cairan inisiator dan akselerator.



5. Mesin Gerinda  
Mesin gerinda digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen uji tarik polimer.
6. Cetakan Spesimen Uji Tarik  
Cetakan spesimen uji tarik seperti pada **Gambar 3.7**, digunakan untuk mencetak polimer hasil pencampuran menjadi spesimen uji tarik.



**Gambar 3. 7** Cetakan Spesimen Uji Tarik

7. Tachometer  
Tachometer seperti pada **Gambar 3.8**, digunakan untuk mengidentifikasi kecepatan putar mixer sehingga terukur dalam satuan RPM (Rotation Per Minute).



**Gambar 3. 8** Tachometer

8. *Hot Plate Stirrer*  
*Hot Plate Stirrer* seperti pada **Gambar 3.9**, digunakan sebagai pemanas pada proses pengujian densitas *crosslink*.



**Gambar 3. 9** *Hot Plate Stirrer*



- 
9. Botol Vial  
Botol vial digunakan sebagai wadah sampel pada pengujian densitas *crosslink*.
  10. Oven  
Oven digunakan untuk mengeringkan sampel pada proses pengujian densitas *crosslink*.
  11. Piknometer  
Piknometer digunakan untuk mengukur densitas sampel.
  12. Mesin uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)  
Digunakan untuk mengamati morfologi permukaan polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom ProX, milik Laboratorium Manufaktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
  13. Mesin uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)  
Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
  14. Alat uji kekerasan Durometer  
Digunakan mengetahui nilai kekerasan dari polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. Alat Durometer yang digunakan adalah Durometer Krisbow.
  15. Mesin Uji Tarik  
Digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester. Uji tarik menggunakan mesin AUTOGRAPH-10TE di Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga.
  16. *Thermogravimetric Analysis* (TGA)  
Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester.. Mesin TGA yang digunakan TGA Mettler Toledo di Laboratorium Energi LPPM ITS.



### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Polimer *blend* RPTJ/RVE dengan perbandingan komposisi persen berat 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80 dan 0/100 ditambahkan inisiator 4wt% MEKP.
2. Polimer *blend* RPTJ/RVE dengan perbandingan komposisi persen berat 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80 dan 0/100 ditambahkan inisiator 4wt% MEKP dan akselerator 0,1wt% Cobalt Naphthenate.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Mengukur berat campuran resin poliester tak jenuh/vinil ester dengan perbandingan komposisi persen berat (RPTJ/RVE) 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80 dan 0/100, lalu diaduk. Dibuat sebanyak dua kali untuk pencampuran inisiator dengan akselerator dan inisiator tanpa akselerator.
3. Mengukur massa inisiator dan akselerator dimana inisiator dan akselerator yang digunakan, yaitu : MEKP 4 wt%, dan MEKP 4wt% + Cobalt Naphthenate 0,1 wt%.
4. Mencampurkan polimer *blend* poliester tak jenuh/vinil ester dengan inisiator dan diaduk.
5. Menuangkan hasil campuran ke dalam cetakan uji tarik dan diamkan hingga curing.
6. Setelah curing, keluarkan dari cetakan dan permukaan spesimen diperhalus menggunakan mesin gerinda dan digunakan untuk pengujian.



### 3.6 Proses Pengujian

#### 1. Analisis Gugus Fungsi

Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui rantai ikatan atau gugus fungsi yang terbentuk dari hasil polimer *blend*. Gugus fungsi tersebut dapat diketahui karena FTIR bekerja dengan cara pemberian radiasi inframerah pada sampel. Radiasi tersebut akan diserap oleh sampel dan yang tidak terserap akan ditransmisikan serta ditangkap oleh mesin FTIR. Spektrum inframerah yang dihasilkan merupakan gambaran sampel dengan puncak serapan yang sesuai dengan frekuensi getaran antara ikatan atom yang membentuk suatu materi. Setiap ikatan atau gugus fungsi memiliki nilai puncak serapan yang berbeda. Dengan melihat puncak serapan pada hasil grafik FTIR, dimana sumbu x menunjukkan panjang gelombang dan sumbu y menunjukkan persen transmitansi, dapat disesuaikan dengan nilai puncak serapan referensi untuk mengidentifikasi ikatan tertentu. Mesin uji FTIR dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



**Gambar 3. 10** Mesin FTIR

#### 2. Analisis Morfologi Permukaan

Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui morfologi permukaan hasil polimer *blend*. SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menampilkan gambar permukaan sampel dengan memindai sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan. Elektron berinteraksi dengan atom – atom



menghasilkan sinyal pantulan yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel. SEM menghasilkan gambar resolusi sangat tinggi dari permukaan sampel. Pada sampel polimer *blend* ini diperlukan *sputter coating*. *Sputter coating* ini berfungsi untuk melapisi sampel *polymer blend*, sehingga memiliki layer yang bersifat konduktif agar dapat memantulkan sinyal elektron dengan baik untuk dibaca topografi permukaannya. Pada sampel polimer *blend* ini dilapisi dengan Au. Mesin uji SEM dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3. 11** Mesin SEM

### 3. Analisa Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang hasil polimer *blend*.. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indenter seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D. Alat durometer dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



**Gambar 3. 12** Alat Durometer Hardness Test



#### 4. Analisa Kekuatan Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan dengan standar ASTM D638 Tipe 1. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, % elongasi dan modulus elastisitas dari polimer *blend*. Mesin uji tarik dapat dilihat pada **Gambar 3.13**. Setelah pengujian dilakukan akan didapatkan kurva tegangan – regangan. Dengan perhitungan kekuatan sebagai berikut :

$$\text{Tensile Modulus } E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ Tensile Strength } \sigma_{ultimate} = \frac{P_{ultimate}}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Elongation } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{(pada daerah elastis)....(3.3)}$$

Dimana :

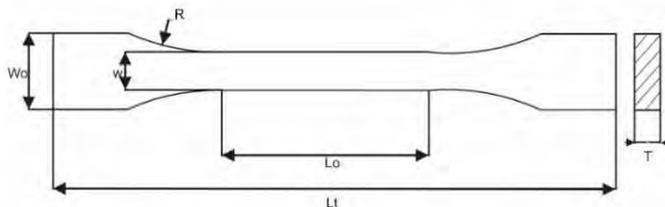
P = beban yang diberikan pada spesimen

A = luas penampang spesimen

$\Delta L$  = pertambahan panjang

$L_0$  = panjang awal spesimen

Dan untuk pengujian tarik ini, spesimen dibentuk sesuai dengan dimensi sebagai berikut:



Dimana dimensi spesimen :

$W_0 = 19 \text{ mm}$

$W = 13 \text{ mm}$



R = 76 mm  
Lo = 57 mm  
Lt = 165 mm  
T = 7 mm



**Gambar 3. 13** Mesin Uji Tarik

#### 5. Analisa Termal

Pengujian TGA dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil polimer *blend*. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga



didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel. Pada pengujian ini temperatur yang digunakan dimulai dari 25°C hingga 500°C dengan kecepatan kenaikan temperatur sebesar 10°C/menit tanpa aliran gas *inert*. Mesin uji TGA dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3. 14** Mesin TGA

6. Analisis Densitas *Crosslink*

Analisis ini digunakan untuk mengetahui densitas *crosslink* dari polimer. Densitas *crosslink* diartikan sebagai nilai rantai *crosslink* yang terbentuk pada suatu polimer per volume polimer tersebut. *Swelling ratio* suatu polimer dapat digunakan untuk menentukan nilai densitas tersebut. Ketika *swelling ratio* semakin tinggi maka densitas *crosslink* akan semakin rendah. Pada prinsipnya, rasio *swelling* mengukur perbedaan massa polimer ketika suatu polimer di rendam dalam sebuah pelarut dengan massa polimer saat kering. *Solvent* yang digunakan akan seperti menyerang masuk ke dalam sampel ketika direndam, jika makin banyak yang terserap maka menandakan densitas *crosslink* rendah. Oleh karena itu *swelling ratio* semakin tinggi maka densitas *crosslink* akan semakin rendah. Pengujian ini dilakukan dengan standar ASTM D2765. Metode yang digunakan berdasar standar ASTM tersebut adalah tipe C. Sampel polimer disiapkan dengan berat



yang sama, yaitu 0,5 gr. Kemudian sampel diletakan ke dalam botol vial berisi pelarut xilena untuk proses perendaman. Lalu botol vial yang berisikan sampel dan pelarut dipanaskan dalam *oil – bath* pada temperatur tetap 110°C selama 24 jam. Setelah proses perendaman dengan pemanasan tersebut selesai, sampel ditimbang untuk mendapatkan nilai massa setelah perendaman. Langkah selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam botol vial kosong dan dilakukan proses pengeringan dalam oven dengan temperatur 100°C selama 24 jam. Setelah proses pengeringan selesai, sampel kembali ditimbang untuk mengetahui perubahan massanya. Setelah didapatkan data, *swelling ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{swelling ratio} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times (K + 1) \dots \dots \dots (3.4)$$

$W_s$  = berat setelah perendaman

$W_d$  = berat setelah pengeringan

$K$  = rasio densitas polimer dengan densitas pelarut

Untuk mencari nilai  $K$ , densitas polimer diukur menggunakan piknometer dengan sebuah pelarut. Ketika sampel polimer dimasukkan ke dalam piknometer dengan suatu pelarut, dapat diketahui volume sampel dari selisih volume piknometer dengan volume pelarut. Lalu volume sampel yang didapat densitas dengan membagi volume sampel terhadap massa sampel tersebut.

#### 7. Analisis Waktu *Curing*

Analisis ini digunakan untuk menganalisis bagaimana pengaruh penambahan akselerator terhadap lama waktu yang dibutuhkan sampel polimer *blend* untuk *curing* atau mencapai kondisi solid. Pada pengujian ini dibutuhkan alat seperti *mixer*, wadah aluminium, jam, dan tachometer. Setelah sampel *polymer blend* yang telah dicampur



---

inisiator dengan akselerator maupun tanpa akselerator dalam wadah aluminium, sampel diaduk menggunakan *mixer*. Kecepatan *mixer* mula – mula diatur sama untuk semua komposisi sampel. Kemudian karena proses *curing* yang menyebabkan perubahan fase sampel polimer dari *liquid* – gel – solid akan menyebabkan penurunan kecepatan pada *mixer* karena semakin kental seiring dengan pertambahan waktu. Penurunan kecepatan ini diukur menggunakan tachometer dan diukur pada setiap beberapa menit atau pada interval waktu tertentu. Pada pengujian ini akan didapatkan kurva kecepatan *mixer* dalam RPM dan lama waktu dalam menit.



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

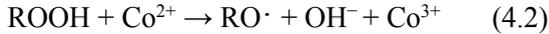
### 4.1 Analisis Waktu *Curing*

Proses polimer *blend* dilakukan pada penelitian ini dengan menggabungkan dua kopolimer dari campuran resin poliester tak jenuh dengan resin vinil ester. Resin poliester tak jenuh dengan resin vinil ester dicampurkan dengan komposisi persen (%) berat (RPTJ/RVE) 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80, dan 0/100. Proses polimerisasi polimer *blend* ini dilakukan dengan menggunakan dua sistem inisiator yang berbeda. Sistem pertama, metil etil keton peroksida (MEKP) digunakan sebagai inisiator sebanyak 4 wt%. Sistem kedua, MEKP digunakan sebagai inisiator sebanyak 4 wt% dan *cobalt naphhtenate* sebagai akselerator sebanyak 0,1 wt%. Pencampuran dilakukan pada temperatur kamar dan diaduk menggunakan *mixer* dengan kecepatan 200 RPM selama 60 detik.

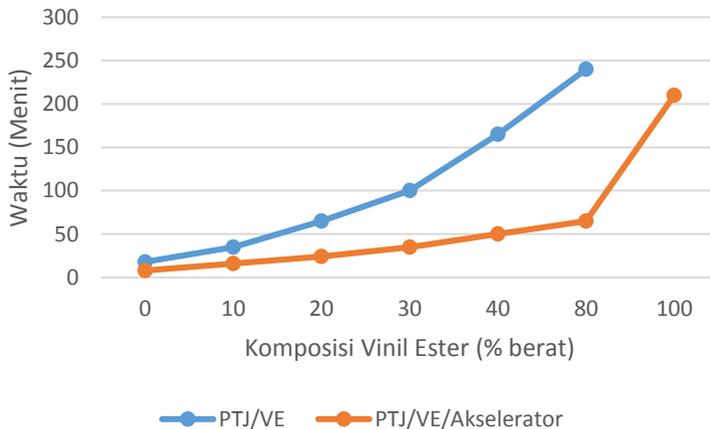
Baik resin RPTJ dan RVE melalui proses polimerisasi dengan cara menggunakan radikal bebas. Radikal bebas yang dihasilkan dari dekomposisi peroksida akan menginisiasi terbentuknya struktur ikat silang (*crosslink*) pada rantai polimer tersebut. MEKP dapat terdekomposisi tanpa bantuan akselerator pada temperatur kamar dengan mekanisme reaksi sebagai berikut :



Reaksi dekomposisi ROOH akan menghasilkan radikal bebas namun berjalan lambat. Adanya akselerator akan mempercepat reaksi dekomposisi dan reaksi inisiasi pada proses polimerisasi resin (Ling Li, 2004). Mekanisme reaksi dekomposisi dengan *Cobalt Naphhtenate* sebagai berikut :



Ion cobalt akan membantu pelepasan radikal bebas dan siklus reaksi tersebut akan terus berlanjut hingga semua peroksida terdekomposisi (F Toorkey, 1996). Proses dekomposisi ini menghasilkan reaksi eksotermik, sehingga dapat menaikkan temperatur. Ketika temperatur naik, inisiator yang belum terkatalis oleh akselerator dapat terdekomposisi sendirinya bahkan inisiasi antara monomer poliester tanpa bantuan inisiator dapat terjadi (Ling Li, 2004)



**Gambar 4. 1** Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester terhadap Waktu *Curing* Polimer *Blend* PT/VE

Pada **Gambar 4.1** terlihat dari hasil pengujian waktu *curing* dalam menit dengan penambahan komposisi vinil ester dan bagaimana pengaruh penambahan akselerator terhadap waktu *curing*. Pada dasarnya pengujian ini mengukur perubahan atau penurunan kecepatan *mixer* sebagai akibat kenaikan viskositas



pada resin ketika resin mulai bereaksi dengan inisiator dari keadaan *liquid* hingga menjadi gel, sehingga dapat memperlambat kecepatan *mixer*. Kecepatan awal *mixer* diatur pada 500 RPM, kemudian dicatat pengurangan kecepatannya hingga 200 RPM ketika campuran polimer sudah seperti gel kemudian dicatat sebagai waktu akhir. Adanya penambahan akselerator dapat mempercepat reaksi polimerisasi pada polimer *blend*, sedangkan tanpa penambahan akselerator proses polimerisasi berjalan lebih lambat. Sampel dengan penambahan komposisi vinil ester (%berat) 0, 10, 20 dan 30 dengan penambahan akselerator (**Gambar 4.1**) memiliki waktu paling cepat sekitar kurang dari satu jam dibandingkan dengan komposisi yang sama tanpa akselerator proses perubahan dari *liquid* hingga menjadi gel berkisar 30 – 60 menit.



**Gambar 4. 2**Spesimen Tarik Penambahan Komposisi VE pada Polimer *Blend* PTJ/VE

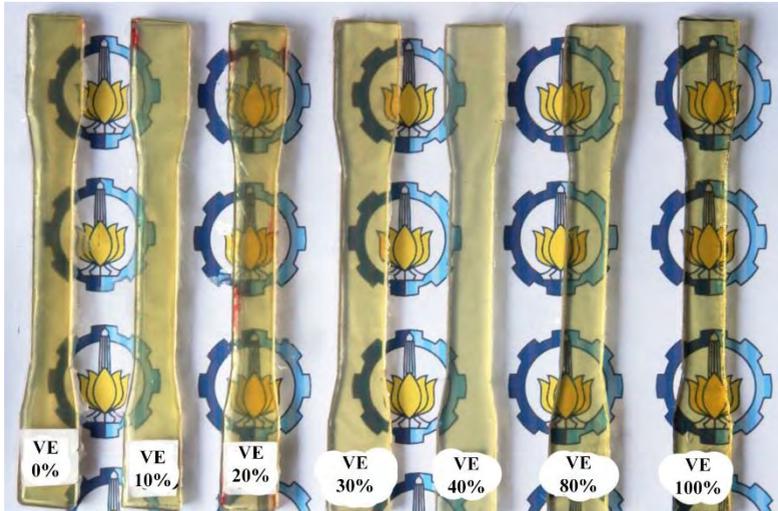


Proses *curing* paling lama adalah pada penambahan komposisi vinil ester 80% tanpa penambahan akselerator, yaitu membutuhkan waktu 240 menit, jika dibandingkan pada komposisi sama dengan akselerator waktu yang dibutuhkan, yaitu 65 menit. Akselerator seperti yang dibahas sebelumnya, berfungsi seperti katalis untuk inisiator, sehingga proses dekomposisi MEKP menjadi radikal bebas dapat berjalan lebih cepat, dan peroksida yang terdekomposisi memiliki tingkat yang cukup untuk melepas ikatan C=C pada resin. Semakin tinggi penambahan vinil ester resin juga mengakibatkan proses *curing* bertambah lama. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang dibutuhkan vinil ester untuk dapat *curing* lebih tinggi dan waktu laju reaksi yang lebih lama dibanding poliester bila hanya menggunakan inisiator. Adanya akselerator membuat vinil ester dapat terjadi reaksi *curing* pada temperatur kamar (Huan Yang, 2000).

Baik dengan maupun tanpa penambahan akselerator pada inisiator dapat menginisiasi proses polimerisasi pada polimer *blend* antara RPTJ dengan RVE. Pada sistem pertama, tanpa menggunakan akselerator, didapatkan hasil campuran poliester tak jenuh dengan vinil ester dengan komposisi rasio berat (%) (RPTJ/RVE) 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80, dan 0/100 seperti pada **Gambar 4.2**. Pada gambar tersebut dapat diamati hasilnya secara visual. Keseluruhan spesimen memiliki bentuk permukaan yang halus, rata dan rigid. Serta permukaan spesimen terlihat transparan dan kejernihan dari spesimen tersebut semakin meningkat dengan semakin meningkatnya pertambahan vinil ester. Namun pada sistem pertama ini, komposisi polimer yang keseluruhannya vinil ester tidak berhasil *curing* atau berubah menjadi solid. Hal ini dapat terjadi karena pada sistem pertama ini, radikal bebas yang terbentuk dari dekomposisi peroksida pada inisiator MEKP tidak mencapai tingkat yang cukup untuk mencapai laju reaksi *curing* dan berjalan sangat lambat untuk



melepaskan ikatan C=C pada vinil ester, serta tidak adanya resin poliester tak jenuh yang reaktif dapat menstimulus proses polimerisasi resin vinil ester.



**Gambar 4.3** Spesimen Tarik Penambahan Komposisi VE pada Polimer *Blend* PTJ/VE dengan Akselerator

Berbeda dengan sistem kedua, 4wt% MEKP digunakan sebagai inisiator dan ditambahkan dengan akselerator 0,1wt% *Cobalt Naphtenate*. Akselerator ini berfungsi seperti katalis bagi MEKP sehingga peroksida dapat terdekomposisi dengan baik dan lebih cepat menghasilkan radikal bebas pada tingkat yang cukup untuk melepaskan ikatan C=C menjadi C-C. Dari proses pencampuran dengan komposisi rasio berat (RPTJ/RVE) 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 20/80, dan 0/100 menggunakan inisiator dan akselerator ini didapatkan hasil seperti pada **Gambar 4.3** dimana semua komposisi secara visual memiliki permukaan yang halus, rata dan rigid. Serta memiliki permukaan yang

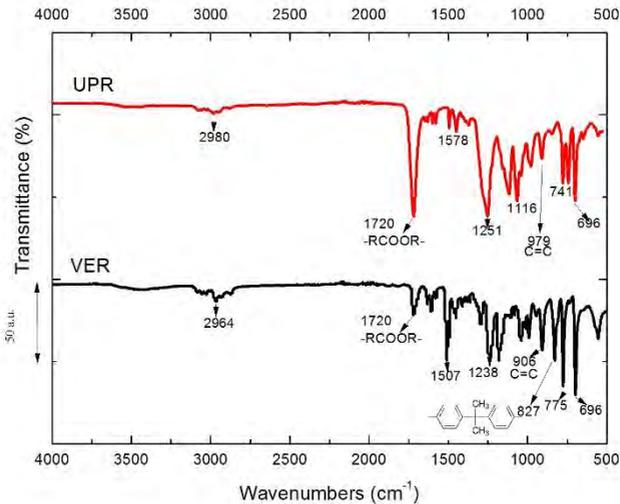


transparan berwarna kekuningan. Dari kedua sampel baik tanpa akselerator dan dengan akselerator secara visual menunjukkan tidak adanya pemisahan atau dua fase. Permukaan yang transparan dan halus menunjukkan pencampuran yang baik antara resin poliester tak jenuh dengan resin vinil ester menjadi satu fase.

#### 4.2 Analisis Gugus Fungsi

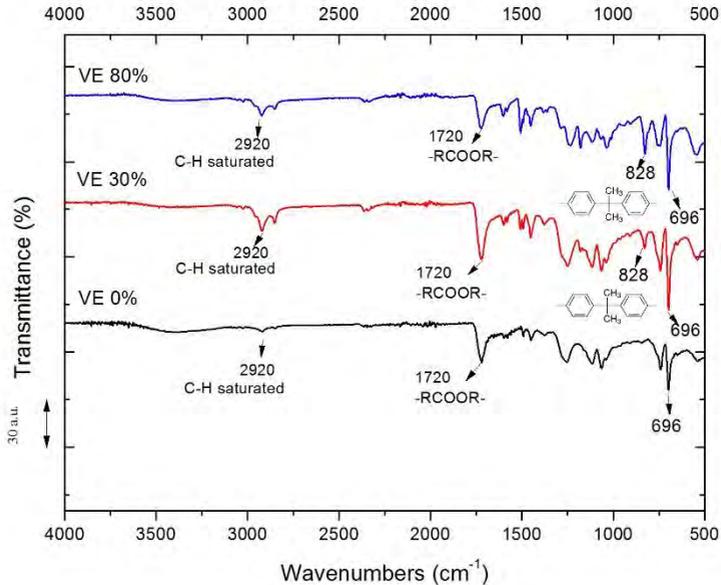
Pengamatan gugus fungsi pada polimer dapat dilakukan dengan melakukan pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada resin poliester tak jenuh dan vinil ester sebelum melalui proses campuran. Kemudian hasil FTIR campuran poliester tak jenuh dengan vinil ester dengan komposisi rasio berat (RPTJ/RVE) 100/0, 70/30, 20/80, dan 0/100 baik yang menggunakan inisiator dengan tambahan akselerator maupun tanpa penambahan akselerator ditampilkan untuk dapat dibandingkan, sehingga perubahan antara bahan resin poliester tak jenuh dan vinil ester dengan hasil campuran polimer *blend* dapat diamati.

Pada **Gambar 4.4** merupakan grafik hasil pengujian FTIR dari bahan RPTJ dan RVE. Pada hasil spektra itu dan **Tabel 4.1** dapat diamati daerah serapan yang muncul dan ikatan apa pada daerah tersebut. Dari hasil spektra FTIR RPTJ terdeteksi puncak  $1720\text{ cm}^{-1}$  sebagai ikatan C=O *stretching* karbonil pada ester. Kemudian pada puncak  $1251\text{ cm}^{-1}$  dan  $1116\text{ cm}^{-1}$  dapat diidentifikasi sebagai daerah serapan ikatan C-O-C *stretching*. Pada daerah  $2920\text{ cm}^{-1}$  juga terdeteksi ikatan C-H dari CH<sub>2</sub>. Ikatan ganda karbon (C=C *stretching*) terlihat pada daerah  $979\text{ cm}^{-1}$ ,  $1629\text{ cm}^{-1}$  dan  $1578\text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan monomer stirena yang terdapat pada RPTJ terdeteksi pada daerah serapan  $741\text{ cm}^{-1}$  dan  $696\text{ cm}^{-1}$  sebagai ikatan cincin benzena mono substitusi pada ikatan stirena.



**Gambar 4. 4** Spektra FTIR Resin Poliester Tak Jenuh dan Resin Vinil Ester

Kemudian pada spektra resin vinil ester, diketahui memiliki grafik yang mirip dengan spektra resin poliester tak jenuh. Pada spektra RVE juga terdeteksi daerah serapan pada puncak  $1720\text{ cm}^{-1}$  sebagai ikatan karbonil  $\text{C}=\text{O}$  pada ester. Ikatan  $\text{C}=\text{O}$  cincin aromatik teridentifikasi pada daerah serapan  $1507\text{ cm}^{-1}$  serta dikuatkan dengan adanya gugus benzena para disubstitusi yang menjadi perbedaan struktur kimia dengan resin poliester tak jenuh teridentifikasi pada daerah serapan  $827\text{ cm}^{-1}$ . Pada puncak serapan  $906\text{ cm}^{-1}$   $1629\text{ cm}^{-1}$  diketahui sebagai ikatan  $\text{C}=\text{C}$ . Lalu pada daerah serapan  $1238\text{ cm}^{-1}$  merupakan ikatan  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  *stretching*. Gugus fungsi stirena juga terdeteksi pada spektra di daerah  $696\text{ cm}^{-1}$  sebagai ikatan benzena mono substitusi.



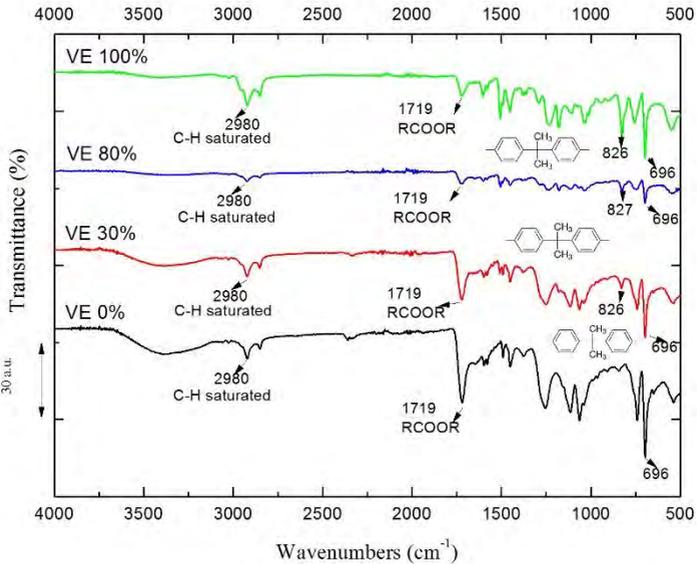
**Gambar 4.5** Spektra Hasil FTIR Polimer *Blend* PTJ/VE

**Gambar 4.5** merupakan hasil pengujian FTIR pada campuran polimer poliester tak jenuh dengan vinil ester tanpa menggunakan tambahan akselerator pada proses polimerisasinya. Sedangkan **Gambar 4.6** merupakan hasil pengujian FTIR campuran polimer poliester tak jenuh dengan vinil ester dengan menggunakan tambahan akselerator pada proses polimerisasinya.

Pada dasarnya perbedaan spektra FTIR dari hasil sebelum dan sesudah proses polimerisasi adalah terletak pada perubahan intensitas ikatan ganda karbon ( $C=C$ ) dan perubahan pada ikatan C-H saturasi. Pada proses polimerisasi, ikatan ganda karbon  $C=C$  akan semakin menurun dan meningkatkan ikatan C-H saturasi (A Mousa, 2000). Hal ini terjadi karena pada proses polimerisasi, radikal bebas akan memutuskan ikatan ganda karbon  $C=C$  menjadi



ikatan tunggal untuk menjadi ikatan penghubung jaringan ikat silang (*crosslink network*).



**Gambar 4. 6** Spektra Hasil FTIR Polimer *Blend* PTJ/VE/Akselerator

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan hasil spektra FTIR yang serupa, sehingga adanya akselerator tidak mempengaruhi gugus fungsi pada polimer. Baik pada kedua hasil dapat ditemui adanya ikatan karbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ) pada ester di daerah serapan sekitar  $1720 \text{ cm}^{-1}$ . Pada daerah serapan sekitar  $1115 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1249 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1233 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $1251 \text{ cm}^{-1}$  di kedua spektra dapat teridentifikasi sebagai ikatan C-O-C. Ikatan benzena mono substitusi juga dapat diketahui pada daerah serapan  $696 \text{ cm}^{-1}$ . Kemudian ikatan ganda karbon  $\text{C}=\text{C}$  dapat diamati semakin melemah pada daerah serapan sekitar  $906 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1580 \text{ cm}^{-1}$  jika dibandingkan dengan hasil FTIR pada resin poliester tak jenuh dan



resin vinil ester sebelum proses polimerisasi. Pada daerah serapan di sekitar  $2900\text{ cm}^{-1}$  dapat juga diamati adanya peningkatan intensitas ikatan C-H saturasi bila dibandingkan dengan hasil FTIR sebelum proses polimerisasi.

**Tabel 4. 1** Daftar Spektra FTIR

| Range ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Assignment                                    |
|----------------------------|---|
| 770 - 690                  | Mono substitusi cincin benzena pada stirena   |
| 830 - 810                  | Para disubstitusi cincin benzena pada vinil   |
| 980 - 900                  | C=C stretching alkena                         |
| 1150 - 1070                | C-O-C stretching                              |
| 1280 - 1150                | C-O-C pada ester                              |
| 1515 - 1485                | C=C cincin aromatik                           |
| 1660 - 1560                | C=C stretching alkena                         |
| 1720 - 1700                | C=O karbonil pada ester                       |
| 2990 - 2880                | C-H saturation dan $-\text{CH}_2-$ stretching |
| 3450 - 3250                | -OH stretch                                   |

. Pada pencampuran polimer *blend* ini menghasilkan spektra FTIR yang berbeda pada hasil campurannya dengan sebelum dicampur. Perbedaan ini terletak pada ditemukannya ikatan para disubstitusi benzena didaerah serapan sekitar  $826\text{ cm}^{-1}$  seiring adanya penambahan vinil ester di komposisi 30 dan 20 (% berat). Ikatan benzena ini tidak ditemukan pada komposisi yang keseluruhannya poliester. Dari hasil spektra polimer *blend* tersebut juga dapat diamati bahwa tidak terdapat perubahan pada ikatan polimernya jika dibandingkan dengan hasil spektra. Ketika tidak



ada pergeseran posisi pada FTIR menandakan tidak adanya interaksi kimia dan dapat dikatakan sebagai campuran fisik (*physical blend*) (Kaniappan, 2011).

### 4.3 Analisis Densitas *Crosslink*

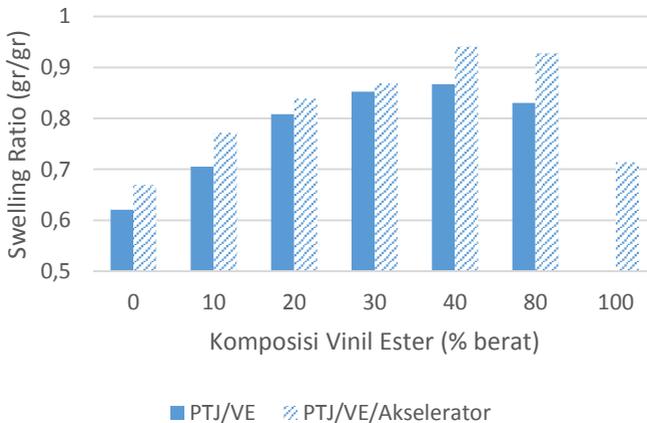
Densitas *crosslink* dapat diketahui dengan mengukur nilai rasio *swelling*. Pada prinsipnya, rasio *swelling* mengukur perbedaan massa polimer ketika suatu polimer di rendam dalam sebuah pelarut dengan massa polimer saat kering. *Solvent* yang digunakan, yaitu xilena, akan seperti menyerang masuk ke dalam sampel ketika direndam, jika makin banyak yang terserap maka menandakan densitas *crosslink* rendah. Oleh karena itu *swelling ratio* semakin tinggi maka densitas *crosslink* akan semakin rendah (Mitchell, 2001). Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM D2765 Tipe C. Pada **Gambar 4.7** diketahui bahwa nilai rasio *swelling* sampel dengan menggunakan akselerator lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa menggunakan akselerator. Penambahan komposisi vinil ester juga meningkatkan rasio *swelling* pada polimer *blend* PTJ/VE. Dapat dilihat secara berurutan nilai rasio *swelling* polimer *blend* PTJ/VE komposisi vinil ester 0, 10, 20, 30, 40, dan 80 (% berat) adalah 0,62; 0,71; 0,81; 0,85; 0,86; dan 0,83. Lalu secara berurutan juga nilai rasio *swelling* polimer *blend* PTJ/VE/akselerator komposisi vinil ester 0, 10, 20, 30, 40, 80, dan 100 (% berat) adalah 0,66; 0,77; 0,83; 0,86; 0,94; 0,92; dan 0,71.

Peningkatan nilai rasio *swelling* ini mengindikasikan bahwa nilai densitas *crosslink* semakin rendah. Hal ini terjadi karena, sifat dari vinil ester yang memiliki densitas *crosslink* yang lebih rendah dibanding poliester tak jenuh. Densitas *crosslink* yang tinggi menghasilkan kekuatan tarik tinggi namun getas (Debdatta, 2009). Sedangkan densitas *crosslink* yang rendah dari vinil ester



disebabkan oleh rantai panjang dari vinil hanya memiliki ikatan ganda karbon pada ujung – ujung saja. Rantai panjang tersebut dapat berfungsi sebagai penyerap energi ketika diberikan pembebanan, sehingga vinil ester memiliki ketangguhan yang lebih baik dibanding poliester tak jenuh.

Sedangkan, rasio *swelling* yang tinggi ini dapat disebabkan karena masih banyak ikatan ganda karbon yang tersisa dan tidak membentuk jaringan ikat silang. Ikatan ganda yang masih banyak tersisa ini mengindikasikan bahwa masih banyak inisiator yang tidak terkomsumsi untuk mengdekomposisi ikatan ganda karbon. Kehadiran dari inisiator yang tidak bereaksi ini dapat mempengaruhi sifat akhir polimer (Abadie, 2001). Residual stirena juga dapat meningkat nilai rasio *swelling*. Stirena yang tersisa biasanya akan menyebabkan terjadinya void pada polimer dan berpengaruh pada sifat mekanik polimer tersebut (Xia Cao, 2004).

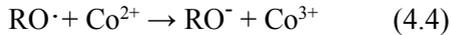


**Gambar 4. 7** Rasio *Swelling* Polimer *Blend* PTJ/VE

Adanya akselerator juga dapat menambah besar nilai *swelling* rasio karena terganggunya proses inisiasi pada saat polimerisasi. Ion metal yang terkandung pada akselerator dapat

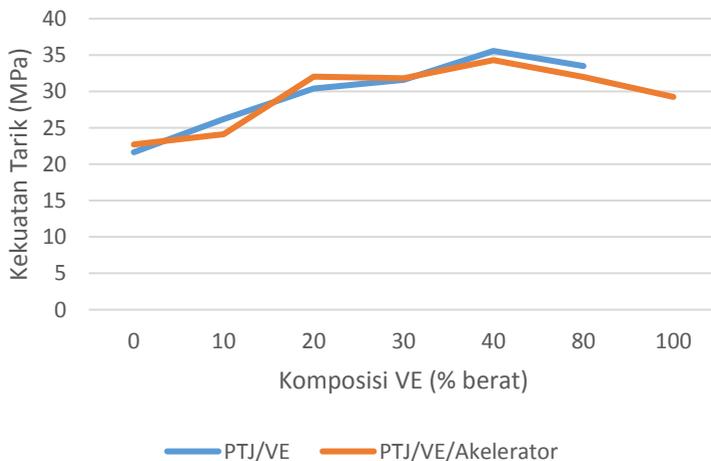


menghancurkan radikal bebas berubah menjadi ion, sehingga kemampuannya menginisiasi berkurang (Xia Cao, 2002). Mekanisme perubahan radikal bebas dijelaskan pada mekanisme dibawah ini :



#### 4.4 Analisis Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638 dengan menggunakan mesin AUTOGRAPH. Dari pengujian akan didapatkan nilai kekuatan tarik pada saat patah dan juga nilai persen elongasi. Pada **Gambar 4.8** dapat diamati nilai kekuatan tarik dari hasil pencampuran resin poliester tak jenuh dengan vinil ester.

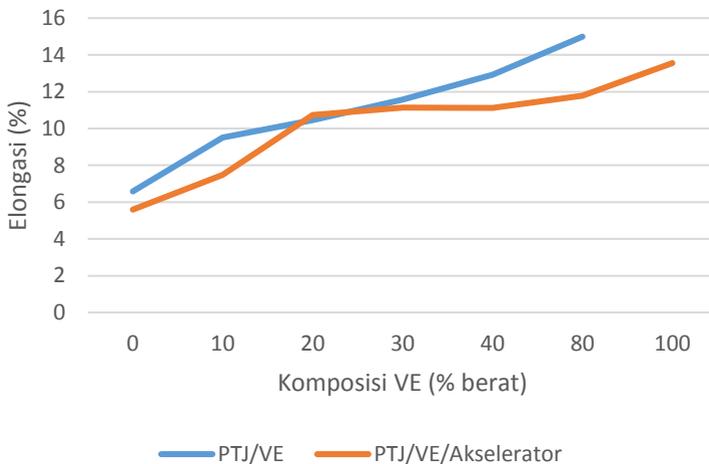


**Gambar 4. 8** Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester terhadap Kekuatan Tarik Polimer *Blend* PTJ/VE

Grafik kekuatan tarik (**Gambar 4.8**) PTJ/VE baik dengan atau tanpa menggunakan tambahan akselerator, dari komposisi



penambahan vinil ester 0, 10, 20, 30, dan 40 (% berat) mengalami peningkatan. Nilai kekuatan maksimum yang diperoleh pada komposisi penambahan 40% berat vinil ester, di mana pada spesimen yang tanpa menggunakan akselerator nilainya sebesar 35,56 MPa, sedangkan pada spesimen dengan penambahan akselerator nilainya sebesar 34,30 MPa. Setelah mengalami peningkatan, pada komposisi penambahan 80 % berat dan yang keseluruhannya vinil ester, nilai kekuatan tarik mengalami penurunan, tetapi nilainya masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak ditambahkan vinil ester. Dari kedua grafik nilai kekuatan tarik tersebut juga dapat dilihat bahwa pengaruh adanya penambahan akselerator terhadap kekuatan tarik tidak signifikan bahkan jika dilihat dari kekuatan maksimum yang mampu diperoleh cenderung lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan akselerator.



**Gambar 4. 9** Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester terhadap Elongasi Polimer *Blend* PTJ/VE



**Gambar 4.9** merupakan grafik elongasi, di mana bila elongasinya semakin besar maka nilai keuletannya juga semakin besar. Baik pada spesimen polimer *blend* PTJ/VE yang menggunakan tambahan akselerator maupun yang tidak, menghasilkan peningkatan nilai elongasi seiring bertambahnya komposisi campuran vinil ester pada polimer *blend*, sehingga keuletan dari polimer *blend* PTJ/VE semakin tinggi. Ketika poliester tak jenuh belum ditambahkan dengan vinil ester, nilai elongasi masih rendah, yaitu pada spesimen yang menggunakan akselerator sebesar 5,59 % sedangkan spesimen yang tanpa menggunakan akselerator sebesar 6,58 %. Hingga komposisi 80% vinil ester tanpa menggunakan akselerator mengalami kenaikan elongasi menjadi sebesar 14,99 %.

Sedangkan pada spesimen yang menggunakan akselerator mengalami kenaikan hingga komposisi 30% vinil ester mampu mengalami kenaikan menjadi 11,14 %, tetapi terjadi penurunan pada komposisi 40%. Ketika spesimen merupakan vinil ester keseluruhan, nilai elongasinya kembali naik sebesar 13,56 %. Dari kedua grafik nilai elongasi tersebut juga dapat dilihat bahwa pengaruh adanya penambahan akselerator terhadap elongasi cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan spesimen yang tanpa menggunakan akselerator.

Peningkatan kekuatan tarik dan stabilitas termal yang terjadi pada spesimen polimer *blend* dikarenakan pada vinil ester memiliki struktur kimia bisphenol a seperti pada epoksi ( Xia Cao, 2002). Seperti yang diketahui bahwa vinil ester terbentuk dari reaksi antara epoksi resin dengan *unsaturated* asam karboksil seperti *acylic acid* atau *methacrylic acid* (Debdatta, 2009). Oleh karena itu, bila vinil ester dibandingkan dengan poliester tak jenuh, vinil ester memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dengan elongasi yang lebih tinggi pula. Hal tersebut juga tampak pada nilai mekanik pada **Tabel 4.2** ketika komposisi vinil ester pada 80% ke



atas terjadi penurunan kekuatan tarik karena semakin ulet dilihat dari bertambah besarnya nilai elongasi, tetapi masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposisi yang keseluruhannya poliester tak jenuh. Keuletan vinil ester didapat dari struktur kimianya yang memiliki ikatan ganda karbon pada ujungnya saja, sehingga rantai panjang vinil ester dapat menyerap beban (K. Dinakaran, 2001).

**Tabel 4. 2** Sifat Mekanik Polimer *Blend* PTJ/VE

| Komposisi<br>VE (% berat) | Tanpa Akselerator |                | Dengan Akselerator |                |
|---------------------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                           | $\epsilon$ (%)    | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%)     | $\sigma$ (MPa) |
| 0                         | 6,58              | 21,63          | 5,59               | 22,71          |
| 10                        | 9,52              | 26,17          | 7,48               | 24,09          |
| 20                        | 10,45             | 30,39          | 10,73              | 32,02          |
| 30                        | 11,56             | 31,57          | 11,14              | 31,79          |
| 40                        | 12,91             | 35,56          | 11,11              | 34,30          |
| 80                        | 14,99             | 33,47          | 11,79              | 31,99          |
| 100                       |                   |                | 13,56              | 29,23          |

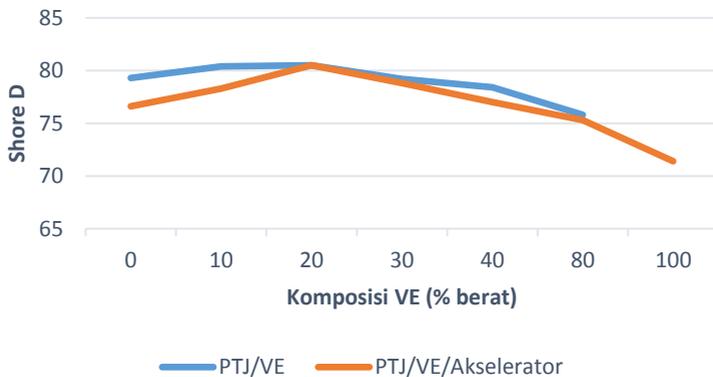
Kecenderungan nilai yang lebih rendah pada spesimen dengan penambahan akselerator dapat disebabkan oleh beberapa hal. Yang pertama dapat disebabkan adanya porositas yang terbentuk pada spesimen. Adanya porositas menyebabkan *internal stress* pada spesimen tarik, sehingga menurunkan sifat mekaniknya (Fu dkk, 2008). Porositas muncul dapat disebabkan karena kecepatan *mixing* terlalu cepat, sehingga menghasilkan gelembung udara pada spesimen dan tidak dapat keluar. Penyebab lain seperti yang dijelaskan pada analisis densitas *crosslink* dapat disebabkan karena terganggunya proses inisiasi oleh terbentuknya ion RO<sup>-</sup> karena cobalt pada saat polimerisasi atau adanya inisiator yang tidak bereaksi, sehingga sisa ikatan karbon ganda masih banyak. Berdasarkan hasil pengujian tarik ini, polimer *blend* dapat



dijadikan sebagai kandidat matriks komposit kapal dikarenakan mendekati nilai yang diizinkan yaitu 40 MPa.

#### 4.5 Analisis Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan sesuai standar ASTM D2240 dengan menggunakan alat uji durometer Shore D. **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.10** menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada campuran resin poliester tak jenuh dengan vinil ester. Pengujian dilakukan pada 5 titik indentasi pada masing-masing spesimen, kemudian diambil nilai rata – rata dari hasil indentasi tersebut. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa baik spesimen yang menggunakan akselerator maupun yang tidak, mengalami kenaikan kekerasan pada komposisi 10 % dan 20 % vinil ester. Pada mulanya di mana komposisi keseluruhan poliester nilai kekerasannya sebesar 79,3 Shore D untuk tanpa akselerator dan 76,6 Shore D untuk dengan akselerator.



**Gambar 4. 10** Pengaruh Akselerator dan Penambahan Vinil Ester terhadap Kekerasan Polimer *Blend* PTJ/VE

pada komposisi 20% vinil ester, nilai kekerasannya mencapai maksimal, yaitu 80,5 Shore D baik spesimen polimer *blend* yang menggunakan tambahan akselerator maupun yang tidak.



Setelahnya kekerasan mengalami penurunan di mana pada komposisi 80% vinil ester, nilai kekerasannya menjadi 75,8 Shore D untuk spesimen yang tanpa menggunakan akselerator dan 75,3 Shore D untuk spesimen dengan akselerator. Hal ini terjadi jika dilihat dari grafik elongasi (**Gambar 4.9**) yang semakin meningkat. Ketika elongasi semakin tinggi berarti keuletannya meningkat, sehingga kekuatan dan kekerasan akan menurun.

**Tabel 4. 3** Nilai Kekerasan Polimer *Blend* PTJ/VE

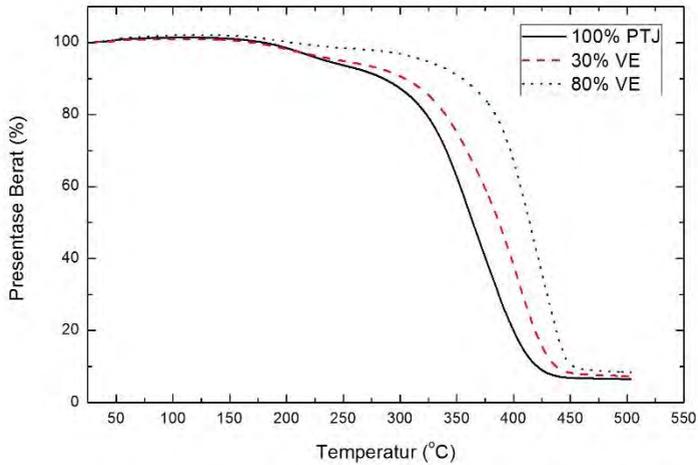
| Komposisi VE<br>(% berat) | Tanpa<br>Akselerator | Dengan<br>Akselerator |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|
| 0                         | 79,3                 | 76,6                  |
| 10                        | 80,4                 | 78,3                  |
| 20                        | 80,5                 | 80,5                  |
| 30                        | 79,2                 | 78,8                  |
| 40                        | 78,4                 | 77                    |
| 80                        | 75,8                 | 75,3                  |
| 100                       |                      | 71,4                  |

#### 4.6 Analisis Stabilitas Termal

Pengujian stabilitas termal polimer *blend* poliester tak jenuh dengan vinil ester dilakukan dengan uji TGA pada temperatur 25°C hingga temperatur 500°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Selama proses pemanasan akan terjadi proses pengurangan massa sampel. Kemudian pengurangan massa sampel ini diubah menjadi persentase pengurangan berat sampel (% berat). Stabilitas termal dari polimer dipengaruhi oleh pengurangan 5% berat awal polimer. Semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk mengurangi berat sampel hingga 5%, maka semakin stabil jenis polimer tersebut (Zhang, 2011). Pada **Gambar**



4.11 dan Gambar 4.12 ditunjukkan hasil pengujian stabilitas termal.

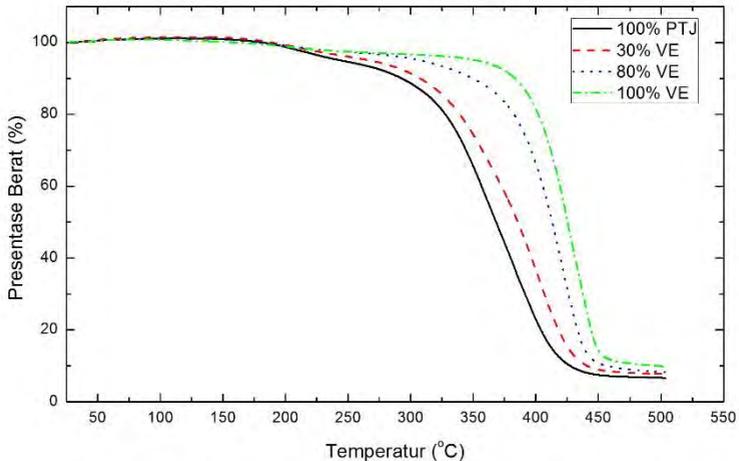


**Gambar 4. 11** Grafik Stabilitas Termal Polimer *Blend* PTJ/VE

Pada hasil pengujian sampel menunjukkan hasil stabilitas termal yang semakin meningkat seiring bertambahnya komposisi vinil ester. Adanya akselerator juga meningkatkan stabilitas termal pada sampel hingga penambahan komposisi 30% vinil ester, tetapi pada komposisi 80% vinil ester tidak. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh ikatan crosslink yang terjadi lebih baik dibandingkan polimer *blend* yang tidak menggunakan akselerator, sehingga memiliki stabilitas termal lebih baik. Kemudian pengaruh penambahan komposisi vinil ester dapat diamati sebagai berikut. Pada komposisi 30% vinil ester tanpa akselerator (**Gambar 4.11**) meningkat stabilitas termalnya dimana degradasi 5% terjadi pada temperatur 247°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 304°C. Bila dibandingkan dengan komposisi yang seluruhnya poliester tak jenuh degradasi 5% terjadi pada temperatur 234°C



dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 285°C. Lalu ketika komposisi 80% vinil ester, degradasi 5% terjadi pada temperatur 322°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 354°C.



**Gambar 4. 12** Grafik Stabilitas Termal Polimer *Blend* PTJ/VE/Akselerator

Pada komposisi 30% vinil ester dengan akselerator (**Gambar 4.12**) meningkat stabilitas termalnya dimana degradasi 5% terjadi pada temperatur 267°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 308°C. Bila dibandingkan dengan komposisi yang seluruhnya poliester tak jenuh degradasi 5% terjadi pada temperatur 243°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 292°C. Lalu ketika komposisi 80% vinil ester, degradasi 5% terjadi pada temperatur 307°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 349°C. Sedangkan ketika komposisi polimer seluruhnya adalah vinil ester, degradasi 5% terjadi pada temperatur 352°C dan degradasi 10% terjadi pada temperatur 383°C. Peningkatan stabilitas termal ini tentu diakibatkan oleh adanya penambahan komposisi vinil ester yang memiliki stabilitas termal lebih baik. Hal ini terjadi sama seperti yang terjadi pada peningkatan kekuatan



tarik polimer *blend* karena adanya struktur kimia bisphenol a pada vinil ester. Adanya penambahan vinil ester juga meningkatkan persen berat sisa pada polimer.

**Tabel 4. 4** Stabilitas Termal Polimer *Blend* PTJ/VE

|                      | VE (% berat) | Temperatur Degradasi 5% (°C) | Temperatur Degradasi 10% (°C) | Presentase Berat 500°C (%) |
|----------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 4% MEKP              | 0            | 234                          | 285                           | 6,454                      |
|                      | 30           | 247                          | 304                           | 7,233                      |
|                      | 100          | 322                          | 354                           | 8,353                      |
| 4% MEKP + 0,1% CoNap | 0            | 243                          | 292                           | 6,592                      |
|                      | 30           | 267                          | 308                           | 7,636                      |
|                      | 80           | 307                          | 349                           | 8,288                      |
|                      | 100          | 352                          | 383                           | 9,763                      |

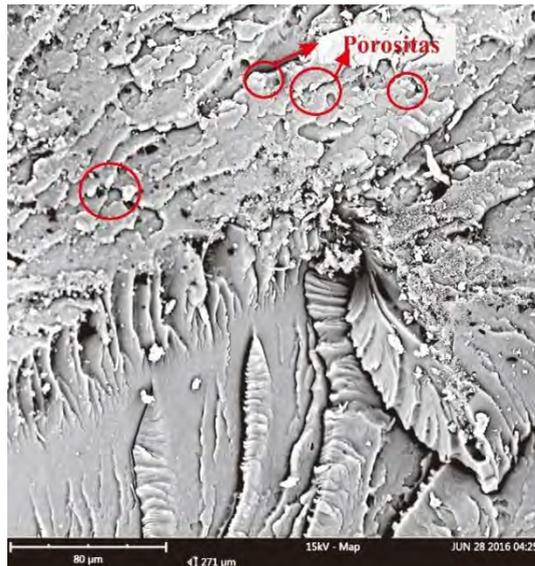
#### 4.7 Analisis Morfologi

Pada **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14** dapat diamati hasil pengujian SEM yang memperlihatkan morfologi permukaan pada patahan hasil uji tarik polimer *blend* PTJ/VE pada pembesaran 1000x. Pada **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14** spesimen yang tanpa menggunakan akselerator maupun dengan akselerator pada komposisi yang seluruhnya poliester tak jenuh, memiliki permukaan patahan yang kasar di permukaan spesimen dimana retakan (*crack*) terlihat menyebar sangat cepat. Terlihat banyaknya serpihan (*flake*) di sekitar permukaan polimer. Permukaan yang berupa serpihan (*flake*) ini, didapatkan dari hasil reaksi polimerisasi poliester tak jenuh dengan monomer stirena (Yang, 1988). Sedangkan ketika komposisi vinil ester ditambahkan, yaitu pada komposisi (PTJ/VE) 70:30 dan 20:80 terlihat bekas patahan semakin halus dan berkurangnya serpihan (*flake*). Vinil ester akan

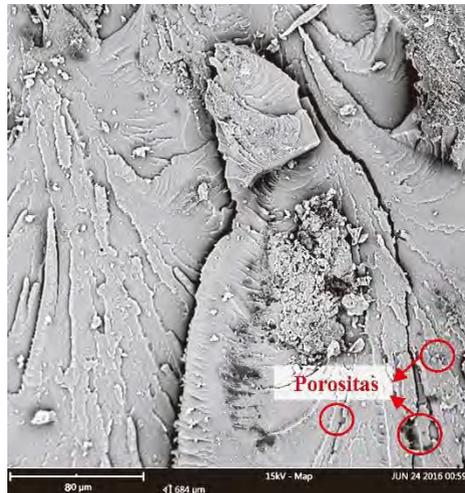


membentuk permukaan patah yang halus dan tidak banyak serpihan (Minakshi, 2010).

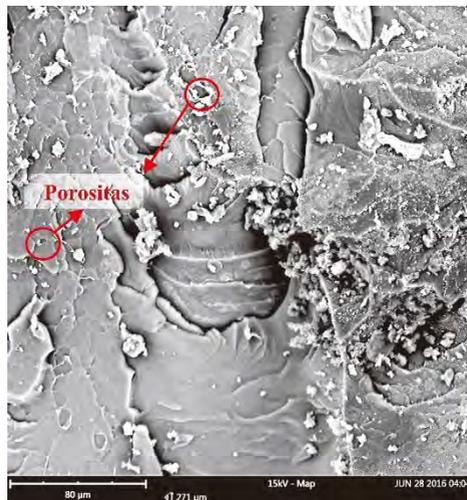
Adanya akselerator, juga terlihat tidak mempengaruhi morfologi dari polimer *blend*. Pada gambar terlihat pula adanya pencampuran yang baik antara poliester tak jenuh dengan vinil ester, sehingga terlihat cenderung membentuk satu fase. Pada gambar juga dapat ditemukan porositas – porositas pada permukaan polimer. Porositas ini dapat terjadi karena adanya residual stirena. Seperti pada pembahasan sebelumnya, stirena yang tersisa biasanya akan menyebabkan terjadinya void pada polimer dan berpengaruh pada sifat mekanik polimer tersebut (Xia Cao, 2004).



a.

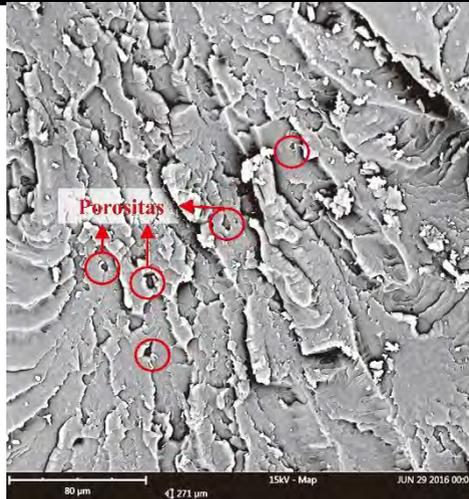


b.



c.

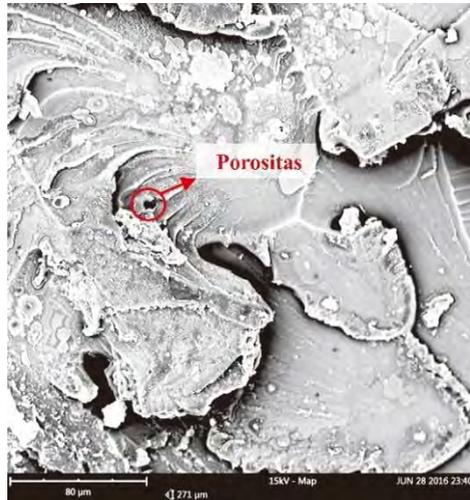
**Gambar 4. 13** Morfologi Polimer *Blend* PTJ/VE tanpa Akselerator pada Komposisi Vinil Ester a. 0% , b. 30%, c. 80% pembesaran 1000x



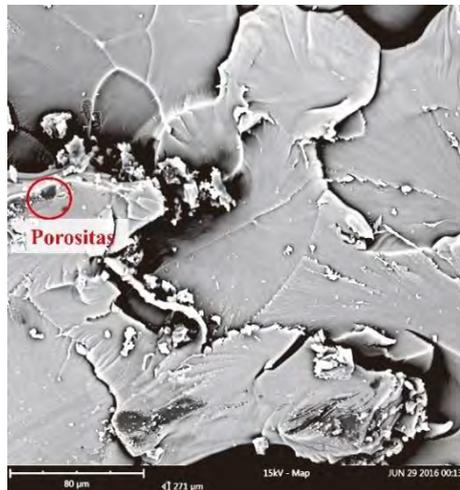
a.



b.



c.



d.

**Gambar 4. 14** Morfologi Polimer *Blend* PTJ/VE dengan Akselerator pada Komposisi Vinil Ester a. 0% , b. 30%, c. 80% d. 100% pembesaran 1000x

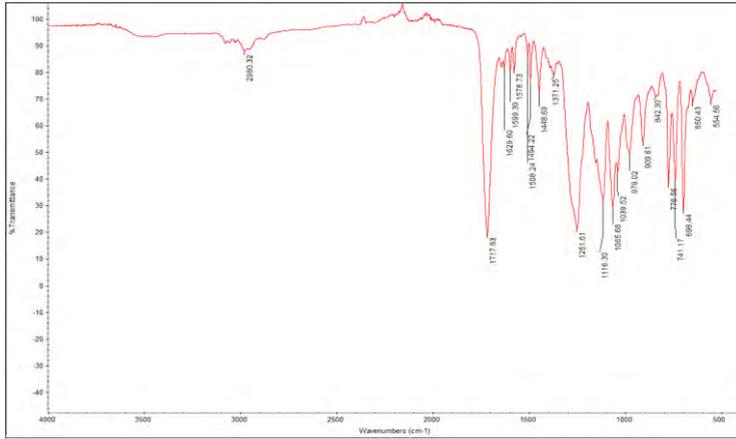


*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

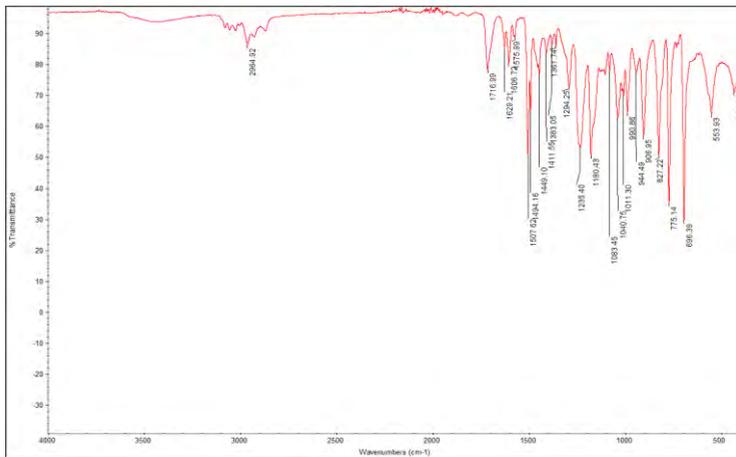
# LAMPIRAN

## Lampiran A : Data Pengujian FTIR

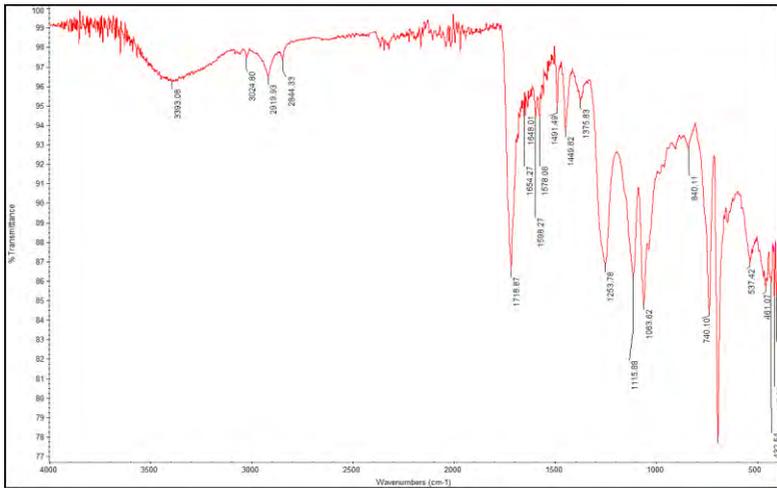
### A.1 Resin Poliester Tak Jenuh



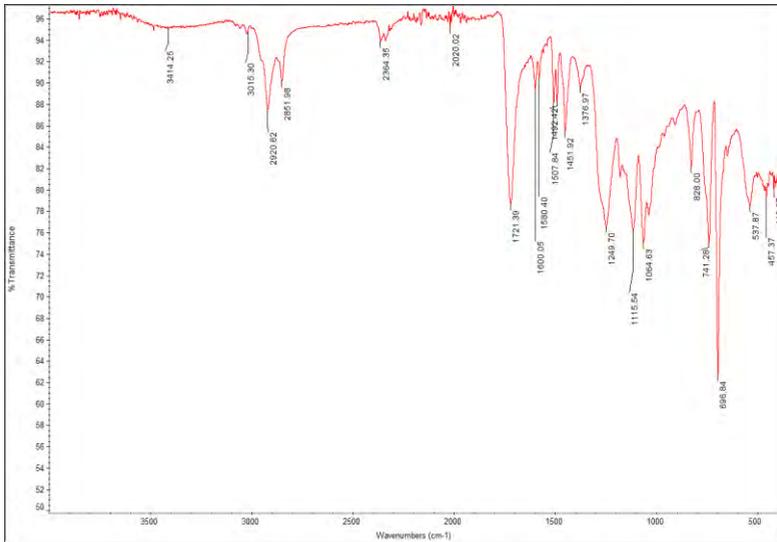
### A.2 Resin Vinyl Ester



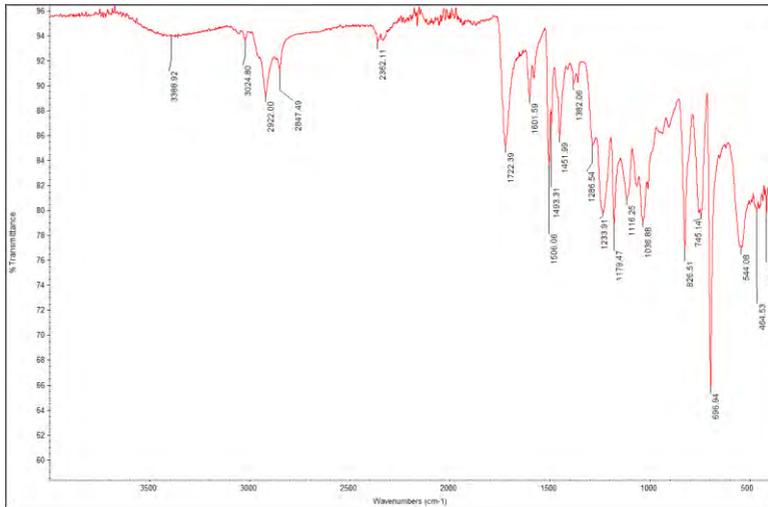
### A.3 100% Poliester Tak Jenuh



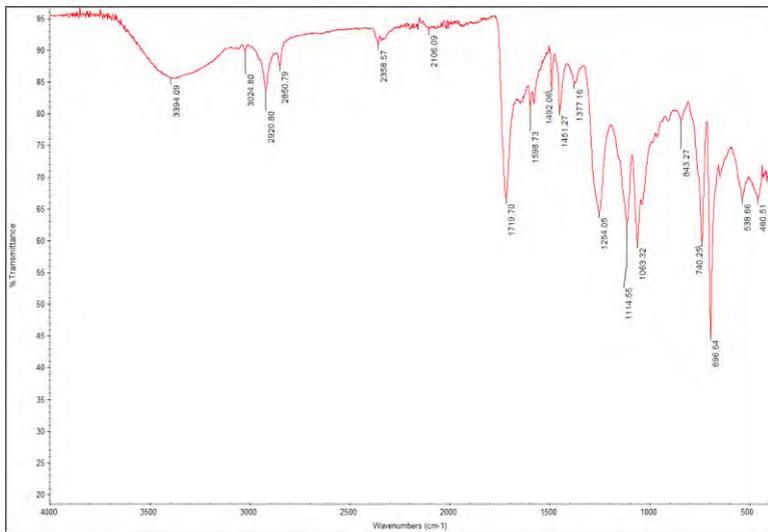
### A.4 30% Vinyl Ester



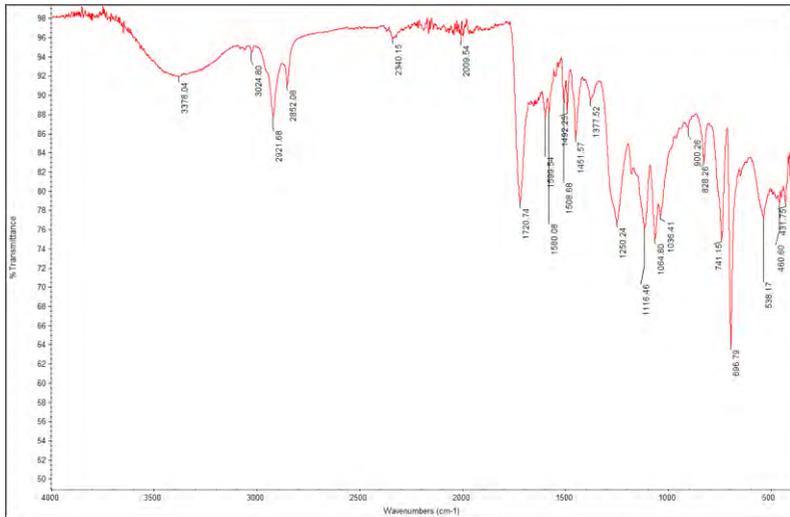
## A.5 80% Vinyl Ester



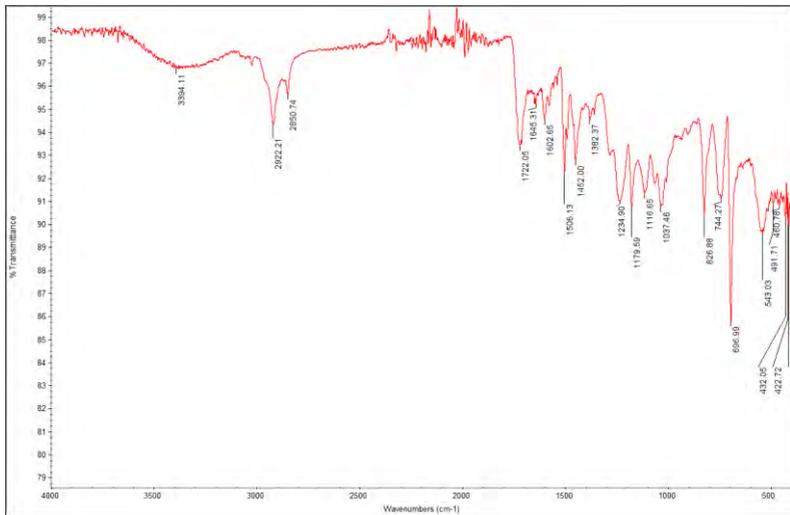
## A.6 100% Poliester Tak Jenuh Dengan Akselerator



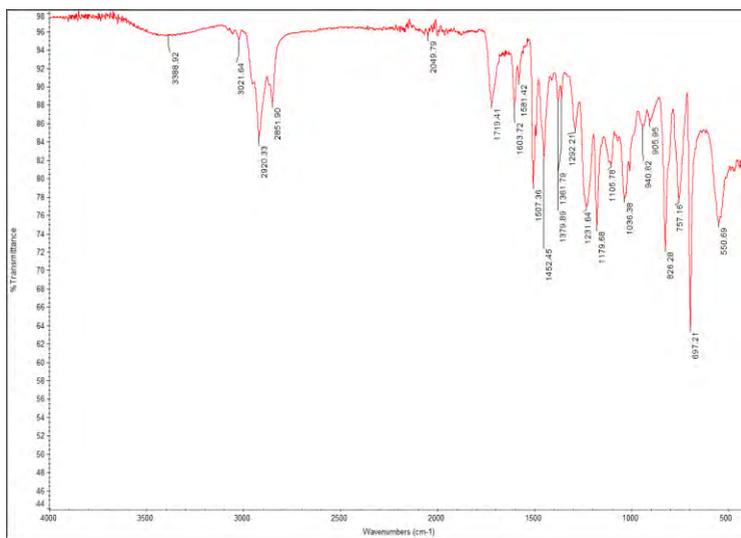
### A.7 30% Vinil Ester Dengan Akselerator



### A.8 80% Vinil Ester Dengan Akselerator



## A.9 100% Vinil Ester Dengan Akselerator



## Lampiran B : Data Pengujian Tarik

### B.1 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester

| VE<br>(%<br>berat) | Replikasi      |                |                |                |                |                | Rata - rata    |                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                    | 1              |                | 2              |                | 3              |                | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) |
|                    | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) |                |                |
| 0                  | 7,5            | 19,409         | 5,9            | 24,811         | 6,3            | 20,700         | 6,58           | 21,63          |
| 10                 | 10,7           | 26,192         | 8,4            | 29,935         | 9,4            | 22,413         | 9,51           | 26,17          |
| 20                 | 11,5           | 30,850         | 9,6            | 33,146         | 10,2           | 27,190         | 10,45          | 30,39          |
| 30                 | 13,1           | 33,404         | 8,4            | 30,033         | 13,2           | 31,264         | 11,56          | 31,56          |
| 40                 | 12,1           | 35,896         | 9,7            | 38,319         | 17,0           | 32,471         | 12,91          | 35,56          |
| 80                 | 15,8           | 34,323         | 11,8           | 35,010         | 17,4           | 31,096         | 14,99          | 33,47          |
| 100                |                |                |                |                |                |                |                |                |

### B.2 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Akselerator

| VE<br>(%<br>berat) | Replikasi      |                |                |                |                |                | Rata - rata    |                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                    | 1              |                | 2              |                | 3              |                | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) |
|                    | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | $\sigma$ (MPa) |                |                |
| 0                  | 6,3            | 25,783         | 4,3            | 25,056         | 6,2            | 17,300         | 5,59           | 22,71          |
| 10                 | 8,5            | 29,461         | 5,5            | 24,026         | 8,4            | 18,809         | 7,48           | 24,09          |
| 20                 | 10,4           | 34,425         | 8,3            | 32,288         | 13,5           | 29,353         | 10,73          | 32,02          |
| 30                 | 11,7           | 31,872         | 8,8            | 35,157         | 12,9           | 28,364         | 11,14          | 31,79          |
| 40                 | 11,1           | 34,528         | 9,8            | 38,369         | 12,4           | 30,007         | 11,11          | 34,30          |
| 80                 | 11,7           | 31,708         | 10,8           | 36,039         | 12,9           | 28,230         | 11,79          | 31,99          |
| 100                | 12,8           | 28,194         | 11,6           | 32,509         | 16,3           | 26,989         | 13,55          | 29,23          |

## Lampiran C : Data Pengujian Kekerasan

### C.1 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester

| VE (%<br>berat) | Titik Indentasi |      |      |      |      |
|-----------------|-----------------|------|------|------|------|
|                 | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0               | 79              | 79,5 | 79   | 79,5 | 79,5 |
| 10              | 81              | 80,5 | 80   | 80,5 | 80   |
| 20              | 80              | 80   | 80,5 | 81   | 81   |
| 30              | 79,5            | 79   | 79,5 | 79   | 79   |
| 40              | 78              | 78   | 79   | 78   | 79   |
| 80              | 76,5            | 76   | 75,5 | 76   | 75   |
| 100             |                 |      |      |      |      |

### C.2 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Akselerator

| VE (%<br>berat) |    |      |      |    |    |
|-----------------|----|------|------|----|----|
|                 | 1  | 2    | 3    | 4  | 5  |
| 0               | 79 | 77   | 76   | 76 | 75 |
| 10              | 80 | 78,5 | 77   | 79 | 77 |
| 20              | 81 | 81   | 80,5 | 80 | 80 |
| 30              | 79 | 78   | 79   | 79 | 79 |
| 40              | 77 | 77,5 | 76,5 | 77 | 77 |
| 80              | 75 | 75   | 75,5 | 75 | 76 |
| 100             | 70 | 70   | 71   | 73 | 73 |

## Lampiran D : Data Pengujian Rasio Swelling

### D.1 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester

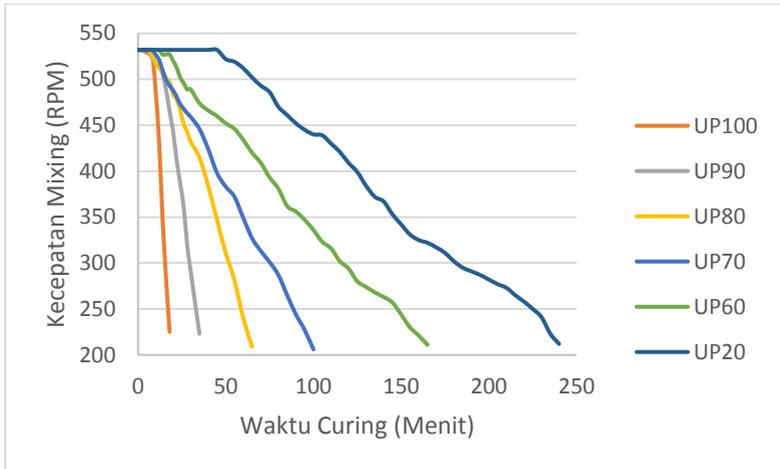
| VE<br>(%<br>berat) | sampel 1                    |                              | sampel 2                    |                              | Rata - rata                 |                              | Rasio<br>Swelling |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
|                    | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) |                   |
| 0                  | 0,6017                      | 0,4689                       | 0,6048                      | 0,4658                       | 0,60325                     | 0,46735                      | 0,620546          |
| 10                 | 0,627                       | 0,4693                       | 0,6216                      | 0,4813                       | 0,6243                      | 0,4753                       | 0,705043          |
| 20                 | 0,6358                      | 0,4757                       | 0,6436                      | 0,4707                       | 0,6397                      | 0,4732                       | 0,808416          |
| 30                 | 0,6396                      | 0,4754                       | 0,648                       | 0,4755                       | 0,6438                      | 0,47545                      | 0,852441          |
| 40                 | 0,6577                      | 0,4721                       | 0,6585                      | 0,472                        | 0,6581                      | 0,47205                      | 0,866712          |
| 80                 | 0,6464                      | 0,4903                       | 0,662                       | 0,4931                       | 0,6542                      | 0,4917                       | 0,830368          |
|                    |                             |                              |                             |                              |                             |                              |                   |

## D.2 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Akselerator

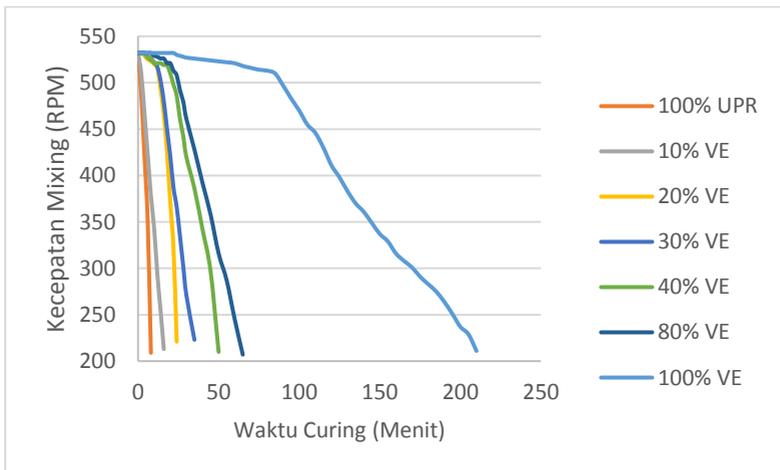
| VE<br>(%<br>berat) | sampel 1                    |                              | sampel 2                    |                              | Rata - rata                 |                              | Rasio<br>Swelling |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
|                    | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) | Berat<br>Perendaman<br>(gr) | Berat<br>Pengeringan<br>(gr) |                   |
| 10                 | 0,6238                      | 0,4642                       | 0,6103                      | 0,4639                       | 0,61705                     | 0,46405                      | 0,771322          |
| 20                 | 0,6203                      | 0,4466                       | 0,6232                      | 0,4666                       | 0,62175                     | 0,4566                       | 0,8384            |
| 30                 | 0,6414                      | 0,4757                       | 0,6475                      | 0,4678                       | 0,64445                     | 0,47175                      | 0,868666          |
| 40                 | 0,649                       | 0,474                        | 0,6403                      | 0,4694                       | 0,64465                     | 0,4717                       | 0,94077           |
| 80                 | 0,6773                      | 0,4985                       | 0,6765                      | 0,4926                       | 0,6769                      | 0,49555                      | 0,927951          |
| 100                | 0,6698                      | 0,4975                       | 0,6511                      | 0,4927                       | 0,66045                     | 0,4951                       | 0,714334          |

## Lampiran E : Data Pengujian Waktu Curing

### E.1 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester

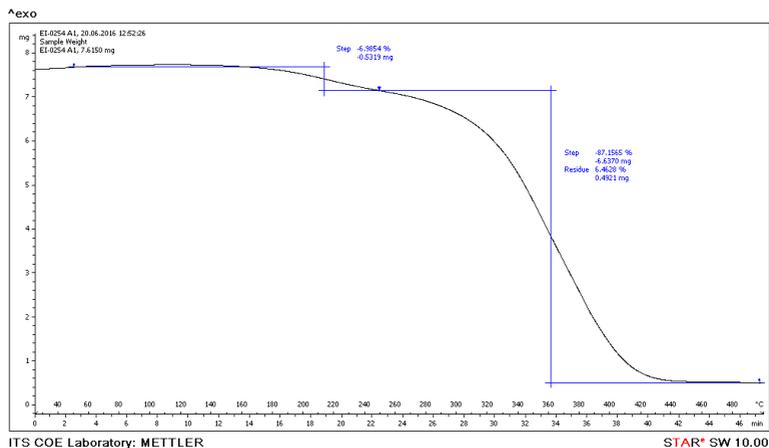


### E.2 Poliester Tak Jenuh/Vinil Ester/Akselerator

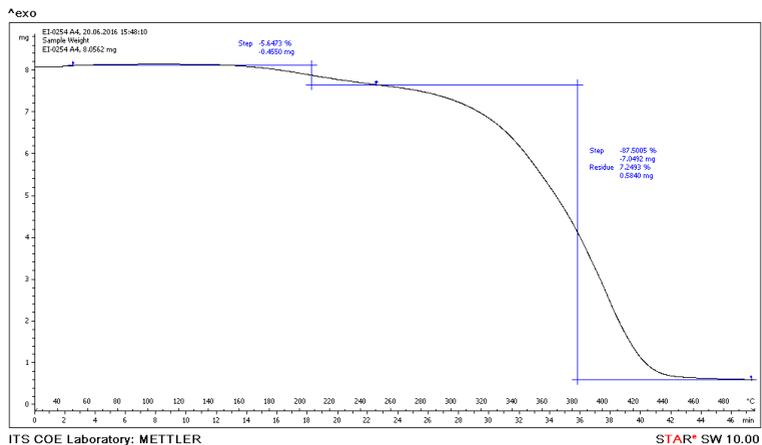


## Lampiran F : Data Pengujian TGA

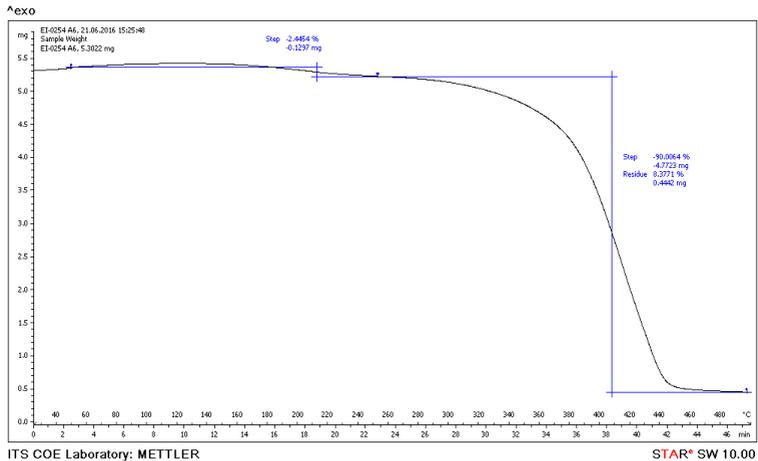
### F.1 100% Poliester Tak Jenuh



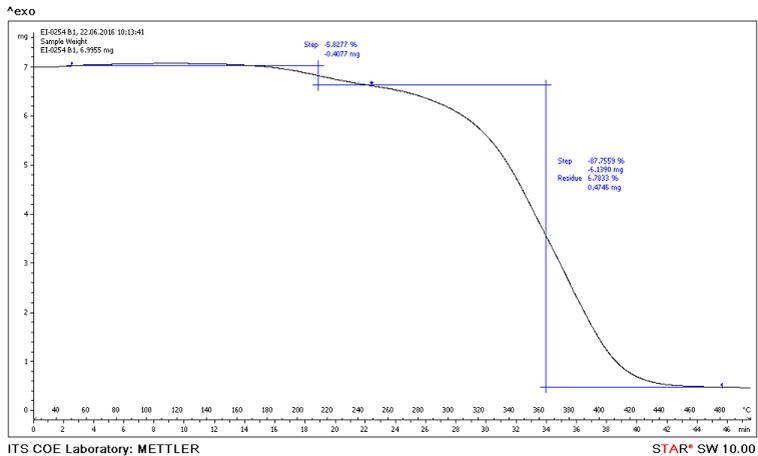
### F.2 30% Vinyl Ester



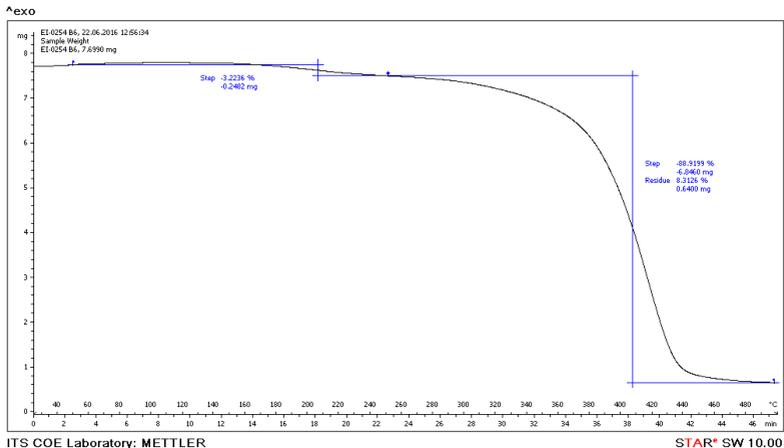
### F.3 80% Vinyl Ester



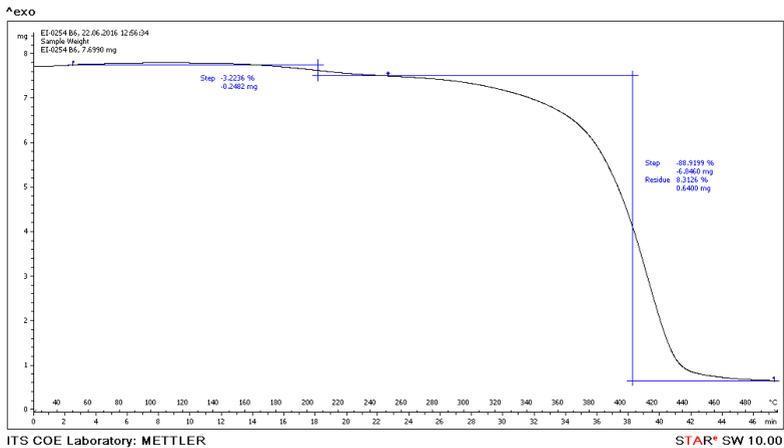
### F.4 100% Poliester Tak Jenuh Dengan Akselerator



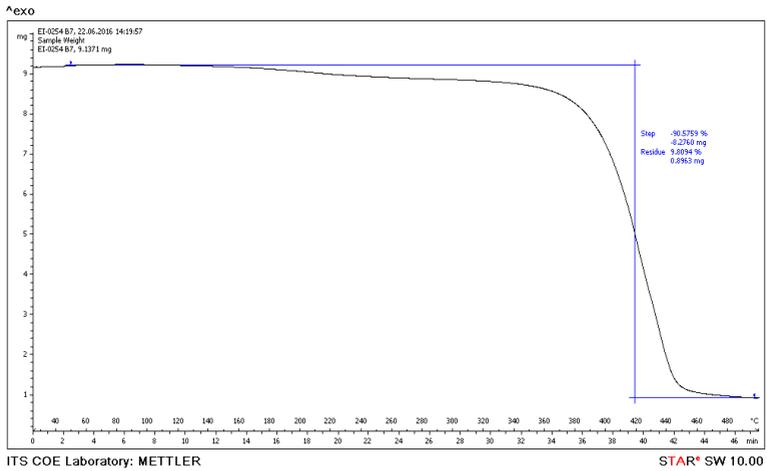
### F.5 30% Vinyl Ester Dengan Akselerator



## F.6 80% Vinyl Ester Dengan Akselerator



## F.7 100% Vinyl Ester Dengan Akselerator





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dari polimer *blend* PTJ/VE yang menggunakan inisiator MEKP 4wt% baik tanpa penambahan akselerator dan dengan penambahan akselerator *Cobalt Naphthenate* 0,1% maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan komposisi vinil ester dapat meningkatkan kekuatan tarik, elongasi dan stabilitas termal polimer *blend* PTJ/VE, tetapi semakin banyak komposisi vinil ester, yaitu diatas 30% akan menurunkan kekerasan.
2. Adanya penambahan akselerator dapat mempercepat reaksi polimerisasi namun tidak memberikan perbedaan hasil sifat mekanik dan stabilitas termal yang signifikan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan akselerator.

Oleh karena itu, polimer *blend* PTJ/VE ini dapat dijadikan sebagai kandidat matriks komposit kapal.

### 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, berikut beberapa saran yang dapat diperhatikan :

- Variasi sistem inisiator dan akselerator perlu diteliti untuk mendapatkan hasil yang optimal.
- Temperatur yang terjadi ketika proses polimerisasi perlu diukur.
- Perlakuan setelah atau sebelum *curing* perlu dilakukan untuk mendapatkan densitas *crosslink* yang baik sehingga dicapai kekuatan dan sifat lain yang optimal.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



### DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_ ASM International Handbook Committee.2001.  
*Composites Volume 21*. Uninted States
- \_\_\_\_ ASTM International Handbook Committee. 2004.  
*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics  
ASTM D- 638 M* , West Conshohocken, United State.
- \_\_\_\_ ASTM International Handbook Committee. 2004.  
*Standard Test Method for Rubber Property—Durometer  
Hardness ASTM D-2240* , West Conshohocken, USA
- \_\_\_\_ ASTM International Handbook Committee. 2001.  
*Standard Test Methods for Determination of Gel Content  
and Swell Ratio of Crosslinked Ethylene PlasticsASTM  
D- 2675*, West Conshohocken, United State.
- \_\_\_\_ Badan Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules For The  
Classification and Construction Part 1*. Tanjung Priok,  
Jakarta
- \_\_\_\_ Germanischer Lloyd SE.2012. Rules for Classification  
and Construction Ship Technology 3. Hamburg, Jerman
- Abadie, M J M, K. Mekhissi, P J Burchill. *Effect of Processing  
Conditions on The Curing of a Vinyl Ester Resin*. Journal  
of Applied Polymer Science Vol. 84 : 1146 - 1154
- Beheshty, Hossein M. Nasiri, Hassan, Vafayan, M. 2005 *Gel  
Time and Exotherm Behaviour Studies of an Unsaturated  
Polyester Resin Initiated and Promoted with Dual  
Systems*. Irian Polymer Journal 14 : 990 - 999
- Callister, William D. 2009. *Materials Science and Engineering  
An Introduction Eight Edition*. USA : John Willey &  
Sons
- Choudhary, Jyoti. 2013. *Synthesis ,Characterization and Curing  
of Vinyl Ester Resin*. J. Environ. Nanotechnol., Vol. 2 :  
42-45
- Cherian, Benny; Thachil, Eby T. *Blends of Unsaturated Polyester  
Resin with Functional Elastomers*. *Journal of Elastomer  
and Plastic*. 2003. Sage Publications



- Cao, Xia. 2002. *Dissertation : Integrated Analysis Of Low Profile Unsaturated Polyester And Vinylester Resins Cured At Low Temperatures*. USA : Ohio State University
- Davallo, M. Pasdar, H. Mohseni, M. 2010. *Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin*. International Journal of ChemTech Research Vol.2, No.4 : 2113 – 2117
- Dholakiya, Bharat. 2012. *Unsaturated Polyester Resin for Specialty Application*. Applied Chemistry Intech
- Dinakaran, K. Alagar, M. 2002. *Preparation and Characterization of Bismaleimide (N,N -bismaleimido 4,4 diphenyl methane) Vinyl Ester Oligomer Modified Unsaturated Polyester Interpenetrating Matrices for Advanced Composites*. Journal of Applied Polymer Science Vol. 86 : 2502 – 2508
- Fu, S. Y. dkk. 2008. *Simultaneous improvements in the cryogenic tensile strength, ductility and impact strength of epoxy resins by a hyperbranched polymer*. Polymer Vol. 49 :3168–3175
- Goodman, Sidney H. 1998. *Handbook of Thermoset Plastic Third Edition*. USA : Elsevier
- Graham, Stephen R. Hadgson R. dkk. 2011. *Calorimetric Studies On The Thermal Stability Of Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP) Formulations*. Journal of Process Safety and Environmental Protection Vol. 89 : 424 - 433
- Harper, Charles A. 2000. *Modern Plastics Handbook*. USA : McGraw-Hill
- Hui, Li. 1998. *Dissertation : Synthesis, Characterization and Properties of Vinyl Ester Matrix Resins*. USA : Virginia Polytechnic Institute and State University
- Kandelbauer, Andreas. Gianluca T. Oscar C. and Sidney H. G. 2014. *Handbook of Thermoset Plastics*. USA : Elsevier
- Kaniappan, K dan S. Latha. 2011. *Certain Investigations on the Formulation and Characterization of Polystyrene / Poly(methyl methacrylate) Blends*. Internasional Journal of ChemTech Reasearch Vol 3 No. 2: 708 - 717



- 
- Li, Ling. Xia Cao dan James Lee. 2004. *Effect of dual-initiator on low temperature curing of unsaturated polyester resins*. Polymer Vol 45 : 6601 – 6612
- Mitchell, G. E. 2001. *Quantitative Characterization of Microscopic Variations in the Cross-Link Density of Gels*. Journal of Macromolecules Vol. 35 : 1336 - 1341
- Mousa, A dan Karger-Kocsis, J. 2000. *Cure Characteristics of a Vinyl Ester Resin as Assessed by FTIR and DSC Techniques*. Polymers and Polymers Composite Vol. 8 No. 7 : 455 – 460
- Penczek, P. Piotr C dan Jan P. 2005. *Unsaturated Polyester Resins : Chemistry and Technology*. Advance Polymer Science Vol. 185 : 1 - 95
- Ratna, Debdatta. 2009. *Handbook of Thermoset Resins*. Shawburry Smithers
- Rodriguez, E. Maider L. Inaki H. Analia V. 2006. *Relationship Between the Network Morphology and Properties of Commercial Vinyl Ester Resins*. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 100: 3895–3903
- Sanchez, E.M.S. 2000. *Unsaturated polyester resins: influence of the styrene concentration on the miscibility and mechanical properties*. Polymer Vol 41 : 765 – 769
- Sperling, L.H. 2006. *Introduction to Physical Polymer Science*. USA : Wiley
- Sultania, Minakshi dkk. 2010. Laminates based on vinyl ester resin and glass fabric: A study on the thermal, mechanical and morphological characteristics. Journal of Material Science and Engineering A 527 : 4560 - 4570
- Toorkey, R.F. Rajanna, K.C. dkk. 1996. *Curing of Unsaturated Polyestetr : Network Formation*. Journal of Chemical Education Vol. 73 : 372 – 373
- Utracki, L.A. 2002. *Polymer Blends Handbook*. Belanda : Kluwer Academic Publishers
- Yang, Huan dan James Lee. 2000. Comparison of Unsaturated Polyester and vinylester reins in low temperature



- 
- polymerization. *Applied Polymer* Vol 79 No7: 1230 - 1242
- Yang, Yeong S dan Laurent S. 1991. *Curing of Unsaturated Polyester Resins: Viscosity Studies and Simulations in PreGel State*. *Polymer Engineering and Science* Vol. 31 No. 5 : 321 – 322
- Yang, Y.S dan James Lee. 1988. *Microstructure formation in the cure of unsaturated polyester resins*. *Journal of Polymer* Vol. 29 : 1793 - 1800
- Young, R. J. 2011. *Introduction Of Polymers 3th Edition*. Ohio : CRC Press
- Zhang, W., Li, X., Yang, R. 2011. “*Pyrolysis and fire behavior of epoxy resin composites based on a phosphorus-containing polyhedral oligomeric silsesquioxane (DOPO-POSS)*”. *Polymer Degradation and Stability* 96 (2011) 1821-1832

## BIOGRAFI PENULIS



Fabian Danandjaya Puspadewa, dilahirkan di Klaten pada 17 Oktober 1993. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Mutiara 17 Agustus Bekasi, SMP Strada Budi Luhur Bekasi dan SMA PL Van Lith Muntilan. Setelah itu melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS sebagai staf Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTI ITS (2013-2014) yang kemudian selanjutnya menjadi kepala divisi event Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTI ITS (2014-2015). Serta juga aktif menjadi staf Departemen Kerohanian Keluarga Mahasiswa Katolik ITS (2013-2014). Pada 2016, penulis juga aktif menjadi Koordinator Praktikum Komposit dan Polimer.

Prestasi yang pernah diraih penulis adalah Juara 3 Paper Competition AEROEXPO ITB 2015, finalis Program Mahasiswa Wirausaha ITS (BRI 2014) dan Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (ITS 2015).. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih. Kritik dan saran dapat dikirim melalui email [iandanand@gmail.com](mailto:iandanand@gmail.com).