



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH ANHYDRIDE TERHADAP SIFAT
MEKANIK, STABILITAS TERMAL, DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK KOMPOSIT
EPOKSI/TEA/MAH/GRAFIT SEBAGAI KANDIDAT
LAPISAN KOMPOSIT KONDUKTIF PADA
PESAWAT TERBANG**

ARIEF RIZALDI PRASETYA
NRP 2713 100 120

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



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH MALEIC ANHYDRIDE TERHADAP
SIFAT MEKANIK, STABILITAS TERMAL, DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK KOMPOSIT
EPOKSI/TEA/MAH/GRAFIT SEBAGAI
KANDIDAT PELAPIS (CAT) KOMPOSIT
KONDUKTIF PADA PESAWAT TERBANG**

ARIEF RIZALDI PRASETYA
NRP 2713 100 120

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 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**EFFECT OF MALEIC ANHYDRIDE ON
MECHANICAL PROPERTIES, THERMAL
STABILITY, AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY
OF EPOXY/TEA/MAH/GRAPHITE COMPOSITE
AS A CANDIDATE OF CONDUCTIVE PAINT
COMPOSITE FOR AIRCRAFT BODY**

**ARIEF RIZALDI PRASETYA
NRP 2713 100 120**

**Advisors :
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, 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 2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Maleic Anhydride Terhadap Sifat Mekanik, Stabilitas Termal, dan Konduktivitas Listrik Komposit Epoksi/Triethylamine/Maleic Anhydride/Grafit Sebagai Kandidat Pelapisan (Cat) Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang”**.

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

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

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan
2. Kedua Orang Tua, Papa Darfizal, S.E., M.Si., dan Bunda Rosnidel, Spt. yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis
3. Ketiga adik, Rifky Anugrah, Rayhan Ghifary, dan Jihan Varisha yang selalu memberi semangat kepada penulis. Serta kepada semua keluarga.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
6. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam

pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini

7. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc, selaku dosen wali yang telah dengan sabar mendampingi dan membimbing penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir
8. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T., Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T., Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T., Ibu Vania Mitha Prastiwi, S.T., M.T., selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang tugas akhir yang telah banyak memberikan masukan untuk penelitian tugas akhir ini
9. Mbak Is dan seluruh pranata laboratorium karakterisasi material yang telah membantu proses karakterisasi penelitian tugas akhir ini
10. Arif Imbang, Iqbal, Afira, Bathara, Asis, Jonathan dan seluruh member Laboratorium Inovasi Material atas segala dukungan serta semangat selama penelitian tugas akhir ini
11. Ahlidin, Dwiki, Fakhri, Daniel, Aisyah, Annisa, Tiara sahabat terbaik yang selalu mendukung dan memberi semangat
12. Angkatan 2013, MT15 dan seluruh Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi yang selalu memberikan dukungan dan semangat
13. Teman-teman YOT (*Young On Top*) Surabaya yang selalu memberi semangat dan dukungan

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

Surabaya, Januari 2017
Penulis

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Inovasi Material

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ARIEF RIZALDI PRASETYA

NRP. 2713 100 120

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

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



**PENGARUH MALEIC ANHYDRIDE TERHADAP SIFAT
MEKANIK, STABILITAS TERMAL, DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK KOMPOSIT
EPOKSI/TRIETHYLAMINE/ MALEIC ANHYDRIDE
/GRAFIT SEBAGAI KANDIDAT PELAPISAN (CAT)
KOMPOSIT KONDUKTIF PADA PESAWAT TERBANG**

Nama Mahasiswa : Arief Rizaldi Prasetya
NRP : 2713 100 120
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si.

Abstrak

Anhydride sering digunakan sebagai *curing agent* dan juga *coupling agent* pada campuran material polimer dan komposit matriks polimer. Epoksi resin merupakan matriks polimer yang sering digunakan. Namun ikatan antarmuka epoksi dengan fillernya masih rendah, seperti dengan grafit. Pada penelitian ini dilakukan studi terkait pengaruh penambahan *Maleic Anhydride* (MAH) terhadap sifat mekanik, stabilitas termal, dan konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Variasi penambahan MAH sebesar 0, 3, 6, 9, dan 12 % berat. Spesimen diuji menggunakan FTIR, SEM, Uji Kekerasan, TGA, dan Uji Konduktivitas Listrik. Penambahan MAH mampu meningkatkan kekerasan, stabilitas termal, dan konduktivitas listrik. Kekerasan tertinggi pada komposisi 12% MAH, yaitu 80,9 Shore D. Komposisi 12% MAH memiliki temperatur degradasi 5% berat tertinggi, yaitu 350,4 °C dan berat sisa 35,9%. Konduktivitas listrik tertinggi pada komposisi 9% MAH, yaitu 0,0257 S/m. Berdasarkan hasil tersebut Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat diajukan sebagai kandidat lapisan komposit konduktif pada pesawat terbang.

Kata kunci : *maleic anhydride*, epoksi, *coupling agent*, lapisan komposit konduktif

(Halaman Ini Sengaja Dikосongkan)

**EFFECT OF MALEIC ANHYDRIDE ON MECHANICAL
PROPERTIES, THERMAL STABILITY, AND
ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF
EPOXY/TEA/MAH/GRAPHITE COMPOSITE AS A
CANDIDATE OF CONDUCTIVE PAINT COMPOSITE
FOR AIRCRAFT BODY**

Student's Name : Arief Rizaldi Prasetya
NRP : 2713 100 120
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisors : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si.

Abstract

Anhydride is often used as curing agent and also coupling agent in the polymer mixing and polymer matrix composite materials. Epoxy resin is used in common for the polymer matrix. However, the interface bonding between epoxy and its filler is fairly weak, such as with graphite. This research is conducted to identify the effect of addition of Maleic Anhydride (MAH) on mechanical properties, thermal stability, and electrical conductivity of the Epoxy/TEA/MAH/Graphite Composite. Variations addition of MAH in 0, 3, 6, 9, and 12 % weight. The specimens were tested using FTIR, SEM, Hardness Test, TGA, and Electrical Conductivity Test. The addition of MAH can improve hardness, thermal stability, and electrical conductivity. The maximum hardness were obtained in composition of 12% MAH, it is 80,9 Shore D. Composition of 12% MAH achieved the highest degradation temperature of 5% weight, it is 350,4 °C and 35,9% the rest of weight. The highest electrical conductivity is in composition of 9% MAH, it has 0,0257 S/m. From those results, Epoxy/TEA/MAH/Graphite Composite can be used as a candidate of conductive coating composite for the aircraft's body.

Keywords : maleic anhydride, epoxy, coupling agent, conductive paint composite

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Epoksi	8
2.2 Komposit	11
2.3 Faktor yang Memengaruhi Sifat Komposit	16
2.4 <i>Anhydride</i>	18
2.5 Grafit	20
2.6 Trietilamina (TEA).....	23
2.7 Proses Pencampuran Material dengan Metode <i>Mechanical Strirring</i>	24
2.8 Proses <i>Autoclave</i>	25
2.9 Ikatan Antarmuka	27
2.10 <i>Wettability</i>	27
2.11 Cat Epoksi	29
2.12 Aplikasi Lapisan Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang.....	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Diagram Alir Penelitian	45
3.2 Bahan Penelitian	46
3.3 Peralatan Penelitian	49

3.4 Variabel Penelitian	52
3.5 Prosedur Penelitian.....	52
3.6 Pengujian	53
3.7 Rancangan Penelitian	59
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Analisis Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	61
4.2 Analisis Morfologi Hasil SEM (Scanning Electron Microscope) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit ...	64
4.3 Analisis Sifat Mekanik (Kekerasan) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	72
4.4 Analisis TGA (Thermo-gravimetric Anlysis) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	74
4.5 Analisis Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.....	77
4.6 Mekanisme Fabrikasi Pelapis (Cat) Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	xxiii
BIODATA PENULIS	xlii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Cured Epoxy dengan penguatnya (hardener) (Augustsson, 2004)	6
Gambar 2.2 Gugus Epoksi (Augustsson, 2004)	6
Gambar 2.3 Reaksi Epoksi dengan Amina	7
Gambar 2.4 Skema sintesis Epoksi Resin	8
Gambar 2.5 Skema sintesis Diglycidylether Bisphenol A (DGEBA) Epoxy Resin (Augustsson, 2004).....	8
Gambar 2.6 Aplikasi dari Epoksi (Augustsson, 2004)	10
Gambar 2.7 Susunan Epoksi Polimer (Augustsson, 2004)...	10
Gambar 2.8 Komposit Partikel	14
Gambar 2.9 Spektrum konduktivitas dan resistivitas listrik..	17
Gambar 2.10 Reaksi Anhydride dengan gugus hidroksil	18
Gambar 2.11 Reaksi pembentukan ikatan eter	18
Gambar 2.12 Struktur Kristal Grafit.....	20
Gambar 2.13 Struktur in-plane Grafit. Lapisannya terdiri dari atom A dan B.....	21
Gambar 2.14 Energi band dari grafit.....	21
Gambar 2.15 Struktur kimia Trietilamina	24
Gambar 2.16 Layout Industri Pembuatan Cat	25
Gambar 2.17 Autoclave.....	26
Gambar 2.18 Gambar Skema Material fiber-reinforced.....	27
Gambar 2.19 Water-wet vs Oil-wet	33
Gambar 2.20 Bentuk pembasahan fluida terhadap permukaan benda padat.....	29
Gambar 2.21 Klasifikasi Cat	33
Gambar 2.22 Produk komersil Cat tipe CHO-Shield 4494 ...	35
Gambar 2.23 Produk Duralco 4525.....	37
Gambar 2.24 Sifat Termal Komposit Epoksi/ <i>Expanded</i> Grafit	39
Gambar 2.25 FTIR Epoksi Resin dan Nanokomposit.....	40
Gambar 2.26 Material yang digunakan pada badan pesawat Boeing 787. Copyright © Boeing.....	41

Gambar 2.27 Susunan struktur komposit pada badan pesawat Boeing. Copyright © Boeing.....	42
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	45
Gambar 3.2 Epoksi Eposchon-A	47
Gambar 3.3 Triethylamine (TEA)	48
Gambar 3.4 Maleic Anhydride	49
Gambar 3.5 Grafit.....	49
Gambar 3.6 Pengaduk/Mixer.....	50
Gambar 3.7 Mesin TGA	55
Gambar 3.8 Alat Durometer Shore D Hardness Test	56
Gambar 3.9 Alat Insulation Tester (SANWA MG 1000).....	59
Gambar 4.1 Spektrum FTIR Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	62
Gambar 4.2 Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit ...	63
Gambar 4.3 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(0) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x	65
Gambar 4.4 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(3) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x	66
Gambar 4.5 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(6) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x	67
Gambar 4.6 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(9) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x	68
Gambar 4.7 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(12) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x	69
Gambar 4.8 Hasil EDX Grafit pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH.	70
Gambar 4.9 Hasil EDX Anhydride pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH.	71
Gambar 4.10 Pengaruh Penambahan MAH terhadap nilai kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	73

Gambar 4.11 Hasil uji TGA Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.....	75
Gambar 4.12 Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.....	77
Gambar 4.13 Pengujian Resistivitas Listrik Material Metode Dual Probe.....	79
Gambar 4.14 Skema proses pembuatan cat.....	80
Gambar 4.15 Lapisan pada badan pesawat terbang.....	80

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>Maleic Anhydride</i>	19
Tabel 2.2 Sifat-sifat Grafit	23
Tabel 2.3 Karakteristik TEA	24
Tabel 2.4 Jenis dan Spesifikasi Epoksi Resin	30
Tabel 2.5 Jenis dan Spesifikasi Hardener	30
Tabel 2.6 Detail produk CHO-Shield 4494	36
Tabel 2.7 Detail produk Duralco 4525	37
Tabel 2.8 Sifat Mekanik Komposit Filler/Fiber yang Telah Dimodifikasi	38
Tabel 2.9 Sifat Termal Komposit Epoksi/Grafit	38
Tabel 2.10 Sifat Mekanik Epoksi Resin dan Nanokomposit	39
Tabel 2.11 Sifat Termal Epoksi Resin dan Nanokomposit ...	40
Table 3.1 Rancangan Penelitian	59
Tabel 4.1 Nilai Kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	74
Tabel 4.2 Hasil Uji TGA Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	76
Tabel 4.3. Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit	78

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju perkembangan teknologi dan industri pada zaman sekarang begitu cepat. Seiringan dengan itu, riset dan hal yang mendukung perkembangan teknologi dan industri tersebut juga berkembang sangat pesat. Mulai dari efisiensi biaya, efisiensi proses, bahkan sampai penemuan material baru demi dapat bersaing secara masif. Salah satu riset yang sedang pesat dikembangkan adalah tentang material komposit. Industri elektronik, manufaktur, transportasi dll. mengembangkan riset dan penemuan material komposit yang sesuai dengan karakteristik struktural yang spesifik dalam pengaplikasiannya di industri untuk menggantikan material konvensional yang sebelumnya digunakan.

Salah satu jenis komposit yang dikembangkan adalah komposit matriks polimer. Material komposit yang terdiri dari matriks polimer dan filler konduktif secara luas digunakan sebagai aplikasi di industri elektronik, pelindung elektromagnetik interferensi (EMI), bagian dan struktur pesawat terbang, generator, dan pada perangkat semi konduktor lainnya (Elimat, 2015). Matriks polimer yang sering digunakan adalah epoksi resin.

Epoksi resin merupakan jenis material termoset yang cocok digunakan dalam berbagai campuran, mulai dari viskositas liquid yang rendah sampai padatan dengan titik leleh tinggi, sehingga sering digunakan sebagai matriks polimer pada komposit karena kekuatan yang tinggi, penyusutan yang rendah, sifat adesif yang bagus jika bereaksi dengan substrat, tahanan kimia yang bagus, dan harganya yang relatif murah (Gantayat, dkk., 2015). Epoksi resin biasanya digunakan sebagai bahan perekat, pelapisan atau pelindung (coating) di industri. Sebagian besar polimer umumnya bersifat isolator listrik dengan konsentrasi yang sangat rendah dalam pembawa muatan bebas.



Sehingga polimer tergolong ke dalam material non-konduktif dan tembus oleh radiasi elektromagnetik. Sifat ini membuat polimer tidak mampu untuk digunakan sebagai bahan untuk peralatan elektronik. Selain itu, material termoset seperti epoksi resin juga terkendala dengan ketangguhan dan elongasinya yang rendah (McGraw. 1996). Untuk memperoleh material komposit konduktif, maka perlu dilakukan peningkatan sifat-sifat elektrik, termal, dan mekaniknya. Sehingga dilakukanlah studi dengan mencampurkan material konduktif dan material lainnya ke dalam polimer. Material konduktif yang dapat digunakan sebagai pengisi dari komposit yang telah digunakan adalah karbon hitam, karbon *nanotube*, dan grafit (Gantayat, dkk., 2015). Material komposit konduktif sendiri dapat diaplikasikan pada komponen pesawat terbang, *fuel cell*, baterai, dan perangkat elektronik. Jenis material lain yang dapat ditambahkan ke dalam Epoksi resin adalah *Triethyl Amine* (TEA) dan *Maleic Anhydride* untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit.

Pada penelitian sebelumnya, (Gantayat, dkk., 2015) melakukan pencampuran antara Grafit dengan Epoksi tanpa penambahan *Maleic Anhydride*. Dan untuk menghasilkan ikatan antar muka yang kuat dibutuhkan proses perlakuan khusus dengan metode nanokomposit. Disebabkan oleh delaminasi alami dari lapisan *Expanded Graphite* (EG), partikel epoksi dengan mudah masuk ke dalam lapisan grafit untuk membentuk struktur *exfoliated*.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan *Maleic Anhydride* pada campuran komposit yang diteliti untuk meningkatkan ikatan antar muka dari material yang dicampurkan pada komposit, yaitu Epoksi, *Triethyl Amine* dan Grafit. Pengaruh dari variasi penambahan *Maleic Anhydride* terhadap sifat mekanik, stabilitas termal, dan konduktivitas listrik selanjutnya akan dianalisis dengan berbagai pengujian.

1.2 Perumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :



1. Bagaimana pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap sifat mekanik komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat komposit konduktif?
2. Bagaimana pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap stabilitas termal material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat komposit konduktif?
3. Bagaimana pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap konduktivitas listrik material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat komposit konduktif?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran material komposit dianggap tercampur homogen.
2. Kekasaran permukaan material komposit dianggap homogen.
3. Pengaruh impuritis pada saat proses pencampuran diabaikan.
4. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap sifat mekanik material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat lapisan komposit konduktif.
2. Menganalisis pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap stabilitas termal material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat lapisan komposit konduktif.



3. Menganalisis pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap konduktivitas listrik material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat lapisan komposit konduktif.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Maleic Anhydride* terhadap sifat mekanik, stabilitas termal, dan konduktivitas listrik material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Sehingga didapatkan nilai optimum dari campuran tersebut dan sebagai kandidat komposit konduktif yang berguna untuk meningkatkan performa dari lapisan komposit konduktif pesawat terbang sebagai pengantar listrik dari sambaran petir. Serta berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan epoksi, *anhydride*, dan grafit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Epoksi

2.1.1 Sejarah Epoksi

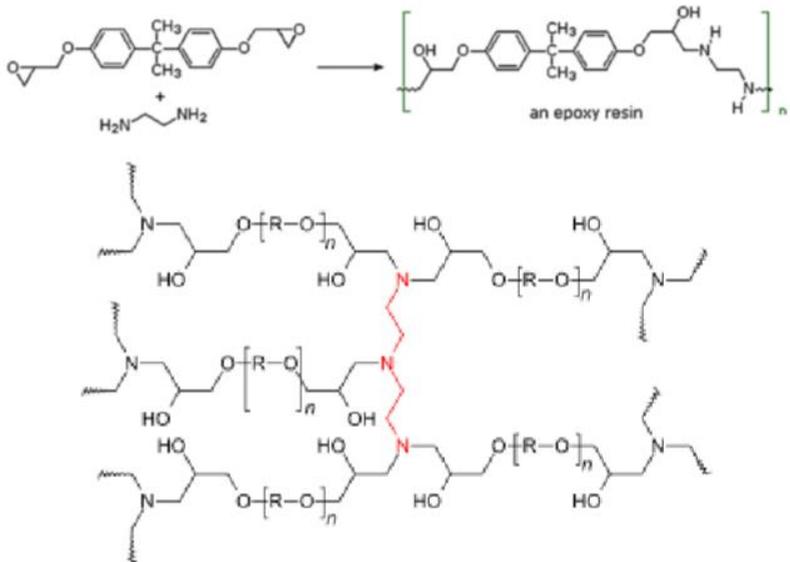
Penemuan Epoksi polimer memiliki cerita yang panjang di belakangnya, khususnya pada tahun 1936, ketika Dr. Pierre Castan dari Swiss berhasil dalam melakukan sintesis sebuah epoksi resin berbasis bisphenol A yang dikeraskan dengan *phthalic acid anhydride*. Kemudian temuan tersebut dipatenkan oleh Ciba, Ltd. dari Switzerland yang kemudian menjadi salah satu dari tiga perusahaan penghasil Epoksi resin terbesar di dunia. Kemudian Dr. S.O. Greenlee (USA) mengembangkan epoksi resin dari *epichlorohydrin* dan *diglycidyl ether of Bisphenol A* (DGEBA), yang digunakan hingga sekarang, pada 1939. Tujuan dari pengembangan epoksi resin adalah untuk menemukan *binding agent* (agen pengikat) untuk pelapisan yang memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap bahan-bahan kimia, tetapi tidak lama kemudian dibuktikan bahwa epoksi secara signifikan memiliki sifat yang jauh lebih bagus dibandingkan jenis tersebut. Sekarang, epoksi digunakan dalam bidang konstruksi pesawat terbang, elektronik, industri otomotif, peralatan makanan, farmasi, manufaktur, *offshore* dan industri kelautan. Pada umumnya, orang lebih mengenal kata epoksi dan dihubungkan dengan sesuatu yang kuat. Pada 1960, Nils Malmgren dan Curt Augustsson mulai untuk meformulasikan dan menghasilkan produk berbahan dasar epoksi dengan penguatnya (*hardener*).

2.1.2 Struktur Kimia Epoksi

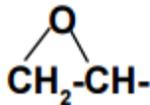
Epoksi resin adalah senyawa yang mengandung lebih dari satu kelompok epoksida dalam satu molekulnya. Kelompok epoksida atau yang sering disebut sebagai kelompok glycidyl inilah yang menjadi alasan pemberian nama Epoksi. Epoksi berasal dari oksigen yang berikatan dengan rantai karbon yang disebut *oxide*,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



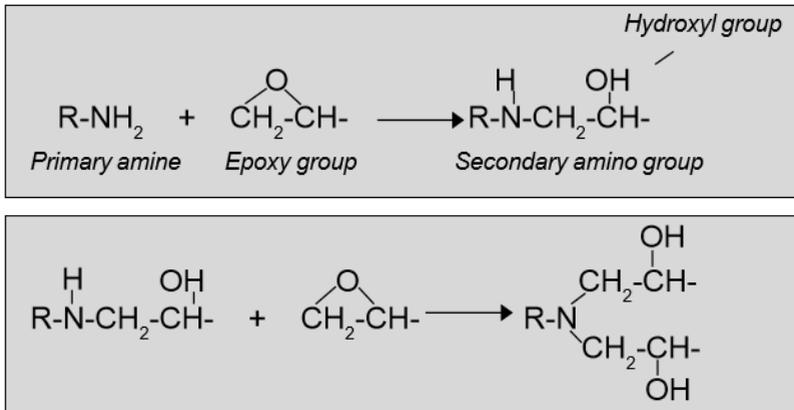
kata kedua berasal dari oxygen, yang kemudian dikenal dengan sebutan epoksi. Gambar 2.2 menunjukkan gugus epoksida dari epoksi resin.



Gambar 2.1 Struktur *Cured Epoxy* dengan penguatnya (*hardener*) (Augustsson, 2004)

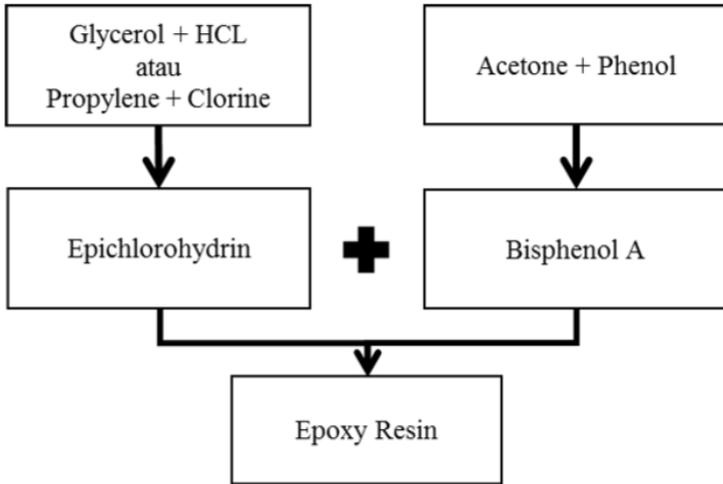


Gambar 2.2 Gugus Epoksi (Augustsson, 2004)

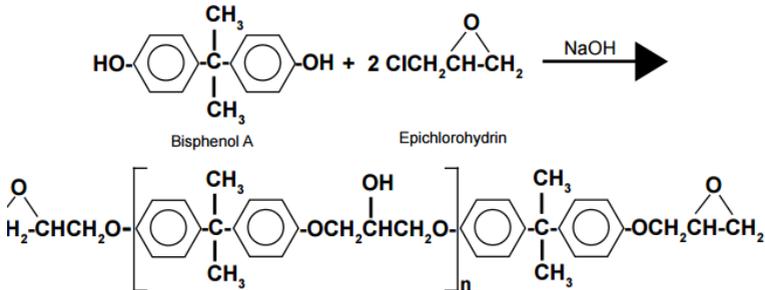


Gambar 2.3 Reaksi Epoksi dengan Amina (Augustsson, 2004)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, epoksi diperoleh dari epichlorohydrin atau dari reaksi epoksidasi langsung dari olefin dengan peracids (asam peroksi). Asam peroksi ini merupakan hasil dari asam karboksilat atau suatu gugus asil yang lain dengan hidrogen peroksida (H₂O₂) bersama dengan katalis asam yang diperlukan (Gunstone, 1996). Biasanya katalis yang digunakan adalah asam sulfat (H₂SO₄), asam fosfat (H₃PO₄), asam nitrat (HNO₃), dan asam klorida (HCl) (Dinda, 2008). Seperti yang sudah diketahui bahwa Epoksi pertama, dan yang sampai sekarang sering dijumpai dipasaran yaitu diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA), diproduksi dengan mereaksikan epichlorohydrin dengan bisphenol A dalam kondisi tertentu untuk memberikan gugus diglycidyl ether, seperti yang tampak pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Skema sintesis Epoksi Resin (Augustsson, 2004)



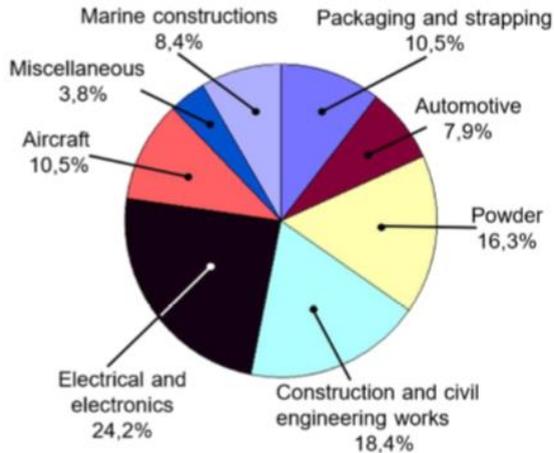
Gambar 2.5 Skema sintesis Diglycidylether Bisphenol A (DGEBA) Epoxy Resin (Augustsson, 2004)

2.1.3 Sifat Epoxy

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

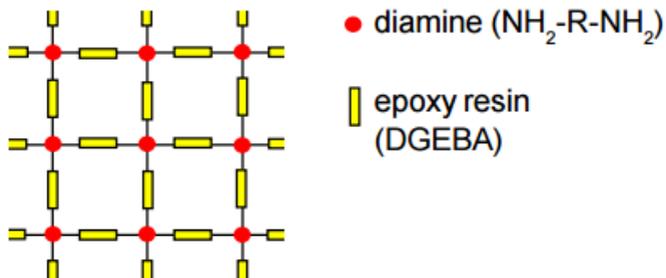


hardener, waktu dan temperatur curing, Epoksi resin menunjukkan kekuatan dan modulus yang tinggi, serta memiliki sifat ketahanan aus dan ketahanan retak yang tinggi. Epoksi resin juga memiliki sifat listrik yang baik, dengan resistivitas yang tinggi, kekuatan dielektrik dan track resistance yang baik terutama pada kelembaban tinggi. Stabil pada temperatur tinggi dan tahan lama. Epoksi resin juga mampu diproses dengan berbagai teknik termoset dengan sedikit penyusutan dan tidak mudah menguap selama proses curing. Pada umumnya Epoksi resin memiliki ketahanan yang baik serta stabilitas dimensi yang baik, akan tetapi aromatik resin rentan terhadap degradasi sinar UV dan juga jenis pelapukan yang lainnya (Ellis dan Smith, 2009). Pada umumnya Epoksi resin digunakan sebagai bahan pelapis permukaan karena sifat ketahanan terhadap zat kimia, kekuatan mekanik dan memiliki sifat adesif yang baik. Selain digunakan sebagai coating, Epoksi resin juga banyak digunakan pada komponen elektronik seperti resistor, transistor, kapasitor, fiber optik ataupun printed circuit board (PCB). Epoksi resin juga digunakan sebagai adesif atau perekat yang cukup baik pada bekerja pada temperatur tinggi. Biasanya digunakan untuk menghubungkan bagian sayap dan badan pesawat, dan rotor helikopter. Epoksi resin juga digunakan untuk part mobil. Gambar 2.6. menjelaskan jenis aplikasi dari Epoksi.



Gambar 2.6 Aplikasi dari Epoksi (Augustsson, 2004)

Epoksi secara umum mengandung dua gugus epoksi, dan satu *primary diamine* yang memiliki 4 atom hidrogen reaktif. Susunan dari epoksi polimer dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Susunan Epoksi Polimer (Augustsson, 2004)

Beberapa contoh dari amin yang digunakan sebagai penguat (*hardener*) dari epoksi resin :
Aliphatic amines



- *Diethylenetriamine*
- *Triethylenetetramine*
- *Aminoethyl piperazine*
- *Trimethyl hexamethylenediamine*

Cycloaliphatic amines

- *Isophorondiamine*
- *Diamino-dicyclohexylmethane*

Aromatic amines

- *Diaminodiphenylmethane*
- *m-Phenylendiamine*

2.2 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik. Dengan adanya penggabungan antara dua komponen tersebut, maka akan dihasilkan material baru yang memiliki sifat unggul dibandingkan material penyusunnya. Komposit tersusun atas dua atau lebih fase yang berbeda, yaitu fase diskontinyu yang lebih kuat dan kaku biasanya disebut material penguat dan fase kontinyu yang mengikat material penguat dan memberi bentuk biasanya disebut matiks. Sifat komposit dipengaruhi oleh material pembentuknya, distribusi fase diskontinyu, dan interaksi antara material pembentuknya. Kebanyakan material komposit dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat mekaniknya seperti kekuatan, ketangguhan, kekakuan, dan kinerjanya pada temperatur tinggi.

Berdasarkan matriksnya, komposit dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu PMCs (*Polymer Matrix Composites*) yang menggunakan polimer sebagai matriksnya, CMCs (*Ceramic Matrix Composites*) dengan matriks keramik, MMCs (*Metal Matrix Composites*) yang menggunakan logam sebagai



matriksnya. Komposit Matrik Polimer merupakan gabungan dari sekurang-kurangnya dua jenis material dimana salah satunya adalah polimer sebagai matrik induk (matriks) dan material yang kedua sebagai penguat.

2.2.1 Matriks

Fungsi penting material matriks menurut (Mazumar, 2002)

- a. Material matriks mengikat serat atau serbuk bersama-sama dan menghantarkan beban ke serat dan serbuk. Matriks memberikan kekakuan dan bentuk terhadap struktur.
- b. Matriks mengisolasi serat atau serbuk sehingga masing-masing dapat bekerja secara terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat propagasi retak.
- c. Matriks memberikan kualitas permukaan akhir yang baik dan membantu produksi benda jadi atau mendekati bentuk akhir komponen.
- d. Matriks memberikan perlindungan untuk serat atau serbuk penguat terhadap serangan kimia (misalnya korosi) dan kerusakan mekanik (misalnya aus).
- e. Bergantung pada bahan matriks yang dipilih, memengaruhi karakteristik unjuk kerja yang duktilitas(liat, kenyal), kekuatan impak, dan lain-lain. Sebuah matriks yang kenyal akan meningkatkan ketangguhan struktur. Untuk persyaratan ketangguhan yang lebih tinggi, bisa dipilih komposit berbasis thermoplastik.
- f. Mode kegagalan sebagian besar dipengaruhi oleh jenis bahan matriks yang digunakan dalam komposisi dan juga kompatibilitas terhadap serat.

Matriks dapat dikelompokkan menjadi jenis thermoplastik dan thermosetting. Jenis thermoplastik relatif mudah diproses menjadi komposit bukan karbon, tetapi tantangan signifikan saat ini adalah mengubahnya menjadi karbon murni.



Sifat thermoplastiknya mensyaratkan bahwa ia juga diisikan di dalam sampel melalui cara eksternal, atau diperlakukan secara kimiawi (distabilisasikan) sebelum pemanasan ke temperatur karbonisasi. Sedangkan, matriks jenis thermosetting mempunyai ketahanan yang baik pada temperatur tinggi karena proses pembuatannya menggunakan proses *curing* (pemanasan sampai menjadi keras) pada temperatur tinggi. (ASM Handbook, 2001)

Semua bentuk matriks menunjukkan stabilitas karakteristik thermal dan kimia dari karbon, tetapi tidak semua menghasilkan sifat akhir yang sama pada komposit. Meskipun sifat komposit sering kali didominasi oleh sifat penguat, tetapi berbeda sifat, seperti geseran dan tarik didominasi oleh matriks. Terlebih lagi, sifat-sifat seperti konduktivitas thermal dan elektrik dapat dipengaruhi secara kuat oleh jenis bahan matriks. Bahkan sifat struktur yang lebih tradisional dipengaruhi oleh densitas dan porositas dari komposit, yang hampir keseluruhannya adalah karena matriks atau karena proses pembentukan matriks. Akhirnya, beberapa sifat unjuk kerja komposit, seperti koefisien gesekan dan aus, adalah fungsi yang kompleks dari sifat utama komposit yang bahan matriks dan prosesnya tidak dapat diabaikan.

2.2.2 Penguat

Material komposit dibentuk misalnya melalui penguatan plastik dengan serat atau serbuk. Untuk mengembangkan pemahaman yang baik tentang sifat komposit, disini dijelaskan tentang peran bahan serat atau serbuk dan bahan matriks dalam komposit. Fungsi utama serat atau serbuk dalam komposit adalah :

- a. Untuk membawa beban. Dalam komposit struktur, 70 – 90% beban didukung oleh serat.
- b. Untuk memberikan kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat struktur lainnya dalam komposit.
- c. Menyediakan penghantaran atau insulasi elektrik, tergantung pada jenis serat atau serbuk yang digunakan.



Mekanisme penguat komposit sangat tergantung pada geometri penguatnya, yaitu dibedakan atas partikel dan serat (fiber). Partikel bisa berbentuk bola, kubus, kotak tetragonal, batang, whiskers, lembar pipih atau bentuk yang tidak beraturan. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel (Sulistijomo, 2012).

Dari fungsi tersebut maka pemilihan jenis material penguat merupakan pengaruh yang sangat besar terhadap karakteristik dari komposit. Salah satu jenis komposit yang bahan penguatnya terdiri atas partikel yang tersebar merata dalam matriks yang berfungsi sebagai pengikat adalah komposit partikel seperti ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Komposit Partikel (Galang, 2014)

Campuran antara matriks dan partikel penguat yang ada pada sistem material komposit partikel dapat dibagi ke dalam beberapa jenis, yaitu :

- a. *Nonmetallic in nonmetallic particulate composites*, yaitu sistem material komposit partikel yang kedua atau lebih unsur pembentuknya (matriks dan penguat) tidak berupa material logam, misalnya berupa *ceramics matrix-glass particulate*.
- b. *Metallic in nonmetallic particulate composites*, yaitu sistem material komposit partikel yang memiliki matriks tidak berupa logam, sementara partikel penguatnya



- berupa material logam, misalnya *aluminium powder* dalam matriks *polyurethane* atau *polysulfide rubber*.
- c. *Metallic in metallic particulate composites*, yaitu sistem material komposit partikel yang matriks dan penguatnya berupa material logam, namun tidak sama seperti model paduan logam (*metal alloy*), sebab penguat partikel logam tidak melebur di dalam matriks logam.
 - d. *Nonmetallic in metallic particulates composites*, yaitu sistem material komposit partikel yang matriksnya berupa material logam, namun material penguatnya tidak berupa material logam, melainkan dari jenis material nonlogam, misalnya *ceramics particulate* dalam matriks *stainless steel*.

Pada komposit dengan *reinforced* partikel, ukuran partikel, dan distribusinya sangat menentukan kekuatan komposit tersebut. Karena distribusi partikel dalam matriks (fraksi volume) dari dua fasa ini memengaruhi sifat mekanik, dimana sifat mekanik akan tinggi dengan meningkatnya kandungan partikel dalam matriks. Komposit partikel terdapat dalam berbagai bentuk terutama pada komposit *nonmetallic* dalam *nonmetallic*, salah satunya berbentuk *flakes*. Bentuk ini memiliki beberapa kelebihan dibanding komposit *fiber*, diantaranya mempunyai geometri utama dua dimensi dengan menyertai kekuatan dan kekakuan pada dua arah, berbeda dengan komposit *fiber* yang hanya satu arah. Dan biasanya *flakes* memenuhi komposit paralel dengan yang lainnya dengan menghasilkan *density* lebih tinggi dari konsep *fiber*. Dalam proses pembuatannya terdapat dua tahapan yang harus dilalui, yaitu proses *lay up* dan proses *curing*. Pada proses *lay up* merupakan proses penyusunan penguat pada matriks yang tersedia. Sedangkan proses *curing* (pematangan) merupakan proses lanjutan dari proses *lay up*, yaitu komposit yang telah terbentuk mengalami proses pendinginan, menjadi kaku dan keras. Atau dapat disebut polimerisasi diantara matriks dan penguat untuk membentuk ikatan yang permanen. Dalam pembuatan komposit, harus hati-hati agar proses pematangan



tidak terjadi sebelum proses *lay up* selesai dan komposit yang terbentuk menjadi struktur yang *rigid* dengan tingkat kekeroposan yang rendah. Pada komposit matriks polimer jenis matriks yang digunakan dapat berupa *thermosetting* dan *thermoplastic*. *Thermoplastic* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk *thermoplastic* yaitu, Polietilena (PE), Polipropilena (PP), Polistirena (PS), nylon, Polietilena terpetalat (PET), BPT, Poliacetal (POM), Policarbonat, dll. Sedangkan *thermosetting* tidak dapat dicetak kembali apabila telah mengalami kondisi tertentu karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk *thermosetting* adalah Poliuretan, Urea Formaldehid, Melamin Formaldehid, Poliester, dan Epoksi. *Thermosetting* akhir-akhir ini sering digunakan untuk berbagai aplikasi, sedangkan untuk jenis *thermoplastic* dalam aplikasinya hanya terbatas pada penggunaan tertentu karena temperaturnya yang rendah.

2.3. Faktor yang Memengaruhi Sifat Komposit

2.3.1. Sifat Mekanik Komposit

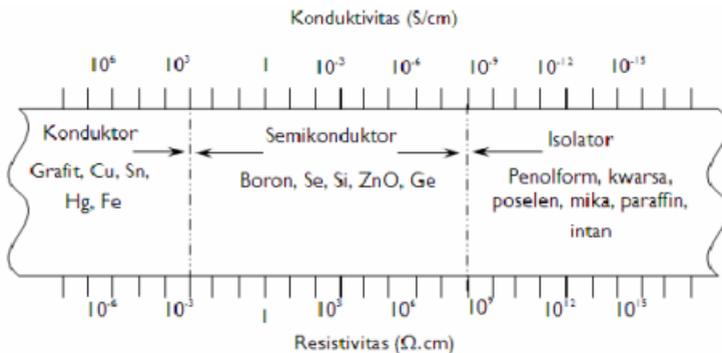
Kekuatan dan retak komposit karbon-karbon ditentukan oleh teori Cook-Gorden untuk penguatan padatan rapuh (Cook & Groden, 1964), yang menyatakan bahwa jika rasio kekuatan ikatan dan ikatan antarmuka terhadap kekuatan paduan dari padatan sesuai dengan referensi, dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan yang besar dari material. Kelebihan matrik polimer atau plastik jika dibandingkan dengan logam adalah plastik mempunyai densitas yang jauh lebih kecil. Keuntungan ini semakin terlihat ketika modulus young per unit massa E/ρ (modulus spesifik) maupun tegangan tarik per unit massa σ/ρ (tegangan spesifik) mempunyai nilai yang tinggi. Hal ini berarti berat dari komponen dapat dikurangi. Pengurangan berat ini akan mengakibatkan pengurangan kebutuhan energi dan biaya. Sifat komposit yang dihasilkan merupakan sifat gabungan antara sifat resin dan sifat penguatnya.



2.3.2 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu material untuk menghantarkan listrik. Jumlah dari perubahan elektron bebas dan hole dapat meningkatkan konduktivitas listrik.

Material alami maupun buatan yang terdapat di alam dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Nilai dari konduktivitas listrik ketiga material tersebut berbeda (Irzaman, 2010)



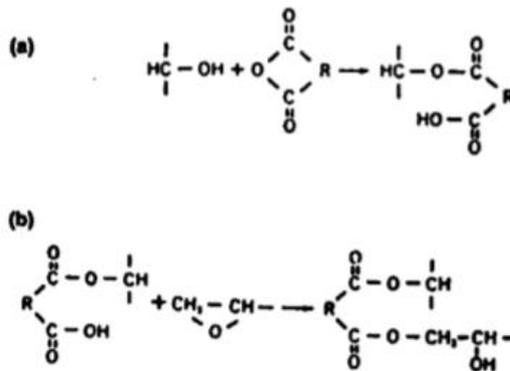
Gambar 2.9 Spektrum konduktivitas dan resistivitas listrik (Galang, 2014)

Polimer pada dasarnya bersifat insulator, nilai konduktivitasnya kira-kira $10^{-14} - 10^{-17} \text{ S.Cm}^{-1}$. Konduktivitas material polimer dapat ditingkatkan dengan menambahkan karbon konduktif, seperti serat karbon, karbon hitam, dan grafit sehingga membentuk material komposit. Akan tetapi, konduktivitas listrik komposit bergantung pada konsentrasi, orientasi, bentuk, ukuran, dan sifat-sifat dari pengisi konduktif yang dipakai. Dispersi partikel dan bentuk jaringan kontinu dari bahan pengisi konduktif juga berpengaruh pada sifat konduktivitas listrik.

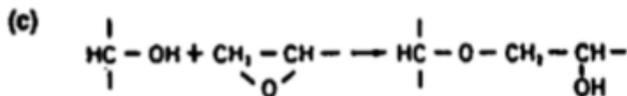


2.4 Anhydride

Pada umumnya, reaksi epoksi bis *A-anhydride* melibatkan kedua gugus inter hidroksil dan ujung gugus epoksi. *Anhydride* menginisiasi bereaksi dengan gugus hidroksil untuk membentuk setengah ester Gambar 2.10. Epoksi bis A rata-rata mengandung sekitar 0.31 gugus hidroksil per mol. Setengah ester lainnya dengan gugus karboksil bebas kemudian bebas bereaksi dengan cincin epoksi. Hasil reaksi dengan epoksi dalam pembuatan gugus hidroksil dapat bereaksi dengan gugus *anhydride*, atau dalam keberadaan dari gugus asam (asam bebas) yang berperan sebagai katalis bereaksi dengan gugus epoksi yang lainnya untuk membentuk ikatan eter Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Reaksi *Anhydride* dengan gugus hidroksil
(Rhodes, 2004)



Gambar 2.11 Reaksi pembentukan ikatan eter (Rodhes, 2004)



Dengan *dianhydride*, umumnya *pot lives* lebih pendek karena *crosslink* yang tinggi dapat terjadi melalui reaksi antara gugus hidroksil saja. Namun, dengan polifungsional epoksi rasio gugus epoksi dengan gugus hidroksil sangat tinggi. Dan tahap awal dari reaksi tidak terjadi dengan sempurna. Sementara itu, selama asam bebas *anhydride* digunakan, maka *pot lives* yang lama dapat diperoleh. Sifat unik dari sistem cure *anhydride* ini dimana resin polifungsional yang reaktif memperlihatkan bahwa *pot livenya* lebih panjang daripada resin konvensional.

Beberapa keuntungan dalam penggunaan *anhydride* dibandingkan dengan aromatik diamin sebagai *curing agents* untuk polifungsional resin adalah :

1. *Anhydride* tidak membahayakan kesehatan seperti aromatik diamin.
2. *Anhydride* dan *monoanhydride* dapat mengurangi viskositas lebih besar tanpa pelarut.
3. Sistem curing *anhydride* memperlihatkan rata-rata mengalami penyusutan kurang dari setengahnya penyusutan dari curing aromatik diamin.
4. *Anhydride* khususnya *dianhydride* memiliki sifat kekuatan basah yang sangat bagus.

Penggunaan *anhydride* sebagai *curing agents* untuk *polyfunctional* epoksi resin belum mendapat perhatian khusus seperti aromatik diamin, alifatik diamin, dan poliamid.

Maleat anhidrida larut dalam aseton dan air tidak berwarna atau berwarna putih padat dalam keadaan murni dengan bau yang tajam. Maleat anhidrida adalah senyawa vinil tidak jenuh merupakan bahan mentah dalam sintesa resin polyester, pelapisan permukaan karet, deterjen, bahan aditif dan minyak pelumas, plastisizer dan kopolimer. Maleat anhidrida mempunyai sifat kimia khas yaitu adanya ikatan etilenik dengan gugus karbonil didalamnya, ikatan ini berperan dalam reaksi adisi. Maleat anhidrida juga dikenal sebagai 2,5-furandione (Parker., 1984).



Tabel 2.1 Karakteristik *Maleic Anhydride* (Parker, 1984)

Sifat	Nilai
Kerapatan	1.6-2.25 gr/cm ³
Berat Molekul	98,1 gr/mol
Titik Leleh	60 °C
Titik Didih	202 °C
Density (20 °C)	1,314 gr/m ³
Kelarutan	larut dalam air sebesar 16% (30 °C) larut dalam aseton, eter, klorofom, dan petroleum

2.5 Grafit

Karbon merupakan jenis keramik polimorfik. Dapat ditemui dalam tiga bentuk, yaitu intan, grafit, dan fullerene. Yang membedakan antara intan dan grafit adalah ikatan karbon yang terlibat yaitu sp^3 (tetrahedral) pada intan, dan sp^2 (trigonal) pada grafit. Hasilnya, intan memiliki struktur kristal tiga dimensi (jaringan kovalen padat), sedangkan grafit terdiri dari lapisan karbon (dengan ikatan kovalen dan ikatan logam dalam setiap lapisan) yang ditumpuk pada susunan AB dan dihubungkan dengan interaksi van der Waals lemah. Lapisan-lapisan yang menyusun grafit disebut graphene.

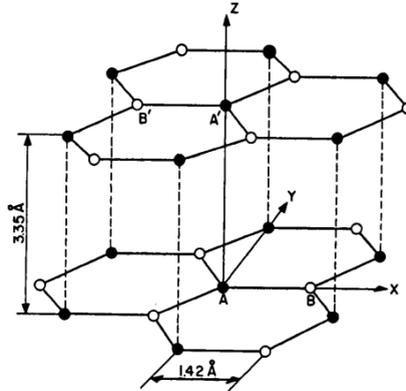
Karbon merupakan anisotropik, memiliki sifat konduktor listrik dan panas di dalam lapisannya karena memiliki ikatan logam, dan memiliki sifat konduktor listrik dan panas pada bagian tegak lurus dengan lapisan karbon karena terdapat ikatan van der Waals yang lemah antar lapisan. Sifat konduktivitas listrik yang dimiliki grafit menjadikan grafit sebagai material yang digunakan sebagai elektroda elektrokimia.

Karena anisotropi, grafit dapat mengalami reaksi kimia dengan menyisipkan reaktan (interkalat) diantara lapisan graphene, dan membentuk senyawa (senyawa interkalasi). *Graphite Intercalation Compound* (GIC), tempat terdapatnya proses *charging* antara interkalat dengan grafit membuatnya lebih konduktif daripada grafit. Konduktivitasnya lebih tinggi daripada

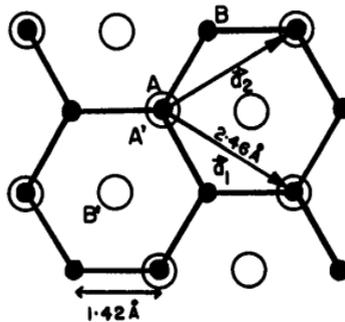


Electromagnetic Magnetic Interference (EMI). Kebanyakan dari GIC dapat mengelupas pada saat pemanasan. Ini terjadi karena tidak adanya pengikat yang kuat.

Grafit memiliki struktur lapisan dimana atom-atomnya tersusun dalam bentuk hexagonal pada setiap lapisannya dan lapisan-lapisannya tertumpuk dalam susunan AB.



Gambar 2.12 Struktur Kristal Grafit (Chung, 2002)

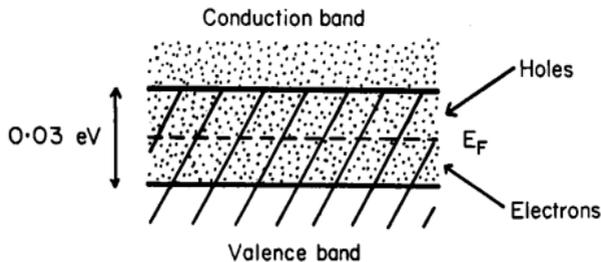


Gambar 2.13 Struktur *in-plane* Grafit. Lapisannya terdiri dari atom A dan B (Chung, 2002)

Pada grafit, setiap atom karbon memiliki empat elektron valensi dan terdapat empat atom di setiap unit selnya. Sementara



itu, ada 16 energi band. Dan hanya 8 energi band yang terisi. Sehingga grafit termasuk semi-logam. Energi bandnya sekitar 0.03 eV. Energi bandnya dapat dilihat pada gambar 2.14. dalam bentuk satu dimensi.



Gambar 2.14 Energi band dari grafit (Chung, 2002)

Grafit terdiri atas lapisan atom karbon yang dapat menggelincir dengan mudah. Grafit amat lembut dan dapat digunakan sebagai minyak pelumas untuk membuat peralatan mekanis bekerja lebih lancar. Grafit memiliki warna kelabu dan umumnya grafit digunakan sebagai material penghantar listrik atau konduktor listrik. Grafit dinamai oleh Abraham Gottlob Werner pada tahun 1789 dengan mengambil kata dari bahasa Yunani. Grafit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu grafit alami dan grafit sintetik. Grafit sintetik lebih murni dibandingkan grafit alami. Grafit sintetik merupakan produk yang dibuat dari material karbon amorf melalui proses perlakuan khusus pada kondisi temperatur tinggi. Grafit digunakan sebagai bahan pengisi khususnya dalam matriks polimer karena memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik, serta memiliki sifat-sifat pelumasan (lubrikasi) yang baik. Karena strukturnya yang berlapis, grafit memberi sifat kekakuan dan dimensi yang stabil terhadap polimer.

Grafit sintetik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengecoran logam, karbon elektrik, pelat bipolar fuel cell, pelapisan, proses elektrolitik, sebagai bahan pengisi konduktif,



campuran karet dan plastik, serta untuk aplikasi pemboran. Partikel grafit sintetik berukuran 2 μm (bubuk) sampai dengan 2 cm (potongan-potongan) dengan kandungan 99% karbon. Sifat dan karakteristik dari grafit dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

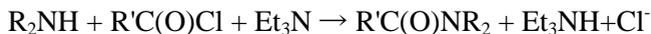
Tabel 2.2 Sifat-sifat Grafit (Indriyana, 2012)

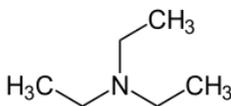
Sifat	Nilai
Komposisi kimia	C (80-99.7%), Fe_2O_3
Kerapatan	1.6-2.25 gr/cm^3
Warna	Hitam keabu-abuan
Konduktivitas Panas	200W/mK
Titik Leleh	4027-4427°C

2.6 Trietilamina (TEA)

Trietilamina adalah senyawa kimia yang memiliki rumus $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$ dan umumnya disingkat menjadi Et_3N . Kadangkadang ia juga disingkat menjadi TEA, namun singkatan ini dapat dirancukan dengan trietanolamina yang juga disingkat dengan singkatan yang sama. Trietilamina sering dijumpai dalam proses-proses sintesis organik karena bentuk amina bertrisubstituennya yang simetris dan berwujud cair pada suhu kamar. Trietilamina memiliki aroma busuk ikan yang mirip dengan amonia. Diisopropiletilamina (basa Hünig) sering digunakan sebagai pengganti trietilamina. Trietilamina juga bertanggungjawab terhadap aroma tumbuhan *Crataegus* (Howtorn, 2001).

Trietilamina umumnya dipakai dalam sintesis organik sebagai basa, umumnya untuk pembuatan ester dan amida dari asil klorida (Sorgi, 2001). Reaksi ini akan menghasilkan asam klorida yang akan kemudian bereaksi dengan trietilamina dan menghasilkan garam trietilamonium klorida. Trietilamina oleh karenanya menghilangkan asam klorida dari larutan reaksi sehingga reaksi dapat berjalan dengan penuh ($\text{R}, \text{R}' = \text{alkil}, \text{aril}$):





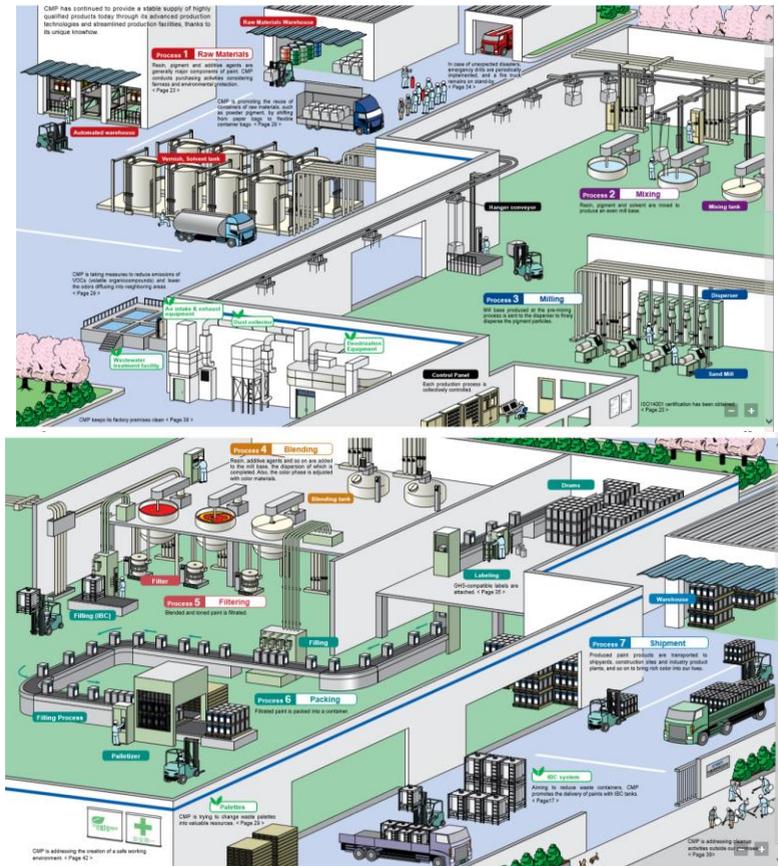
Gambar 2.15 Struktur kimia Trietilamina (Karsten, 2000)

Tabel 2.3 Karakteristik TEA (Armes, 2004)

Sifat	Nilai
Rumus Kimia	$C_6H_{15}N$
Massa Molar	$101.19 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Warna	Tidak Berwarna
Densitas	$0.7255 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$
Titik Leleh	$-114.70 \text{ }^\circ\text{C}$
Titik Didih	$88.6 - 89.8 \text{ }^\circ\text{C}$
Tekanan Uap	$6.899\text{--}8.506 \text{ kPa}$

2.7 Proses Pencampuran Material dengan Metode *Mechanical Strirring*

Epoksi resin dan campuran polimer untuk memperoleh hasil campuran yang bagus dan homogen, maka campuran harus diaduk selama beberapa lama. Proses ini diterapkan di industri pembuatan cat yang juga menggunakan resin sebagai bahan dasar cat. Pada industri pembuatan cat di perusahaan Chugoku Marine Paints, Ltd., ada empat proses sebelum *packaging*, yaitu *mixing*, *milling*, *blending*, dan *filtering*. Pada proses *mixing*, resin, pigmen (pewarna), dan pelarut dicampurkan untuk menghasilkan bahan dasar mill yang homogen di *mixing tank* menggunakan *mechanical stirrer*. Pada proses *milling*, bahan hasil *pre-mixing* dikirim ke *disperser* untuk menghaluskan ukuran partikel pigmen. Pada proses *milling* digunakan *sand mill*. Setelah itu, proses selanjutnya adalah *blending*, tujuannya untuk mencampurkan zat tambahan dan pewarna yang disesuaikan dengan warna cat yang akan diproduksi. Proses ini dilakukan di *blending tank*. Proses terakhir sebelum pengemasan adalah proses filter. Ini bertujuan untuk seleksi akhir campuran cat benar-benar homogen dari ukuran warna, dll.



Gambar 2.16 Layout Industri Pembuatan Cat (Chugoku Marine Paints, Ltd. 2012)

2.8 Proses Autoclave

Banyak dari proses manufaktur komposit menggunakan proses *autoclave*. Penggunaan *autoclave* dipertimbangkan karena prosesnya yang membuat komposit menjadi padat jika dibandingkan dengan metode lain. Metode ini toleran terhadap kesalahan teknis *lay-up* dan masalah material. Tekanan kompaksi tambahan yang tersedia dengan autoclave dapat meminimalkan



porositas dan *bridging* serta memaksimalkan aliran resin. *Autoclave* digunakan dalam berbagai industri, seperti perangkat medis, pesawat terbang, otomotif, arsitektur kaca laminasi. Sedangkan pada pengolahan karet dan kayu hanya beberapa yang memanfaatkan metode *autoclave*.

Tekanan pada *autoclave* cukup tinggi bisa mencapai 60 PSI dengan beban lebih dari 100 ton. *Autoclave* dapat bertekanan dengan udara atau nitrogen, tergantung pada kebutuhan. Dapat digunakan hingga temperatur sekitar 250 F. Di atas 250 F, biasanya menggunakan nitrogen untuk membantu perpindahan panas dan mengurangi potensi kebakaran. Kebakaran jarang terjadi, tetapi dapat menyebabkan banyak kerusakan pada *autoclave* itu sendiri. Kebakaran dapat disebabkan oleh pemanasan gesekan lokal dari kebocoran tabung dan sistem eksoterm resin. Pada tekanan yang lebih tinggi, lebih banyak oksigen tersedia untuk memberi makan api. Karena seluruh bagian dalam bejana tekan harus dikeluarkan untuk memeriksa dan memperbaiki *autoclave* setelah kebakaran, serta pengisian nitrogen juga harus dipertimbangkan.

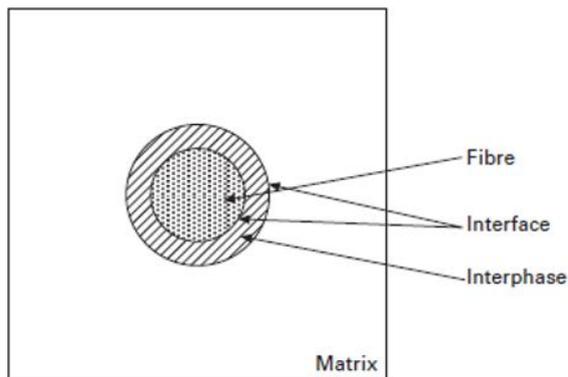


Gambar 2.17 *Autoclave*
(Walton Process Technology, Inc., 2013)



2.9 Ikatan Antarmuka

Ikatan antarmuka (*interface*) adalah sebuah permukaan yang terbentuk antara penguat dan matriks yang bersentuhan melalui ikatan antara keduanya dan memertahankan tersebut terhadap transfer beban. Antarmuka adalah bagian yang sangat tipis antara dua fase. Ikatan yang terjadi pada antarmuka terbentuk saat permukaan penguat terbasahi oleh matriks. Antarmuka pada komposit berfungsi sebagai penerus beban antar matriks dan penguat. Perilaku perpatahan pada komposit juga bergantung pada kekuatan antarmuka. Ikatan antarmuka yang lemah akan mengakibatkan kekuatan dan kekakuan yang lemah, begitu pula sebaliknya, apabila ikatan antarmuka yang terbentuk kuat, maka kekuatan dan kekakuan juga kuat.

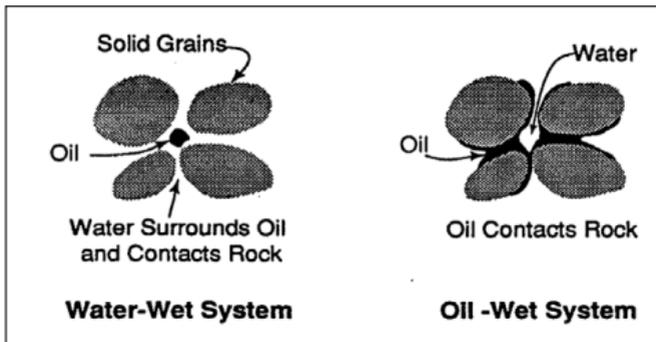


Gambar 2.18 Gambar Skema Material fiber-reinforced
(Sulistijono, 2013)

2.10 Wettability

Wettability didefinisikan oleh (Jerauld dan Rathmell, 1997) "sebagai kecenderungan salah satu cairan dari sepasang cairan untuk melapisi permukaan padat secara spontan". *Wettability* juga dapat didefinisikan sebagai "kemampuan satu cairan untuk membasahi permukaan padat dengan adanya campuran cairan lainnya". Oleh karena itu, dalam sistem fluida,

tergantung pada preferensi cairan untuk melapisi permukaan batu, dapat *water-wet* atau sistem *oil-wet* (Gambar 2.16.). Dalam kasus pertama, air memiliki kecenderungan untuk menempel ke sebagian besar permukaan batu dan menempati pori-pori kecil, sedangkan dalam kasus kedua minyak mengalami kontak dengan sebagian besar permukaan batu dan menempati pori-pori kecil.

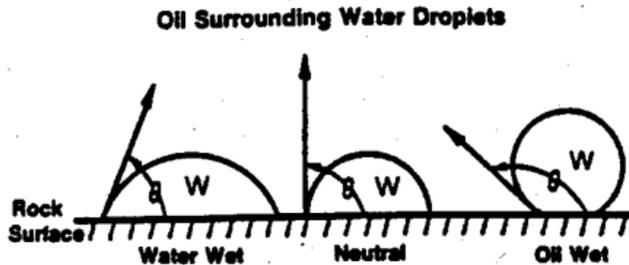


Gambar 2.19 *Water-wet vs Oil-wet*
(wikipedia, 2016)

Tergantung pada interaksi antara cairan dan batuan, sistem dapat diklasifikasikan sebagai *water-wet* atau *oil-wet*. Namun demikian, dalam beberapa sistem, baik minyak maupun air cenderung untuk menempel di permukaan batu yang didefinisikan sebagai wettability sedang (atau netral). Ada juga jenis lain dari wettability disebut "*fractional*" di mana berbagai wilayah inti memiliki kecenderungan pembasahan yang berbeda. Hal ini terjadi di mana permukaan batu memiliki komposisi mineral variabel dan kimia permukaan. Sebagian didominasi oleh pembasahan minyak, dan sebagian lagi didominasi pembasahan air. Jenis lainnya adalah *mixed-wettability*, di mana pori-pori lebih kecil adalah *water-wet* dan diisi dengan air sedangkan pori-pori yang lebih besar adalah *oil-wet* dan penuh dengan minyak (membentuk jalan terus-menerus). (Salathiel, 1973) menjelaskan fenomena ini: ketika minyak awalnya menginvasi reservoir



water-wet lebih awal, mengakibatkan air keluar dari pori-pori yang lebih besar, sementara pori-pori yang lebih kecil tetap terisi air karena gaya kapiler.



Gambar 2.20 Bentuk pembasahan fluida terhadap permukaan benda padat (google.com, 2016)

2.11 Cat Epoksi

Umumnya pelapis epoksi dikemas dalam dua bagian yang dicampur sebelum aplikasi. Dua bagian Terdiri dari epoksi resin which adalah cross-linked dengan 2) co-reaktan atau pengeras. pelapis Epoksi diformulasikan didasarkan pada persyaratan kinerja untuk produk akhir. Ketika benar katalis dan diterapkan, epoksi memberikan kekerasan yang bagus, tahan terhadap zat kimia dan tahan pelarut. Epoksi biasanya digunakan pada beton dan baja untuk memberikan ketahanan terhadap air, alkali dan asam. Ini adalah pilihan spesifik dan kombinasi komponen epoksi dan komponen pengeras yang menentukan karakteristik akhir dan kesesuaian dari lapisan epoksi untuk lingkungan tertentu. (Kopeliovich, 2014)



Tabel 2.4 Jenis dan Spesifikasi Epoksi Resin (The Serwin-Williams Company Industrial & Marine Coatings, 2008)

Features			
Common Types	Viscosity	Flexibility	Chemical Resistance
Bisphenol A	Moderate–High	Moderate	Moderate
Bisphenol F	Moderate	Low–Moderate	Moderate
Phenolic Novolac	Moderate–High	Low	High

Tabel 2.5 Jenis dan Spesifikasi Hardener (The Serwin- Williams Company Industrial & Marine Coatings, 2008)

Features [co-reactants and hardeners rated top to bottom from best suited to least suited]				
Film Flexibility	Adhesion	Chemical Resistance		
		Acids	Solvents	Water
Best	Best	Best	Best	Best
Polyamide	Polyamide	Aromatic Amine	Aliphatic Amine	Polyamide
Amidoamine	Phenalkamine	Cycloaliphatic Amine	Aliphatic Amine Adducts	Phenalkamine
Phenalkamine	Amidoamine	Aliphatic Amine	Cycloaliphatic Amine	Amidoamine
Cycloaliphatic Amine	Cycloaliphatic Amine	Aliphatic Amine Adducts	Aromatic Amine	Cycloaliphatic Amine
Aromatic Amine	Aliphatic Amine	Amidoamine	Polyamide	Aromatic Amine
Aliphatic Amine Adducts	Aliphatic Amine Adducts	Phenalkamine	Phenalkamine	Aliphatic Amine
Aliphatic Amine	Aromatic Amine	Polyamide	Amidoamine	Aliphatic Amine Adducts

Blush Resistance	Color Stability	Lo Temp. Application	Corrosion Resistance	Viscosity
Best	Best	Best	Best	Best
Polyamide	Polyamide	Phenalkamine	Polyamide	Cycloaliphatic Amine
Phenalkamine	Amidoamine	Aliphatic Amine	Amidoamine	Aliphatic Amine
Amidoamine	Cycloaliphatic Amine	Aliphatic Amine Adducts	Phenalkamine	Amidoamine
Cycloaliphatic Amine	Aliphatic Amine Adducts	Cycloaliphatic Amine	Cycloaliphatic Amine	Aromatic Amine
Aromatic Amine	Aliphatic Amine	Polyamide	Aliphatic Amine Adducts	Aliphatic Amine Adducts
Aliphatic Amine Adducts	Phenalkamine	Amidoamine	Aromatic Amine	Phenalkamine
Aliphatic Amine	Aromatic Amine	Aromatic Amine	Aliphatic Amine	Polyamide

2.11.1 Kandungan Cat

a. Pigmen

Pigmen merupakan komposisi yang terdapat dalam campuran cat berupa padatan granular yang memberi warna pada cat. Pigmen merupakan zat padat tersebar di seluruh lapisan untuk memberikan sebuah warna, opacity (menyembunyikan



permukaan substrat). Pigmen dapat melindungi substrat dari sinar UV. Pigmen mengubah tampilan cat (tingkat gloss) dan sifat: peningkatan kekerasan dan penurunan keuletan. Pigmen dapat terbuat dari bahan alam, sintetik, anorganik atau organik.

Filler dan extender juga disebut pigmen. filler dan extender yang bahan anorganik yang biasa alami ditambahkan ke cat untuk meningkatkan volume, untuk meningkatkan ketebalan film cat, untuk memberikan ketangguhan atau abrasi perlawanan terhadap lapisan. Contoh dari pigmen yang sering digunakan adalah TiO_2 , ZnO , Zinc Yellow, dll.

b. Binder

Binder adalah bahan utama cat. Binder adalah polimer (resin) membentuk lapisan film pada permukaan substrat. Binder berguna untuk meningkatkan adhesi antara lapisan dan substrat. Binder mendistribusikan partikel pigmen ke seluruh lapisan. Binder yang tersebar di pembawa (air atau pelarut organik baik dalam bentuk molekul (larutan) atau sebagai dispersi koloid (emulsi atau sols). Binder atau pengikat ini yang berkontribusi dalam sifat dan karakteristik dari cat itu sendiri. Ini merupakan komponen yang harus ada dalam campuran cat. Binder memengaruhi ikatan dan secara kuat memengaruhi sifat ketahanan, mengilat, kelenturan, dan ketangguhan dari cat.

Beberapa contoh resin yang sering digunakan sebagai binder diantaranya, yaitu alkyd resin, acrylic resin, PVA, resin fenol, dll.

c. Pelarut

Pelarut merupakan komponen dari cat yang berfungsi untuk mengatur viskositas dari campuran cat. Pelarut (air atau pelarut organik) adalah media di mana binder, pigmen dan aditif tersebar dalam bentuk molekul (larut sempurna) atau sebagai dispersi koloid (emulsi atau sols).

Pelarut (thinner) juga digunakan untuk modifikasi viskositas cat yang diperlukan untuk metode aplikasi: kuas, rol,



dip, semprot. Lapisan padat terbentuk karena penguapan pelarut karena tingkat penguapan merupakan salah satu sifat penting dari pelarut. Sifat-sifat penting lainnya adalah kemampuan untuk membubarkan bahan cat dan toksisitas. Beberapa contoh pelarut yang sering digunakan adalah air, alkohol, keton, xylene, dll.

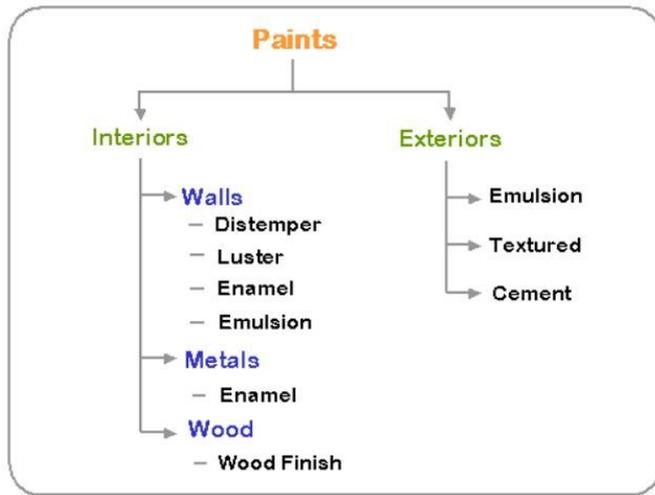
d. Aditif

Aditif merupakan komponen tambahan yang terdapat pada campuran cat yang ditambahkan dalam jumlah yang kecil untuk menghasilkan efek yang signifikan pada campuran cat. Aditif yang sejumlah kecil zat memodifikasi sifat cat.

Beberapa contoh dari aditif, yaitu pengering (*drier*) untuk mempercepat pengeringan (pengerasan) cat dengan mengkatalisis oksidasi pengikat. Plasticers untuk meningkatkan fleksibilitas cat. Fungisida, Biocides dan Insektisida untuk mencegah pertumbuhan dan serangan jamur, bakteri dan serangga. Flow Control Agent untuk memperbaiki sifat aliran. Defoamers untuk mencegah pembentukan gelembung udara terperangkap dalam lapisan. Pengemulsi yang membasahi agen untuk meningkatkan stabilitas koloid dari cat dalam bentuk cair. Stabilisator UV memberikan stabilitas cat di bawah sinar ultra-violet. Anti-skinning untuk mencegah pembentukan kulit yang di dapat. Promotor adhesi untuk meningkatkan adhesi lapisan untuk substrat. Inhibitor korosi untuk mengurangi laju korosi substrat. Texturizers memberikan tekstur pada lapisan.



2.11.2 Klasifikasi Cat



Gambar 2.21 Klasifikasi Cat (google.com, 2016)

a. Berdasarkan Penggunaannya

- Cat Minyak, ini menggunakan minyak kering yang dioksidasi dan dikeraskan untuk membentuk film yang tangguh dan elastis ketika lapisan tersebut terkena udara.

- Cat Alkyd, memiliki resin alkid sebagai binder, seperti kedelai yang dimodifikasi secara kimia atau minyak biji rami.

- Cat Lateks, memiliki resin akrilik sebagai binder yang menggabungkan uap air dari emulsi.

- Cat Epoksi, memiliki epoksi resin sebagai binder untuk meningkatkan tahanan terhadap korosi, abrasi, dan serangan kimia.

b. Berdasarkan Sifat Dasar



- Cat Primer

Ini terutama diformulasikan dengan pigmen anti korosi untuk mencegah atau mengurangi korosi pada permukaan logam.

- Cat Tahan Api

Ini terutama dirumuskan dengan silikon dan resin untuk menahan temperatur tinggi.
penyebaran api dan pembakaran

c. Berdasarkan Fungsinya

- Cat Primer atau Undercoats

Sebuah lapisan persiapan diterapkan sebelum lukisan untuk adhesi yang lebih baik

- Finishing Coats

Berguna untuk membuat permukaan halus dan mengkilap

- Sanding Sealer

Sanding sealer mengisi lubang kecil dan pori-pori. Hal ini biasanya diterapkan pada permukaan kayu untuk mencapai permukaan melimpahi

- Cat Lantai

Lama cat tahan digunakan untuk menyediakan baik dan keras permukaan akhir untuk beton atau lantai kasar lainnya, misalnya Berbasis Minyak uretan Cat

- Cat Primer Galvanik Besi

Cat ini adalah berbasis air anti-korosif cepat kering mantel diterapkan pada permukaan logam

- Cat semprot

Diaplikasikan dengan pistol semprot dan memerhalus permukaan

d. Berdasarkan Pigment yang Digunakan



- Cat Kaya Zinc

Cat ini digunakan untuk menahan suhu terus menerus sampai dengan 550 °C. Hal ini juga digunakan untuk melindungi permukaan terhadap pelapukan dan korosi serta pencegahan serangan korosi di bawah lapisan.

b. Cat Timbal putih

Ini adalah yang termurah dan decolorizes pada paparan dan oleh karena itu umumnya digunakan untuk bangunan biasa. Hal ini tidak cocok untuk pekerjaan eksterior. Hal ini tidak dapat digunakan sebagai perlindungan terhadap korosi.

c. Cat Grafit

Ini terdiri dari bubuk grafit dan minyak dan digunakan untuk struktur logam mantel

d. Cat Timbal Merah

Dalam kombinasi dengan minyak biji rami dapat digunakan sebagai tebal, tahan lama, dan lapisan anti-korosif

2.11.3 Produk Komersil dari Epoksi dan Cat Epoksi

a. CHO-SHIELD 4494



Gambar 2.22 Produk komersil Cat tipe CHO-Shield 4494
(Parker Chomerics, 2013)



Tabel 2.6 Detail produk CHO-Shield 4494 (Parker Chomerics, 2013)

Product	CHO-SHIELD 4494*	 4494	More Information
Filler	Ag		
Resin Type (Parts) Mix Ratio by Weight A:B or A:B:C:D	Polyurethane (4) A:B:C:D 100:18.3: 1.4:20.9		
Wet Density \pm [Q/C]	2.3		
Max. Surface Resistance \pm @ (Rec. Thickness \pm ohm/sq. (mils) [Q/C]	0.075 (1)		
Min/Max. Use Temp. °C (°F) [Q]	-40/85 (-40/185)		
Elevated Cure Schedule Time @ °C (°F) [Q/C]	2 hr. RT & 40-60% RH + 2 hr. @ 55°C (130°F)		
RT Cure Schedule Time [Q]	1 week		
Working Life Hours [Q]	3.0		
Shelf Life Months \pm [Q]	6		
Theoretical Coverage	0.030 (ft ² /g) (3 mils)	0.0028 (m ² /g) (3 mils)	259 (ft ² /gal) (3 mils)
VOC \pm g/L	596		
Typical Application	Aircraft coatings; grounding		
Comments	Very smooth and very conductive; long pot life; excellent sprayability		

Produk cat tipe CHO-Shield 4494 Merk Parker Chomerics merupakan tipe cat yang digunakan sebagai lapisan konduktif pada pesawat terbang untuk melindungi pesawat dari kerusakan akibat sambaran petir. Filler yang digunakan adalah perak.



b. Duralco 4525

Tabel 2.7 Detail produk Duralco 4525 (Cotronics Corporation, 2013)

Maximum Temp	500°F
Density gm/cc	1.9
Hardness Shore 'D'	90
Tensile Strength psi	10,000
Thermal Conductivity*	13
Thermal Expansion 10^{-5} / °C	3.3
Dielectric Strength Volts / Mil.	450
Volume Resistivity ohm-cm	10^{15}
Heat Distortion °C	210
Viscosity cps	25,000
Dissipation Factor 1/ MHz	0.01
Dielectric Constant 1/ MHz	3.5
Elongation	2%
Thermal Stability	
1000 hr. @ 200°C	0.05
Shrinkage % max.	0.2
Moisture Absorption 30 Days	0.05%
Cure Hr. @ R.T.	16-24
Min @ 250 °F	5
Components - Color	2-black



Gambar 2.23 Produk Duralco 4525



c. Sifat Mekanik Komposit Filler/Fiber yang Telah Dimodifikasi
Tabel 2.8 Sifat Mekanik Komposit Filler/Fiber yang Telah Dimodifikasi (Prakash dan Rajadurai, 2016)

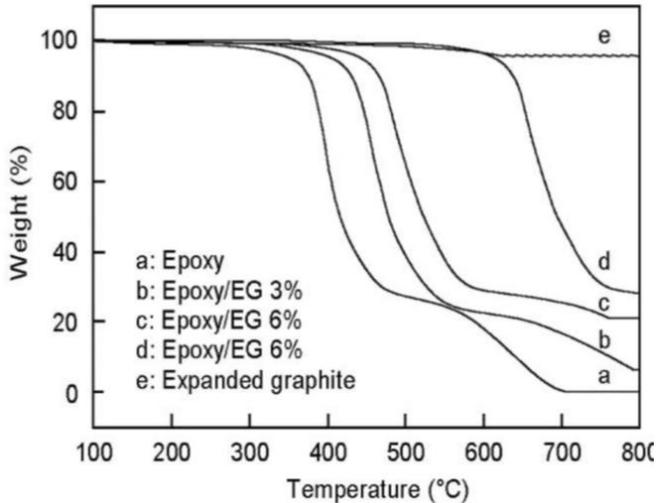
Material Designation	Tensile strength (Mpa)	Hardness (Shore-D)
R	73	85
RF	134	85
RFI ₁	164	87
RFI ₁₁	152	86
RFI ₁₂	138	86
RFI ₂	156	88
RFI ₂₁	145	87
RFI ₂₂	148	86

d. Sifat Termal Komposit Epoksi/Grafit
Tabel 2.9 Sifat Termal Komposit Epoksi/Grafit (Galang, 2014)

Sample	T (°C) 5% Loss	T (°C) 10% Loss	Berat Sisa (%wt)
Grafit	900	900	107
EVE	338	352	5
EVE/Grafit (20)	346	358	33
EVE/Grafit (40)	338	360	47
NVE	288	318	6
NVE/Grafit (20)	292	319	37
NVE/Grafit (40)	314	338	47



e. Sifat Termal Komposit Epoksi/*Expanded* Grafit



Gambar 2.24 Sifat Termal Komposit Epoksi/*Expanded* Grafit (Gantayat, dkk., 2015)

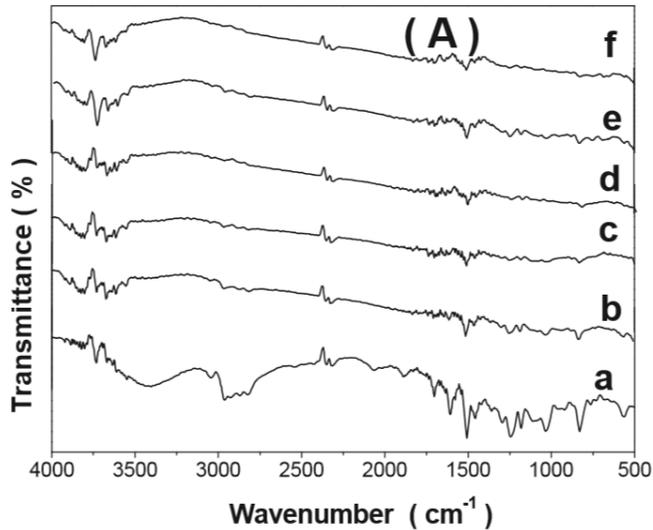
f. Sifat Mekanik Epoksi Resin dan Nanokomposit

Tabel 2.10 Sifat Mekanik Epoksi Resin dan Nanokomposit (Pandit, 2016)

Resin/composite	Izode impact strength (J/m)		Hardness shore D scale		Tensile strength (MPa)	
	RT	LT	RT	LT	RT	LT
E	59.60	66.66	81–82	83–84	73.02	57.33
EGN	43.16	56.72	75–76	75–76	8.37	13.82
EUGN	51.72	49.65	75–76	73–74	10.76	15.98
EUBGN	60.00	–	80–81	–	30.59	–
EUDGN	47.27	44.64	73–74	74–75	12.39	11.55
EUBDGN	46.66	49.00	80–81	79–80	22.74	13.24



g. FTIR Epoksi Resin dan Nanocomposit



Gambar 2.25 FTIR Epoksi Resin dan Nanokomposit
(Pandit, 2016)

h. Resistivitas Epoksi Resin dan Nanokomposit

Tabel 2.11 Sifat Termal Epoksi Resin dan Nanokomposit
(Pandit,2016)

Resin/composite	Resistance	
	RT	
	Upper surface	Lower surface
E	>500MΩ	>500MΩ
EGN	2.0 MΩ	5.0 MΩ
EUGN	106.0 KΩ	300.0 KΩ
EUBGN	6.5 KΩ	12.9 KΩ
EUDGN	3.1 KΩ	3.5 KΩ
EUBDGN	14.6 KΩ	61.5 KΩ



2.12 Aplikasi Lapisan Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang

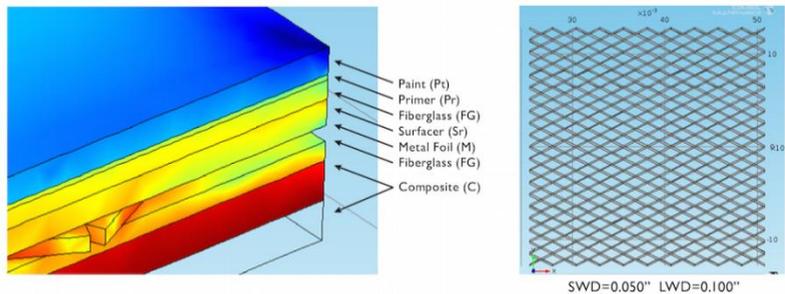
2.12.1 Aplikasi Penangkal Sambaran Petir

Beberapa jenis dari komposit modern banyak digunakan pada pesawat Boeing 787, seperti terlihat pada gambar 2.20. Juga dikenal dengan carbon fiber dengan penguat plastik (CFRP), komposit dibentuk dari binder polimer dengan massa ringan dengan filler carbon fiber yang tersebar untuk menghasilkan material dengan rasio antara kekuatan dan berat yang tinggi. Banyak bagian dari sayap contohnya yang terbuat dari CFRP, agar dapat menahan beban selama terbang dengan tidak menambah massa pesawat secara signifikan.

Meskipun memiliki kekuatan yang bagus dan ringan, CFRP tidak konduktif seperti bagian yang menggunakan aluminium, dengan demikian CFRP rentan rusak terkena sambaran petir. Oleh karena itu, lapisan konduktif logam (EMF) ditambahkan ke struktur lapisan komposit, seperti yang terlihat pada Gambar 2.23. Ini bertujuan untuk mengalirkan arus tinggi dan panas yang tinggi dari sambaran petir.



Gambar 2.26 Material yang digunakan pada badan pesawat Boeing 787. Copyright © Boeing.



Gambar 2.27 Susunan struktur komposit pada badan pesawat Boeing. Copyright © Boeing.

Gambar 2.24 memperlihatkan penambahan lapisan pada bagian atas EMF, yang mana ditempatkan untuk melindungi dari mositur dan zat lain penyebab korosi. Kerusakan akibat korosi pada EMF dapat terjadi pada konduktivitas yang lebih rendah, sehingga dapat mengurangi kemampuannya dalam melindungi pesawat dari sambaran petir. Selain itu, perubahan temperatur yang disebabkan oleh mobilitas pesawat terbang dari dataran ke rendah hingga ketinggian saat terbang dapat mengakibatkan terjadinya keretakan pada bagian pelindung di permukaan pesawat, sehingga akan mengurangi efektivitas kegunaannya.

2.12.2 Perlakuan Permukaan Konduktif

Lord Corp. (Cary, N.C.) telah mengembangkan material polimer konduktif yang baru dan bernilai jual untuk aplikasi LSP atau Ultra Konduktif. Dapat digunakan sebagai cat konduktif yang disemprot, atau lapisan film dll.

Suatu bagian, epoksi berbasis polimer mengandung pelindung dari pemicu panas, memiliki aditif, dan filler konduktif. Berbeda dengan epoksi konduktif dengan filler perak, contohnya, Ultra Konduktif memperlihatkan sifat yang unik, yaitu “self-assembling” selama curing yang hasilnya dalam morfologi filler tiga dimensi, memungkinkan filler untuk menyentuh dan mengalirkan arus melalui ketebalannya. Konduktivitas yang



tinggi memungkinkan pada komposisi filler yang sangat rendah. Kimia membuat polimer untuk “keluar jalur” dari filler, membuat filler untuk mengonduksikan, tanpa menjadi isolator oleh molekul polimer.

Pengujian ekstensif telah dibandingkan UltraConductive dengan lembaran logam dan teknologi lainnya, di Zona 2A dan 1A pada profil yang kaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semprot yang besar dan produk film menunjukkan ketahanan 78 persen lebih rendah daripada epoksi konduktif konvensional masih seperti panel uji setara dilindungi oleh lapisan tembaga yang luas dalam hal kerusakan berkelanjutan. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa komposit karbon dilapisi dengan UltraConductive mencapai 121 dB dari EMI shielding, ini setara dengan solid 1-mm [0,04 inci] kulit aluminium tebal. Dengan demikian, Ultraconductive memungkinkan komposit karbon untuk melindungi sama seperti aluminium padat. Produk yang dapat disemprot dan bentuk film ini menjalani pengujian kualifikasi dengan beberapa OEM pesawat. Produk-produk LSP dan EMI shielding dapat bekerja dengan bahan lain di seluruh pesawat.

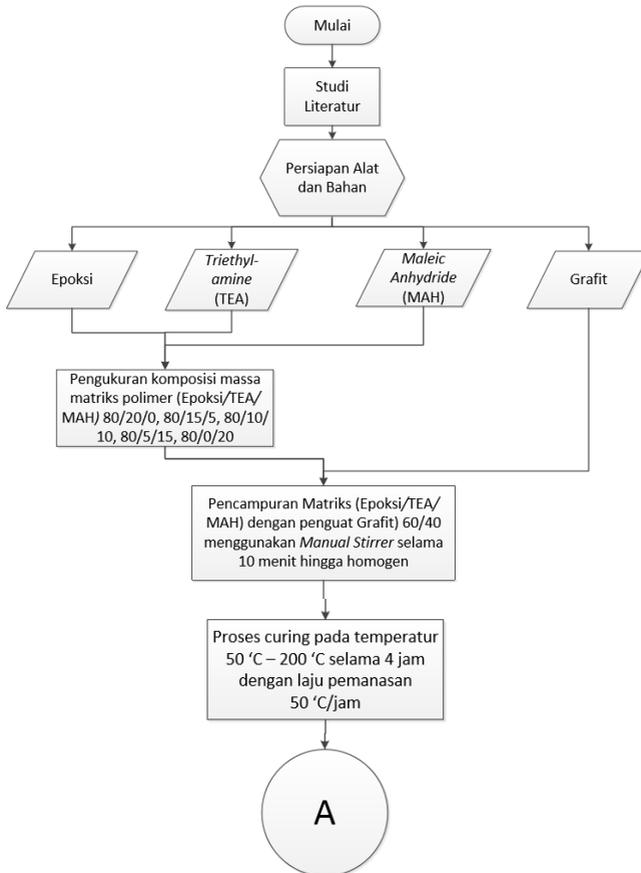
Kostogorova-Bellar dan Paul Jonas dari NIAR melakukan studi Air AS Angkatan dengan sambaran petir secara langsung dan tidak langsung dan skema perlindungan perisai EMI untuk struktur komposit. Salah satu sistem yang menjanjikan adalah cat konduktif dari Konduktif Komposit, di mana perusahaan menyebarkan Nanostrand bahan nikel. Diformulasikan untuk menangani sambaran petir di Zona 1A dan 2A, cat dilaporkan menawarkan apa Kostogorova-Bellar panggilan kinerja "superior" bila dibandingkan dengan perlindungan dasar LSP, seperti lapisan aluminium dan tembaga serta bahan anyaman kawat, termasuk fosfor perunggu.

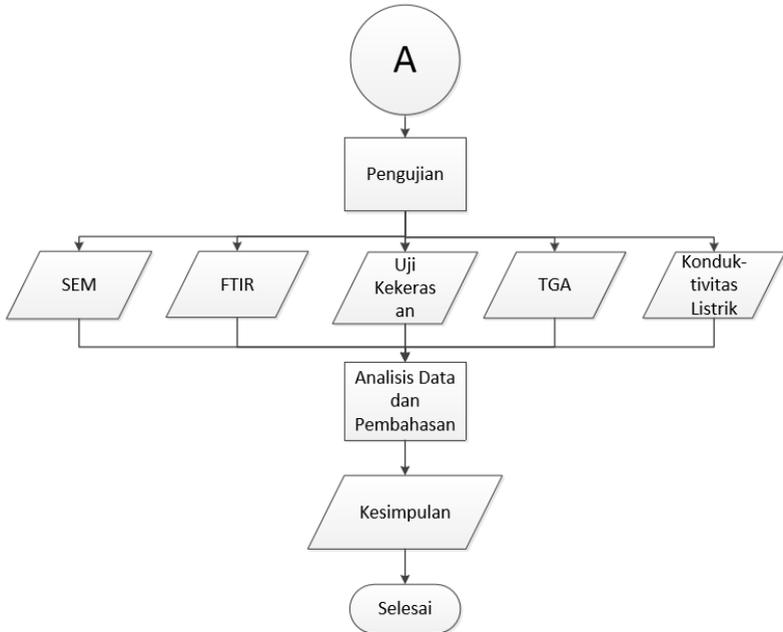


(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian





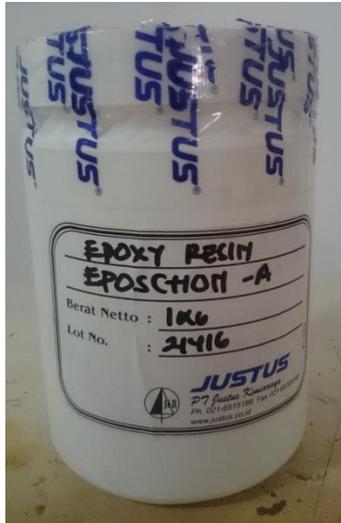
Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Epoksi

Epoksi seperti pada Gambar 3.2, merupakan bahan utama untuk campuran komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit berupa liquid kental berwarna bening. *Epoksi* didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Eposchon-A.



Gambar 3.2 Epoksi Eposchon-A

2. *Triethylamin* (TEA)

Triethylamin (TEA) seperti pada Gambar 3.3, merupakan bahan untuk campuran matriks polimer berupa liquid cair berwarna kuning bening. *Triethylamin* (TEA) didapatkan dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya.



Gambar 3.3 *Triethylamin (TEA)*

3. *Maleic Anhydride (MAH)*

Maleic Anhydride (MAH) seperti pada Gambar 3.4. merupakan bahan indikator yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap campuran komposit. MAH didapatkan dari PT. Justurs Kimiaraya Surabaya



Gambar 3.4 *Maleic Anhydride*

4. Grafit

Grafit seperti pada Gambar 3.5. merupakan filler pada campuran komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit berupa bubuk komposit yang diperoleh dari Jerman.



Gambar 3. 5 Grafit

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



1. Wadah Aluminium

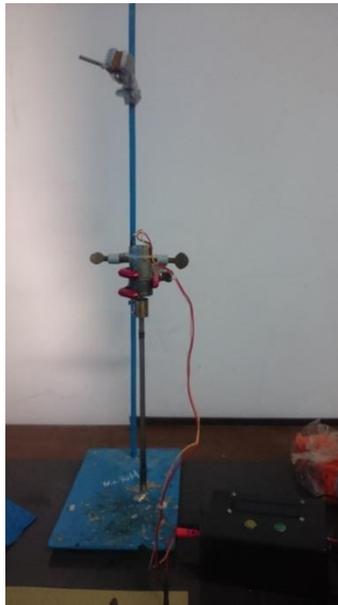
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.

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 matriks polimer dengan filler grafit untuk membuat spesimen.



Gambar 3. 6 Pengaduk/Mixer



4. Sendok

Sendok digunakan untuk mengambil material untuk dicampur.

5. Mesin Gerinda

Mesin gerinda digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen uji.

6. Mesin uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

Digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom ProX, milik Laboratorium Karakteristik Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

7. Mesin uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

8. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Mesin TGA yang digunakan TGA Mettler Toledo di Laboratorium Material FMIPA UNESA (Universitas Negeri Surabaya).

9. Alat Uji Resistivitas Material

Digunakan untuk mengukur besar resistivitas material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit untuk mendapatkan nilai konduktivitas listrik material. Alat yang digunakan adalah *Insulation Meter* merk SANWA di Laboratorium Listrik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.



3.4. Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi MAH terhadap matriks polimer komposit Epoksi/TEA/MAH komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit, yaitu dengan presentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%.

3.5. Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat komposit konduktif sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Mengukur massa campuran matriks polimer dengan perbandingan komposisi massa (Epoksi/TEA/MAH) 80/20/0, 80/15/5, 80/10/10, 80/5/15, 80/0/20.
3. Mencampurkan Epoksi dengan TEA dan diaduk. Kemudian menambahkan MAH dan diaduk merata.
4. Mengukur massa campuran komposit (Epoksi/TEA/MAH/Grafit) dengan perbandingan komposisi persen massa (Matriks/Pengisi) 60/40.
5. Mencampurkan campuran komposit (Epoksi/TEA/MAH/Grafit) dengan diaduk menggunakan *manual stirring* selama 10 menit hingga homogen pada temperatur kamar.
6. Menuangkan hasil campuran ke dalam wadah untuk dijadikan aplikasi cat dan ke dalam wadah aluminium.
7. Spesimen di-*curing* di dalam oven pada temperatur 50 °C selama 1 jam, kemudian dilanjut 100 °C selama 1 jam, 150 °C selama 1 jam, dan pada temperatur 200 °C selama 1 jam.



8. Setelah curing, keluarkan dari wadah dan permukaan spesimen diperhalus menggunakan mesin gerinda dan digunakan untuk pengujian.

3.6. Pengujian

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

Pengujian SEM/EDX dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit kitosan-hidroksiapatit didoping seng yang terbentuk. Pengujian yang dilakukan dilengkapi dengan EDX sehingga dapat mengidentifikasi unsur yang ada pada spesimen. Data hasil SEM/EDX berupa gambar dengan perbesaran serta grafik yang menunjukkan intensitas unsur tertentu yang terdapat pada spesimen uji. Prinsip dasar SEM adalah memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan non-elastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X. Sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (BSE). Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan elektron. Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap terang pada monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Sedangkan prinsip kerja EDX adalah melalui sinar X karakteristik. Pada saat ditembakkan dengan elektron, elektron pada kulit terdalam akan terkesitasi dari kulit sehingga meninggalkan vakansi. Elektron dari kulit luar harus



melepaskan sebagian energy agar dapat berpindah ke kulit dalam. Energi yang dilepas dipancarkan dalam bentuk sinar X. Sinar X inilah yang diserap EDX dan ditampilkan dalam bentuk grafik puncak-puncak yang mewakili unsur tertentu.

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

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10*. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energy yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.

3. Pengujian TGA

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. 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 600°C dengan kecepatan kenaikan temperatur sebesar 10°C/menit tanpa aliran gas inert. Mesin uji TGA dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Mesin TGA



4. Pengujian Kekerasan

Pengujian ini digunakan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. 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 3.8.



Gambar 3. 8 Alat Durometer Shore D Hardness Test



5. Pengujian Konduktivitas Listrik

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur besar konduktivitas listrik pada suatu material. Sebuah sistem *conductivitymeter* tersusun atas rangkaian listrik sederhana yang dihubungkan dengan amperemeter dan voltmeter. Amperemeter disambungkan secara seri untuk mengukur besar arus yang mengalir pada rangkaian. Pada saat pengukuran, rangkaian diberi tegangan dengan besar tertentu. Nilai arus listrik yang dibaca oleh amperemeter, dan voltmeter dipasang seri dengan material untuk mendapatkan tegangan dan resistansi pada material yang akan digunakan lebih lanjut untuk menghitung nilai konduktivitas listrik material.

rumus dasar rangkaian listrik berikut:

$$V = R \times I \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana :

V = tegangan listrik rangkaian (volt)

I = arus listrik rangkaian (ampere)

R = tahanan listrik rangkaian (Ω)

Tahanan listrik (R) berbanding lurus dengan panjang material (l), dan berbanding terbalik dengan luas area material yang dialiri listrik.

$$R = \frac{l}{A} \times \rho \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana :

ρ = tahanan listrik spesifik ($\Omega.m$) material



Jika persamaan (1) dan (2) digabungkan, akan didapatkan persamaan berikut:

$$\frac{V}{l} = \frac{l}{A} \times \rho \dots \dots \dots (3.6)$$

Conductivitymeter sebenarnya tidak mengukur nilai konduktifitas listrik, tetapi mengukur konduktivitas listrik spesifik (*specific conductivity*). Konduktivitas listrik spesifik adalah nilai konduktivitas listrik untuk tiap satu satuan panjang. Konduktivitas listrik spesifik ini disimbolkan dengan σ , adalah kebalikan dari tahanan listrik spesifik (ρ):

$$\sigma = 1 / \rho \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana konduktivitas listrik spesifik menggunakan satuan S/m (Siemens per meter).



Gambar 3.9 Alat *Insulation Tester* (SANWA MG 1000)



3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada table di bawah.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Material (%Massa)			Pengujian						
Matriks Polimer (60%)			Grafit	Kode Sampel	Uji SEM	Uji FTIR	Uji Kekerasan	Uji TGA	Uji Konduktivitas Listrik
Epoksi	TEA	MAH							
80	20	0	40	MAH 0%	√	√	√	√	√
	15	5		MAH 5%	√	√	√	√	√
	10	10		MAH 10%	√	√	√	√	√
	5	15		MAH 15%	√	√	√	√	√
	0	20		MAH 20%	√	√	√	√	√



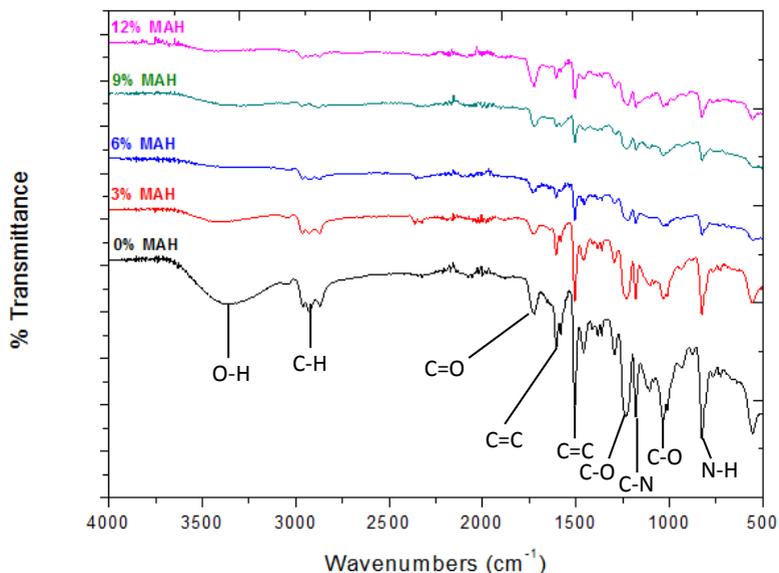
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pencampuran antara Epoksi, *Triethyl Amine* (TEA), *Maleic Anhydride* (MAH), dan Grafit. Dari proses pencampuran tersebut diperoleh material Komposit dengan matriks Epoksi/TEA/MAH dan pengisinya Grafit dengan komposisi matriks Epoksi/TEA/MAH (80/20/0), Epoksi/TEA/MAH (80/15/5), Epoksi/TEA/MAH (80/10/10), Epoksi/TEA/MAH (80/5/15), Epoksi/TEA/MAH (80/0/20). Komposisi matriks dengan pengisinya adalah 60:40. Komposisi massa MAH secara keseluruhan berurutan yaitu 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12%. Hasil dari pencampuran tersebut dipreparasi untuk kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis seperti berikut.

4.1 Analisis Gugus Fungsi Spektroskopi Inframerah Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi MAH sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12%. Analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum gugus fungsi dari Material Komposit Epoksi, *Triethylamine*, *Maleic Anhydride*, dan Grafit dengan perbedaan komposisi dari *Maleic Anhydride*. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data seperti pada Gambar 4.1. Pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit terdapat gugus fungsi alkohol O-H pada daerah serapan 3366 cm^{-1} dan C-O pada $1231,32\text{ cm}^{-1}$, $1033,34\text{ cm}^{-1}$. C-H pada daerah serapan $2958,31\text{ cm}^{-1}$, $2928,1\text{ cm}^{-1}$, dan $2863,32\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya, pada daerah serapan $1719,36\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus fungsi C=O, gugus fungsi C=C benzena aromatik pada daerah serapan $1605,28\text{ cm}^{-1}$, $1580,42\text{ cm}^{-1}$, dan $1507,18\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-N terdapat pada puncak $1179,68\text{ cm}^{-1}$ serta gugus fungsi amin N-H $825,02\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 4.1 Spektrum FTIR Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Berdasarkan analisis dari hasil pengujian spektrum FTIR diatas, dapat dilihat ada beberapa gugus fungsi baru, diantaranya gugus fungsi C=O, C-N, dan N-H. Pada hasil pengujian spektrum FTIR juga terlihat bahwa dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) mengakibatkan pemutusan ikatan O-H, C=C, dan N-H. Hal ini dapat dilihat dari penurunan peak gugus fungsi tersebut seiring dengan penambahan komposisi MAH (Babosa, dkk., 2016). Pemutusan gugus fungsi tersebut diasumsikan karena ikatan O-H dan C=C pada epoksi berikatan kimia dengan MAH yang kemudian membuat ikatan dan *network* baru. Pemutusan ikatan ini terjadi ketika pencampuran matriks. Sehingga reaksi kimia banyak terjadi pada campuran matriks. Hal ini dapat memengaruhi sifat mekanik, stabilitas termal, dan konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sehingga membuat material semakin kuat dan *network*nya semakin banyak.



Ini dapat menahan difusi termal, dan dapat mengalirkan arus listrik dengan memerkecil resistivitas material. Gugus fungsi C-N yang terdapat pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit menandakan bahwa *hardener triethylamine* ikut bereaksi selama proses pencampuran Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, penambahan komposisi *Maleic Anhydride* pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat memperbaiki struktur ikatan kimia Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.



Gambar 4.2 Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

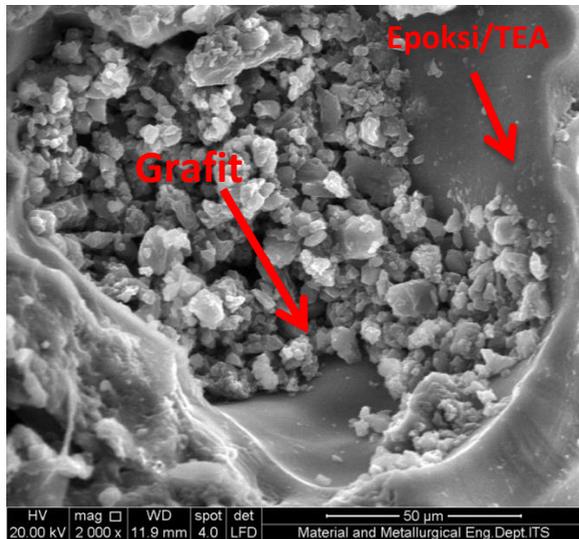


4.2 Analisis Morfologi Hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

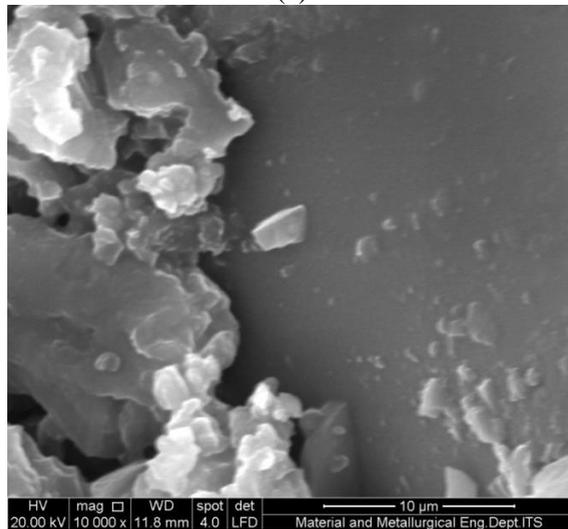
Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengamati bentuk ikatan yang terbentuk dari pencampuran Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Mikrograf dari sampel material terlihat pada Gambar 4.3 sampai 4.7. Secara umum campuran mikrograf dari sampel Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit terlihat homogen.

Pada hasil analisis SEM yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa dengan penambahan komposisi MAH benar membentuk ikatan dan *network*. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 4.7 dengan komposisi MAH sebesar 12%. Dengan terbentuknya ikatan tersebut, maka dapat dikatakan bahwa MAH berperan sebagai *coupling agent*. Dengan terbentuknya ikatan dan *network* baru maka akan meningkatkan sifat mekanik dari material (Prakash dan Rajadurai, 2016).

Pada hasil uji EDX grafit Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH didapatkan atom yang terdapat adalah C dan O. C sebanyak 75,98% dan O sebesar 24,02%. Ini menunjukkan bahwa bagian yang diuji tersebut benar grafit dengan sebagian ikatan C pada grafit telah berikatan dengan *anhydride*. Hasil uji EDX *anhydride* Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH didapatkan atom yang terdapat adalah C dan O. C sebanyak 64,23% dan O sebesar 35,77%. Ini juga menunjukkan bahwa *anhydride* juga sudah berikatan dengan C dari grafit.

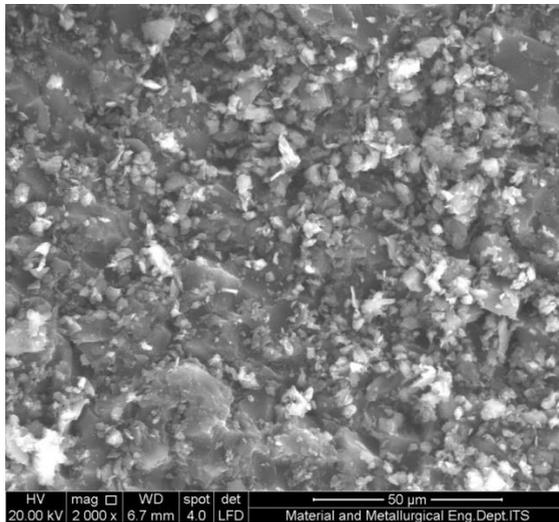


(a)

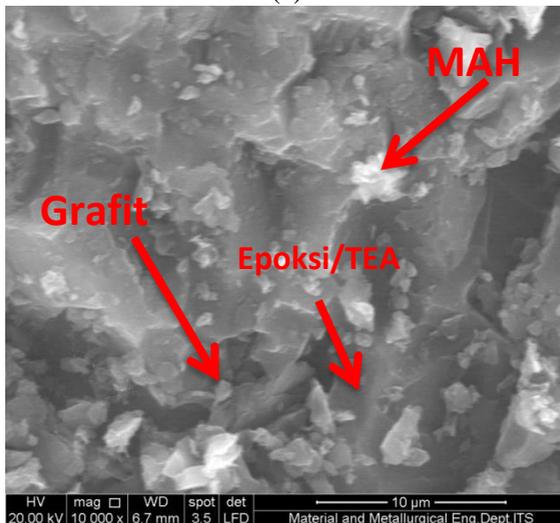


(b)

Gambar 4.3 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/
Grafrit/MAH(0) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x

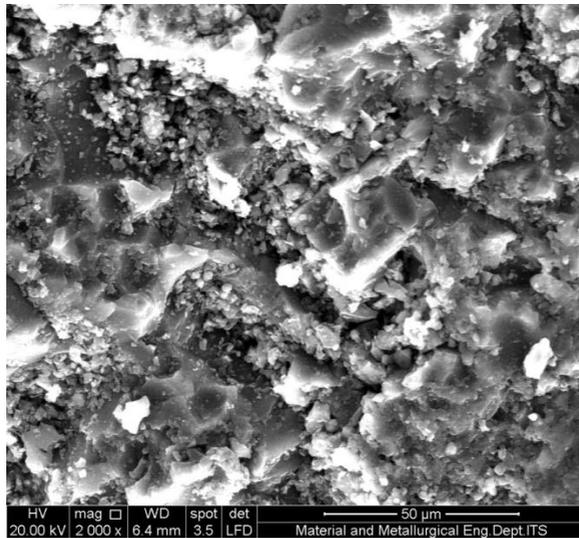


(a)

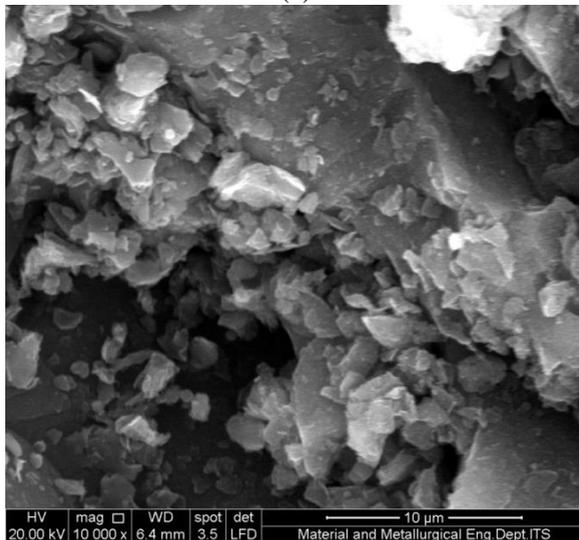


(b)

Gambar 4.4 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/ Grafit/MAH(3) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x

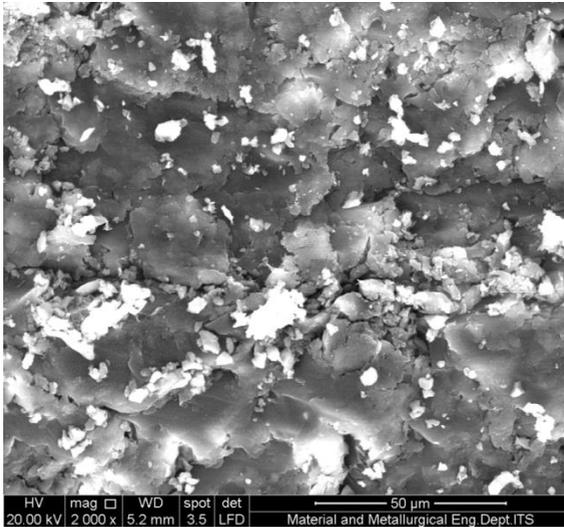


(a)

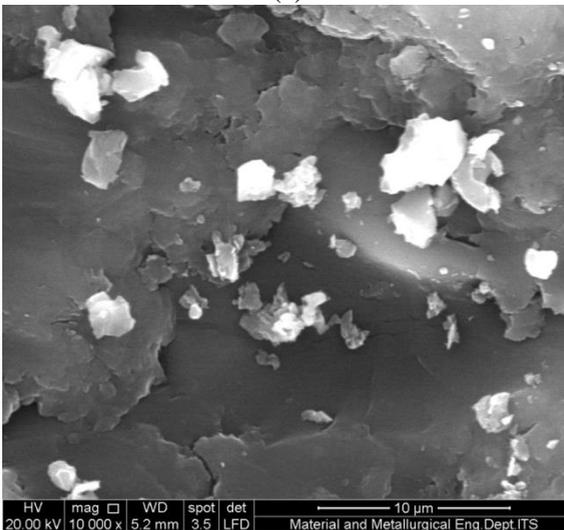


(b)

Gambar 4.5 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/
Grafit/MAH(6) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x

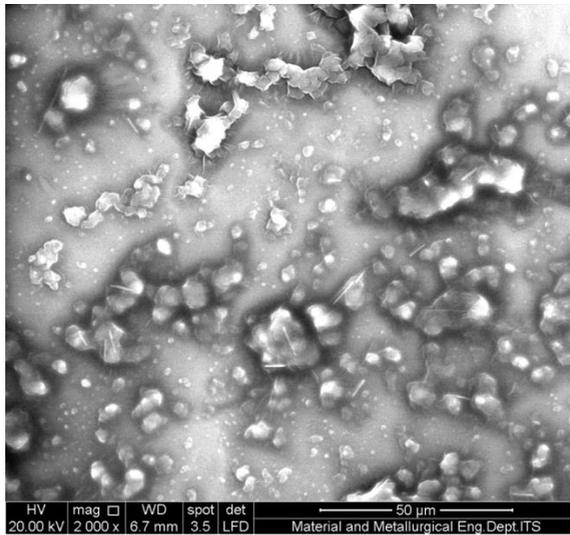


(a)

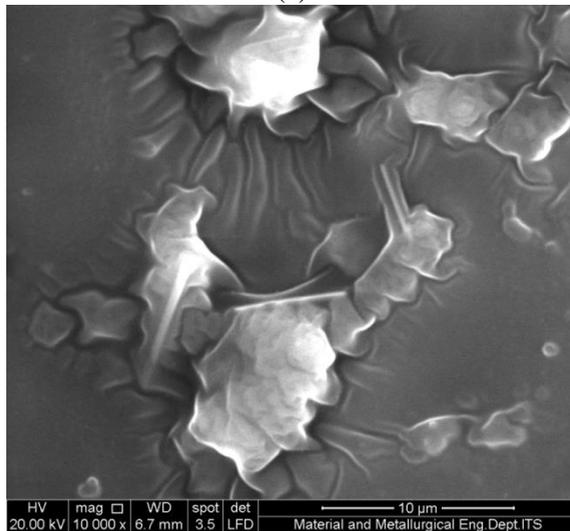


(b)

Gambar 4.6 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/
Grafit/MAH(9) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x

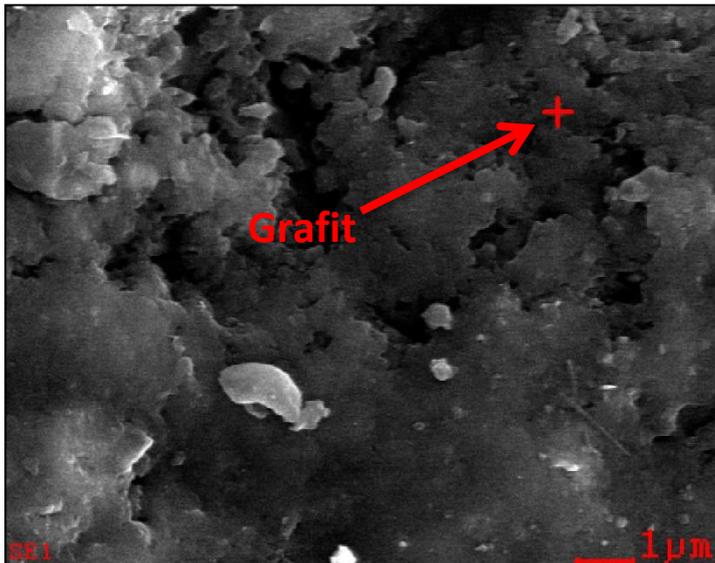
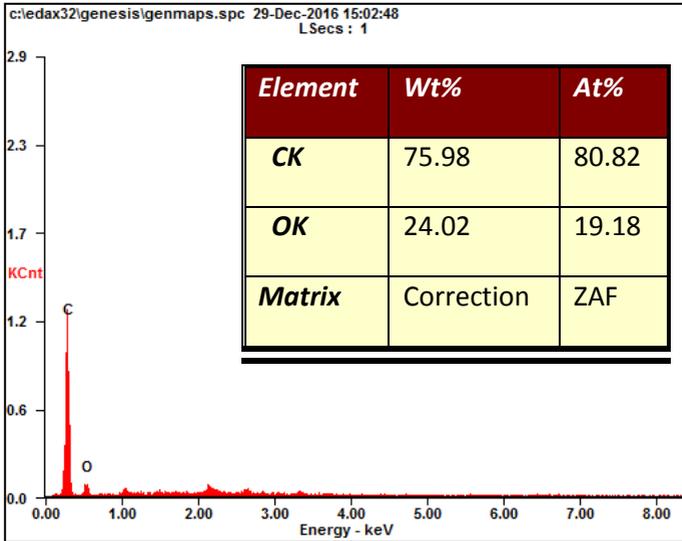


(a)

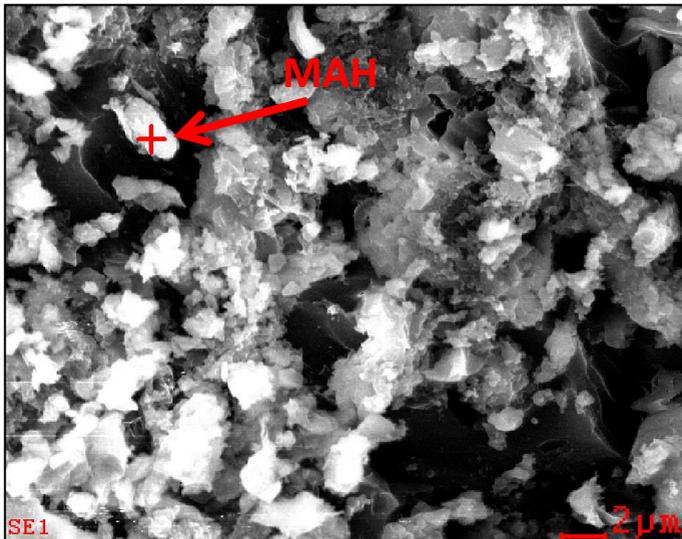
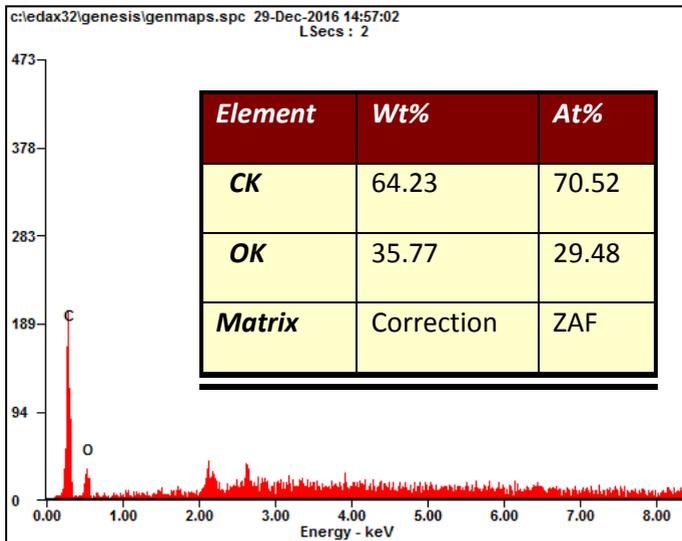


(b)

Gambar 4.7 Mikrogram SEM Material Komposit Epoksi/TEA/
Grafit/MAH(12) (a) Perbesaran 2000x (b) Perbesaran 10.000x



Gambar 4.8 Hasil EDX Grafrit pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafrit dengan komposisi 20% MAH



Gambar 4.9 Hasil EDX Anhydride pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH



4.3 Analisis Sifat Mekanik (Kekerasan) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Sifat mekanik dari suatu material penting untuk diketahui agar dapat mengaplikasikan material tersebut sesuai dengan sifat dan kebutuhannya. Pada penelitian tugas akhir ini, penambahan komposisi *Maleic Anhydride* pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit bertujuan untuk memperbaiki sifat dari masing-masing material penyusunnya, yaitu antara matriks dan pengisinya. Pencampuran tersebut juga diharapkan dapat mengoptimalkan sifat-sifat yang ada, selain harus memiliki sifat yang sesuai dengan aplikasinya. Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit ini adalah pengujian kekerasan. Hasil pengujian kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat dilihat pada Tabel 4.1. Penambahan *Maleic Anhydride* mengakibatkan peningkatan sifat kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.

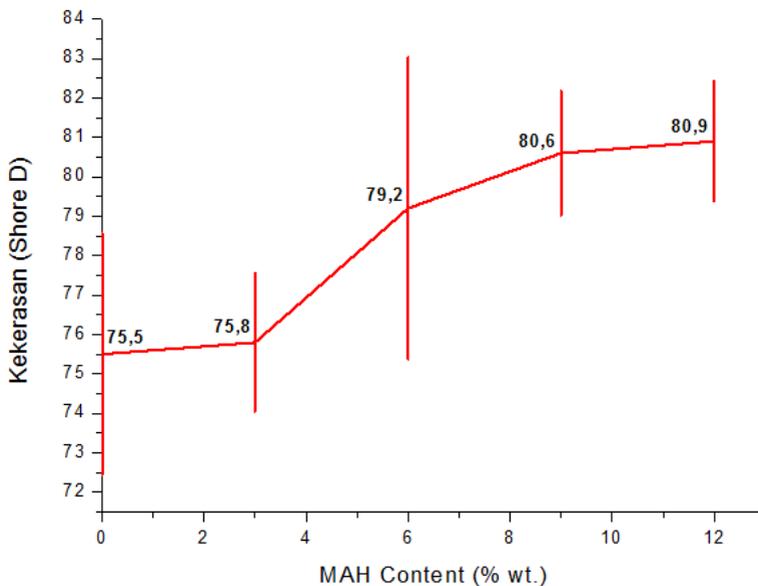
Pengujian kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dilakukan dengan menggunakan durometer metode shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 menggunakan indenter tipe shore D. Gambar 4.10 menunjukkan nilai kekerasan dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit yang semakin meningkat seiring dengan adanya penambahan *Maleic Anhydride* (MAH). Pengujian dilakukan pada 10 titik indentasi pada masing-masing spesimen, kemudian diambil nilai rata – rata dari hasil indentasi tersebut. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa spesimen Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 0% MAH memiliki kekerasan 75,5 Shore D. Kemudian, penambahan komposisi MAH menjadi 3% menaikkan sifat kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Namun tidak signifikan. Kekerasannya menjadi 75,8 Shore D. Selanjutnya, dengan penambahan komposisi MAH menjadi 6% dan 9% mengakibatkan sifat kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit mengalami kenaikan cukup signifikan,



yaitu menjadi 79,2 Shore D dan 80,6 Shore D secara berurutan. Sedangkan nilai kekerasan material dengan komposisi MAH sebanyak 12% tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Kekerasannya adalah sebesar 80,9 Shore D. Hasil ini relatif lebih tinggi dari pada pengujian sebelumnya oleh (Pandit, dkk., 2016) tentang *epoxy-polyester-graphite nanocomposites with modified aromatic amines* dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 77,3 dan 77,8 Shore D.

Peningkatan kekerasan terhadap Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit ini dikarenakan oleh peningkatan ikatan antar molekul pada matriks dan filler dengan penambahan komposisi dari *Maleic Anhydride* (MAH) yang berperan sebagai *Coupling Agent*. Penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) juga meningkatkan ikatan antara epoksi dengan reaksi gugus amin, dalam penelitian ini yaitu *triethylamine*. (Prakash dan Rajadurai, 2016).

Hasil pengujian kekerasan yang diperoleh pada penelitian Tugas Akhir ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya tentang epoksi/grafit oleh Pandit pada tahun 2016.



Gambar 4.10 Pengaruh Penambahan MAH terhadap nilai kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Tabel 4.1 Nilai Kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

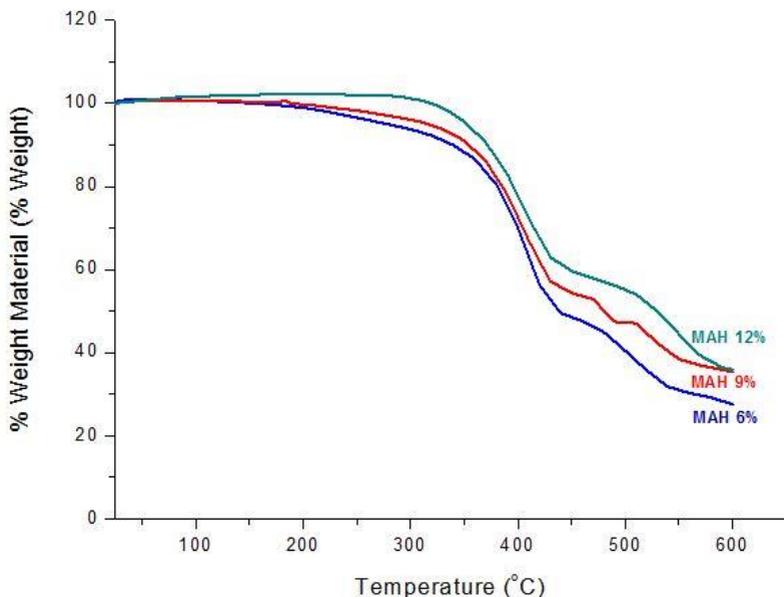
Material	Nilai Kekerasan (Shore D)	Deviasi
0% MAH	75,5	3,06
3% MAH	75,8	1,75
6% MAH	79,2	3,82
9% MAH	80,6	1,58
12% MAH	80,9	1,52

4.4 Analisis TGA (*Thermo-gravimetric Analysis*) Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Sifat stabilitas termal yang baik penting dimiliki oleh material yang diaplikasikan sebagai perangkat listrik dan yang



dialiri arus listrik. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan adalah uji TGA. Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit diuji TGA pada temperatur 25°C hingga temperatur 600°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Hasil dari pengujian TGA dapat dilihat pada gambar 4.11 Material komposit yang diuji pada uji TGA ini terdiri dari Grafit, campuran matriks Epoksi/TEA 80/20, Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi MAH 0%, 6%, 9% dan 12%. Sampel yang diuji mengalami proses pengurangan massa atau dekomposisi massa selama proses pemanasan. Kemudian pengurangan massa sampel ini diubah menjadi persentase pengurangan berat sampel (% berat). Temperatur awal dekomposisi material komposit yang diuji TGA dihitung ketika material mengalami dekomposisi massa sebesar 5% (Wang dan Qi, 2015). Hal ini dikarenakan oleh 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).



Gambar 4.11 Hasil uji TGA Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Hasil pengujian TGA yang diperoleh berupa kurva pengaruh peningkatan temperatur terhadap persen pengurangan massa sampel seperti pada Gambar 4.11. Stabilitas termal Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit meningkat seiring dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH). Temperatur awal dekomposisi Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi MAH sebesar 0%, 6%, 9% dan 12% secara berurutan, yaitu ; 280,4; 310,1 ; dan 350,4. Pengurangan massa yang terjadi pada material komposit ini disebabkan oleh penguapan kandungan moister dan pemutusan rantai (dekomposisi) oligomer (Park dkk., 2004). Dekomposisi dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit secara keseluruhan



terjadi pada temperatur yang lebih tinggi karena struktur dari grafit yang berperan sebagai *filler* dapat menyerap bagian panas yang diterima, sehingga dapat meningkatkan sifat ketahanan atau stabilitas termal Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Dengan penambahan grafit pada material komposit ini dapat mencegah difusi dekomposisi dari matriks polimer menjadi fase gas.

Tabel 4.2 Hasil Uji TGA Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Material	Temperatur Degradasi 5% massa (°C)	Temperatur Degradasi 10% massa (°C)	Persentase Massa pada 600°C (%)
Grafit	900	900	104
6% MAH	280,4	340,4	27,54
9% MAH	310,1	355	35,38
12% MAH	350,4	370	35,9

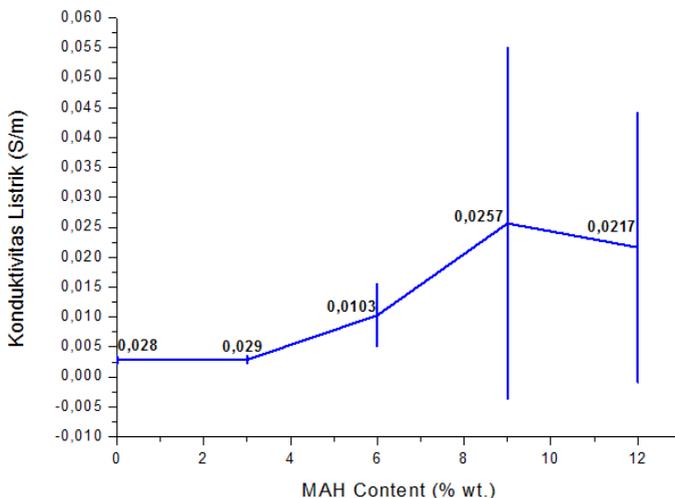
Hasil pengujian TGA yang diperoleh lebih lanjut dapat dilihat bahwa persentase sisa massa pada temperatur 600°C untuk campuran matriks Epoksi/TEA (80/20) adalah dan 104% untuk filler grafit karena bereaksi dengan lingkungan selama pemanasan. Sedangkan, material komposit dengan komposisi 6%, 9%, dan 12% MAH, yaitu sebesar 27,54%; 35,38%; 35,9%. Sehingga, sifat stabilitas termal yang paling bagus ditunjukkan pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi MAH sebesar 12% dengan sisa persentase massa pada temperatur 600°C sebesar 35,9%. Dapat disimpulkan bahwa, penambahan komposisi MAH pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat meningkatkan sifat stabilitas termal material komposit tersebut.

Hasil pengujian termal yang diperoleh pada penelitian Tugas Akhir ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya tentang epoksi/grafit oleh Pandit pada tahun 2016.



4.5 Analisis Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Sifat konduktivitas listrik merupakan sifat yang penting untuk dianalisis pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Pengaplikasian dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat pelapis (cat) konduktif komposit membuat sifat konduktivitas listrik menjadi sifat yang penting untuk dimiliki material komposit ini. Hasil pengujian konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hasil pengujian resistivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit diperoleh dengan melakukan pengujian menggunakan alat *Insulation Tester* merk SANWA. Kemudian, data yang diperoleh dikonversi menjadi nilai resistivitas listrik spesifik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit, dan selanjutnya hasil tersebut dikonversikan menjadi nilai konduktivitas listrik spesifik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.



Gambar 4.12 Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit



Tabel 4.3. Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Materi al	Resistivitas Listrik (R1) (Ω)	Resistivitas Listrik (R2) (Ω)	Resistivitas Listrik (R3) (Ω)	Resistivitas Listrik Rata-rata (Ω)	Resistivitas Listrik Sepsifik (ρ) ($\Omega.m$)	Konduktivitas Listrik Spesifik (σ) (S/m)
Epoksi/TEA (80/20)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0
0% MAH	51.000	38.000	32.000	40.333,33	364,44	0,0028
3% MAH	52.000	35.000	33.000	40.000	361,43	0,0029
6% MAH	32.000	11.000	18.000	20.333,33	116,92	0,0103
9% MAH	19.000	3.000	22.000	14.666,67	82,13	0,0257
12% MAH	23.000	21.000	4.000	16.000	84	0.0217

Metode perhitungan resistivitas dan konduktivitas listrik pada material komposit ini adalah metode pengukuran resistivitas bulk. Berdasarkan analisis dari data yang diperoleh, penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) berpengaruh terhadap konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Tren nilai konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit naik seiring dengan penambahan komposisi MAH. Kenaikan yang cukup signifikan didapatkan pada komposisi MAH sebesar 6% dan 9%. Hal ini diasumsikan dengan bertambahnya komposisi MAH akan



memperbanyak *network* pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Sehingga aliran listrik dan elektron dapat bergerak lebih mudah dengan kata lain nilai resistivitasnya menurun (Pandit, dkk., 2016). Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit optimal pada komposisi MAH sebesar 9%, yaitu sebesar 0,0257 S/m.

Nilai resistivitas material pada material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit yang didapatkan pada spesimen yang diuji terdapat simpangan yang cukup jauh. Hal ini dikarenakan oleh penyebaran grafit yang tidak merata. Ini juga dapat dilihat pada hasil mikrograf SEM.

Hasil pengujian konduktivitas listrik yang diperoleh pada penelitian Tugas Akhir ini masih lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya tentang epoksi/grafit oleh Pandit pada tahun 2016.



Gambar 4.13 Pengujian Resistivitas Listrik Material Metode *Dual Probe*



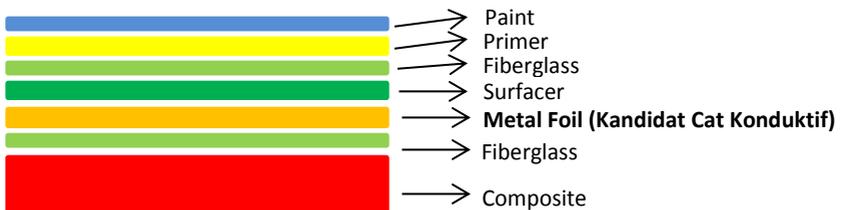
4.6 Mekanisme Fabrikasi Pelapis (Cat) Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang

Komposit konduktif diperlukan pada konstruksi pesawat terbang. Komposit konduktif berfungsi untuk mengalirkan beban listrik yang didapatkan dari dan ke lingkungan (sambaran petir). Sehingga, pesawat terbang tidak mengalami kerusakan akibat petir yang terdapat pada saat pesawat berada pada ketinggian.



Gambar 4.14 Skema proses pembuatan cat

Pelapis (cat) komposit konduktif dipasang pada bagian lapisan logam sebagai komplementer lapisan logam. Cara pengaplikasian pelapis (cat) komposit konduktif pada pesawat terbang dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan pengecatan (kuas atau semprot), dan menggunakan plat/layer. Hasil produk ini menggunakan metode pengecatan. Metodenya dapat dilakukan dengan pengecatan dengan kuas ataupun disemprot.



Gambar 4.15 Lapisan pada badan pesawat terbang



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pencampuran Epoksi, *Triethyl Amine* (TEA), *Maleic Anhydride* (MAH), dan Grafit dengan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12% dari massa total material komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit, dan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sifat mekanik (kekerasan) dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit meningkat seiring dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH). Sifat mekanik (kekerasan) yang paling tinggi didapatkan pada komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) sebesar 12% dari massa total, yaitu sebesar 80,9 Shore D.

2. Stabilitas termal dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit relatif meningkat seiring dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH). Stabilitas termal yang paling baik didapatkan pada penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) sebesar 12% dari massa total.

3. Konduktivitas listrik dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit relatif meningkat seiring dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH). Konduktivitas listrik yang paling tinggi didapatkan pada komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) sebesar 9% dari massa total, yaitu sebesar 0,0257 S/m.

5.2 Saran

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

1. Menggunakan sistem vakum yang lebih optimal untuk mengurangi kemungkinan terjadinya porositas .
2. Menggunakan ukuran serbuk campuran yang homogen.
3. Bagian spesimen yang diuji usahakan mendekati homogen

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Acebo, C., 2015. New anhydride/epoxy thermosets based on diglycidyl ether of bisphenol A and 10-undecenoyl modified poly(ethyleneimine) with improved impact resistance. *Elsevier*, Volume 85, pp. 52-59.
- Andrews, S., 2013. *Aircraft Paint Application Manual*. USA: Products Techniques, Inc. .
- Augustsson, C., 2004. *Nm Epoxy Handbook*. 3rd penyunt. Ytterby: Nils Malmgren AB.
- Baptista, R. dkk. , 2016. Effect of high graphitr filler contents on mechanical and tribiological failure behavior of epoxy matrix composites. *Elsevier*, Volume 85, pp. 113-124.
- Barbosa, A. P. C. & dkk., 2017. Accelerated aging effects on carbon fiber-epoxy composites. Elseiver, Volume 110, pp. 298-306.
- Battelle Staff, 2015. *About Us: Inside Battelle*. [Online] Available at: <http://inside.battelle.org/defense/how-conductive-coatings-are-changing-aviation> [Diakses 12 Desember 2016].
- Black, S., 2016. *About Us: Composites World*. [Online] Available at: <http://www.compositesworld.com/articles/lightning-strike-protection-strategies-for-composite-aircraft> [Diakses 24 November 2016].
- Castillo, S. C., 2011. *Water and Surfactant Flooding at Different Wettability Conditions*, Stavanger: University od Stavanger.
- Chandrasekaran, S. & Christian Seidel, C. S., 2013. Preparation and characteriazion of graphite nanoplatelet (GNP)/epoxy nano-composite: Mechanical,electrical, and thermal properties. Elsevier, 49(Macromolecular Nanotechnology), pp.

- 3878-3888.
- Chung, D. D. L., 2002. Review Graphite. *Jpurnal of Materials Science*, 19(37), pp. 1-15.
- Dexmet Corporation, 2016. *About Us: Dexmet Corporation*. [Online] Available at: <http://www.dexmet.com/technology/> [Diakses 23 November 2016].
- Elimat, Z., 2015. AC-impedance and dielectric properties of hybrid polymer composites. *Journal Of Composite Materials*, 49(1), pp. 3-15.
- Gantayat, S. & dkk., 2017. Design of carbon nanofiber embedded conducting epoxy resin. *Elseiver*, Volume 186, pp. 29-35.
- Gantayat, S. dkk., 2015. Expanded graphite as a filler for epoxy matrix composites to improve their thermal, mechanical and electrical properties. *Chinese language journal*, 5(30), pp. 432-437.
- Gu, J. & dkk., 2016. Functionalized graphite nanoplatelets/epoxy resin nanocomposites with high thermal conductivity. *Elseiver*, Volume 92, pp. 15-22.
- Kahrizsang, A. G. & dkk., 2015. Degradation of modified carbon black-epoxy nanocomposite coatings under ultraviolet exposure. *Elseiver*, Volume 353, pp. 530-539.
- Kopeliovich, D. D., 2014. *About Us: SubsTech*. [Online] Available at: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=classification_of_paints [Diakses 1 Januari 2017].
- Lee, M.-w. & Tai-Yuan Wang, J.-L. T., 2016. Characterizing the interfacial shear strength of graphite/epoxy composites containing functionalized graphene. *Elsevier*, Volume 98, pp. 308-313.
- Lord, 2012. *About Us: Lord*. [Online] Available at: <http://www.lord.com/products-and->

solutions/brands/ultraconductive

[Diakses 12 Desember 2016].

- Lukez, R., t.thn. *The Use Of Graphite/Epoxy Composite Structures in Space Applications*, Utah: Mortol Thiokol Inc..
- Mohebbi, B., Moghadam, . P. F., Ghotbifar, A. R. & Najafi, S. K., 2011. Influence of Maleic-Anhydride-Polypropylene (MAPP) on Wettability of Polypropylene/Wood Flour/Glass Fiber Hybrid Composites. *J. Agr. Sci. Tech.*, Volume 13, pp. 877-884.
- Pandit, J. A. & dkk., 2016. Electrically conductive epoxy-polyester-graphite nanocomposites modified with aromatic amines. *Elsevier*, Volume 104, pp. 49-60.
- Parker Chomerics, 2012. *About Us: Parker Chomerics*. [Online]
Available at:
<https://chomerics.com/products/emi/coatings/index.html> [Diakses 6 Desember 2016].
- Pascault, J.-P., Sautereau, H., Verdu, J. & Williams, R. J. J., 2002. *Thermosetting Polymers*. 1st penyunt. New York: Marcel Dekker, Inc..
- Pavoski, G. dkk., 2015. Polyethylene/reduced graphite oxide nanocomposites with improved morphology and conductivity. *Elsevier*, Volume 81, pp. 79-86.
- Rhodes, P. S., t.thn. *Advances In Anhydride Epoxy Systems*. New York, Broadview Technologies Inc..
- Segui, J., 2016. *About Us: Comsol*. [Online]
Available at:
<https://www.comsol.com/blogs/protecting-aircraft-composites-from-lightning-strike-damage/>
[Diakses 23 November 2016].
- Stock, B., 2005. *Phthalic Anhydride*, Paris: UNEP

Publications.

- Tomuta, A. dkk., 2012. New aromatic-aliphatic hyperbranched polyester with vinylic end groups of different length as modifiers of epoxy/anhydride thermosets. *Elsevier*, Volume 72, pp. 556-563.
- V.R., A. p. & A., R., 2016. Thermo-mechanical characterization of siliconized E-glass fiber/hematite particles reinforced epoxy resin hybrid composite. *Elsevier*, Volume 384, pp. 99-106.
- Wang, Z. & dkk., 2015. Thermal Conductivity Improvement of Epoxy Composite Filled with Expanded Graphite. *Elsevier*, Volume 41, pp. 13541-13546.
- Yumi Kwon, B.-S. Y. J.-M. K. J. K., 2011. Mechanical and Wetting Properties of Epoxy Resins : Amine-containing Epoxy-terminated Siloxane Oligomer with or without Reductant. *Elsevier*, Volume 51, pp. 819-825.
- Zakaria, M. Y. & dkk., 2015. Effect of the addition of milled carbon fiber as a secondary filler on the electrical conductivity of graphite/epoxy composites for electrical conductive material. *Elsevier*, Volume 83, pp. 75-80.

BIODATA PENULIS



Arief Rizaldi Prasetya lahir di Payakumbuh, Sumatera Barat pada tanggal 25 Juni 1995. Penulis merupakan putra sulung Bapak Darfizal, S.E., M.Si. dan Ibu Rosnidel, S.Pt dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Batusangkar, SD Negeri 06 Kampung Baru, Batusangkar, SMP Negeri 5 Batusangkar dan SMA Negeri 3 Batusangkar. Setelah itu melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2013.

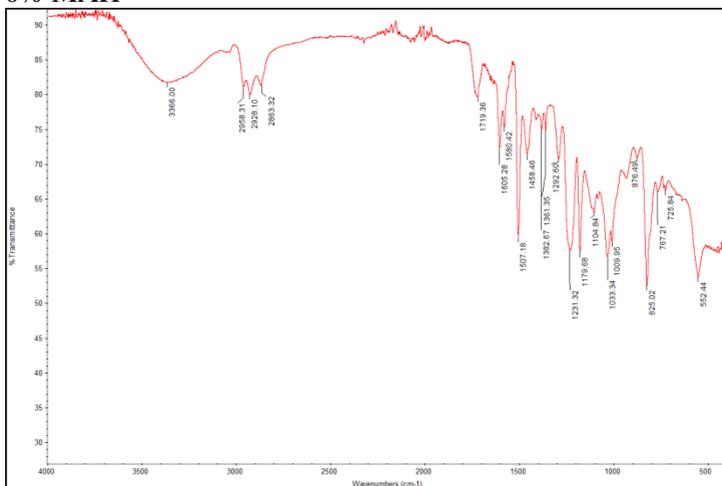
Selama berkuliah di ITS, penulis juga aktif di kegiatan ekstrakurikuler, diantaranya di Himpunan Mahasiswa Teknik Material Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Wakil Eksternal Ketua Himpunan (2015-2016), di Komunitas *Young On Top* (YOT) Surabaya sebagai Presiden (2015-2016). Prestasi yang pernah diraih penulis adalah PKM-P dan PKM-K didanai oleh DIKTI pada tahun 2015, peraih *One Semester Scholarship Program* di *International School of Engineering* Jurusan *Nanoengineering* di *Chulalongkorn University* pada tahun 2017.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti penulis yaitu menjalankan usaha Bimbel Bintang Kelas Course, kerja praktik di Satuan Kerja *Research, Business and Development* PT. ANTAM, Tbk. UBPP Logam Mulia, pada bulan Agustus hingga September 2016. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten Laboratorium Fisika Material, Teknik Material dan Metalurgi ITS. Serta, menjadi tentor mata pelajaran Fisika, Kalkulus, dan Kimia untuk siswa SMA hingga mahasiswa tahun pertama di Lembaga Bimbingan Belajar Zenius dari bulan November hingga Desember 2016. Penulis dapat dihubungi melalui email: ariefrizaldiprasetya@gmail.com

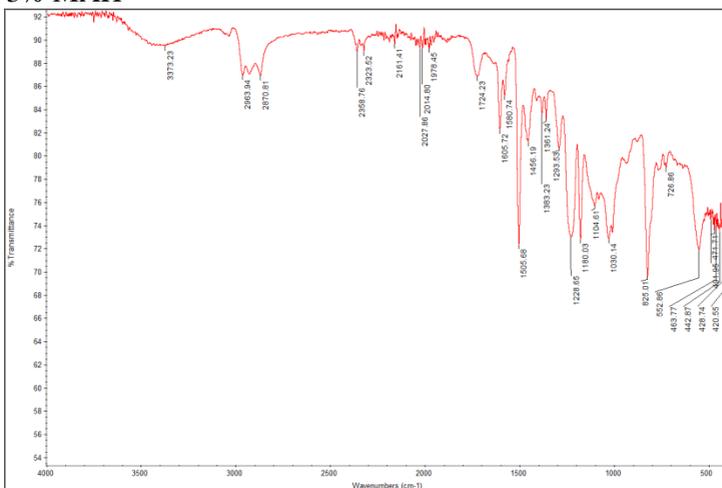
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data Pengujian FTIR

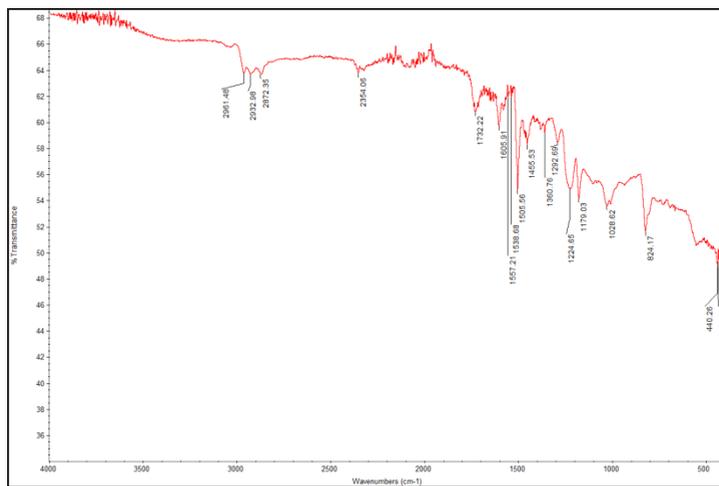
a. 0% MAH



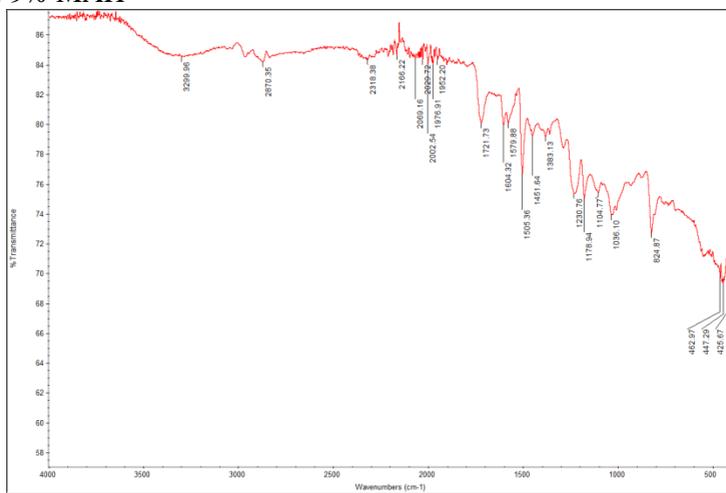
b. 3% MAH



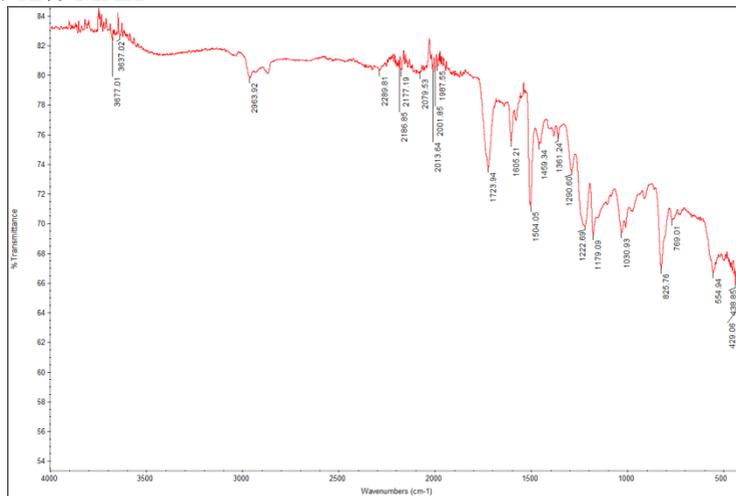
c. 6% MAH



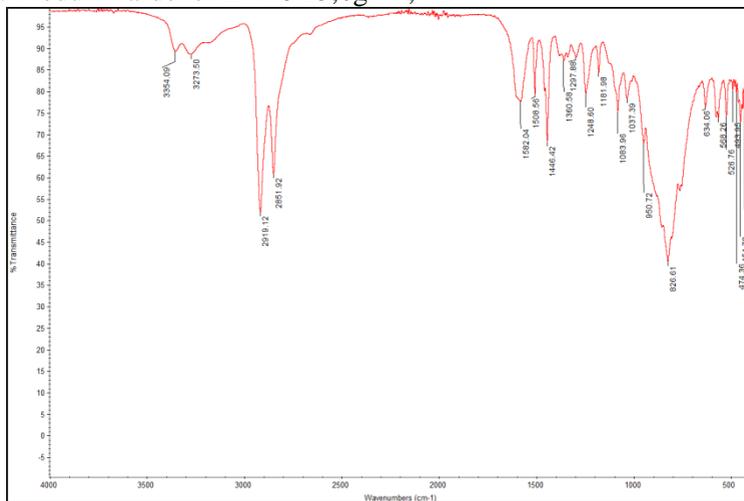
d. 9% MAH



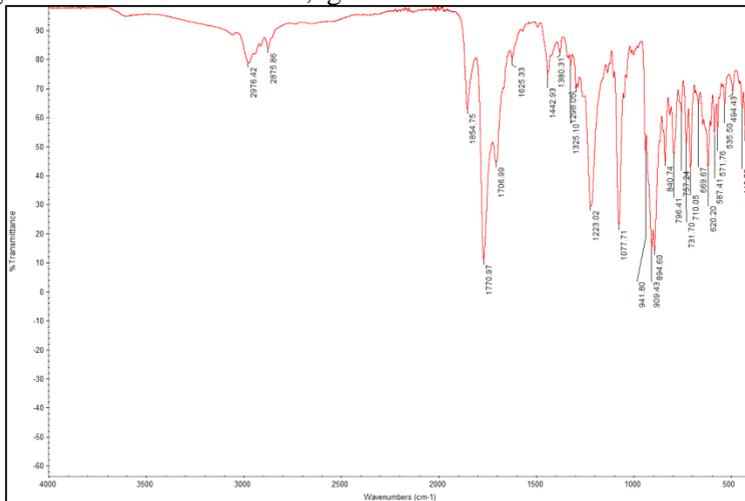
e. 12% MAH



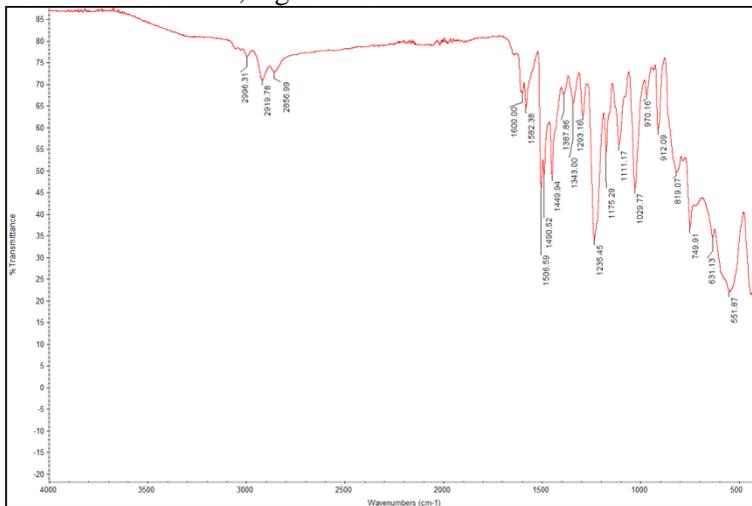
f. Produk Hardener L-128 23,6gr 1 ; 12



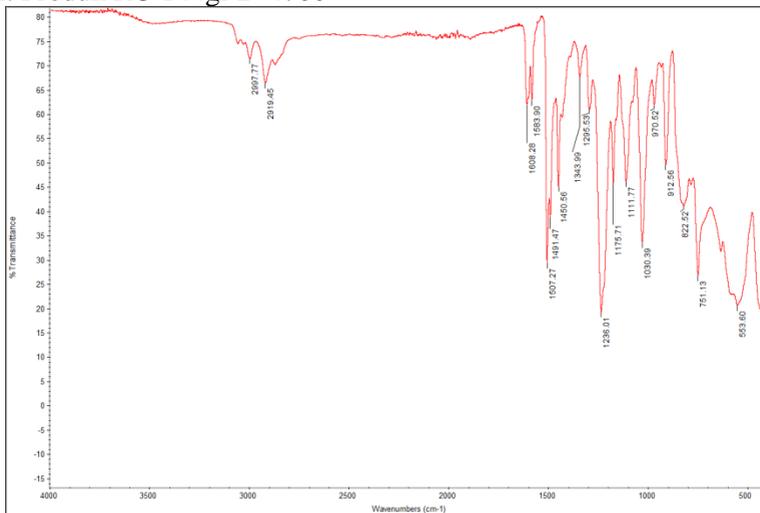
g. Produk Hardener RU 83,3gr D-4700



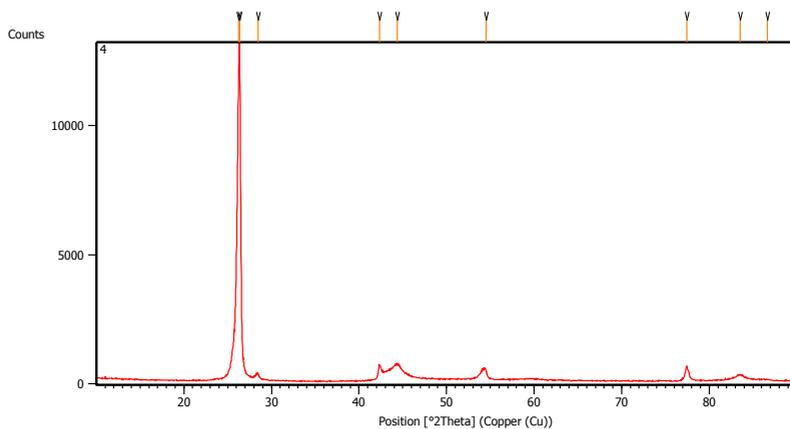
h. Produk L-128 175,75gr D-4525



i. Produk RU 144gr D-4700



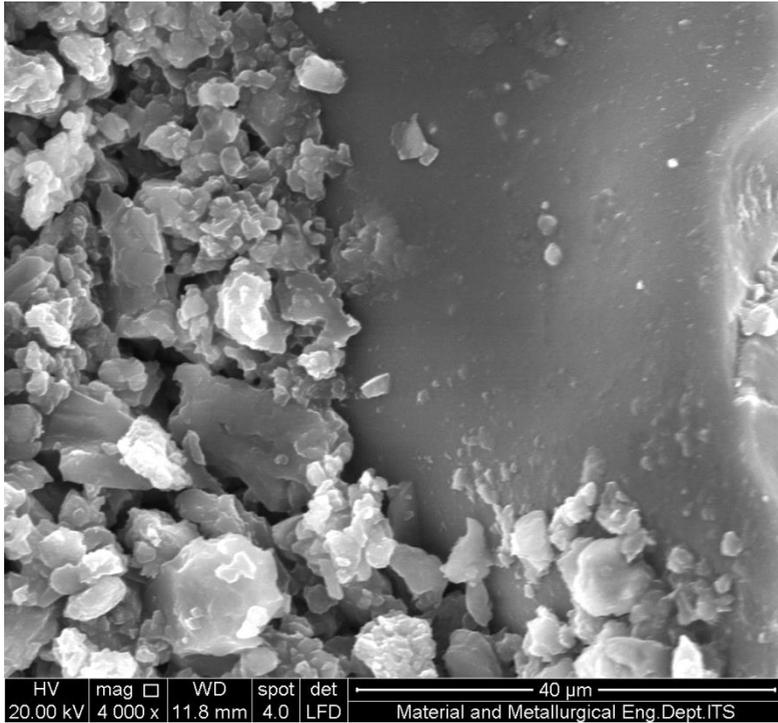
Lampiran 2 : Hasil XRD Grafit



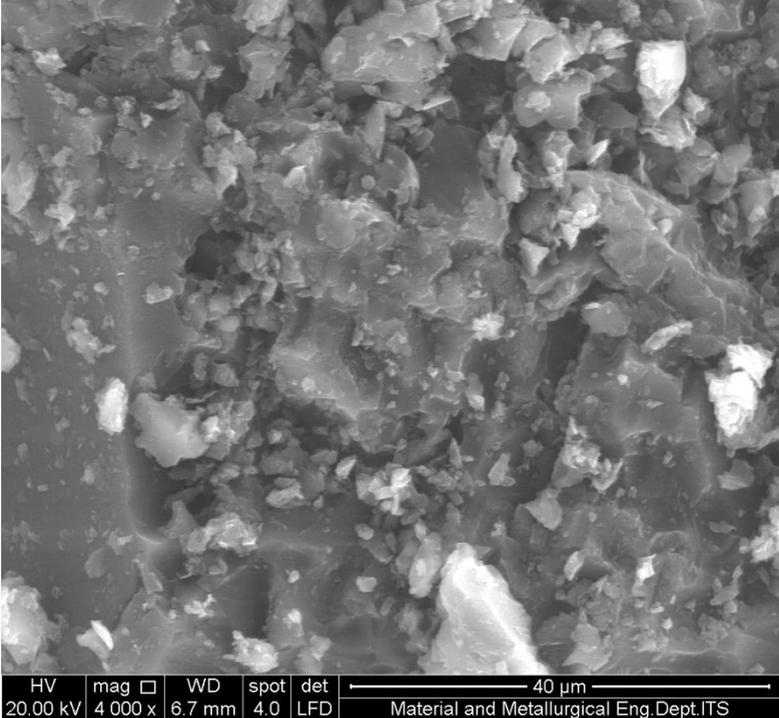
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.2199	10713.7	0.0669	3.39888	89.79
	0			
26.4073	11931.5	0.2175	3.37519	100.00
	9			
28.4497	197.38	0.2342	3.13736	1.65
42.3236	530.39	0.0669	2.13554	4.45
44.3809	526.52	0.7360	2.04121	4.41
54.5038	349.35	0.1338	1.68362	2.93
77.4279	571.02	0.1840	1.23265	4.79
83.5045	176.54	0.6022	1.15772	1.48
86.6513	26.64	0.4015	1.12358	0.22

Lampiran 3 : Hasil SEM dan EDX

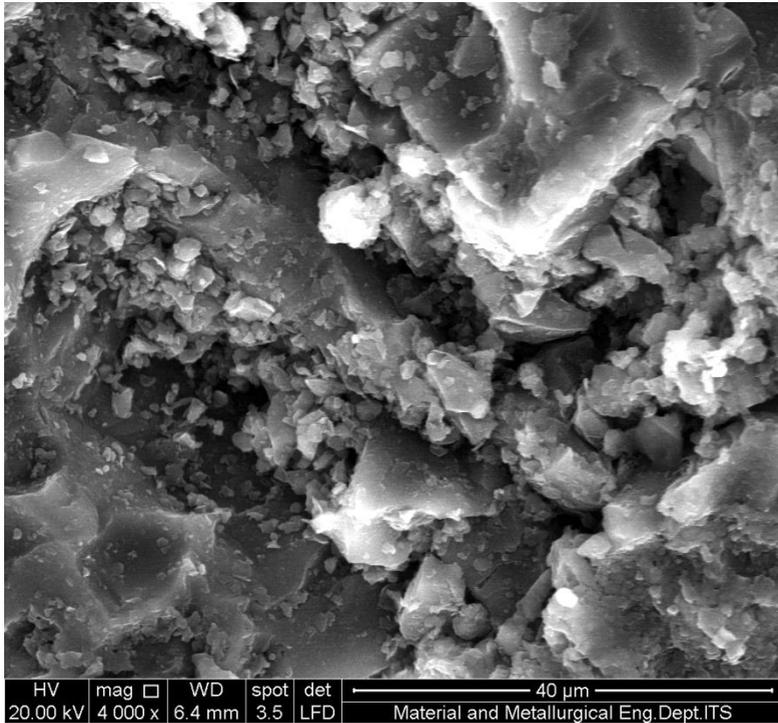
a. 0% MAH Perbesaran 4000x



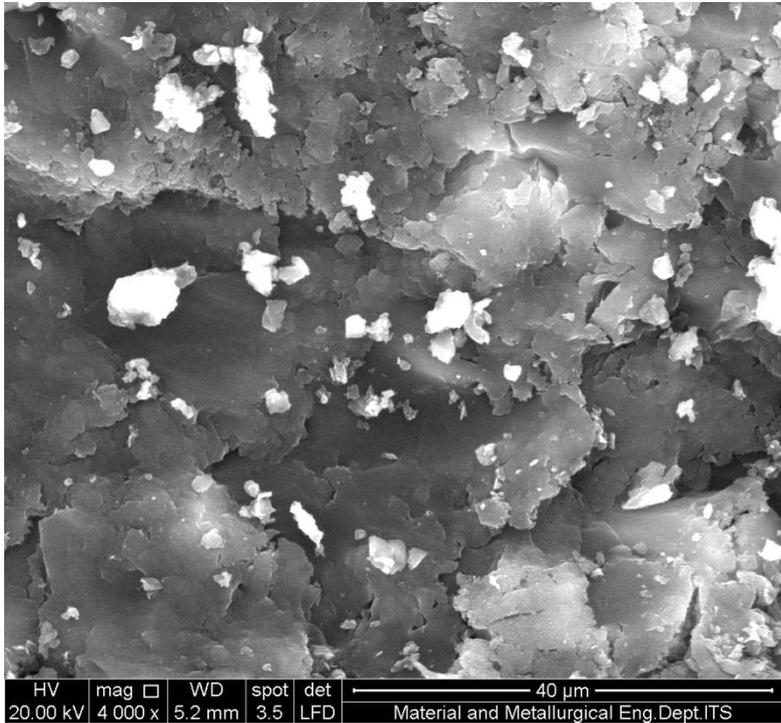
b. 3% MAH Perbesaran 4000x



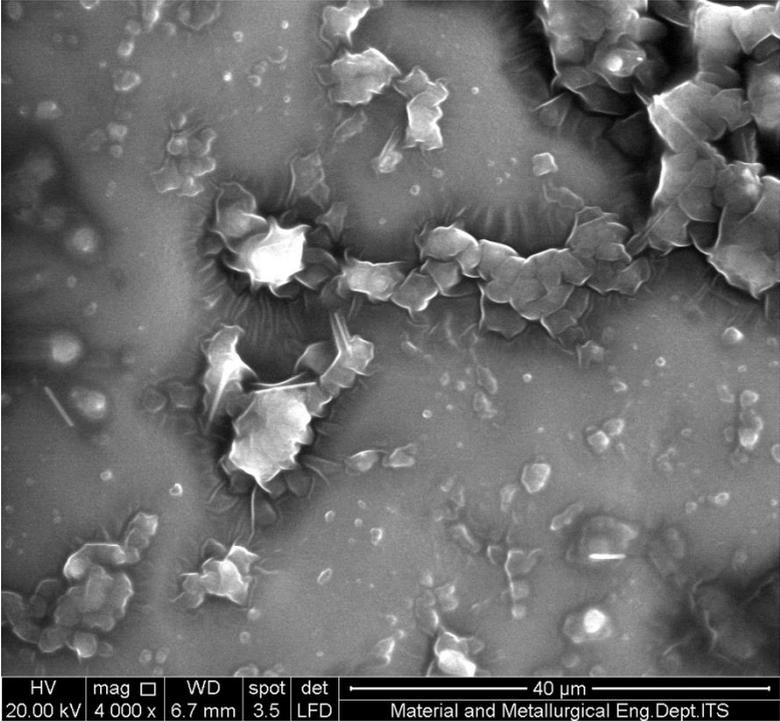
c. 6% MAH Perbesaran 4000x



d. 9% MAH Perbesaran 4000x



e. 12% MAH Perbesaran 4000x



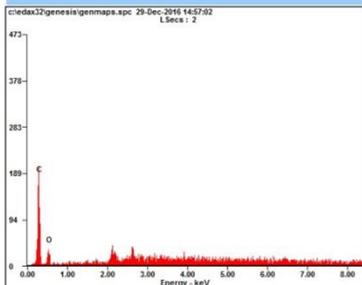
f. EDX 12% MAH

Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

12/29/2016



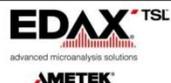
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	64.23	70.52
<i>OK</i>	35.77	29.48
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



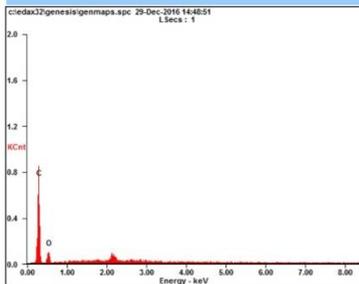
Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

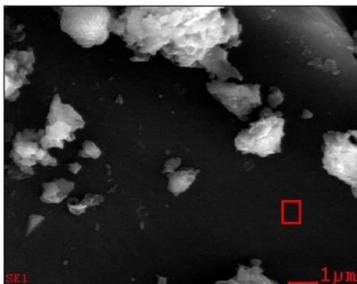
Prepared by: *Your Name Here*



12/29/2016



Element	Wt%	At%
CK	66.45	72.51
OK	33.55	27.49
Matrix	Correction	ZAF

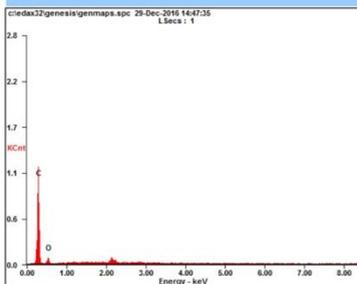


Microanalysis Report

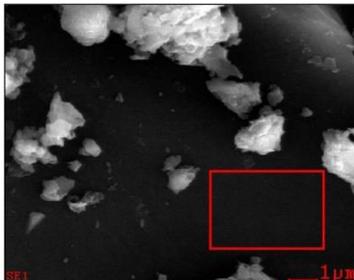
Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

12/29/2016



Element	Wt%	At%
CK	75.66	80.55
OK	24.34	19.45
Matrix	Correction	ZAF

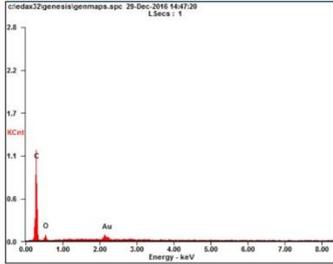
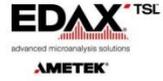


Microanalysis Report

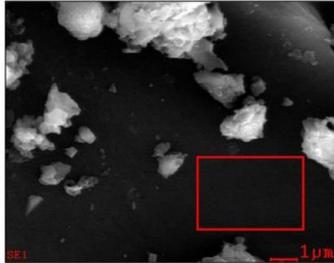
Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

12/29/2016



Element	Wt%	At%
CK	70.59	84.16
OK	16.66	14.92
AuM	12.75	00.93
Matrix	Correction	ZAF



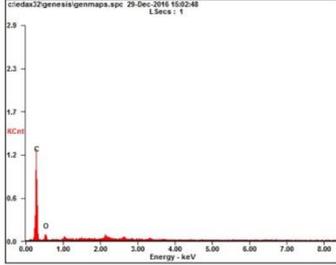
Microanalysis Report



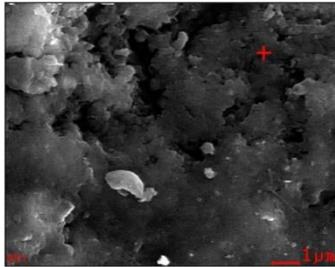
Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

12/29/2016



Element	Wt%	At%
CK	75.98	80.82
OK	24.02	19.18
Matrix	Correction	ZAF



Lampiran 4 : Hasil Uji Hardness

Pengujian ke-	0% MAH	3% MAH	6% MAH	9% MAH	12% MAH
1	74	78	83	79	79
2	72	77	81	80	82
3	77	78	82	81	80
4	76	76	79	79	83
5	71	75	72	82	83
6	74	76	80	83	80
7	81	74	83	83	82
8	78	74	80	80	81
9	78	73	73	80	80
10	74	77	79	79	79
Rata-rata Kekerasan	75,5	75,8	79,2	80,6	80,9

Lampiran 5 : Produk Komposit dan Cat Komposit Komersil

a. CHO-SHIELD-4994_4998_TB

CHO-SHIELD® 4994

ELECTRICALLY CONDUCTIVE SILVER POLYURETHANE COATING FOR AIRFRAMES



Customer Value Proposition:

CHO-SHIELD® 4994 is a smooth, highly conductive flexible silver-filled polyurethane coating designed for military/aerospace airframe applications.

The coating provides superior adhesion, excellent solvent rub and wear resistance, and is resistant to numerous operational and environmental fluids.

CHO-SHIELD 4994 can be applied to aluminum as well as non-conductive substrates and is designed to be used with primers and with external topcoat systems.

Application

Clean the substrate:

The substrate should be clean, dry and free of oils, release agents, dirt and lint. Clean aluminum surfaces with methyl ethyl ketone (MEK) or isopropyl alcohol / ethanol for solvent sensitive substrates. Let the substrate air dry for 15 minutes

Mix the material:

Mix the CHO-SHIELD 4994 coating in this order: Combine Part C and Part D to Part A using the weight ratios given in Table 1 and mix. Shake on a paint shaker until uniformly dispersed, which can take up to 30 minutes depending on the type of paint shaker. Do not shake the paint so much that it gets warm or hot. Check for the homogeneity of the mixture by feeling the sides and bottom of the container with a spatula to assure all the filler and resin are well dispersed.

Add the Part B using the weight ratios given in Table 1 and shake / mix for an additional 3 minutes.



Product Features:

- Superior conductivity, flexibility and fluid resistance.
- CHO-SHIELD 4994: 3 hour pot life with 7 day full cure under ambient conditions.
- Coating can be cured under heat accelerated conditions within 4 hours.
- Designed for application by standard high volume low pressure spray equipment.

Contact Information:

Parker Hannifin Corporation
Chomerics Division
77 Dragon Court
Woburn, MA 01801

phone 781 935 4850
fax 781 933 4318
chomailbox@parker.com

www.chomerics.com
www.parker.com/chomerics



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

CHO-SHIELD 4994 - Product Information

Table 1

Typical Properties	Method**	CHO-SHIELD® 4994 Typical Values
Resin	-	Polyurethane
Filler	-	Silver
Color	-	Metallic Light Brown
Shielding Effectiveness	Modified Chomerics TP-08 (Q)	> 85 dB [200 - 10,000 MHz]
Surface Resistance (max.) at 3 mil	CEPS-0002 (Q/C)	< .075 ohms / square
Adhesion	ASTM D3359 (Q/C)	5B
Specific Gravity	[ASTM D792]	2.3 g/mL
Mix Ratio by Weight	-	[Part A : Part B : Part C : Part D] 100 : 18.3 : 1.4 : 20.9
Recommended Cure Schedules	-	Cure Cycle Option 1: 2 Hours @ Standard Conditions + 2 hrs @ 54°C [130°F] Cure Cycle Option 2: 7 Days @ Standard Conditions 16-21°C [60-70°F] 40-60% RH
Recommended Dry Film Thickness (DFT)	-	3.00 - 4.00 mil
Continuous Use Temperature	(Q)	-40°C to 85°C (-40°F to + 185°F)
Shelf Life at 70°F [21°C]	(Q)	6 Months From Date of Manufacture
Theoretical coverage , 3 mils	ASTM D2697 (Q)	0.030 ft ² /gram; 0.0028m ² /gram; 259 ft ² /gallon
Calculated VOC [Less H ₂ O and Exempt Solvents]	USEPA Method 24 (Q)	596 g/L
Wet Density	ASTM D1475 (Q/C)	2.1 (g/cc)
Pot Life	ASTM D4212 (Q/C)	3.0 Hours
Solvent Rub Resistance	CHO-TM 95-40-6013 (Q/C)	Pass
Wear Resistance (Taber)	ASTM D4060 (Q)	Wear Index: 0.160 (mg/cycle); Wear Cycles per mil: 1000
Pencil Hardness	ASTM D3363 (Q)	Scratch : 4H; Gouge: 2H
Impact Testing, Aluminum	ASTM D2794 (Q)	Intrusion: >75 (ft/lb) / Extrusion: >75 (ft/lb)
Mandrel Bend, Aluminum	ASTM D522 - Test Method B (Q)	> 500%
Conical Bend, Aluminum	ASTM D522 - Test Method A (Q)	Elongation: > 32.0% / Cracking: No Evidence
Surface Resistance, Aluminum	CEPS-0002 (Q)	185°F 14 days; -40°F 14 days; 185°F 85%RH 30 Days: < .075 (Ω/Sq.)
Cross Hatch Adhesion, Aluminum	ASTM D3359 (Q)	5B
Visual Inspection, Aluminum	(Q)	Pass
Surface Resistance, Aluminum and Composite	CEPS-0002 (Q)	MIL-T-5624 JP-8 14 Days @ 72°F; MIL-H-5606 Hydraulic Fluid 7 Days @ 160°F; MIL-L-7808 Lubricating Oil 7 Days @ 160°F: < .075 (Ω/Sq.)
Cross Hatch Adhesion, Aluminum and Composite	CHO-TM 95-40-6013 (Q)	Pass
Visual Inspection, Aluminum and Composite	Q	Pass

Notes: N/A - Not Applicable, (Q/C) - Qualification and Conformance Test, (Q) - Qualification Test, the above properties are based on Cure Cycle 1.

Ordering Information

Product	Weight (grams)	Packaging	Chomerics Part No.	Primer Included
CHO-SHIELD® 4994	1802	4 component, 1 quart aluminum can kit	52-04-4994-1000	Not Required
	7210	4 component, 1 gallon aluminum can kit	52-03-4994-1000	Not Required

The user, through its own analysis and testing, is solely responsible for making the final selection of the system and components and assuring that all performance, endurance, maintenance, safety and warning requirements of the application are met. The user must analyze all aspects of the application, follow applicable industry standards, and follow the information concerning the product in the current product catalog and in any other materials provided from Parker or its subsidiaries or authorized distributors.

www.chomerics.com
www.parker.com/chomerics

CHOMERICS and CHO-SHIELD are registered trademarks of Parker Hannifin Corporation. © 2007-2013

TB 1032 EN July 2013 Rev A



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

b. Duralco 4525

500°F Electrically Resistant Epoxy Cures at Room Temp. To Bond, Pot, Seal, Protect

Duralco™ 4525

Easy To Use

Just mix and apply. Cures at Room Temp.

No volatiles. No solvents. No out-gassing.

Duralco 4525 will cure at room temperature to provide, high bond strength, high temperature stability, low shrinkage, excellent chemical, electrical and radiation resistance, and low moisture absorption.

Users Report: Duralco 4525 maintains its high electrical resistance over long periods of time, and has the lowest moisture absorption, when compared to 25 commercial Epoxies.

Duralco 4525 received "UL" approval for this application.

Duralco 4525 is ideal for high performance bonding, potting, sealing, repairs, castings and jigs. Forms protective coatings. Found in electronics, appliances, instrumentation, motors, equipment, etc.

Maximum Temp	500°F
Density gm/cc	1.9
Hardness Shore 'D'	90
Tensile Strength psi	10,000
Thermal Conductivity*	13
Thermal Expansion 10^{-5} /°C	3.3
Dielectric Strength Volts / Mil.	450
Volume Resistivity ohm-cm	10^{15}
Heat Distortion °C	210
Viscosity cps	25,000
Dissipation Factor 1/ MHz	0.01
Dielectric Constant 1/ MHz	3.5
Elongation	2%
Thermal Stability	
1000 hr. @ 200°C	0.05
Shrinkage % max.	0.2
Moisture Absorption 30 Days	0.05%
Cure Hr. @ R.T.	16-24
Min @ 250 °F	5
Components - Color	2-black

Availability:

Duralco 4525-1 Pint Trial Kits

Duralco 4525-2 Gallon Kits

Call for Sizes and Prices of

Ready to use Pre-Measured Kits or

Epox-Eez™ Twin Pack Self Mixing Applicators kits

* Thermal Conductive Units = Btu-in/ Hr. Ft²-F



4525 Bonds a 316 S.S. Shaft to Repair the Ceramic Piston in a Hi-Temp. Acid Pump.



4525 Forms a Moisture Proof End Seal on a Electronic Sensor

User's Report:

Duralco™ 4525 High Resistance Even in High Humidity.

Used to seal Thermocouples, Electric Heaters and critical electronic components for use in high humidity environments. Tests show less than 10% of the moisture transmission of Silicones or Competitive Epoxies.

Duralco 4525 Proven in Instrumentation Applications.

Used for fabrication, end seals and installation of Thermocouples, Pressure, Strain Gauges and Flow Measuring Instruments.

Duralco 4525 Excellent Corrosion Resistance.

Used to repair glass lined tanks for use in 36% Hydrochloric, 29% Phosphoric, 65% Sulfuric, 70% Nitric Acids, 25% Caustic, and 30% Chrome Oxide solutions. Competitive epoxies disintegrated in less than 24 hours.

Duralco 4525 Bonds Carbon to Steel. In use for 5 years.

Used to bond carbon blocks to steel for use as a bearing at 300°F in a rotating kiln. Bonds aircraft brake pads.

Distributed By:



COTRONICS CORPORATION

www.cotronics.com 131 47th Brooklyn, New York 11232 (718) 788-5533 Fax (718) 788-5538