

# Pengaruh *Maleic Anhydride* Terhadap Sifat Mekanik, Stabilitas Termal, dan Konduktivitas Listrik Komposit Epoksi/*Triethylamine*/*Maleic Anhydride*/Grafrit Sebagai Kandidat Pelapisan (Cat) Komposit Konduktif Pada Pesawat Terbang

Arief Rizaldi Prasetya, Hosta Ardhyanta dan Sigit Tri Wicaksono  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: hostaa@mat-eng.its.ac.id

**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/Grafrit. 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 oC 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/Grafrit dapat diajukan sebagai kandidat lapisan komposit konduktif pada pesawat terbang.

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

## I. PENDAHULUAN

aju 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<sup>[1]</sup>. 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<sup>[2]</sup>. 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<sup>[3]</sup>. 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 nanotub, dan grafit<sup>[2]</sup>. 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.

Penelitian sebelumnya<sup>[2]</sup> 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.

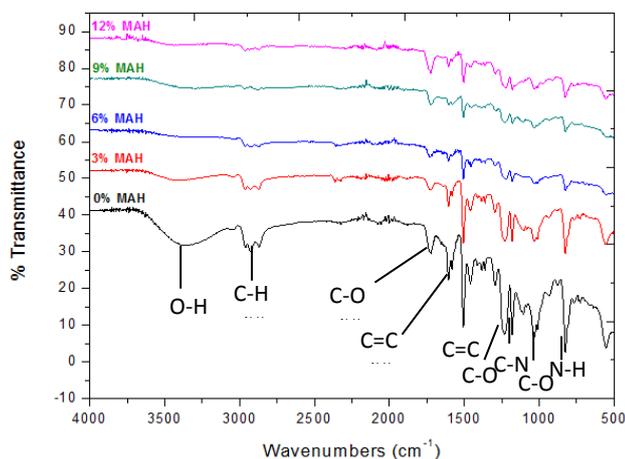
## II. EKSPERIMEN

Epoksi Resin jenis Eposchon-A, Trietil Amina (TEA), dan *Maleic Anhydride* (MAH) sebagai matriks diproduksi oleh PT Justus Kimia Raya dengan beragam komposisi dan sebagai penguat digunakan grafit yang diproduksi oleh CV. Multi Grafit berukuran  $\pm 18\mu\text{m}$  dengan 40%. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji FT-IR, SEM, Uji Kekerasan, TGA dan Konduktivitas listrik. Pengujian kekerasan menggunakan satuan Shore D sesuai standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Pengujian konduktivitas listrik menggunakan alat *Insulation Tester* (SANWA MG 1000) di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian FT-IR 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 1. Pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit terdapat gugus fungsi alkohol O-H pada daerah serapan 3366  $\text{cm}^{-1}$  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 1. Spektrum FT-IR Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

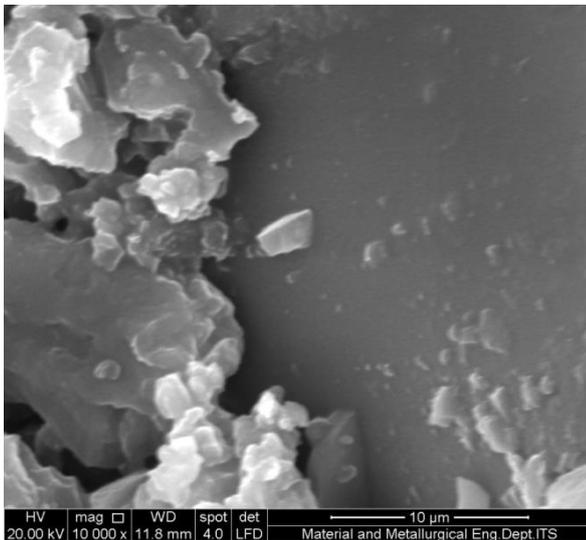
Berdasarkan analisis dari hasil pengujian spektrum FTIR diatas, dapat dilihat ada beberapa gugus fungsi baru, diantaranya gugus fungsi C=O, C-N, dan N-H. Pada hasil pengujian spektrum FTIR juga terlihat bahwa dengan penambahan komposisi *Maleic Anhydride* (MAH) mengakibatkan pemutusan ikatan O-H, C=C, dan N-H. Hal ini dapat dilihat dari penurunan *peak* gugus fungsi tersebut seiring dengan penambahan komposisi MAH<sup>[4]</sup>. 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.

### B. Analisis Morfologi Hasil SEM Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

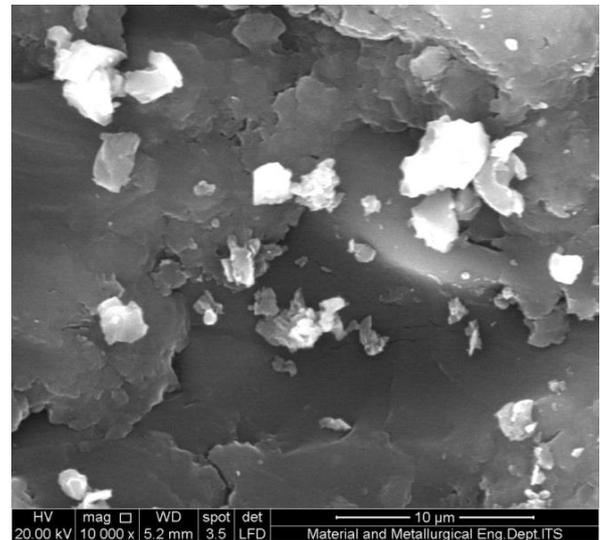
Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengamati bentuk ikatan yang terbentuk dari pencampuran Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Mikrograf dari sampel material terlihat pada Gambar 2. Secara umum campuran mikrograf dari sampel Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit terlihat homogen.

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 2e 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<sup>[5]</sup>.

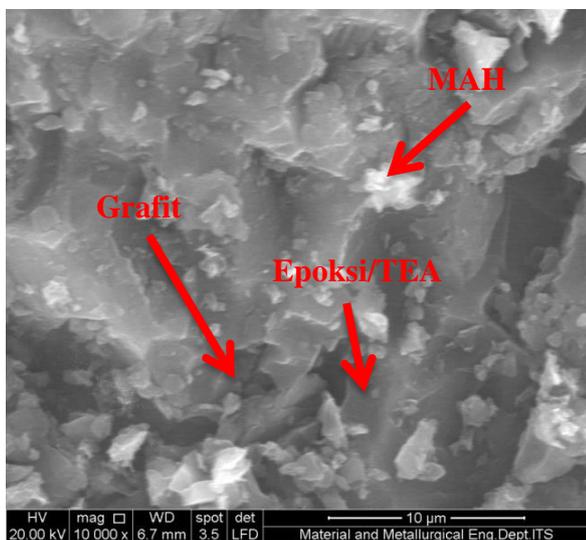
Pada hasil uji EDX grafit Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dengan komposisi 20% MAH didapatkan atom yang terdapat adalah C dan O. C sebanyak 75,98% dan O sebesar 24,02%. Ini menunjukkan bahwa bagian yang diuji tersebut benar grafit dengan sebagian ikatan C pada grafit telah berikatan dengan anhydride.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



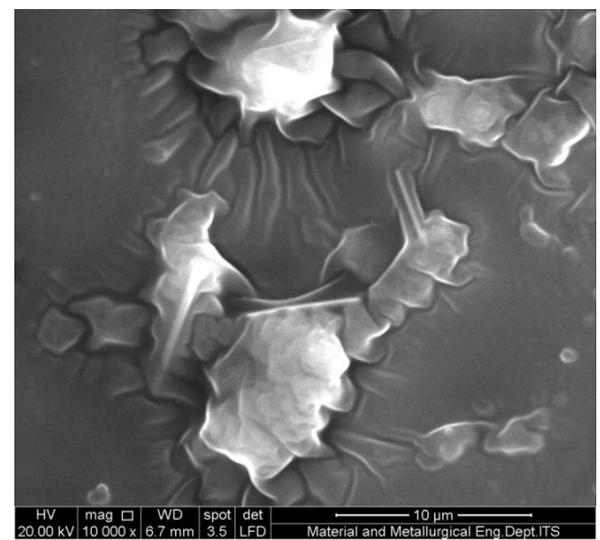
(a)



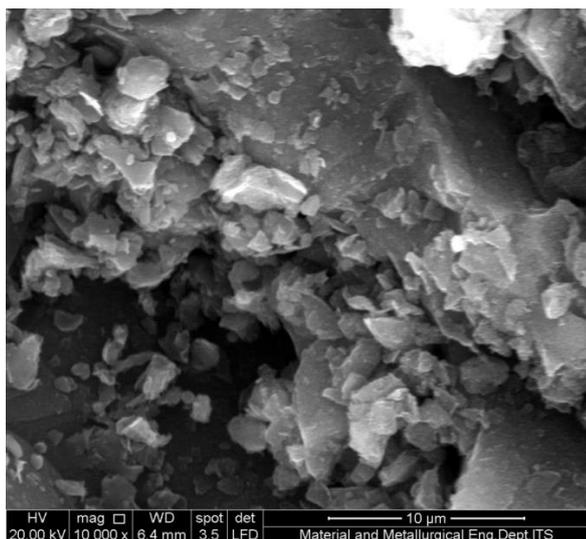
(d)



(b)



(e)



(c)

Gambar 2. Mikrograf SEM Material Komposit Epoksi/TEA/Grafit/MAH perbesaran 10.000X  
(a) 0%MAH (b) 3%MAH (c) 6%MAH (d) 9%MAH (e) 12%MAH

### C. Pengujian Kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Sifat kekerasan 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 1. Penambahan *Maleic Anhydride* mengakibatkan peningkatan sifat kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit.

Pengujian kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dilakukan dengan

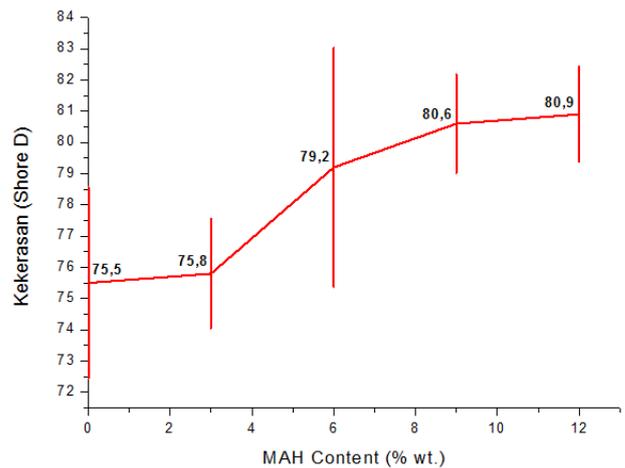
menggunakan durometer metode shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 menggunakan indenter tipe shore D. Gambar 3 menunjukkan nilai kekerasan dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit yang semakin meningkat seiring dengan adanya penambahan *Maleic Anhydride* (MAH). Pengujian dilakukan pada 10 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<sup>[6]</sup> tentang *epoxy-polyester-graphite nanocomposites with modified aromatic amines* dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 77,3 dan 77,8 Shore D.

Tabel 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

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*<sup>[5]</sup>.

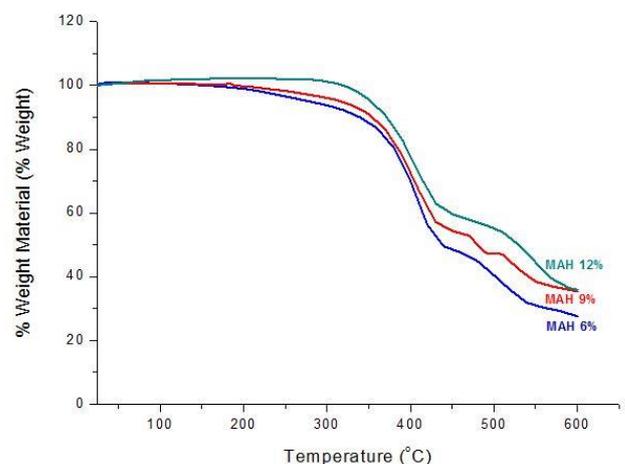
Hasil pengujian kekerasan yang diperoleh pada penelitian Tugas Akhir ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya tentang epoksi/grafit oleh Pandit pada tahun 2016.



Gambar 3. Pengaruh Penambahan MAH terhadap nilai kekerasan Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

#### D. Pengujian 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. 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%<sup>[7]</sup>. 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<sup>[8]</sup>.



Gambar 4. Hasil uji TGA Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Tabel 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 (%)
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 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.

#### E. Analisis Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

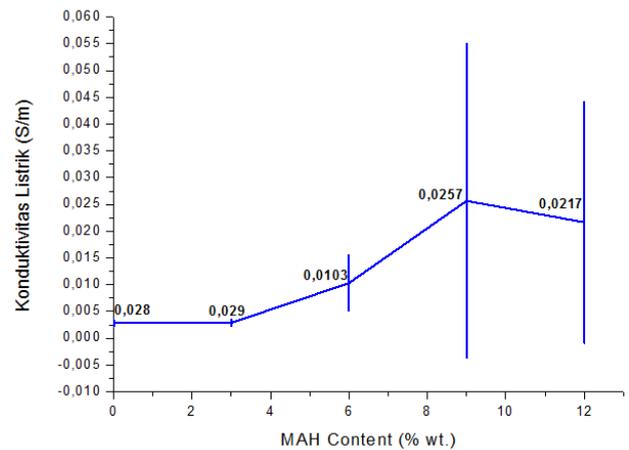
Sifat konduktivitas listrik merupakan sifat yang penting untuk dianalisis pada Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Pengaplikasian dari Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit sebagai kandidat pelapis (cat) konduktif komposit membuat sifat konduktivitas listrik menjadi sifat yang penting untuk dimiliki material komposit ini. Hasil pengujian konduktivitas listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit dapat dilihat pada Tabel 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.

$$R = \frac{l}{A} \times \rho \quad (1)$$

$$\sigma = 1 / \rho \quad (2)$$

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<sup>[6]</sup>. 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.



Gambar 5. Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Tabel 3. Konduktivitas Listrik Material Komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit

Materi	(R1) (kΩ)	(R2) (kΩ)	(R3) (kΩ)	(R rata-rata) (kΩ)	(ρ) (Ω.m)	(σ) (S/m) (x10 <sup>3</sup> )
0% MAH	51	38	32	40	364,4	2,8
3% MAH	52	35	33	40	361,4	2,9
6% MAH	32	11	18	20	116,9	10,3
9% MAH	19	3	22	14	82,13	25,7
12% MAH	23	21	4	16	84	21,7

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.

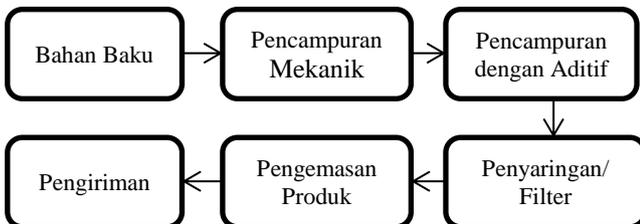
Hasil pengujian konduktivitas listrik yang diperoleh pada penelitian Tugas Akhir ini masih lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya tentang epoksi/grafit oleh Pandit pada tahun 2016.

#### F. 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.

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 6. Skema proses pembuatan cat

#### IV. 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.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elimat, Z., 2015. *AC-impedance and dielectric properties of hybrid polymer composites*. *Journal of Composite Materials*, 49(1), pp. 3-15.
- [2] 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

- [3] Harper, Charles A. 2000. *Modern Plastics Handbook*. USA : McGraw-Hill
- [4] Barbosa, A. P. C. & dkk., 2017. *Accelerated aging effects on carbon fiber-epoxy composites*. Elsevier, Volume 110, pp. 298-306.
- [5] Pavoski, G. dkk., 2015. *Polyethylene/reduced graphite oxide nanocomposites with improved morphology and conductivity*. Elsevier, Volume 81, pp. 79-86.
- [6] Pandit, J. A. & dkk., 2016. *Electrically conductive epoxy-polyester-graphite nanocomposites modified with aromatic amines*. Elsevier, Volume 104, pp. 49-60
- [7] Wang, Z. & dkk., 2015. *Thermal Conductivity Improvement of Epoxy Composite Filled with Expanded Graphite*. Elsevier, Volume 41, pp. 13541-13546.
- [8] Zhang, W., X. LI, R. Yang. 2011. *Pyrolysis and Free Behavior of Epoxy Resin Composites Based on a Phosphorus Containing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (DOPO-POSS)*. *Polymer Degradation and Stability* 96 (2011) 1821-1832.