

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KETAHANAN PANAS
KOMPOSIT EPOKSI/*E-GLASS* DENGAN PENAMBAHAN
CARBON BLACK* DAN *CLAY* UNTUK APLIKASI *RADAR
ABSORBING MATERIAL

DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL, BPPT PUSPITEK SERPONG

(1 April – 1 Juni 2016)



OLEH:

RIFKY PARHANA PUTRA 1512020

AGUNG HERMAWAN 1512024

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
2016

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KETAHANAN PANAS
KOMPOSIT EPOKSI/*E-GLASS* DENGAN PENAMBAHAN
CARBON BLACK* DAN *CLAY* UNTUK APLIKASI *RADAR
ABSORBING MATERIAL

DI PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL, BPPT PUSPITEK SERPONG

(1 April – 1 Juni 2016)

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat penyelesaian
Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta



OLEH:

RIFKY PARHANA PUTRA 1512020

AGUNG HERMAWAN 1512024

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA

2016

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Penelitian kami yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Ketahanan Panas Komposit Epoksi/*E-Glass* dengan Penambahan *Carbon Black* dan *Clay* untuk Aplikasi *Radar Absorbing Material*” di PUSAT TEKNOLOGI MATERIAL ini dapat terselesaikan dengan tepat pada waktunya. Penyusunan laporan ini bertujuan guna memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari program studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

Pada kesempatan ini, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, bantuan, dukungan, dan dorongan semangat yang diberikan hingga terselesaikannya laporan penelitian ini. Rasa terima kasih kami haturkan kepada:

1. Orang Tua kami tercinta dan saudara/i kami yang tidak lelah memberikan dukungan moril dan materil serta motivasi dan semangat.
2. Dr. Mustofa, S.T, M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
3. Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Ir. Parulian Leonard Marpaung, MM selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
5. Ir. Seto Roseno, B. Eng, M.Sc selaku pembimbing penelitian di Pusat Teknologi Material yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama melakukan penelitian.
6. Seluruh karyawan serta staff Pusat Teknologi Material yang turut memberikan bimbingan selama pelaksanaan penelitian dan telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian laporan penelitian ini.
7. Seluruh rekan mahasiswa/i Jurusan Teknik Kimia Polimer angkatan 2012.

8. Semua pihak dengan tidak mengurangi rasa terima kasih, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar lebih baik lagi untuk kedepannya. Akhir kata, penyusun mengharapkan agar laporan penelitian yang telah dibuat ini dapat bermanfaat untuk memberikan informasi dalam mengembangkan teknologi penggunaan komposit untuk aplikasi *radar absorbing material*.

Jakarta, Agustus 2016

Penyusun

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SIFAT KETAHANAN PANAS
KOMPOSIT EPOKSI/*E-GLASS* DENGAN PENAMBAHAN *CARBON
BLACK* DAN *CLAY* UNTUK APLIKASI *RADAR ABSORBING MATERIAL***

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *carbon black* dan *clay* sebagai *filler* terhadap ketahanan panas komposit Epoksi/*E-glass* yang diaplikasikan sebagai material RAM (*Radar Absrobing Material*). Material komposit terdiri atas epoksi sebagai matriks dan serat *E-glass* sebagai penguat. Formulasi *carbon black* dan *clay* yang dilakukan yaitu 0 %, 1 %, 3 %, dan 5 % massa dari komposit yang difabrikasi. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up*. Pengujian perubahan gugus fungsi menggunakan metode FTIR dengan standar ASTM E 168-98, dan ASTM E 1252. Pengujian karakteristik ketahanan panas menggunakan metode TGA (*Thermogravimetric Analyzer*) dengan standar ASTM E 1131. Hasil penelitian komposit Epoksi/*E-glass* menunjukkan bahwa penambahan *carbon black* dan *clay* terhadap komposit Epoksi/*E-glass* tidak mempengaruhi secara signifikan pada spektrum IR gugus epoksinya, yang ditandai dengan tidak adanya puncak baru yang muncul. Fraksi massa *carbon black* dan *clay* yang menghasilkan sifat ketahanan panas komposit Epoksi/*E-glass* yang terbaik adalah CB 5 % dengan nilai massa residual komposit Epoksi/*E-glass* sebesar 48,71 % dan CL 5 % dengan nilai massa residual komposit Epoksi/*E-glass* sebesar 54,73%.

Kata Kunci: RAM, Epoksi/*E-glass*, *Clay*, *Carbon Black*, FTIR, TGA

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE THERMAL
STABILITY PROPERTIES EPOXY/E-GLASS WITH ADDITION OF
CARBON BLACK AND CLAY FOR RADAR ABSORBING MATERIAL
APPLICATION
ABSTRACT**

The objective of this research was find out the influence of the additon of carbon black and clay as filler against the thermal stability of the composite of Epoxy/E-glass, that it had been applied as a RAM (Radar Absorbing Material). The composite material of epoxy as the matrix and E-glass fiber as the reinforcement. Formulation of carbon black and clay on this research are 0%, 1%, 3%, and 5% of mass the fabricated composite. The composite was processed by hand lay-up method. Inorder to find out the change of the functional groups, FTIR method were used according to ASTM E 168-98 and ASTM E 1252. The thermal stability characteristics were tested using TGA (Thermogravimetric Analyzer) according to ASTM E 1131. The results of this study show the addition of carbon black and clay were not significantly infulenced IR spectrum of epoxy group. That was marked by new peak of fungtional group epoxy. Mass fraction of carbon black and clay result the best thermal stability on composite Epoxy/E-glass was CB 5% with the value of residual mass was 48,71%, and CL 5% with the value of residual mass was 54,73%.

Keywords: RAM, Epoxy/E-glass, Clay, Carbon Black, FTIR, TGA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Penyerap Radar.....	5
2.1.1 <i>Carbon</i>	7
2.1.2 Tanah Lempung (<i>Clay</i>)	10
2.2 <i>Polymer Matrix Composite</i> (Komposit Matriks Polimer).....	13
2.2.1 <i>Glass Fibre</i>	13
2.2.2 Polimer Epoksi	15
2.3 Metode <i>Hand Lay up</i>	16
2.4 FTIR (<i>Fourier Transform Infared</i>).....	17
2.5 TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>).....	19
2.5.1 Prinsip Kerja TGA (<i>Thermogravimetric Analysis</i>)	20
2.6 Hipotesis.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Bahan dan Alat Penelitian.....	22
3.1.1 Bahan Penelitian.....	22
3.1.2 Alat Penelitian	22

3.2	Variabel Penelitian.....	23
3.2.1	Variabel Tetap	23
3.2.2	Variabel Berubah	23
3.2.3	Variabel Respon	23
3.2.4	Variabel Terkontrol.....	23
3.3	Prosedur Penelitian	23
3.3.1	Tahap Persiapan	24
3.3.1.1	Studi Literatur	25
3.3.1.2	Pengadaan Material	25
3.3.2	Tahap Pelaksanaan.....	27
3.3.2.1	Pelaksanaan Penelitian 1.....	27
3.3.2.2	Pelaksanaan penelitian 2.....	29
3.3.2.3	Pelaksanaan penelitian 3.....	30
3.3.3	Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data.....	31
3.3.4	Tahap Pengambilan Kesimpulan	32
3.4	Jadwal Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	34
4.2	Hasil Pengujian <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA).....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1	Permitivitas dan Perbandingan Temperatur pada Lima Spesifik Frekuensi.....	6
Gambar II. 2	Perubahan Mikrostruktur dari Mesofasa ke Grafit dengan Pemanasan.....	8
Gambar II. 3	Kurva Reflection Loss terhadap Frekuensi.....	10
Gambar II. 4	Struktur Lapisan Silikat Clay (Mineral Montmorillonite).....	11
Gambar II. 5	Pola Tenunan Serat Gelas (Eric Greene Associates, 1999).....	14
Gambar II. 6	Gugus Epoxide (Augustsson, 1995).....	15
Gambar II. 7	Ilustrasi Proses Cross-Linking (Sari, 2013).....	16
Gambar II. 8	Hand Lay Up.....	17
Gambar III. 1	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	24
Gambar III. 2	Diagram Alir Tahap Pengadaan Material.....	26
Gambar III. 3	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 1 (Pembuatan Komposit).....	29
Gambar IV.1	Spektrum IR Gugus Fungsi Epoksi dengan Penambahan.....	35
Gambar IV. 2	Kurva TG-DTA Komposit Epoksi/ <i>E-glass</i> dengan Penambahan <i>Carbon Black</i> dan <i>Clay</i>	36
Gambar IV. 3	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CB/CL 0 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB/CL 0 wt.%.....	37
Gambar IV. 4	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CB 1 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB 1 wt.%.....	38
Gambar IV. 5	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CB 3 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB 3 wt.%.....	39
Gambar IV. 6	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CB 5 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB 5 wt.%.....	40
Gambar IV. 7	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CL 1 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CL 1 wt.%.....	40
Gambar IV. 8	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CL 3 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CL 3 wt.%.....	41
Gambar IV. 9	Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum <i>residual</i> CL 5 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CL 5 wt.%.....	42
Gambar IV.10	Kurva Perbandingan Maksimum <i>Residual</i> dengan Penambahan <i>Carbon Black</i> ataupun <i>Clay</i>	43

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1	Sifat Dielektrik dan Mekanik Serat Gelas	14
Tabel III. 1	Variasi Formula dan Jumlah Spesimen Pengujian	27
Tabel III. 2	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	33
Tabel IV. 1	Puncak Gugus Fungsi Epoksi.....	34
Tabel IV. 2	Data TGA (<i>Thermogravimetric Analyzer</i>).....	42
Tabel IV. 3	Data TGA (<i>Thermogravimetric Analyzer</i>) Lanjutan	43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Formulasi Variasi Penelitian	xii
LAMPIRAN B Gambar Proses Penelitian.....	xiv
LAMPIRAN C Hasil Pengujian FTIR	xvii
LAMPIRAN E Gambar Alat dan Bahan.....	xix

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sains dan nanoteknologi pada era modernisasi dikembangkan secara intensif di kalangan internasional dan banyak menghasilkan bahan material yang sangat berguna khususnya pada bidang militer, di mana pesawat tempur dan *drone* telah banyak menggunakan *radar absorbing material*. *Radar Absorber Material* (RAM) merupakan bahan yang digunakan dalam teknologi *stealth* (teknologi siluman) untuk menyamarkan pesawat atau struktur pesawat dari radar sehingga radar musuh tidak akan mendeteksi pesawat.

Pada dasarnya mekanisme tidak terdeteksinya suatu objek oleh radar berdasarkan ada dua aspek: (1) Objek/pesawat dirancang dengan geometri bersudut *radar absorbing structure*, sehingga pantulan gelombang elektromagnetik tidak dapat ditangkap oleh *receiver*. (2) Badan pesawat terlapisi dengan bahan penyerap gelombang radar atau *radar absorber materials* (RAM) sehingga jika masih terjadi pantulan pun akan sangat lemah (Ramprecht J., 2007).

Melihat dalam penggunaan bahan material RAM ini sangat berguna dalam bidang militer dan diperkirakan bahan tersebut akan terus berkembang di negara lain untuk memperkuat militernya. Oleh karena itu, Indonesia pun juga sedang mengembangkan teknologi siluman dalam memproduksi pesawat tempur nasional (Satpurnas) oleh BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi).

Radar Absorbing Structure (RAS) dapat disusun dari nanokomposit dengan sifat dielektrik yang tinggi, seperti konstanta dielektrik dan *loss tangent* untuk memicu penyerapan energi gelombang elektromagnetik dan peredaman gelombang elektromagnetik oleh interferensi destruktif dari gelombang elektromagnetik yang direfleksikan. Sifat dielektrik yang tinggi ini dapat diraih dengan menggunakan partikel karbon konduktif berkonsentrasi tinggi. (Choi, Lee, & Lee, 2015).

Komposit penyerap gelombang elektromagnetik yang menggunakan partikel karbon dikombinasikan dengan matriks polimer memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas dalam desain dan pengaturan sifat, karena sifat komposit yang dapat

diatur dan dioptimalkan dengan mengubah jenis karbon (*carbon black, carbon nanotube, carbon fiber, graphene*) atau matriks (karet, termoplastik). (F.Qin & Brosseau, 2012).

Matriks pada RAM dipilih berdasarkan sifat fisik seperti kemampuan dalam melindungi penguat dan kestabilan terhadap cuaca. Sedangkan, material pengisi (*filler*) tersusun atas satu atau lebih unsur yang melakukan penyerapan. Resin epoksi digunakan sebagai matriks polimer karena memiliki karakteristik yang baik, seperti tidak mengalami penyusutan yang signifikan selama proses pengerasan (*curing*), ketahanan terhadap kimia, kekuatan mekanik dan *fatigue* tinggi serta memiliki sifat listrik yang baik. Resin epoksi merupakan termoset yang sangat penting, sudah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sebagai bahan perekat (*adhesive*), pelapis (*coatings*), dan pada material komposit. Serat *E-glass* digunakan sebagai serat penguat karena memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap termal yang tinggi (Chaturvedi, 2014).

Penelitian RAM dengan mengkombinasikan partikel karbon dan polimer seperti epoksi resin, juga ditambah dengan penggunaan *E-glass fiber* telah banyak dilakukan. *Carbon black* adalah partikel yang banyak digunakan sebagai *filler* dalam komposit polimer konduktif karena densitasnya yang rendah, sifat konduktivitasnya, murah, dan produksi yang mudah. Salah satu hasil penelitian dari Ilbeom Choi, *et al.* pada tahun 2015, menyatakan bahwa dengan penambahan 3 wt.% *carbon black* pada komposit *E-glass/epoksi*, penyerapan gelombang elektromagnetik pada skala frekuensi *X-band* (8,2-12,4 GHz) mencapai 90%. Dalam beberapa tahun terakhir, *clay* juga banyak digunakan sebagai material pengisi pada komposit. Penambahan *clay* dalam matriks polimer (komposit *clay-polimer*) umumnya digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik material (Sari, 2013). Namun, selain memiliki sifat mekanik yang baik, *clay* juga memiliki sifat listrik yang baik. *Clay* dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam matriks polimer karena memiliki gugus ionik dalam struktur berlapis. *Clay* memiliki nilai permitivitas yang sangat besar pada frekuensi 100 Hz - 100 KHz, yaitu permitivitas komponen *real* (ϵ') sebesar 100 – 10000. Sedangkan, pada frekuensi 10,1 GHz, nilai ϵ' sebesar 2,94 dan komponen imajiner (ϵ'') sebesar 0.48 (Sengwa, 2008).

Penelitian sebelumnya terkait material RAM (epoksi/*E-glass/carbon black*) dilakukan dengan empat variasi komposisi *carbon black* yaitu 0, 1, 3, dan 5 wt.%. Penelitian ini melakukan pengujian *Vector Network Analyzer* (VNA) untuk mengetahui sifat elektromagnetis dari komposit epoksi/*E-glass/carbon black*. Hasil pengujian sifat elektromagnetis komposit epoksi/*E-glass/carbon black* memiliki nilai penyerapan yang baik, khususnya pada komposisi *carbon black* 5 wt.% mendapatkan koefisien *absorbs* sebesar 91,48 % (Agita, 2015). Penelitian serupa juga dilakukan tetapi menggunakan *filler* berbeda yaitu *clay*. Hasil yang diuji dengan *filler clay* 5 wt.% mendapatkan koefisien *absorbs* sebesar 95,8% (Nabila, 2015). Penelitian ini merupakan penelitian awal komposit epoksi/*E-glass/carbon black* dan epoksi/*E-glass/clay*, sehingga diperlukan penelitian lanjutannya untuk mengetahui sifat ketahanan panas pada material tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan *carbon black* dan *clay* terhadap gugus fungsi epoksi pada komposit?
2. Berapakah fraksi massa (wt.%) *carbon black* dan *clay* agar menghasilkan komposit dengan kekuatan sifat ketahanan panas terbaik?

1.3 Batasan Masalah

1. Ukuran serat *E-glass* yang digunakan pada penelitian dianggap sama yaitu 40 x 20 cm.
2. Massa *E-glass* yang digunakan pada penelitian sebesar 35% dari massa komposit.
3. Formulasi *carbon black* dan *clay* sebesar 0, 1, 3, 5 wt.% dari massa komposit.
4. Penambahan bahan aditif dalam proses penelitian tidak divariasikan dan dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya.
5. Proses pencampuran antara serat *E-glass* dan epoksi dianggap merata.
6. Tidak membahas biaya yang diperlukan dalam pembuatan komposit untuk aplikasi RAM.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh yang terjadi terhadap gugus fungsi epoksi akibat penambahan *carbon black* dan *clay*.
2. Mengetahui fraksi massa *carbon black* dan *clay* yang menghasilkan sifat ketahanan panas komposit Epoksi/E-glass yang terbaik dalam penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan material yang dapat menjadi alternatif sebagai *radar absorber material* yang digunakan di pesawat anti-radar (pesawat siluman).
2. Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui sifat ketahanan panas komposit Epoksi/E-glass/*carbon black* dan Epoksi/E-glass/*clay* yang dihasilkan dari komposisi terbaik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Penyerap Radar

Material penyerap radar atau juga disebut *Radar Absorbing Material* (RAM) merupakan material yang mampu mengabsorpsi gelombang radar dan mengubahnya menjadi energi termal berdasarkan efek Joule. Efek joule berbunyi “Panas diproduksi ketika arus mengalir melalui hambatan dalam waktu tertentu”.

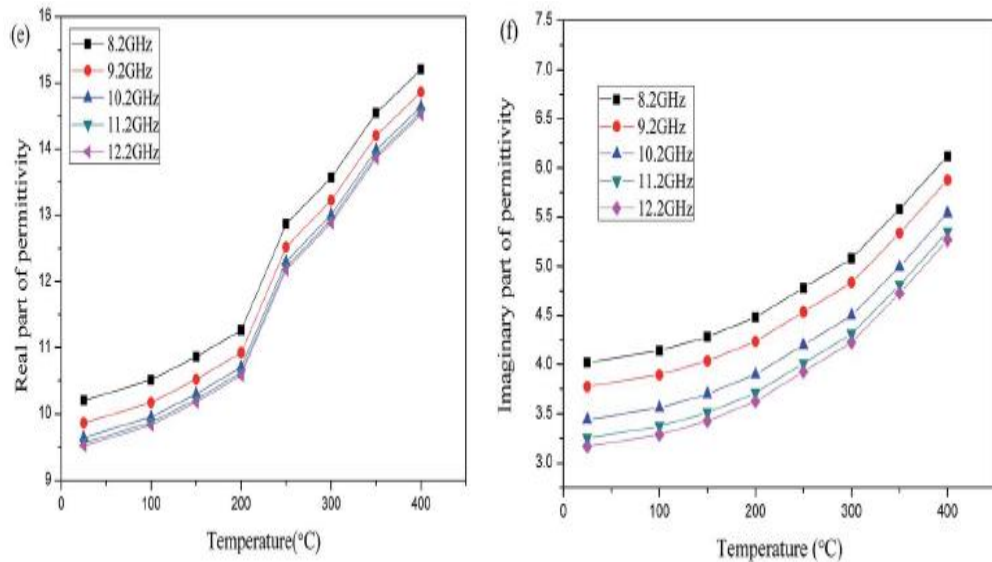
Karakteristik RAM dalam menyerap gelombang radar dipengaruhi oleh permitivitas listrik dan permeabilitas magnet. Permitivitas adalah ukuran suatu material dapat menerima pengaruh medan listrik luar. Permitivitas material (ϵ) merupakan hasil kali permitivitas ruang hampa (ϵ_0) dan permitivitas relatif (ϵ_r). Permitivitas memiliki dua parameter, yaitu komponen *real* (ϵ') dan imajiner (ϵ''). Komponen *real* permitivitas merupakan ukuran banyaknya energi dari medan listrik eksternal yang dapat disimpan dalam material. Komponen imajiner permitivitas, dikenal sebagai *loss factor* merupakan ukuran banyaknya energi listrik yang terdisipasi atau hilang. Berdasarkan teori Debye peningkatan ϵ' dapat digunakan untuk memperpendek waktu relaksasi yang disebabkan oleh polarisasi relaksasi pada suhu tinggi, ketika peningkatan ϵ'' dianggap berasal dari meningkatnya konduktifitas elektrikal RAM dengan kenaikan temperatur. Untuk kenaikan temperatur pada komposit, ϵ' dan ϵ'' dapat direpresentasikan dalam persamaan di bawah ini:

$$\epsilon' = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau(T)^2}$$

Di samping itu, ϵ'' dapat juga dipresentasikan juga dalam persamaan teori fisika dielektrik:

$$\epsilon'' = \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau(T)^2} \omega \tau(T) + \frac{\sigma(T)}{2\pi \epsilon_0 f}$$

Wang (2015) menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur semakin tinggi juga nilai permitivitas real dan imajiner yang ditunjukkan pada gambar II.1



Gambar II. 1 Permitivitas dan perbandingan temperatur pada lima spesifik frekuensi

Dielectric loss tangent ($\tan\delta\epsilon$) pada material didefinisikan sebagai perbandingan komponen *real* dan imajiner permitivitas. Sedangkan, permeabilitas adalah ukuran suatu material dapat menerima pengaruh medan magnet luar. Permeabilitas material (μ) merupakan hasil kali permeabilitas ruang hampa (μ_o) dan permeabilitas relatif (μ_r). Seperti permitivitas, permeabilitas juga memiliki dua parameter, yaitu komponen *real* (μ') dan imajiner (μ''). Komponen real permeabilitas merupakan ukuran banyaknya energi dari medan magnet eksternal yang dapat disimpan dalam material. Komponen imajiner permeabilitas merupakan ukuran banyaknya energi magnet yang terdisipasi atau hilang (Sari, 2013).

Permitivitas dan permeabilitas kompleks merupakan parameter yang bergantung frekuensi, nilai keduanya dapat bervariasi secara signifikan dengan perubahan frekuensi dan dapat mempengaruhi perambatan gelombang elektromagnetik dalam suatu material (Kapelewski, 2013).

RAM diklasifikasi menjadi material magnetik, dielektrik atau *hybrid* (kombinasi material magnetik dan dielektrik). Klasifikasi tersebut ditentukan berdasarkan mekanisme interaksi gelombang radar dengan material, berkenaan

dengan tipe pusat penyerap (*filler*) yang digunakan pada RAM. Pusat penyerap merupakan aditif dengan karakteristik yang menyebabkan peredaman radiasi, seperti partikel karbon, polimer konduktif, material inorganik, dan *ferrite* (Folgueras *et al.*, 2008).

2.1.1 Carbon

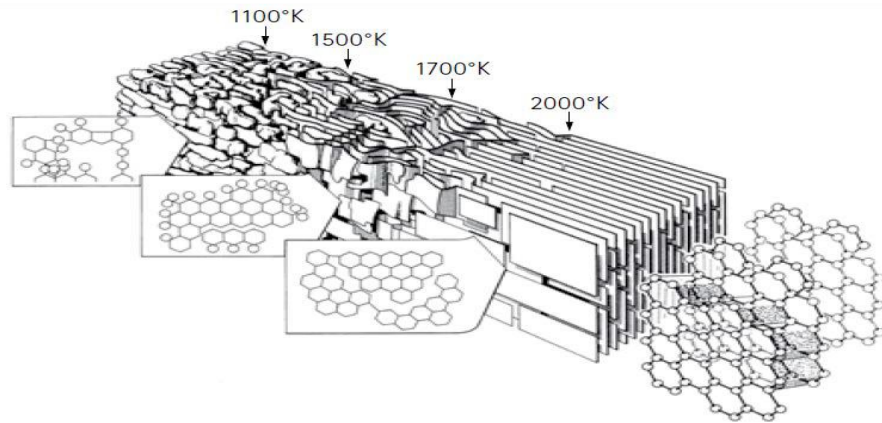
Secara komersial ada beragam jenis *carbon* yang digunakan sebagai *filler* dan juga berdasarkan konduktifitasnya yaitu grafit, *carbon nano tube*, dan *carbon black*. *Carbon* yang dikenal juga sebagai unsur palingan ringan dalam kelompok empat dan unsur keenam dalam tabel periodik, memiliki empat elektron valensi, yang berkonfigurasi $1s^2, 2s^2, 2p^2$ (Banduru, 2007).

Carbon ditemukan secara alami dalam tiga fasa yaitu, *carbon amorf* grafit, dan berlian. Belakangan ini, peneliti memfokuskan pada grafit dan turunannya yang memiliki potensi untuk digunakan dalam semikonduktor dan aplikasi elektronik (Banduru, 2007). Meskipun partikel logam memiliki konduktifitas listrik yang tinggi daripada *carbon* sebagai *filler*, tetapi partikel logam memiliki densitas yang tinggi dan rentang terhadap korosi jika digunakan pada aplikasi yang membutuhkan derajat keasaman yang tinggi, sehingga sifat konduktifitas dan sifat mekanik akan turun.

Carbon black (CB) merupakan bentuk *carbon* yang banyak digunakan dalam industri sebagai *filler* untuk memodifikasi sifat mekanik, listrik dan optik material. *Carbon black* adalah *carbon amorf* yang disebut *nongraphitic*. CB terbuat dari *carbon* murni dalam struktur seperti anggur. Setiap kelompoknya terdiri dari partikel bulat menyatu bersama-sama dan bercabang dengan bentuk yang tidak teratur disebut agregat.

Pemeriksaan *X-ray* menunjukkan bahwa struktur CB berisi beberapa lapisan grafit yang terdistrosi dalam panel lapisan yang disebut turbostatik.

CB dapat dipanaskan menjadi grafit pada suhu antara 1700 – 3000°C seperti yang ditunjukkan pada gambar II.2.



Gambar II.2 Perubahan Mikrostruktur dari Mesofasa ke Grafit dengan Pemanasan

Proses perlakuan panas mengklasifikasikan *carbon* menjadi dua kategori, yaitu *graphitizing* dan *non graphitizing*. Perbedaan berada pada rata-rata jumlah lapisan, dan jarak antara susunan lapisan grafit. Selain itu, jarak *interlayer* dan ukuran kristal dipengaruhi oleh perlakuan panas. Jarak *interlayer* menurun karena suhu perlakuan panas meningkat (Arai, 1993).

Jenis grafit yang ditingkatkan juga disebut sebagai *expanded graphite* (EG) di mana lebih efektif daripada *carbon black* dalam memproduksi komposit polimer konduktif listrik. EG diproduksi dengan menggunakan penambahan senyawa seperti sulfur atau nitrogen untuk menggantikan molekul kecil *carbon* antara lapisan *carbon* (DU, 2008).

Carbon black yang memiliki berat sekitar 1/14 dari besi banyak digunakan karena penyerapannya yang baik pada pita frekuensi tinggi. (Chin & Lee, 2007). Komposit yang diperkuat dengan nanokarbon banyak dipertimbangkan oleh peneliti karena ketertarikan dari karakteristik elektromagnetiknya, seperti konduktivitas listrik yang tinggi dan penyerapan gelombang mikro yang baik. Pemanfaatan *carbon black* juga berdasarkan pada fakta bahwa harganya murah. Hal ini sering diabaikan pada aplikasi

skala kecil yang bertentangan dengan aplikasi nyata di mana jumlah *filler* bubuk nanokarbon yang dibutuhkan cukup tinggi.

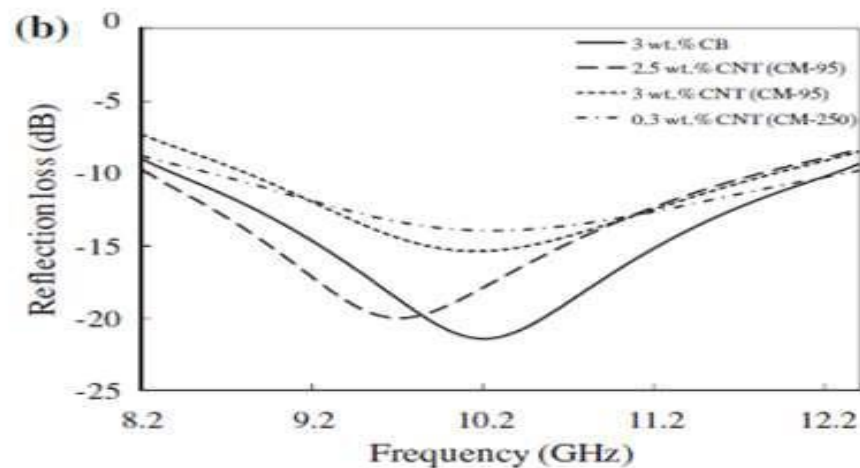
Choi *et al.* (2015) mengembangkan metode desain optimum RAS (*Radar Absorbing Structure*) nanokomposit dengan kombinasi sifat dielektrik optimum. Nanokomposit yang terdiri dari *E-glass fiber plain weave* dan resin epoksi yang mengandung *carbon black* berukuran nano dari 0 sampai 3 wt.% dengan kenaikan 0,5% dilihat karakteristik penyerapan gelombang elektromagnetiknya pada daerah frekuensi *X-band* (8,2 - 12,4 GHz). Berdasarkan hasil desain optimum, sifat dielektrik nanokomposit dengan dispersi 3 wt.% *carbon black* menunjukkan kinerja paling baik dengan konstanta dielektrik 7,258 dan *loss tangent* 0,406. Selanjutnya dilakukan fabrikasi RAS nanokomposit dengan ketebalan 2,78 mm dengan dispersi *carbon black* 3 wt.%. Hasilnya menunjukkan bahwa penyerapan maksimum mencapai lebih dari 95%, penyerapan rata-rata mencapai lebih dari 90%, dan frekuensi penyerapan maksimum berada didekat 10 GHz.

Manindra T., *et al.* (2015) melihat pengaruh efek pengerasan (*curing*) terhadap energi aktivasi dan sifat dielektrik pada komposit *carbon black*-epoksi. Komposit *carbon black*-epoksi yang mengalami proses *curing* pada suhu ruang memiliki energi aktivasi yang lebih tinggi dibanding spesimen yang mengalami proses *curing* secara termal. Penggabungan dari *carbon black* dan epoksi secara signifikan meningkatkan sifat dielektrik sampel yang telah mengeras (*cured*) dibanding yang belum mengeras (*uncured*).

Oh *et al.* (2004), mengajukan struktur lapisan rangkap dua (*doublelayer*) dengan komposit yang sama yakni CB/*E-glass*/epoksi tetapi dengan kandungan CB yang berbeda. Tetapi, penelitian tidak membuktikan struktur ini lebih baik dibanding struktur satu lapis (*singel layer*) dengan ketebalan yang sama.

Penelitian yang terbaru adalah penelitian dari Ilbeom Choi *et al.* (2015) dengan membuat struktur komposit penyerap gelombang elektromagnetik dengan mendispersikan partikel nano konduktif. Komposit tersusun dari *E-glass*/epoksi dengan dispersi *carbon nanotubes* (CNT) dan *carbon black*

(CB). Penelitian yang dilakukan dengan metode *hand lay up* yang dilanjutkan dengan *vacuum bagging* ditunjukkan pada gambar II.3 bahwa ini pada konsentrasi CNT dan CB yang sama, yakni 3 wt.%, penyerapan gelombang elektromagnetik pada frekuensi X band (8,2 – 12,4 GHz) mencapai 90%.



Gambar II.3 Kurva Reflection Loss terhadap Frekuensi

Kombinasi dengan polimer lainnya menggunakan polianilin (PANI)/*carbon black*, di mana fraksi *filler carbon black* sebesar 30%, didapatkan penyerapan gelombang elektromagnetik mencapai 40 dB (Wu, ing, Wang, Ho, & Shih, 2008). Pencampuran epoksi dengan *carbon black* dan silikon karbida (5% CB + 50% SiC), menghasilkan serapan gelombang elektromagnetik maksimum 41,5 dB (Liu, Zhang, & Wu, 2011).

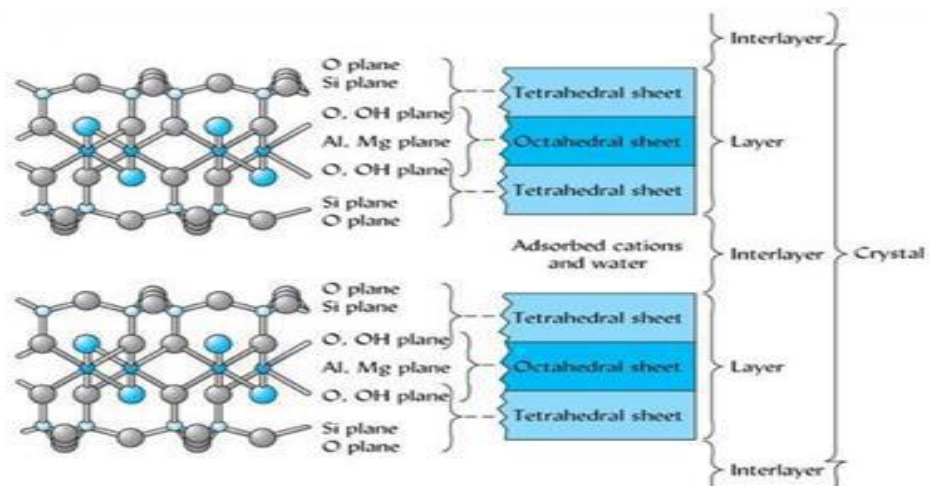
2.1.2 Tanah Lempung (*Clay*)

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan material berukuran nano telah menarik perhatian banyak peneliti. Banyak penelitian dilakukan dalam bidang polimer nanokomposit, yaitu material yang terbentuk melalui penggabungan material polimer dengan material lain dalam skala nanometer. Polimer nanokomposit memiliki sifat mekanik, termal, elektrik, dan optik yang lebih baik dibandingkan dengan makro atau mikro partikelnya. *Clay* merupakan nanomaterial yang paling terjangkau, dibandingkan dengan

nanotube atau *nanofiber* dan telah menunjukkan hasil yang menjanjikan pada polimer.

Pertama kali bentonit ditemukan oleh Emile Pascal pada tahun 1830 di Big Horn Montain, Wyoming, Amerika Serikat. Bentonit merupakan *clay* yang dihasilkan dari pelapukan dan reaksi hidrotermal batuan lava (vulkanik). Sebagian besar bentonit terdiri atas mineral *montmorillonite*. *Montmorillonite* menyusun sekitar 60-85% di dalam bentonit. Selain *montmorillonite*, bentonit juga mengandung mineral pengotor lain, yaitu kuarsa, *illite*, kristobalit, *feldspar*, kalsit, gipsum, kaolinit, dan plagioklas (Chitraningrum, 2008).

Mineral *clay* merupakan mineral silikat berlapis berbentuk seperti lembaran (*phyllosilicates*) dengan setiap lapisan terdiri dari dua jenis struktur lembaran, yaitu tetrahedral dan oktahedral. Lembaran tetrahedral terdiri dari tetrahedra silikon-oksigen yang terhubung dengan tetrahedral tetangga dan berbagi tiga oksigen, sehingga terbentuk struktur heksagonal. Sedangkan, lembaran oktahedral terdiri dari alumunium (Al) atau magnesium (Mg) dan ion hidroksida (OH⁻). Struktur lembaran tetrahedral dan oktahedral. *Montmorillonite* termasuk dalam kelompok *clay* 2:1, yaitu dua lapisan tetrahedral dan satu lapisan oktahedral. Struktur lapisan mineral *montmorillonite* tergambar pada gambar II.4.



Gambar II. 4 Struktur Lapisan Silikat Clay (Mineral *Montmorillonite*)

Masing-masing lapisan berikatan melalui gaya van der Waals, gaya elektrostatis atau ikatan hidrogen dan antar lapisan memiliki ruang (*interlayer*) atau *gallery* yang dapat ditempati oleh kation, molekul air atau molekul lainnya (Uddin, 2008).

Salah satu kekurangan *clay* adalah sifatnya yang hidrofilik, sehingga dapat menyebabkan aglomerasi dalam matriks polimer yang bersifat hidrofobik. Faktor utama yang menentukan keberhasilan dalam peningkatan sifat material adalah penyebaran *clay* dalam matriks polimer, yaitu masuknya molekul polimer diantara lapisan silikat dan *clay* ini akan terdistribusi secara acak dalam matriks polimer (Sari, 2013). Penyebaran homogen *clay* dalam media organik, seperti polimer pada skala molekul dapat tercapai dengan memperlakukan *clay* dengan ion organik untuk membuat *clay* menjadi organofilik.

Clay merupakan material dielektrik yang memiliki nilai permitivitas *real* (ϵ') dan imajiner (ϵ'') sebesar 2,94 dan 0,48, secara berurutan pada frekuensi 10.1 GHz (Sengwa, 2008). Penerapan *clay* sebagai material pengisi untuk mengabsorpsi gelombang elektromagnetik memiliki cara kerja yang sama dengan kapasitor. Sebagai material dielektrik, ketika *clay* berada dalam suatu medan listrik maka muatan listrik yang terkandung dalam *clay* tidak akan mengalami pergerakan, sehingga tidak akan timbul arus listrik. Namun, muatan-muatan pada *clay* akan mengalami sedikit pergeseran dari posisi setimbangnya karena adanya polarisasi, yaitu pengkutuban muatan. Pengkutuban menyebabkan muatan positif pada *clay* menuju kutub negatif medan listrik, sedangkan muatan negatif menuju kutub positif medan listrik. Hal tersebut menyebabkan medan listrik yang melingkupi material dielektrik menurun. Kapasitansi berbanding terbalik dengan medan listrik internal, sehingga semakin menurun medan listrik internal maka nilai kapasitansi material dalam menyimpan energi listrik akan semakin meningkat.

Untuk pertama kalinya, yaitu pada awal tahun 1961 polimer-*clay* nanokomposit digunakan oleh Blumstein saat mendemonstrasikan polimerisasi yang terjadi antara *vinyl* yang diinterkalasi di dalam *clay*

montmorillonite. Hasil polimerisasi tersebut menghasilkan sifat polimer yang tidak biasa. Sampai saat ini, berbagai penelitian telah dilakukan mengenai polimer-*clay* nanokomposit dengan menggunakan berbagai jenis polimer, seperti resin epoksi, *polystyrene*, *poly (methyl methacrylate)*, *polycaprolactone*, *polyurethanes*, dan sebagainya (Chitraningrum, 2008). Dalam penelitian ini, polimer-*clay* nanokomposit dibuat dengan menggunakan metode polimerisasi *in situ*. Metode polimerisasi *in situ* melibatkan *organoclay* yang didispersikan ke dalam cairan monomer. Polimerisasi dilakukan setelah *organoclay* telah terdispersi secara homogen pada cairan monomer. Sebagai contoh, dalam membuat nanokomposit epoksi-*clay*, *clay* terlebih dahulu didispersikan secara homogen dalam resin epoksi, kemudian larutan dicampur dengan *hardener*.

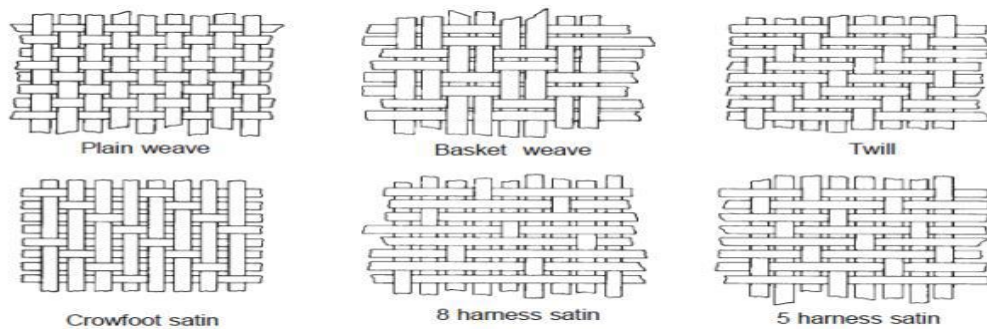
2.2 Polymer Matrix Composite (Komposit Matriks Polimer)

Komposit Matriks Polimer atau *Polymer Matrix Composites* (PMC) adalah komposit yang terdiri dari polimer sebagai matriks yang diperkuat dengan *fiber*. Komposit jenis ini adalah komposit yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Alasannya adalah karena harganya yang murah, kekuatan yang tinggi, dan prinsip pembuatan yang mudah. Sedangkan kekurangannya adalah pengoperasian pada suhu rendah, koefisien termal yang tinggi, dan sifat elastik yang rendah pada arah tertentu (Kaw, 2006). Salah satu kalisifikasi PMC berdasarkan tipe penguatnya (*glass*, *carbon*, dan aramid) yang paling banyak digunakan adalah penguat *glass fibre*.

2.2.1 Glass Fibre

Serat gelas (*glass fiber*) merupakan material yang terbuat dari kaca, dengan unsur material silika (SiO_2), *lime* atau kapur (CaO), magnesium oksida (MgO), boron oksida (B_2O_3), alumina (Al_2O_3), dan lainnya. Silika digunakan sebagai *glass former* atau matriks, kapur sebagai fluks untuk menurunkan temperatur leleh, dan unsur material lainnya digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu.

Untuk terbentuknya serat gelas, kaca dipanaskan sampai mencair dan dipaksa melalui lubang yang sangat kecil. Sehingga, terbentuk filamen kaca yang sangat tipis. *Filament* merupakan serat yang terdiri dari satu helai. Filamen ini kemudian ditenun menjadi lembaran material (*woven glass fabric*). Beberapa pola tenunan serat gelas tergambar pada gambar II.5.



Gambar II.5 Pola Tenunan Serat Gelas (Eric Greene Associates, 1999)

Terdapat beberapa jenis serat gelas, yaitu *E-glass* (*low electrical conductivity*), *C-glass* (*chemical resistance*), *S-glass* (*stiffness*), *D-glass* (*low dielectric constant*), dan *T-glass* (*thermal insulator*). *E-glass* merupakan serat yang paling banyak digunakan karena harganya yang relatif murah, memiliki sifat listrik, dan sifat mekanik yang baik. Namun, sifat mekanik *E-glass* tergolong rendah dibandingkan dengan jenis serat gelas lainnya. Penelitian ini menggunakan *woven E-glass* dengan pola tenunan *plain weave*. Beberapa sifat listrik dan mekanik serat gelas terdapat pada tabel II.1

Tabel II.1 Sifat Dielektrik dan Mekanik Serat Gelas

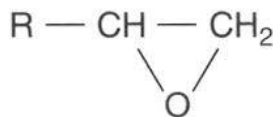
Jenis serat	Konstanta dielektrik pada temp. ruang dan 1 MHz	Kuat tarik pada 23 °C (MPa)	Modulus elastisitas (Gpa)
<i>E-glass</i> Mengandung Boron Tidak mengandung Boron	5,86 - 6,6	3100 - 3800	76 - 78
	7,0	3100 - 3800	80 - 81
<i>S-glass</i>	4,53 - 4,6	4380 - 4590	88 - 91
<i>D-glass</i>	3,56 - 3,62	2410	-

(Sumber: Frederick *et al.*, 2001)

2.2.2 Polimer Epoksi

Polimer epoksi, seperti polimer *termoseting* lain pada umumnya, terdiri dari dua komponen: epoksi resin dan *curing agent*. Epoksi resin merupakan *pre-polimer* atau senyawa epoksi yang masih sederhana dengan struktural molekul berupa *linear* dan *curing agent* merupakan senyawa yang dapat bereaksi dengan gugus epoksi untuk menghasilkan polimer epoksi dengan struktur berupa sambung silang (*cross link*).

Resin epoksi didefinisikan sebagai molekul yang terdiri atas lebih dari satu gugus *epoxide* (atau disebut juga *oxirane*). Struktur gugus *epoxide* tergambar pada gambar II.6.

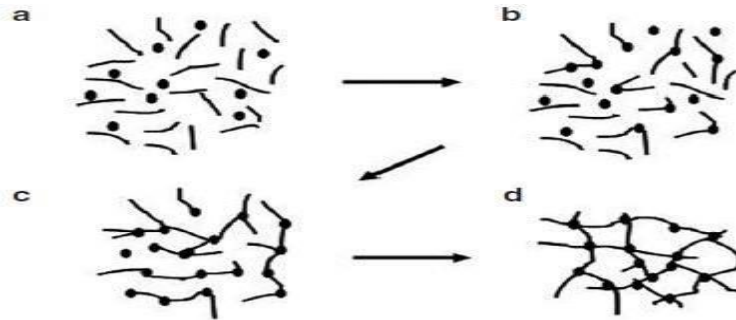


Gambar II. 6 Gugus Epoxide
(Augustsson,1995)

Curing (pengerasan) merupakan proses antara resin dan *hardener* (untuk resin epoksi), di mana viskositas resin bertambah sampai mencapai keadaan resin tidak lagi dalam bentuk cair dan kehilangan kemampuannya untuk mengalir (*gel point*) serta akan terus mengeras setelah menjadi *gel*, sampai sistem mendapatkan kekerasan dan sifat tertentu. Reaksi dalam proses *curing* merupakan reaksi eksotermik karena sistem epoksi akan selalu melepaskan panas ketika proses *curing* terjadi (Suwanto, 2015). Rasio pencampuran resin epoksi dan *hardener* harus diperhatikan karena pemberian jumlah *hardener* yang tidak sesuai dapat mengakibatkan penurunan sifat material. Dasar untuk menentukan perbandingan berat bergantung pada “*equivalent weight*” material-material yang bereaksi.

Curing terjadi melalui reaksi antara gugus epoksi dengan *hardener* yang membentuk suatu ikatan silang polimer (*cross-linking*). Resin epoksi akan memadat dengan cepat dan mudah pada temperatur 5-150 °C, bergantung pada pemilihan *hardener*. Proses ikatan silang polimer tergambar pada gambar II.7 (a) Monomer dengan berat molekul rendah, (b) Pertumbuhan dan percabangan rantai. Pada tahap ini berat molekul meningkat dan

menyebabkan viskositas bertambah, (c) Terbentuk formasi *gel* dengan jaringan yang belum sempurna, dan (d) Proses *curing* selesai, polimer termoset telah mengeras.



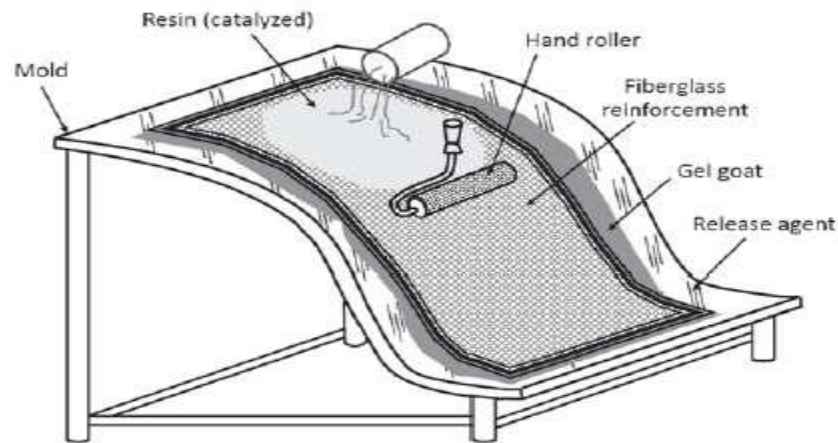
Gambar II.7 Ilustrasi Proses *Cross-Linking* (Sari, 2013)

Resin epoksi merupakan resin yang fleksibel terhadap berbagai reaksi kimia, sehingga dalam proses *curing* resin epoksi dapat menggunakan berbagai material dengan berbagai jenis kondisi *curing*. Pemilihan *hardener* (*curing agent*) tergantung pada kondisi *curing* yang berlaku dan aplikasi akhir resin. Pengerasan resin epoksi dapat dengan amina, tiol, dan alkohol. Reaksi berlangsung melalui pembelahan cincin *oxirane* dengan reaksi adisi nukleofilik (Smithers *Group Company*, 2014). Reaksi ini melibatkan serangan suatu nukleofil (spesies yang kaya elektron) pada karbon karbonil yang elektrofilik (spesies yang kekurangan elektron).

2.3 Metode *Hand Lay up*

Metode *hand lay up* adalah metode paling primitif tetapi efektif yang masih secara luas digunakan dalam industri. Umumnya, material dengan basis *E-glass fiber* dan *polyester resin* menggunakan metode ini. Metode ini dilakukan pada temperatur ruang dengan menggunakan *curing resin* tertentu. *Reinforcement*/penguat bisa dalam bentuk *chopped strand mat* atau *aligned fiber* seperti *woven roving* dan *plain weave*. Permukaan cetakan harus bersih dan rata sehingga hasil akhirnya permukaan baik dan dapat dilepas dengan mudah yang dilapisi dengan *release agent*. Resin kemudian dituang pada *reinforcement* dan diratakan menggunakan kuas atau *roller*. Kualitas hasil akhir tergantung pada

kemampuan operator dalam melakukan metode ini, terkait dengan kesulitan mengontrol tekanan seragam yang diberikan pada permukaan sehingga berdampak pada ketebalan, konten *fiber*, fraksi *void*, dan kualitas permukaan. Skema proses *hand lay up* ditunjukkan pada gambar II.8.



Gambar II. 8 Hand Lay Up

2.4 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

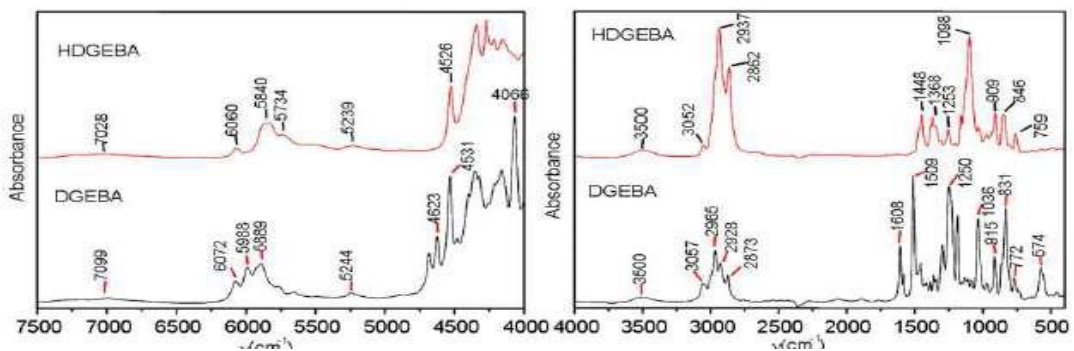
Radiasi gelombang elektromagnetik adalah energi yang dipancarkan menembus ruang dalam bentuk gelombang-gelombang atau paket-paket energi. Tiap-tipe radiasi gelombang elektromagnetik dicirikan oleh panjang gelombang (λ) atau frekuensi (ν) dari gelombang tersebut. Ketika suatu radiasi gelombang elektromagnetik mengenai suatu materi, akan terjadi suatu interaksi yang berupa penyerapan energi (absorpsi) oleh atom-atom atau molekul-molekul dari materi tersebut (Petrucci, 1987).

Penyerapan sinar ultraviolet dan cahaya tampak oleh suatu materi akan mengakibatkan tereksitasinya elektron dari tingkat energi (orbital) rendah ke tingkat-tingkat energi yang lebih tinggi. Pada penyerapan radiasi infra merah oleh suatu materi, radiasi yang diserap tersebut tidak cukup mengandung energi untuk mengeksitasi elektron, namun akan menyebabkan membesarnya amplitudo getaran (vibrasi) dari atom-atom yang terikat satu sama lain yang membentuk suatu ikatan molekul. Keadaan ini disebut dengan vibrasi tereksitasi (Fessenden, 1982).

Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik mencakup bilangan gelombang 14.000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Daerah inframerah sedang ($4000 - 400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut. Daerah inframerah jauh ($400 - 10\text{ cm}^{-1}$) bermanfaat untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik, namun membutuhkan teknik khusus yang lebih baik. Daerah inframerah dekat ($12.500 - 4000\text{ cm}^{-1}$) adalah daerah yang peka terhadap vibrasi *overtone* (Schechter, I. barzilai, & I.L and Bulatov, 1997).

Salah satu metode spektroskopi yang sangat populer digunakan adalah metode spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*), yaitu metode spektroskopi inframerah modern yang dilengkapi dengan teknik transformasi *fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Spektrometer FTIR pada umumnya terdiri dari sebuah sumber, interferometer, ruang sampel, detektor, *amplifier*, *A/D convertor*, dan komputer. Sumber menghasilkan radiasi yang melewati sampel melalui interferometer hingga mencapai detektor. Kemudian sinyal diperkuat dan dikonversikan menjadi sinyal digital dengan *amplifier* dan *analog-to-digital converter*. Akhirnya, sinyal dikirim ke komputer di mana dilakukan transformasi *fourier*.

Spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk mengkarakterisasi gugus fungsi yang terdapat pada epoksi. Gambar II.9 dan tabel II.2 menunjukkan spektroskopi FTIR dari dua resin epoksi; *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) dan turunan *hydrogenated* nya (HDGEBA), serta keterangan ikatan yang ada pada tiap puncaknya.



Gambar II.8 Spektra FTIR DGEBA dan HDGEBA

Tabel II.2 Karakteristik Spektrum FTIR DGEBA dan HDGEBA

Resin	Band (cm⁻¹)	Jenis Ikatan
DGEBA	≈3500	<i>Stretching O-H</i>
	3057	<i>Stretching C-H dari cincin oxirane</i>
	2965-2873	<i>Stretching C-H dari CH₂ serta aromatik dan alifatik CH</i>
	1608	<i>Stretching C=C dari cincin aromatik</i>
	1509	<i>Stretching C-C dari aromatik</i>
	1036	<i>Stretching C-O-C dari eter</i>
	915	<i>Stretching C-O dari gugus oxirane</i>
	831	<i>Stretching C-O-C dari gugus oxirane</i>
HDGEBA	772	<i>Rocking CH₂</i>
	≈3500	<i>Stretching O-H</i>
	3052	<i>Stretching C-H dari cincin oxirane</i>
	2937-2862	<i>Stretching C-H dari CH₂ dan CH</i>
	1448	Deformasi C-H dari CH ₂ dan CH ₃
	1368	Deformasi CH ₃ dari C-(CH ₃) ₂
	1098	<i>Stretching C-O-C dari eter</i>
	909	<i>Stretching C-O dari gugus oxirane</i>
	846	<i>Stretching C-O-C dari gugus oxirane</i>
759	<i>Rocking CH₂</i>	

(Sumber: Gonzalez, Cabanelas, & Baselga; 2012)

2.5 TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

DTA dan TGA termasuk teknik analisa termal. Teknik analisa termal adalah analisa yang berkaitan dengan panas. Setiap perubahan akan melibatkan panas atau energi sehingga perubahan panas atau energi dapat dijadikan dasar untuk analisa kualitatif maupun kuantitatif khususnya dalam bidang kimia. Kelompok teknik analisa ini menggunakan temperatur atau perubahan temperatur yang dimanipulasi untuk menghasilkan parameter yang dapat diukur (Sibilia, 1996).

Analisis Termogravimetri (TGA) adalah salah satu teknik analisis termal yang digunakan untuk menggambarkan berbagai bahan. TGA menyediakan informasi karakterisasi bebas dan tambahan untuk teknik termal. TGA mengukur jumlah dan laju (kecepatan) perubahan massa sebuah sampel sebagai fungsi temperatur atau waktu dalam suasana yang dikendalikan. Pengukuran yang digunakan terutama untuk menentukan panas dan/atau kestabilan bahan oksidatif serta sifat komposisi mereka. Teknik ini dapat menganalisis bahan yang menunjukkan massa baik kekurangan atau kelebihan karena dekomposisi, oksidasi atau hilangnya bahan mudah menguap (seperti kelembaban). Hal ini terutama berguna untuk mempelajari bahan polimer, termasuk termoplastik, termoset, elastomer, komposit, *film*, serat, pelapis dan cat.

2.5.1 Prinsip Kerja TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

Prinsip penggunaan TGA ialah mengukur kecepatan rata-rata perubahan massa suatu bahan/cuplikan sebagai fungsi dari suhu atau waktu pada atmosfer yang terkontrol. Pengukuran digunakan khususnya untuk menentukan komposisi dari suatu bahan atau cuplikan dan untuk memperkirakan stabilitas termal pada suhu diatas 1000°C. Metode ini dapat mengkarakterisasi suatu bahan atau cuplikan yang dilihat dari kehilangan massa atau terjadinya dekomposisi, oksidasi atau dehidrasi. Mekanisme perubahan massa pada TGA ialah bahan akan mengalami kehilangan maupun kenaikan massa. Proses kehilangan massa terjadi karena adanya proses dekomposisi yaitu pemutusan ikatan kimia, evaporasi yaitu kehilangan atsiri pada peningkatan suhu, reduksi yaitu interaksi bahan dengan pereduksi, dan desorpsi. Sedangkan kenaikan massa disebabkan oleh proses oksidasi yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi, dan absorpsi (Mufthi, 2009).

Hasil TGA biasanya ditunjukkan dalam bentuk grafik kontinu yang merupakan tahap-tahap dari reaksi dekomposisi. Beberapa miligram sampel dipanaskan dengan kecepatan konstan, kisaran 1-20 °C/menit dan mempunyai berat konstan sampai mulai terdekomposisi pada temperatur tertentu. Padatan *fixed* adalah zat yang tersisa atau residu setelah

pembakaran pada suhu 550°C. sedangkan berat sampel yang hilang disebut sebagai padatan *volatile*. Berat yang hilang diasumsikan sebagai fraksi organik sedangkan berat yang tersisa merupakan fraksi anorganiknya. Pengurangan berat sampel terjadi sesuai dengan kenaikan temperatur (Tim Kimia Anorganik, 2013).

2.6 Hipotesis

Hipotesis yang dibuat pada penelitian ini adalah variasi fraksi massa *carbon black* dan *clay* pada komposit Epoksi/*E-glass* akan sangat berpengaruh terhadap gugus fungsi epoksi dan sifat ketahanan panas komposit yang dihasilkan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Bahan Penelitian

1. *Carbon black* N330 dari PT Graha Jaya Pratama Kinerja
 - Titik Leleh : 3550°C
 - Titik Didih : 500-600°C

(MSDS, 2016)
2. *E-glass woven roving* 400 dari PT Triaxis Composite, Tangerang
 - Titik Leleh : 1725°C

(MSDS, 2016)
3. *Clay Nanocor*® 1.30E dari Nanocor, Inc, USA
 - Titik Leleh : 1710°C

(MSDS, 2016)
4. Epoksi dan *hardener* no.58 dari PT Epoxyndo Art Lestari, Bekasi
 - Titik Didih : >400°F (204°C)
5. *Mold release wax* “*mirror glaze maximum release wax*”

3.1.2 Alat Penelitian

1. Gunting dan mistar untuk memotong serat gelas
2. Kuas untuk proses *hand lay up*
3. *Beaker glass* 250 ml sebagai tempat pencampuran epoksi dengan *carbon black* atau epoksi dengan *clay*
4. *Beaker glass* 50 ml sebagai wadah *hardener* dan wadah dari *carbon black* atau *clay*
5. Timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan-bahan penelitian. Spesifikasi timbangan yang digunakan yaitu:
 - a. Merek : Quattro
 - b. Tipe : FH-1000
 - c. Kapasitas : 1000 gram x 0.01
6. Mesin *oven* merek Mermmert, kapasitas panas maksimum 300°C

7. *Hot plate magnetic stirrer* Heidolph MR 3001, digunakan untuk meratakan campuran antara epoksi dengan *carbon black* dan epoksi dengan *clay*
8. Dua cetakan yang terbuat dari lembaran kaca, berukuran 40x20 cm
9. Mesin pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat material komposit
10. Mesin pengujian TGA untuk menguji ketahanan panas material komposit

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap yaitu: fraksi berat epoksi dan *E-glass*, waktu dan suhu yang dibutuhkan untuk *mixing* dalam campuran epoksi dengan *carbon black*, dan epoksi dengan *clay*, suhu dan lama pengeringan (*curing*) spesimen, panjang *E-glass*, jumlah spesimen pengujian, dan jenis perlakuan pengujian yang dilakukan.

3.2.2 Variabel Berubah

Variabel berubah yaitu: fraksi massa *carbon black*, dan *clay* yang ditambahkan pada komposit yaitu 0%, 1%, 3%, dan 5% berat dari jumlah komposit.

3.2.3 Variabel Respon

Variabel respon yaitu: karakteristik komposisi gugus fungsi yang terdapat pada material dan kestabilan suhu panas pada material.

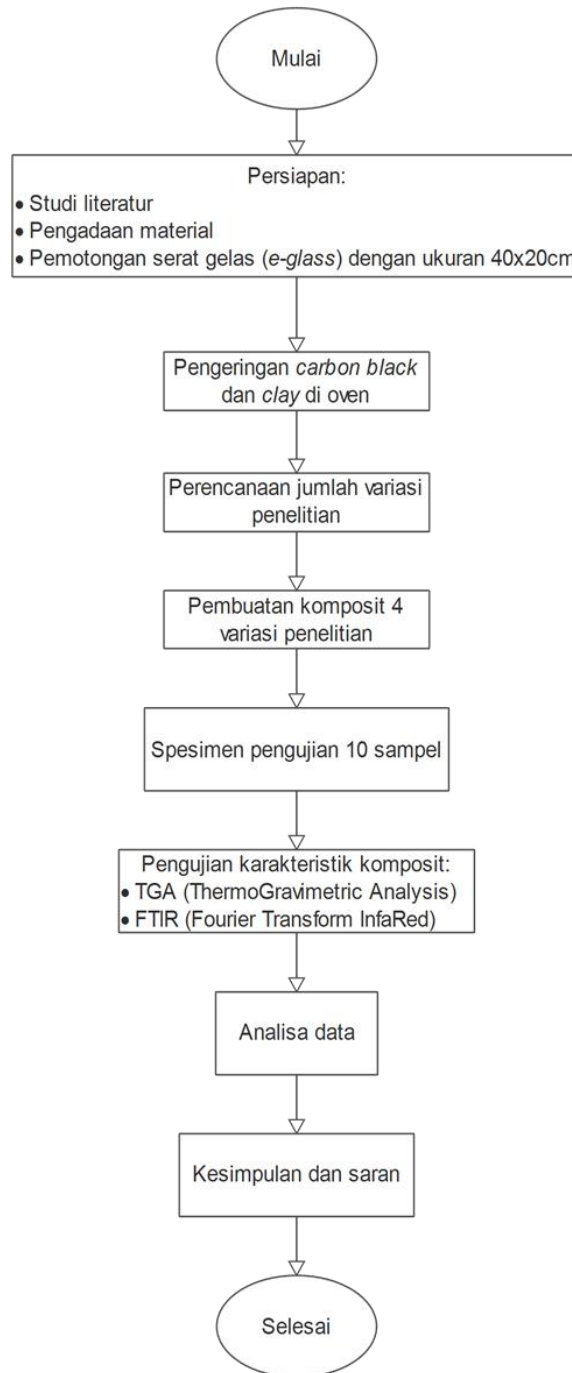
3.2.4 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol yaitu: kondisi operasi proses *mixing*, ukuran dan bentuk spesimen pengujian, suhu dan kelembapan udara ruang pengujian.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahap persiapan, tahap perencanaan dan pelaksanaan, tahap pengolahan dan analisis data,

serta tahap pengambilan kesimpulan. Prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flow chart* pada gambar III. 1 sebagai berikut.



Gambar III. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

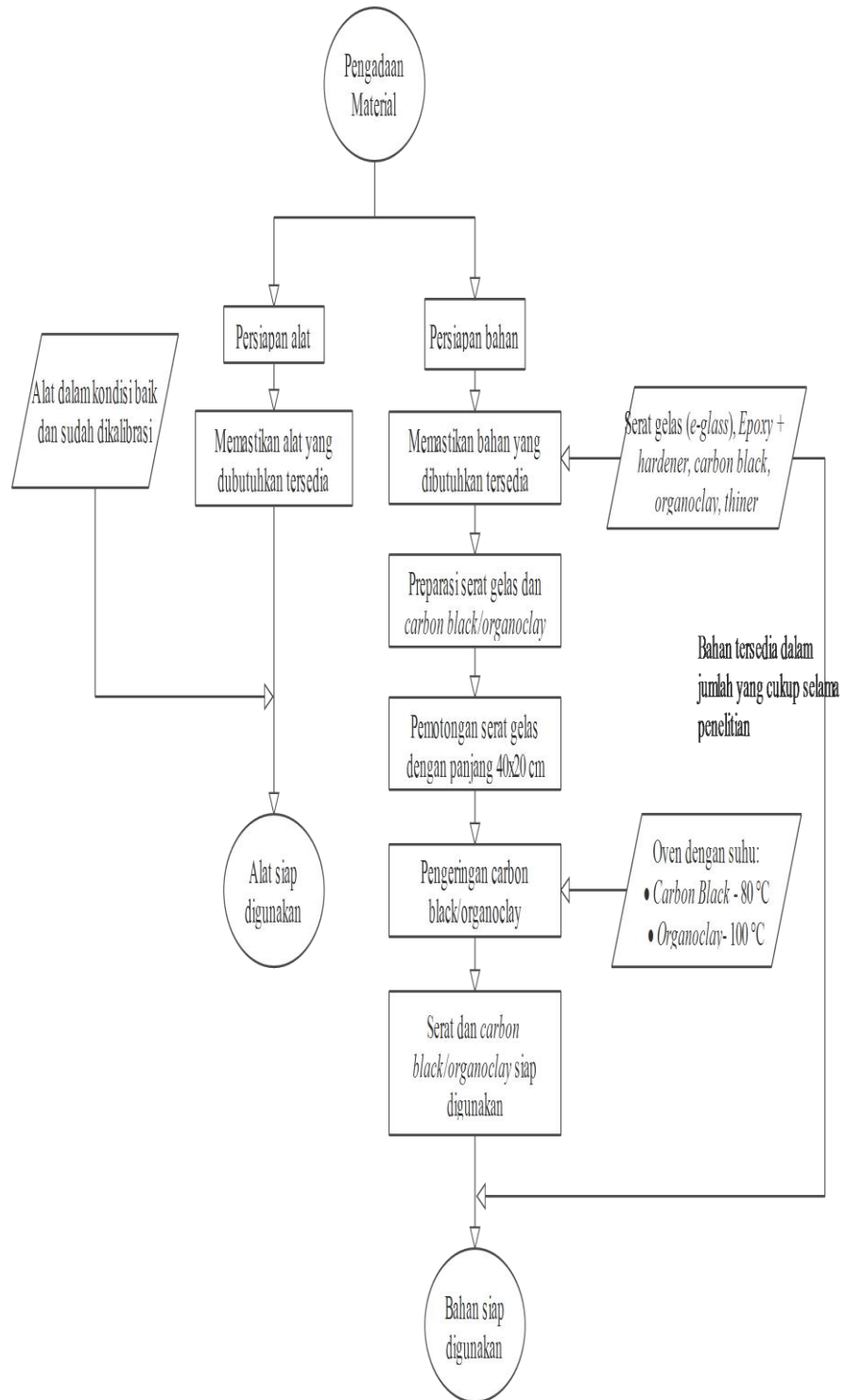
Tahap persiapan penelitian meliputi studi literatur dan persiapan pengadaan material.

3.3.1.1 Studi Literatur

Literatur-literatur yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari berbagai sumber, seperti misalnya jurnal yang terdapat di internet, buku-buku yang terdapat di perpustakaan Politeknik STMI Jakarta, serta dari tugas akhir atau skripsi peneliti terdahulu.

3.3.1.2 Pengadaan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari industri atau pabrik yang ditunjuk oleh Pusat Teknologi Material BPPT. Pengadaan material meliputi persiapan alat dan perlakuan *carbon black* dan *clay* sebagai *filler* komposit. *Carbon black* dan *clay* di-oven terlebih dahulu supaya kadar airnya tidak ada. Waktu dan suhu yang diperlukan adalah 30 menit dan 80°C untuk *carbon black*, 24 jam, dan 100°C untuk *clay*. Selain itu serat gelas (*E-glass*) dipotong manual menggunakan gunting dengan berukuran 40 x 20 cm. Dua cetakan kaca dibatasi dengan *double tape*. Sebelum digunakan, cetakan dibersihkan dahulu untuk memastikan tidak ada kotoran yang menempel pada cetakan. Cetakan yang sudah bersih diolesi dengan *mold release wax* terlebih dahulu menggunakan tisu, agar komposit mudah dilepaskan dari cetakan setelah proses *curing*. *Wax* yang digunakan adalah *mirror glaze maximum release wax*. Diagram alir tahap pengadaan material disajikan pada gambar III. 2 sebagai berikut.



Gambar III. 2 Diagram Alir Tahap Pengadaan Material

3.3.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian terdiri dari perencanaan variasi penelitian, pelaksanaan penelitian 1 (pembuatan komposit), pelaksanaan penelitian 2 (pembuatan spesimen penguian), dan pelaksanaan penelitian 3 (pengujian sampel komposit). Perencanaan variasi penelitian akan dibuat berdasarkan variabel berubah yang dipilih yaitu fraksi berat *carbon black* dan *clay*. Tabel variasi penelitian dan jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk pengujian dapat dilihat pada tabel III. 1.

Tabel III.1 Variasi Formula dan Jumlah Spesimen Pengujian

Kode	<i>Carbon black</i> atau <i>Clay</i> (%)	Jumlah Spesimen		Jumlah
		Uji FTIR	Uji TGA	
CB0/ CL0	0	1	1	2
CB1	1	-	1	1
CB3	3	-	1	1
CB5	5	1	1	2
CL1	1	-	1	1
CL3	3	-	1	1
CL5	5	1	1	2
Total				10

3.3.2.1 Pelaksanaan Penelitian 1

Pelaksanaan penelitian 1 atau proses pembuatan komposit Epoksi/E-glass dengan penambahan *carbon black* dan *clay*, dimulai dengan melakukan proses formulasi bahan-bahan yang akan dicampur menjadi satu. Variabel berubah dalam penelitian ini adalah jumlah fraksi berat *carbon black* dan *clay*, dengan variasi yaitu 0 %, 1 %, 3 %, dan 5 % berat dari komposit.

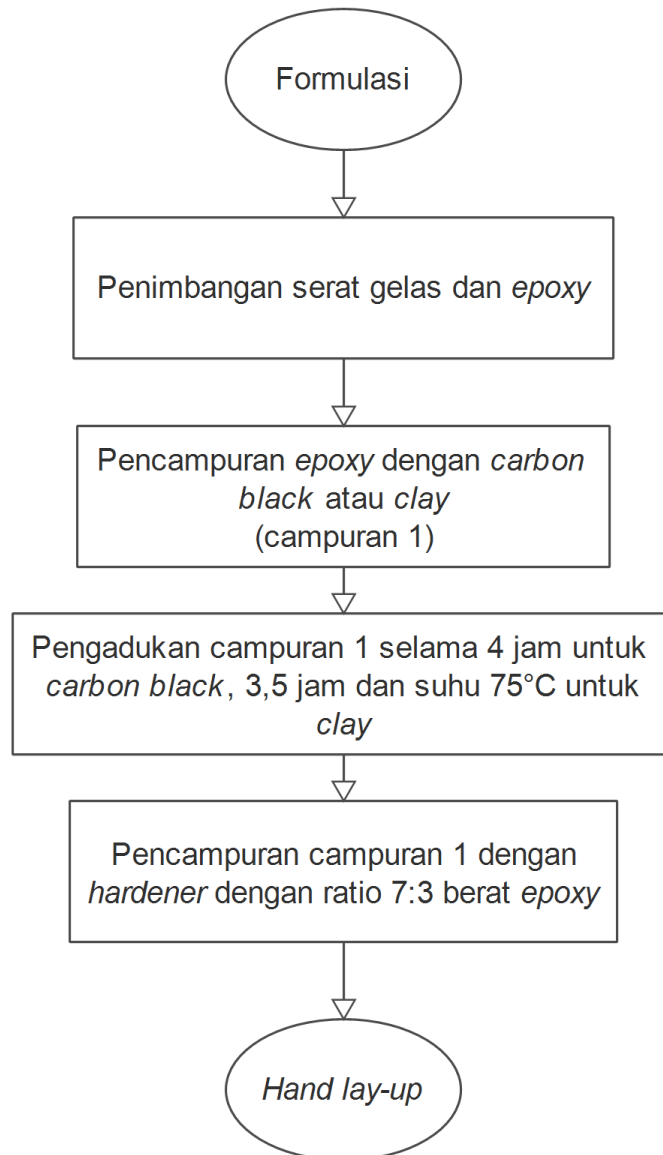
Serat gelas yang telah dipotong ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat epoksi dan *hardener*. Untuk variasi 0 %, setelah penimbangan pada epoksi dan *hardener*, kedua bahan

dicampur dan diaduk pada *hot plate magnetic stirrer* Heidolph MR 3001, selama 3 menit dengan kecepatan 400 rpm. Sedangkan untuk variasi 1 %, 3% dan 5 %, setelah penimbangan epoksi, epoksi diaduk pada *stirrer* sambil memasukan *carbon black* atau *clay* secara perlahan untuk menghindari terjadinya pengendapan dan penggumpalan *carbon black* atau *clay*. Proses *stirrer* epoksi-*carbon black* berlangsung selama 4 jam pada suhu ruangan, sedangkan epoksi-*clay* berlangsung selama 3,5 jam pada suhu 75⁰C.

Pembuatan sampel dilanjutkan dengan penambahan *hardener*, setelah itu larutan akan segera mengeras atau *cured*. *Work life* dari *hardener* selama 45 menit-1 jam. Setelah pencampuran *hardener*, larutan diaduk kembali dengan *stirrer* selama 3 menit dengan kecepatan 400 rpm. Pencampuran ini dilakukan pada suhu ruang dengan *beaker glass* yang ditutup dengan *aluminium foil* supaya tidak ada udara yang masuk dan terperangkap di larutan, sehingga mengurangi adanya *void* pada saat epoksi mengeras.

Sebelum proses *hand lay up* dilakukan, telah disiapkan terlebih dahulu serat *E-glass* berukuran 40 x 20 cm sebanyak 4 buah, karena masing-masing cetakan dibutuhkan 2 lapis serat. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up* yakni dengan menuangkan campuran epoksi-*hardener* ke dalam cetakan yang telah diletakan serat, kemudian diratakan dengan rol atau kuas agar meresap ke dalam serat dan menghindari *void* pada komposit. Metode *hand lay up* dilakukan dengan cara menyusun lapisan selang-seling antara matriks dan serat, dengan urutan matriks-serat-matriks -serat- matriks. Setelah itu cetakan ditutup dengan kaca yang telah diolesi *mold release wax*, kemudian diberikan beban untuk membentuk komposit (*molding*). Komposit dibiarkan mengeras (*proses curing*) selama ± 24 jam pada suhu ruang. Komposit selanjutnya dibuka dari cetakan, dan siap dipotong sesuai kebutuhan

untuk pengujian. Diagram alir pelaksanaan penelitian 1 disajikan pada gambar III. 3 sebagai berikut.



Gambar III. 3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 1 (Pembuatan Komposit)

3.3.2.2 Pelaksanaan penelitian 2

Pelaksanaan penelitian 2 atau pembuatan spesimen untuk pengujian dilakukan dengan metode digerus, dan pembentukan

spesimen sesuai standar ASTM E 168-98, ASTM E 1252 untuk uji FTIR, dan ASTM E 1131 untuk uji TGA.

3.3.2.3 Pelaksanaan penelitian 3

Pelaksanaan penelitian 3 merupakan pengujian sifat karakteristik sampel material komposit yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan berdasarkan standar ASTM E 168-98, dan ASTM E 1252. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* PerkinElmer tipe *spectrum 100*. Metode ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi epoksi sebelum dan setelah *filler* dicampurkan. Berikut cara kerja FTIR:

- a. Siapkan alat dan sampel yang akan diuji.
- b. Gerus sampel dan masukan ke cawan.
- c. Masukan KBr ke cawan lalu tumbuk menjadi serbuk.
- d. Serbuk hasil tumbuk dimasukan ke cetakan *pellet* yang berdiameter 13 mm.
- e. Memasukan ke *auto pressure pellet machine* dengan diberi beban 2200 lbf dan waktu 44 detik.
- f. Buka cetakan dan ambil sampel yang berbentuk *pellet*.
- g. Masukan ke alat FTIR dan lakukan *scanning*.
- h. *Print* hasil yang diperoleh

2. *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Pengujian TGA dilakukan berdasarkan standar ASTM E 1131. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat TG/DTA PerkinElmer tipe Diamond TG/TDA yang bertekanan atmosfer nitrogen, dengan maximum temperatur 800°C, minimum temperatur 50°C, dan *heat rate* 10 °C/menit. Metode ini bertujuan untuk mengetahui *stability heat* pada material komposit yang telah ditambahkan *carbon black* dan *clay*. Berikut cara kerja TGA:

- a. Siapkan alat dan sampel yang akan diuji.
- b. Gerus bagian sisi sampel dan mendapatkan serbuk sampel.
- c. Masukkan dua tempat sampel yang telah diisi dengan α -Aluminium ke alat TG/DTA untuk melakukan *zero weight*.
- d. Masukkan serbuk sampel yang telah digerus ke tempat sampel sebelah kiri yang telah dilakukan *zero weight*.
- e. Lakukan *value weight*, kemudian *scanning*.
- f. *Print* data hasil yang telah diperoleh.

3.3.3 Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data

Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik pengolahan data kuantitatif terhadap variabel respon yaitu sifat karakteristik material RAM yang dilakukan saat pelaksanaan penelitian 1 sampai dengan pelaksanaan penelitian 3. Pengolahan data ini dilakukan setelah data terkumpul yang diperoleh dari seluruh instrumen penelitian hasil observasi, catatan lapangan, lembar pengujian, dan data hasil tersebut kemudian dibaca, dipelajari dan ditelaah. Langkah pengolahan data yang dilakukan melalui tiga langkah, yaitu:

1. Pengumpulan Data

Data-data yang diperoleh di lapangan dicatat atau direkam dalam bentuk naratif, yaitu uraian data yang diperoleh dari lapangan apa adanya tanpa adanya komentar atau catatan kaki. Perolehan data diambil dari seluruh instrumen penelitian yang digunakan seperti hasil observasi, catatan lapangan, dan lembar pengujian sifat karakteristik material komposit.

2. Reduksi Data

Reduksi data merupakan prosedur pemilihan, pemutusan perhatian pada penyederhanaan, pengabstrakan dan transformasi data kasar yang muncul dari seluruh instrumen penelitian menjadi informasi hasil tindakan.

3. Penyajian Data

Pada langkah ini penyajian data yang digunakan adalah dalam bentuk paparan naratif dan repressntatif *linear chart*. Berdasarkan data yang sudah

disajikan tersebut kemudian dilakukan analisis data. Analisis data biasanya dilakukan pada tahap akhir penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian, namun demikian untuk kepentingan tertentu analisis data dapat dilaksanakan beriringan dengan pengolahan data di setiap selesainya pengujian sifat karakteristik material komposit tersebut.

3.3.4 Tahap Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan merupakan upaya memaknai data yang disajikan dengan mencermati pola-pola keteraturan penjelasan, konfigurasi, dan hubungan sebab akibat. Dalam melakukan penarikan kesimpulan, perlu diamati data-data yang disajikan dan penjelasan terkait dari literatur yang diperoleh seperti sifat fungsi material, dan kondisi operasi optimum yang dilakukan. Kesimpulan awal yang dikemukakan masih bersifat awal, karena berubah atau tidaknya kesimpulan bergantung pada bukti di lapangan.

Format kesimpulan yang diambil dalam bentuk analisis kuantitatif nilai maksimum dan minimum masing-masing pengujian yang berasal dari sajian data, hal ini dimaksudkan untuk mendukung analisis data sehingga dapat diketahui sifat karakteristik material komposit yang dihasilkan dengan penambahan variasi berat *carbon black* dan *clay*. Dijabarkan nilai optimum yang dapat digunakan sebagai aplikasi tujuan pembuatan komposit tersebut.

3.4 Jadwal Penelitian

Fabrikasi penelitian dilakukan di Pusat Teknologi Material, Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Puspitek, Serpong. Pengujian dilakukan di Balai Pengujian dan Identifikasi Barang Tipe A, Direktorat Jendral Bea dan Cukai, Jakarta. Penelitian ini berlangsung dari bulan April sampai dengan bulan Juni 2016.

Tabel III.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian	April				Mei				Juni			
		Minggu ke-											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
1	Persiapan Penelitian	■	■	■									
2	Perencanaan Variasi Penelitian				■								
3	Pelaksanaan Penelitian I (pembuatan komposit)					■	■						
4	Pelaksanaan Penelitian II (pembuatan spesimen pengujian)							■					
5	Pelaksanaan Penelitian III (pengujian sampel komposit)								■				
6	Pengolahan Data dan Analisis Data										■		

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai gugus fungsi epoksi sebelum dan sesudah penambahan *carbon black* maupun *clay* yang digunakan pada penelitian dan sifat ketahanan panas komposit.

4.1 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Uji FTIR dilakukan guna mengetahui gugus fungsi epoksi yang digunakan pada penelitian ini. Analisa gugus fungsi dilakukan dengan membandingkan puncak-puncak intensitas penyerapan yang terbentuk pada spektrum IR dengan tabel korelasi penyerapan gugus fungsi. Pengujian FTIR dilakukan dengan mengikuti standar uji ASTM E 168-98, dan ASTM E 1252.

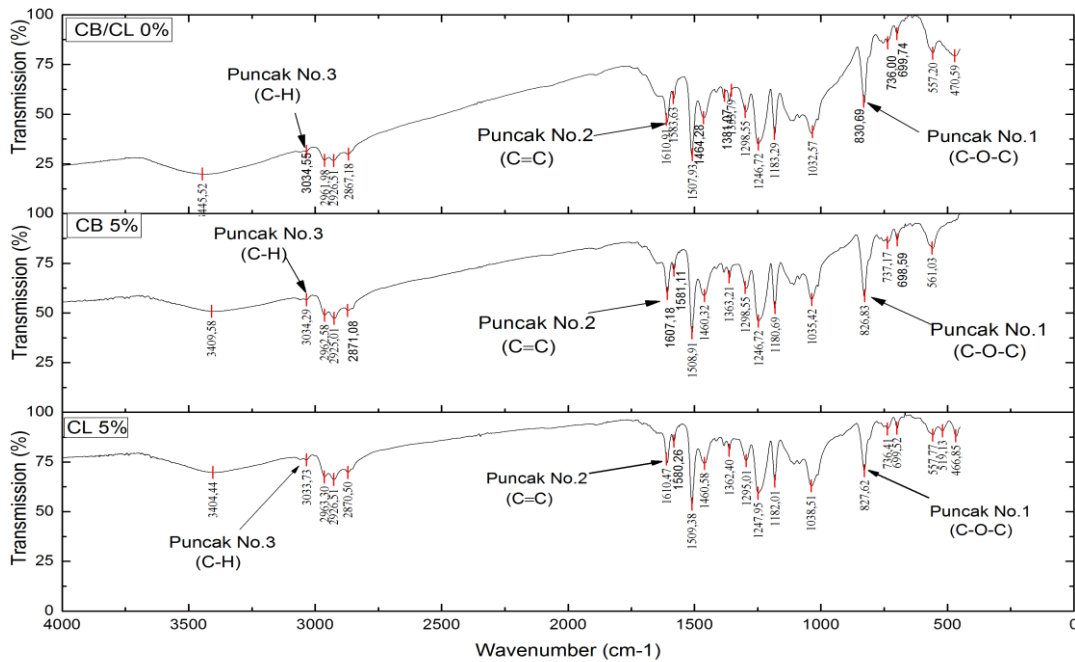
Gambar IV.1 menunjukkan spektrum FTIR untuk sampel campuran epoksi dengan penambahan *carbon black* dan *clay*. Semua puncak utama yang berhubungan dengan gugus epoksi telah diamati. Umumnya daerah puncak absorpsi yang berhubungan dengan gugus fungsi epoksi yaitu: $\sim 831\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1.608\text{ cm}^{-1}$, $\sim 3.057\text{ cm}^{-1}$ dapat dilihat pada tabel IV.1 di bawah ini.

Tabel IV. 1 Puncak Gugus Fungsi Epoksi

CB/CL (wt.%)	Puncak no. 1 (Gugus C-O-C <i>Oxirane</i>)	Puncak no. 2 (Gugus C=C <i>Aromatic</i>)	Puncak no. 3 (Gugus C-H <i>Oxirane</i>)
CB/CL 0%	830,69 cm^{-1}	1.610,91 cm^{-1}	3.034,55 cm^{-1}
CB 5%	826,83 cm^{-1}	1.607,18 cm^{-1}	3.034,20 cm^{-1}
CL 5%	827,62 cm^{-1}	1.610,47 cm^{-1}	3.033,73 cm^{-1}

Berdasarkan tabel di atas, puncak absorpsi sekitar 831 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O-C dari gugus *oxirane* yang mengalami vibrasi *stretching*. Nilai puncak absorpsi CB/CL 0%, CB 5%, dan CL 5% pada daerah tersebut yaitu $827,88\text{ cm}^{-1}$; $826,83\text{ cm}^{-1}$; dan $827,62\text{ cm}^{-1}$. Pada puncak absorpsi sekitar 1.608 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C=C yang mengalami vibrasi *stretching* dari cincin aromatik. Nilai puncak absorpsi CB/CL 0%, CB 5%, dan CL 5% pada daerah

tersebut yaitu $1.610,91\text{ cm}^{-1}$; $1.607,18\text{ cm}^{-1}$; dan $1.610,47\text{ cm}^{-1}$. Pada puncak absorpsi sekitar 3.057 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-H yang mengalami vibrasi stretching dari cincin *oxirane*. Nilai puncak absorpsi CB/CL 0%, CB 5%, dan CL 5% pada daerah tersebut yaitu $3.034,55\text{ cm}^{-1}$; $3.034,20\text{ cm}^{-1}$; dan $3.033,73\text{ cm}^{-1}$.



Gambar IV. 1 Spektrum IR Gugus Fungsi Epoksi dengan Penambahan *Carbon Black* dan *Clay*

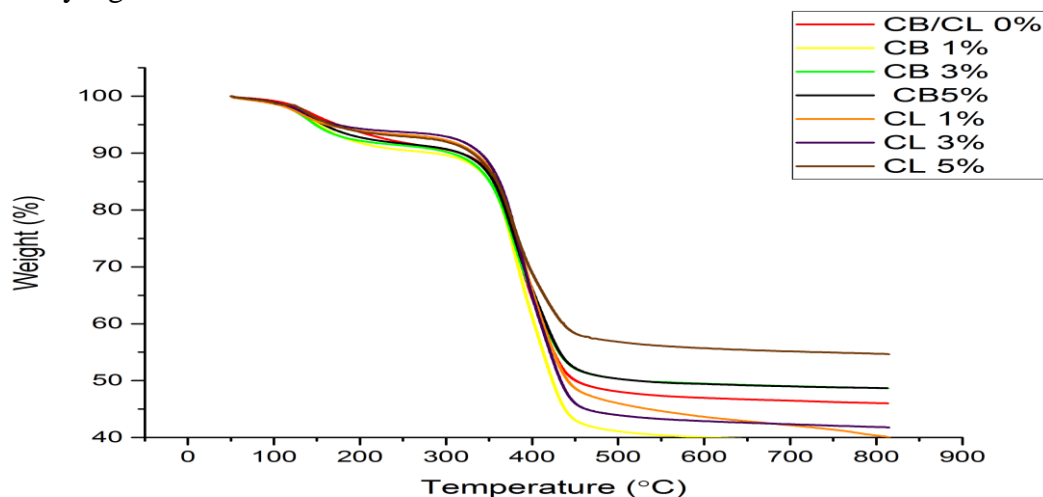
Selain itu, puncak absorpsi di sekitar 1.036 cm^{-1} dan 2.926 cm^{-1} diamati di semua sampel dengan penambahan *carbon black* 5% dan *clay* 5% dan hal itu terkait dengan ikatan C-O-C dari eter dan ikatan C-H dari CH_2 dan CH aromatik dan alifatik yang mengalami vibrasi *stretching*. Sebuah puncak absorpsi tajam dengan intensitas tinggi di sekitar 1.509 cm^{-1} telah diamati pada sebagian besar sampel dan hal tersebut terkait dengan adanya ikatan C-C dari aromatik yang mengalami vibrasi *stretching*. Hal ini menunjukkan interaksi yang mungkin antara karbon dan epoksi matriks. Seperti disebutkan sebelumnya, reaksi kimia yang mungkin antara karbon hitam dengan gugus amina terjadi (Mohsin *et al*, 2011;.. Nikolic *et al*, 2010). Puncak absorpsi dengan intensitas rendah juga diamati di sekitar 3.415 cm^{-1} yang terkait dengan ikatan O-H yang mengalami *stretching*.

Berdasarkan hasil pengujian FTIR pada sampel CB 5% dan CL 5% dapat dilihat bahwa tidak perubahan secara signifikan terhadap spektrum IR gugus epoksi pada sampel CB/CL 0%. Hal ini menunjukkan penambahan *carbon black* maupun *clay* tidak mempengaruhi ikatan secara kimia, melainkan terjadi ikatan mekanik ditandai dengan tidak adanya puncak baru yang muncul (Aldino, A. R. et al, 2015).

4.2 Hasil Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Thermogravimetric analysis (TGA) digunakan untuk mengetahui sifat panas dan berat sisa dari pemanasan material komposit. Sifat panas untuk material RAM diperlukan, karena material RAM diaplikasikan pada media yang terpapar panas dalam badan pesawat terbang. Pengujian TGA ini dilakukan mengikuti standar uji ASTM E 1131. Pengujian TGA menggunakan instrumen Diamond TG/DTA (PerkinElemer). Dipanaskan dengan laju kenaikan suhu 10 °C/menit dalam lingkungan atmosfer gas nitrogen dan pengambilan data dari temperatur 50-800°C.

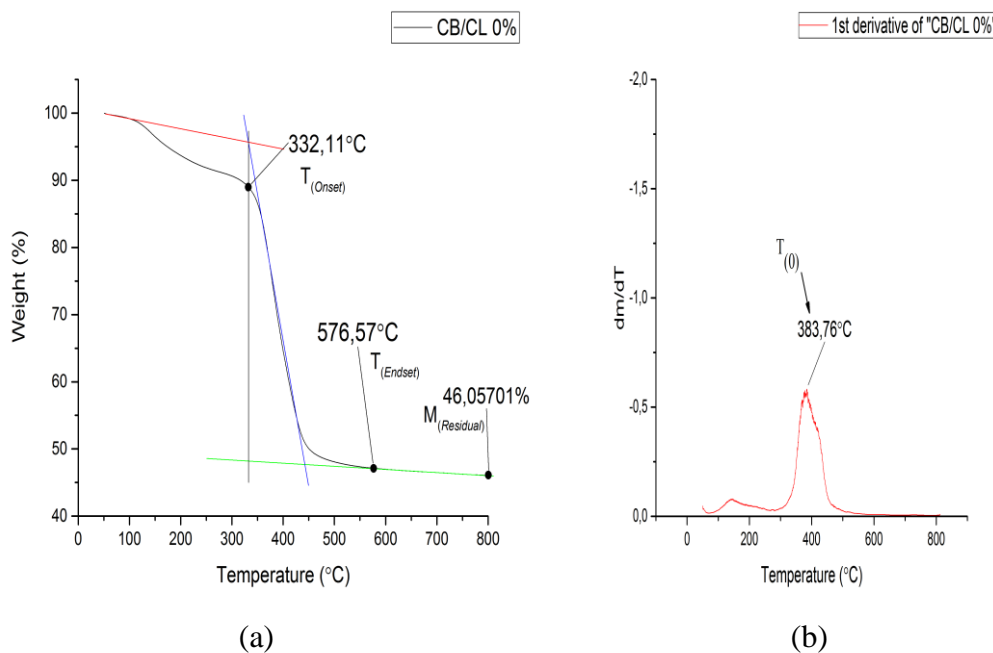
Hasil penelitian pada gambar IV.2 menunjukkan perilaku perbedaan sifat panas untuk masing-masing sampel komposit dan juga penurunan massa selama perlakuan termal. Dilihat dari hasil uji ketujuh sampel tersebut memiliki nilai sifat panas yang berbeda-beda.



Gambar IV. 2 Kurva TG-DTA Komposit Epoksi/E-glass dengan Penambahan *Carbon Black* dan *Clay*

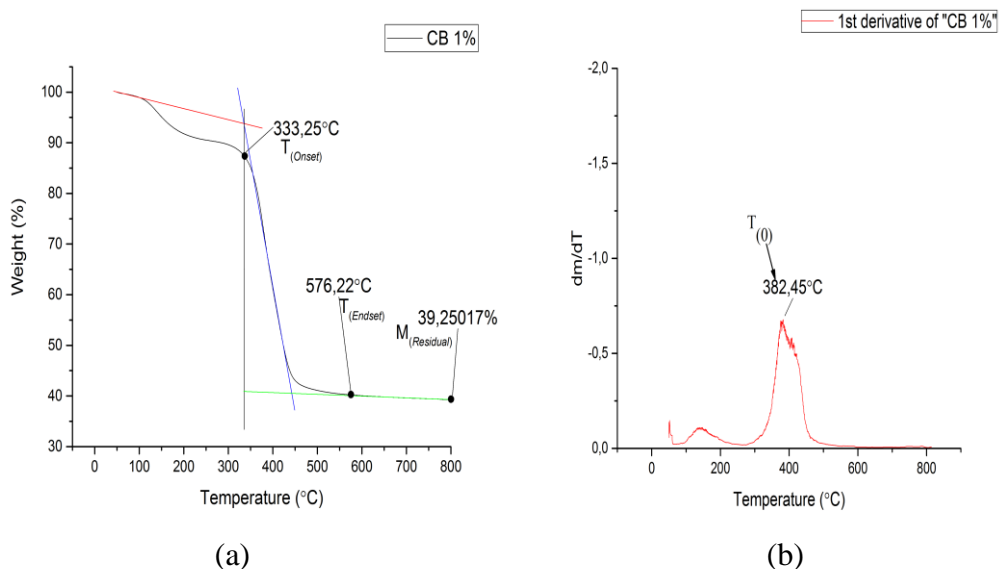
Kurva hasil penelitian telah menunjukkan awal hilangnya massa saat terjadinya analisis termal adalah massa dari air, karbon monoksida, karbon dioksida, serta produk pirolisis lainnya (Alriols et. al. 2008; Sun et. al. 2001). Sesuai gambar IV.2, kurva termogravimetri menunjukkan kehilangan massa sebanyak 10% pada temperatur sekitar 350°C berupa senyawa epoksi yang menguap. Ketika temperatur mencapai 400°C, massa yang hilang sejumlah 30% dari massa awal. Komposit dengan penambahan *clay* (CL) sebanyak 5 wt.% dengan nilai maksimum massa residual sebesar 54,73% merupakan komposit yang memiliki sifat panas yang terbaik dibandingkan dengan sampel lainnya, sedangkan komposit dengan penambahan *carbon black* (CB) sebanyak 5 wt.% menghasilkan nilai massa residual sebesar 48,71%. Nilai maksimum residual adalah nilai massa sisa komposit setelah dilakukan perlakuan termal.

Pada kurva hasil uji TG-DTA terdapat notasi seperti $T_{(onset)}$ yaitu temperatur mula-mula terjadinya dekomposisi material; $T_{(0)}$ yaitu temperatur terjadinya dekomposisi material tertinggi. Adapun $T_{(0)}$ diperoleh dari persamaan $T_{(0)} = \frac{dm}{dT}$; $T_{(endset)}$ yaitu temperatur terakhir terjadinya dekomposisi material; dan $M_{(residual)}$ yaitu massa yang terisisa pada temperatur maksimum (Hussein M, 2014).



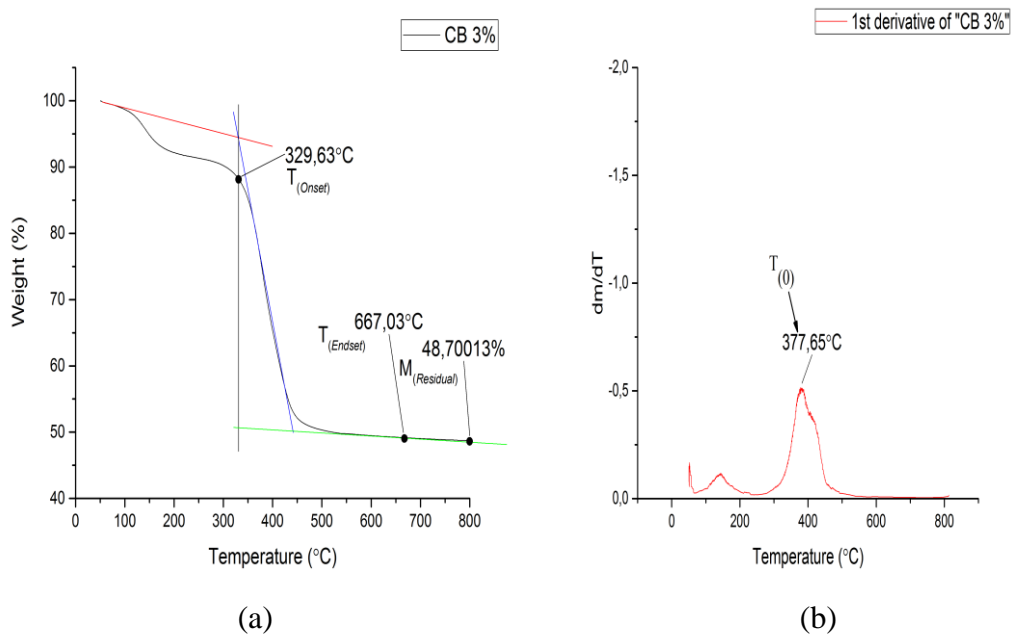
Gambar IV. 3 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CB/CL 0 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB/CL 0 wt.%

Pada gambar IV. 3(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB/CL 0 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 332,11°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 576,57°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 46,05% yang berupa serat *E-glass*. Pada gambar IV. 3(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB/CL 0 % pada temperatur 383,76°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.



Gambar IV. 4 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CB 1 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB 1 wt.%

Pada gambar IV. 4(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 1 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 333,25°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 576,22°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 39,25% yang berupa serat *E-glass* dan *Carbon Black*. Pada gambar IV. 4(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 1 % pada temperatur 382,45°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.

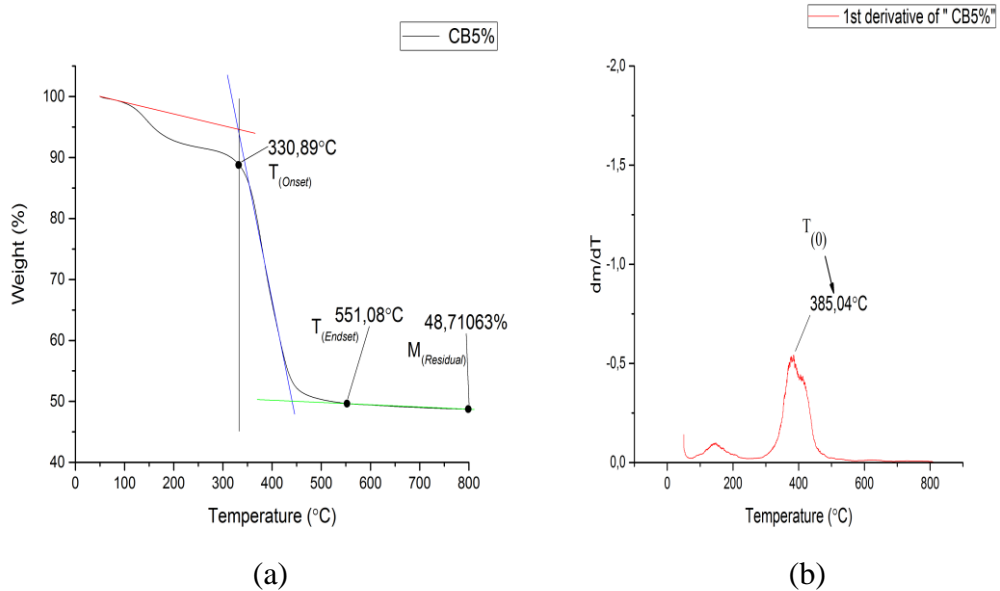


Gambar IV. 5 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CB 3 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CB 3 wt.%

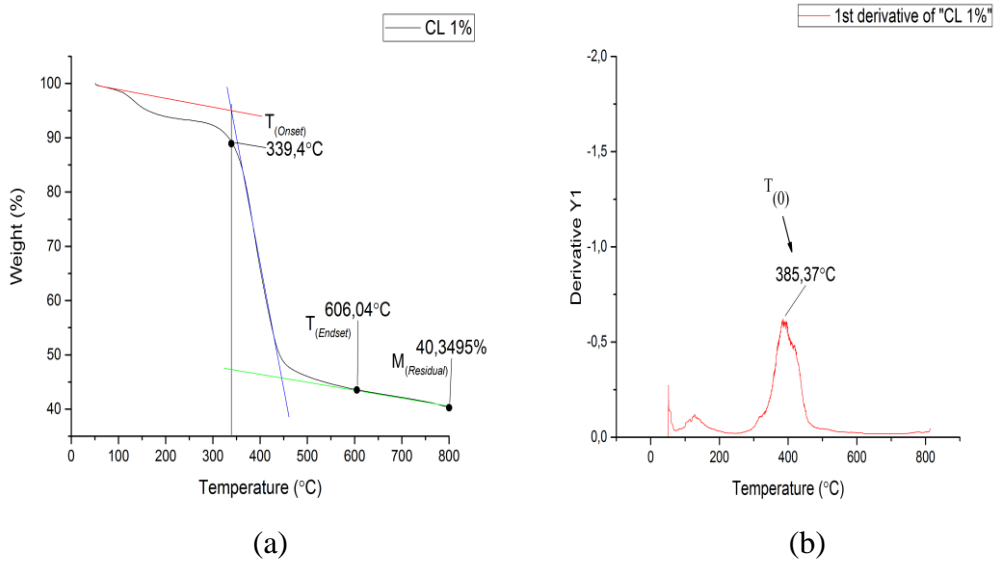
Pada gambar IV. 5(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 3 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 329,63°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 667,03°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 48,70% yang berupa serat *E-glass* dan *Carbon Black*. Pada gambar IV. 5(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 3 % pada temperatur 377,85°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.

Pada gambar IV. 6(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 5 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 330,89°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 551,08°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 48,71% yang berupa serat *E-glass* dan *Carbon Black*. Pada gambar IV. 6(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CB 5

% pada temperatur 385,04°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.



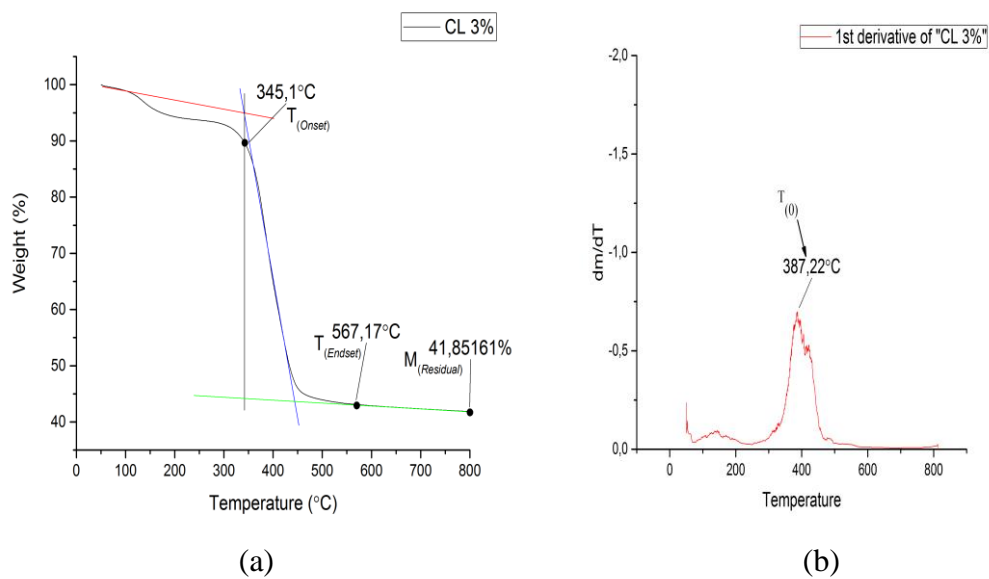
Gambar IV. 6 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CB 5 wt.%, (b) $T(0)$ CB 5 wt.%



Gambar IV. 7 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CL 1 wt.%, (b) $T(0)$ CL 1 wt.%

Pada gambar IV. 7(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 1 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur

344,97°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 606,04°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 40,35% yang berupa serat *E-glass* dan *Carbon Black*. Pada gambar IV. 7(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 1 % pada temperatur 385,37°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.

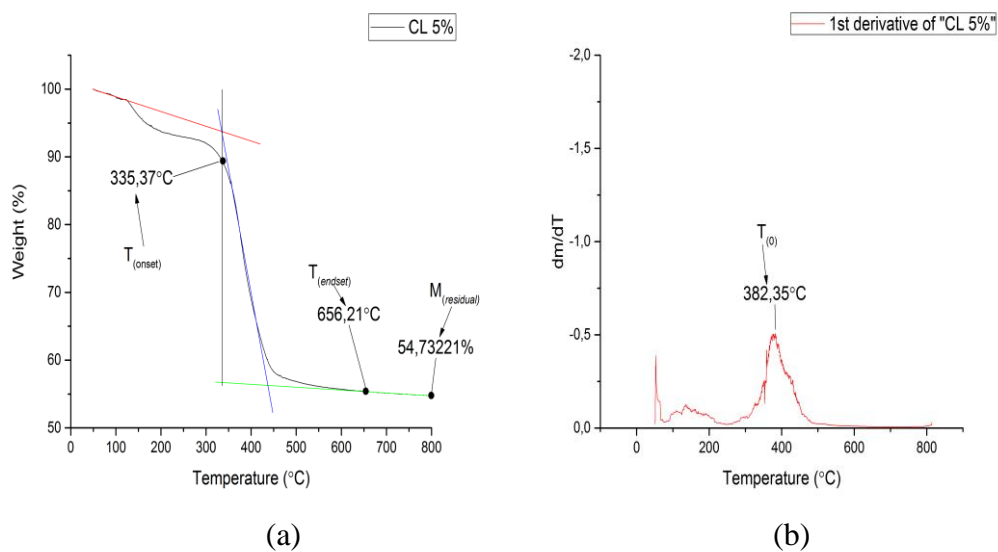


Gambar IV. 8 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CL 3 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CL 3 wt.%

Pada gambar IV. 8(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 3 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 345,1°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 567,17°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 41,85% yang berupa serat *E-glass* dan *Clay*. Pada gambar IV. 8(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 3 % pada temperatur 387,22°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.

Pada gambar IV. 9(a) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 5 % mengalami dekomposisi pertama pada temperatur 130°C yang

merupakan senyawa air yang menguap, dekomposisi kedua pada temperatur 345,1°C merupakan senyawa epoksi yang menguap. Pada temperatur 567,17°C massa terdekomposisi mencapai hasil maksimum hingga temperatur 800°C dengan massa yang terisasa sebesar 41,85% yang berupa serat *E-glass* dan *Clay*. Pada gambar IV. 9(b) menunjukkan kurva hasil uji TG-DTA sampel komposit CL 5 % pada temperatur 387,22°C terjadi laju kehilangan massa terbesar sekitar 0,5 mg/°C senyawa epoksi yang menguap.



Gambar IV. 9 Kurva Hasil Uji TGA (a) $T_{(onset)}$, $T_{(endset)}$, dan Maksimum residual CL 5 wt.%, (b) $T_{(0)}$ CL 5 wt.%

Semua data dekomposisi termal diringkas dalam tabel IV.2, dalam tabel tersebut menunjukkan variasi komposit CB/CL 0%, CB 1%, CB 3%, CB 5%, CL 1%, CL 3%, dan CL 5% yang tersisa pada temperatur 800°C sebesar 46,05%; 39,25%; 48,7%; 48,71%; 40,39%; 41,85%; dan 54,73%. Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan ketahanan panas yang terbaik adalah komposit epoksi/*e-glass* dengan penambahan *clay* sebesar 5 wt.% dan *carbon black*. sebesar 5 wt.%

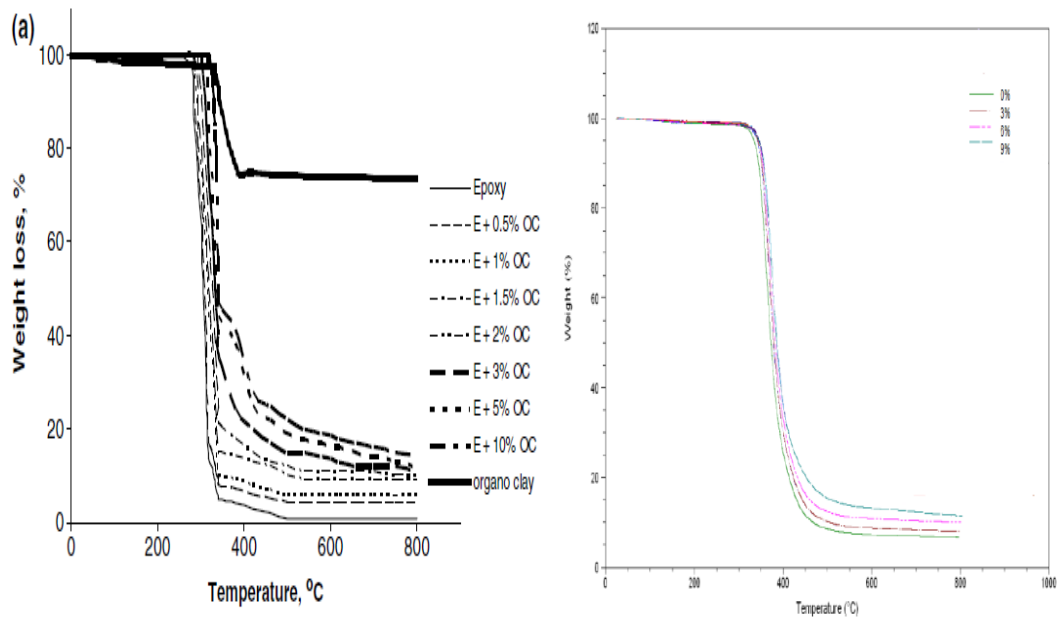
Tabel IV. 2 Data TGA (Thermogravimetric Analyzer)

Sampel	$T_{(onset)}$, (°C)	$T_{(endset)}$, (°C)	$T_{(0)}$, (°C)	Maximum residual (%), at 800°C
CB/CL 0%	332,11	576,657	383,76	46,05
CB 1%	333,25	576,22	382,45	39,25

Tabel IV. 3 Data TGA (*Thermogravimetric Analyzer*) Lanjutan

Sampel	$T_{(onset)}$, (°C)	$T_{(endset)}$, (°C)	$T_{(0)}$, (°C)	Maximum residual (%), at 800°C
CB 3%	329,63	667,03	377,65	48,70
CB 5%	330,89	551,08	385,4	48,71
CL 1%	344,97	606,04	385,37	40,39
CL 3%	345,10	567,17	387,22	41,85
CL 5%	335,37	656,21	382,35	54,73

Penelitian lain yang menggunakan *filler* berupa *carbon black* dan *clay* dengan formulasi lebih dari 5 wt.% menghasilkan nilai maksimum yang selalu meningkat (Husein, 2014 dan Mohan,2006) yang ditunjukkan oleh gambar IV.10



Gambar IV. 10 Kurva Perbandingan Maksimum Residual dengan Penambahan *carbon black* ataupun *clay*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposit epoksi/*e-glass* dengan penambahan *carbon black* 5 wt.% tidak mempengaruhi secara signifikan spektrum IR gugus fungsi epoksinya yang ditandai dengan tidak ada puncak baru yang muncul, begitu pula dengan penambahan *clay* 5 wt.%.
2. Adapun fraksi massa *carbon black* dan *clay* yang menghasilkan sifat ketahanan panas komposit epoksi/*e-glass* yang terbaik adalah CB 5 % dengan nilai massa residual komposit epoksi/*e-glass* sebesar 48,71 % dan CL 5% dengan nilai massa residual komposit epoksi/*e-glass* sebesar 54,73%.
3. Komposit epoksi/*e-glass* terbaik sebagai RAM adalah CB 5% memiliki massa residual 48,71% dengan nilai absorpsi sebesar 91,48% (teori) dan CL 5% memiliki massa residual 54,73% dengan nilai absorpsi sebesar 95,8% (teori).

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut dimasa mendatang sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan riset lanjutan untuk mengetahui variasi *carbon black* ataupun *clay* yang mempengaruhi ketahanan panas dan penyerapan gelombang.
2. Perlu dilakukan riset lanjutan untuk mengetahui faktor-faktor lain selain jumlah *carbon black* ataupun *clay* yang mempengaruhi ketahanan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agita, A. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Pada Material Komposit Carbon Black/Epoksi/E-glass Fiber*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Aldino, A. R, Hosta, A. 2015. *Pengaruh Karbon Hitam Bambu Terhadap Kekuatan Tarik, Stabilitas Thermal Dan Konduktivitas Listrik Komposit Epoksi/Karbon Hitam Bambu Sebagai Bahan Komponen Listrik*. Surabaya: FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arai, Y. 1993. *Structure and Properties of Pitch-Based Carbon Fibers* (NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No.59). California: Nippon Steel Corporation.
- ASTM E 1131. 2014. *Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry*. Annual Books of ASTM Standards. Vol.14.05.
- ASTM E 1252. 1998. *Standard Practices for General Techniques of Infrared Quantitative Analysis*. Annual Books of ASTM Standards. Vol.03.06.
- ASTM E 168. 1998. *Standard Practices for General Techniques of Infrared Quantitative Analysis*. Annual Books of ASTM Standards. Vol.03.06.
- Augustsson, C. 1995. *NM Epoxy Handbook*. Ytterby: Nils Malmgren AB.
- Bandaru, P. R. 2007. *Electrical Properties and Applications of Carbon Nanotube Structures*. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 7, 1-29.
- Callister, W. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction - 7th ed.*New York: John Wiley&Sons, Inc.
- Castro, L. d., & Rezende, M. C. 2008. *Multilayer Radar Absorbing Material Processing by Using Polymeric Nonwoven and Conducting Polymer*. Material Research.11, No.3, pp. 245-249. Elsevier.

- Chaturvedi, S. K., & Kumar, S. *Evaluation of thermal properties of e-glass/epoxy composites filled by different filler materials*. International Journal of Advances in Engineering & Scientific Research, 1(3), 01-07.
- Chin, W., & Lee, D. 2007. *Development of the composite RAS (radar absorbing structure) for the X-band frequency range*. Composite Structures, 457465.
- Chitraningrum, N. 2008. *Sifat Mekanik dan Termal pada Bahan Nanokomposit Epoxy-Clay Tapanuli*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Choi, I., Lee, D., & Lee, D. 2015. *Radar absorbing composite structures dispersed with nano-conductive particles*. Composite Structures 122 (pp. 23-30). Elsevier.
- Cholake et al. 2014. *Quantitative Analysis of Curing Mechanism of Epoxy Resin by Mid- and Near- Fourier Transform Infra Red Spectroscopy*. Defence science Journal, Vol. 64, No. 3.
- Cholake, S., Mada, M., Raman, R., Bai, Y., Zhao, X., Rizkalla, S., et al. 2014. *Quantitative Analysis of Curing Mechanism of Epoxy Resins by Mid- and Near- Fourier Transform Infra Red Spectroscopy*. Defence Science Journal, 64, 314-321.
- Du, L. 2008. *Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates in Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells*. (Doctoral Dissertation). University of Akron (Ohio USA)
- Fitrianiingtyas, R. 2014. *Sifat Mekanik Komposit Sandwich Woven S-Glass dengan Matriks Epoxy dan Inti Lantor Coremat*. Depok: Fisika FMIPA UI.
- Folgueras, L.C., Evandro Luis Nohara, Roselena Faez, Mirabel Cerqueira Rezende. 2007. *Dielectric Microwave Absorbing Material Processed by Impregnation of Carbon Fiber Fabric with Polyaniline*. Materials Research, Vol. 10, No. 1, 95-99.
- Frederick T. Wallenberger, James C. Watson, Hong Li. 2001. *Glass Fibers*. ASM International. ASM Handbook, Vol. 21: Composites.

- Gaylor, K. 1989. *Radar Absorbing Materials – Mechanisms and Materials*. DSTO Materials Research Laboratory Cordite Avenue, Australia. Metals & Materials Society and ASM International 2008.
- Gonzalez, M., Cabanelas, J., & Baselga, J. 2012. *Application of FTIR on Epoxy Resins- Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake*. Infrared Spectroscopy-Materials Science, Engineering and Technology.
- Hatakeyama, T., and Quinn, F.X. 1999. *Thermal Analysis, Fundamentals and Applications to Polymer Science*. Second Edition. New York : John Wiley & Sons.
- Ho, S. 2009. *Principles of The Manufacturing of Composites Materials*. Canada:DEStech Publications Inc.
- Hussein, M. F. A. 2014. *Carbon black mediated conductive polymer composite*. Uni Emirate Arab: United Arab Emirates Unisversity.
- Jachym. 1982. "Conduction in Carbon Black-Doped Polymers" in " Carbon Black Polymer Composites: The Physics of Electrically Conducting Composites". (S.E.K.,Ed.) 103-132.
- Jan, R., Khan, M., & Khan, Z. 2012. *Synthesis and electrical characterization of "carbon particles reinforced epoxy-nanocomposite" in Ku-band*. MaterialLetters 70, 155-159.
- Kapelewski, J. 2013. *On Current and Prospective Use of Binary Thin Multilayers in Radar Absorbing Structures*. Acta Physica Polonica A, 124(3), 451-455.
- Kaw, A. 2006. *Mechanics of Composite Materials - 2nd ed*. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Kremenchug carbon black plant. 2015. *Safety Data Sheet Carbon Black*. Ukraine: Kremenchug carbon black plant.
- Liu, X., Zhang, Z., & Wu, Y. 2011. *Absorption properties of carbon black/silicon carbide microwave absorbers*. Composites: Part B , 326-329.

- Michigan State University. 2000. *Tetrahedral Sheets of Clay Minerals*. East Lansing, Michigan, United States.
- Mohan, T.P., M. Ramesh Kumar, R. Velmurugan. 2006. *Thermal, Mechanical and Vibration Characteristics of Epoxy-Clay Nanocomposite*. Journal of materials science, 41(18), 5915-5925.
- Nanocor 1.30E Nanoclay Technical Data. Nanocor, Inc. 2870 Forbs Avenue, Hoffman Estates, IL 60192 847.851.1918, 800.426.5564.
- Nasution, E. L., & Astuti. 2012. *Sintesis Nanokomposit PAni/Fe₃O₄ Sebagai Penyerap Magnetik Pada Gelombang Mikro vol. 1, no. 1 , oktober . Issn 2302-8491 (Vol. 1)*. Jurnal Fisika Unand.
- Oh, J.-H., Oh, K.-S., Kim, C.-G., & Hong, C.-S. 2004. *Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X bafrequency ranges*. Composites Part B : engineering , 49-56.
- Petrucci, R. H. 1987. *Kimia Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Pitkethly, M. 1992. *Radar Absorbing Materials and Their Potential Use in Aircraft Structures*. Low Profile Absorbers and Scatterers, IEE Colloquium (pp.7/1-7/3). UK: IEEE.
- Qin, F., & Brosseau, C. 2012. *A review and analysis of microwave absorption in polymer composites filled with carbonaceous particles*. Journal of applied physics, 111(6), 061301.
- Ramprecht, J., & Sjoberg, D. 2007. *Biased magnetic materials in RAM applications*. Progress In Electromagnetics Research, 75, 85-117.
- Ratna, D. 2009. *Handbook of Thermoset Resins*. Shropshire, United Kingdom: iSmithers.
- Sari, E. P, S. Rohman, I. Aziz. 2013. *Optimasi Pembuatan Komposit dari Nanoclay Polistiren*. Valensi Vol. 3 No. 2, November 2013 (122-128).
- Sengwa, R. J., Choudhary, S., & Sankhla, S. 2008. *Low frequency dielectric relaxation processes and ionic conductivity of montmorillonite clay*

- nanoparticles colloidal suspension in poly (vinyl pyrrolidone)-ethylene glycol blends*. Express Polymer Letters, 2(11), 800-809.
- Sibilia, J. P. 1996. *Material Characterization and Chemical Analysis, second edition*. New York: VCH Publishers.
- Smithers Group Company. 2014. *Epoxy Resins*. Company No. 3858209, England & Wales.
- Sungkar, N. (2015). *Sintesis dan Karakterisasi Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Pada Material Komposit Epoksi/E-glass/Clay*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Suwanto, B. 2015. *Pengaruh Temperatur Post-Curing terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoxy Resin yang Diperkuat Woven Serat Pisang*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.
- Tim Kimia Anorganik. 2013. *Modul Praktikum Kimia Anorganik II*. Surakarta: Jurusan Kimia FMIPA UNS.
- Trihotri, M., Dwivedi, U. K., Khan, F. H., Malik, M. M., & Qureshi, M. S. 2015. *Effect of curing on activation energy and dielectric properties of carbon black–epoxy composites at different temperatures*. Journal of Non-Crystalline Solids, 421, 1-13.
- Uddin, F. 2008. *Clays, Nanoclays, and Montmorillonite Minerals*. The Minerals,
- Wu, K., Ting, T., Wang, G., Ho, W., & Shih, C. 2008. *Effect of carbon black content on electrical and microwave absorbing properties of polyaniline/carbon black nanocomposites*. Polymer Degradation and Stability, 483-488.
- Wang, H., Zhu, D., Zhou, W., & Luo, F. 2015. *Temperature dependence of the electromagnetic and microwave absorption properties of polyimide/Ti₃SiC₂ composites in the X band*. RSC Advances, 5(105), 86656-86664.

LAMPIRAN A

Formulasi Variasi Penelitian

Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan basis perhitungan berdasarkan fraksi massa, yaitu:

- Epoksi + *Hardener* sebagai matriknya beratio 65 % dari massa komposit
- *E-glass* sebagai penguat (*reinforcement*) berasio 35 % dari massa komposit.
- Variasi berat *filler carbon black* dan *clay* yang ditambahkan ke komposit masing-masing berasio 0 %, 1 %, 3 %, dan 5 %

Dengan cara perhitungan sebagai berikut,

Contoh perhitungan sampel CB 1%:

Massa *E-glass* yang telah ditimbang bernilai 73 gram, sehingga massa komposit adalah:

$$\text{massa komposit} = \frac{73 \text{ gram}}{0.35} = 208.57 \text{ gram}$$

Sehingga mendapatkan massa epoksi + *hardener* yaitu,

$$\text{massa epoksi} + \text{hardener} = 208.57 \text{ gram} \times 0.65 = 137.57 \text{ gram}$$

Untuk mendapatkan massa *carbon black* untuk variasi 1 % berat massa, sebagai berikut:

$$\text{CB 1 \%} = 208.57 \text{ gram} \times 0.01 = 2.05 \text{ gram}$$

Sehingga total massa komposit yang dibuat adalah:

$$\text{massa total komposit} = 208.57 \text{ gram} + 2.05 \text{ gram} = 210.62 \text{ gram}$$

Semua hasil perhitungan diringkas dalam tabel di bawah ini:

Tabel A.1 Formulasi Variasi Penelitian

Komposisi	Satuan	CB/CL 0% wt	CB 1% wt	CB 3% wt	CB 5% wt	CL 1% wt	CL 3% wt	CL 5% wt
Epoksi + <i>Hardener</i>	gram	163.4	135.57	137.42	136.65	135.57	137.42	136.65
<i>E-glass</i>	gram	88	73	74	73.5	73	74	73.5
<i>Carbon Black</i>	gram	0	2.05	6.34	10.5	0	0	0
<i>Clay</i>	gram	0	0	0	0	2.05	6.34	10.5
Jumlah Total	gram	251.4	210.62	217.76	220.65	210.62	217.76	220.65

LAMPIRAN B
Gambar Proses Penelitian



Gambar B.1 Pengeringan *Carbon Black* dan *Clay*



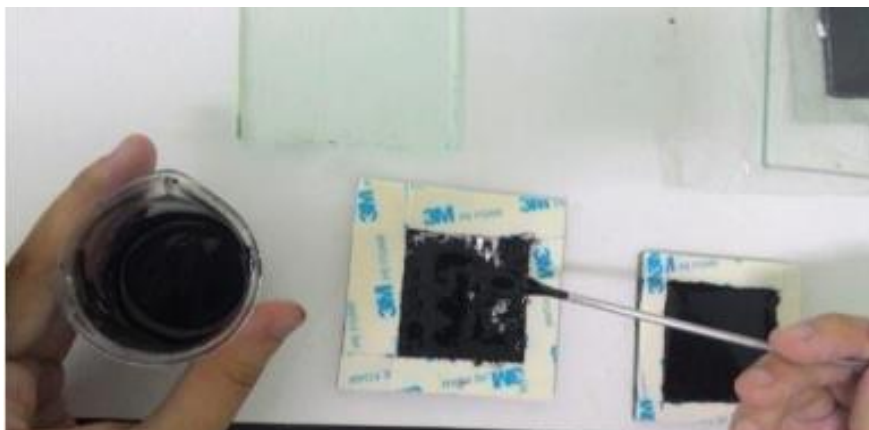
Gambar B.2 (a) Cetakan Komposit Berupa Kaca. (b) Cetakan yang Sudah Dioleskan *Wax* dan *Di-doubel Tape* Untuk Pembatas



Gambar B.3 Persiapan Komposit (*Epoksi, Hardener, Carbon Black, dan Clay*)



Gambar B.4 Proses Pengadukan Epoksi dengan *Carbon Black* atau *Clay*



Gambar B.5 Proses *Hand Lay Up*



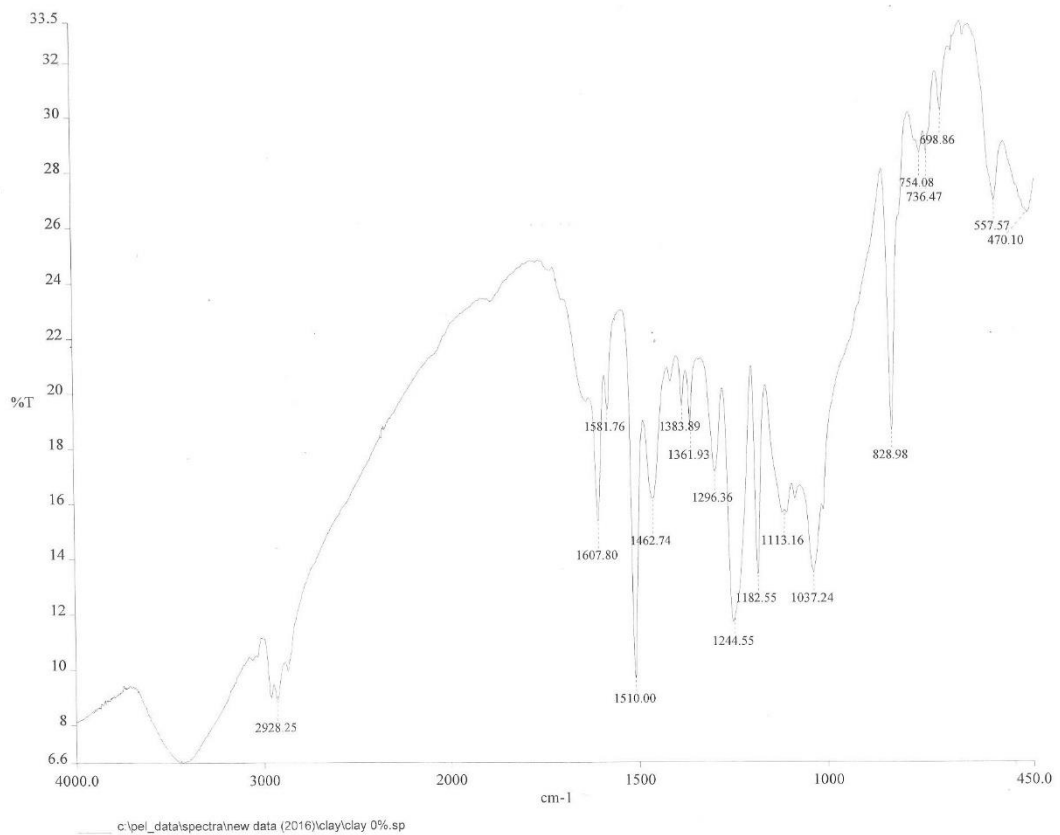
Gambar B.6 Proses *Curing*



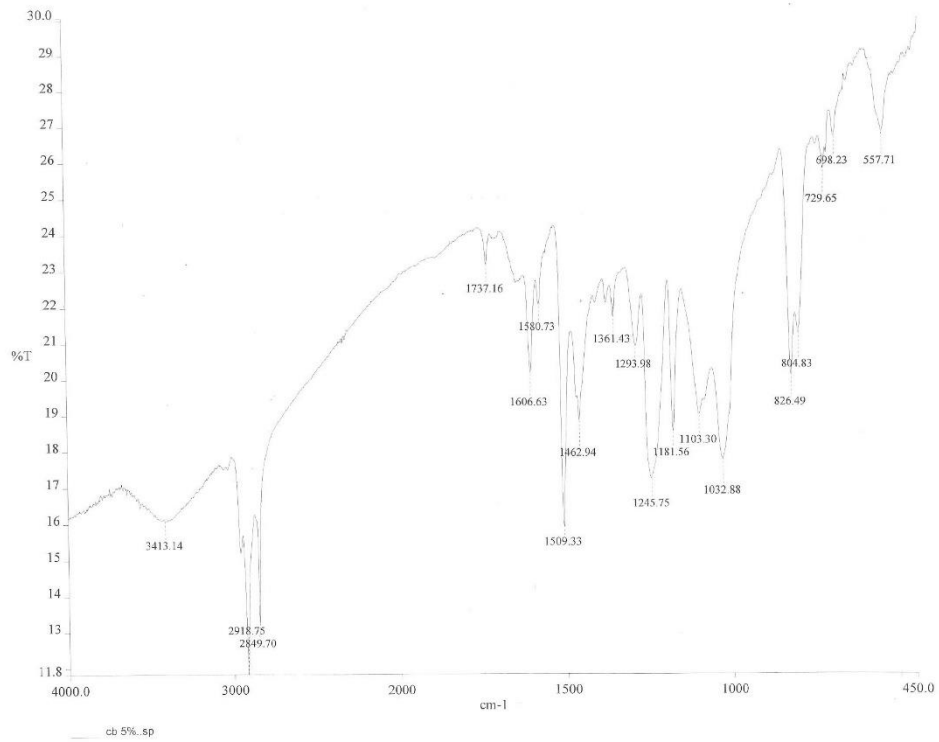
Gambar B.7 Hasil Komposit

LAMPIRAN C

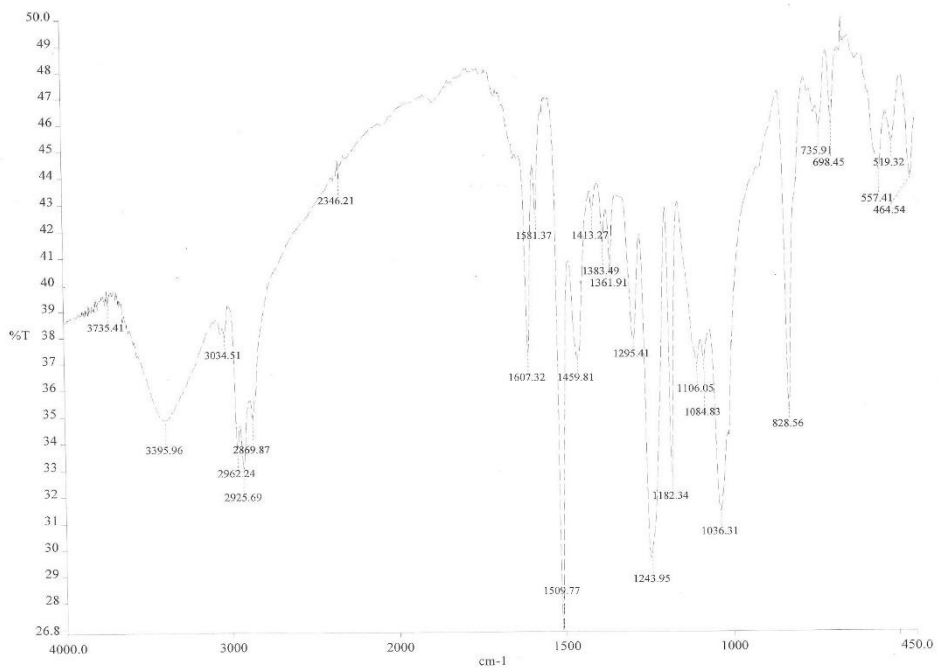
Hasil Penujian FTIR



Gambar C. 1 Hasil Uji FTIR CB/CL 0%



Gambar C. 3 Hasil Uji FTIR CB 5%



Gambar C. 2 Hasil Uji FTIR CL 5 %

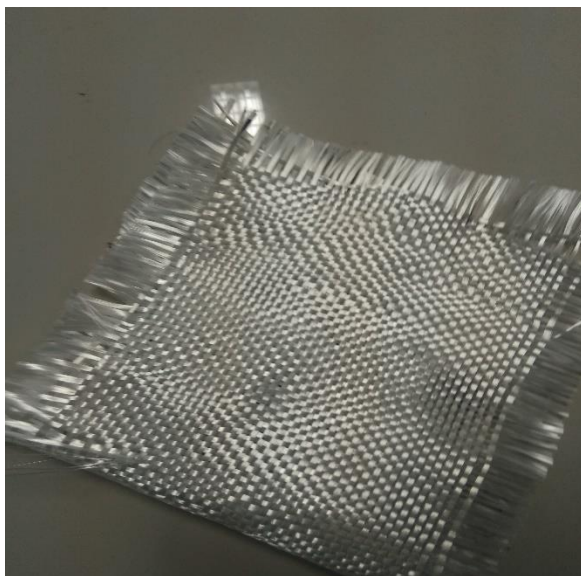
LAMPIRAN D
Gambar Alat dan Bahan



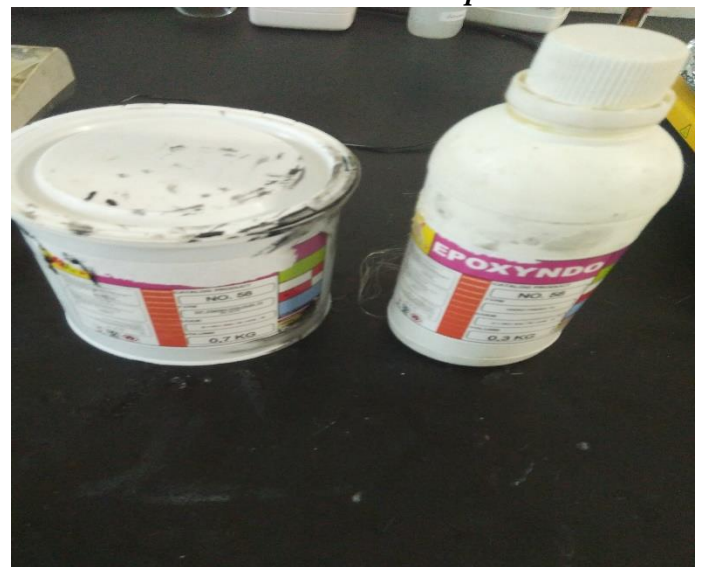
Gambar D.1 Kaca Sebagai Cetakan Komposit



Gambar D.2 Kaca yang Sudah Diberikan Wax dan Double Tape



Gambar D.3 Serat E-glass



Gambar D.4 Epoksi dan Hardener



Gambar D.5 Filler Carbon Black



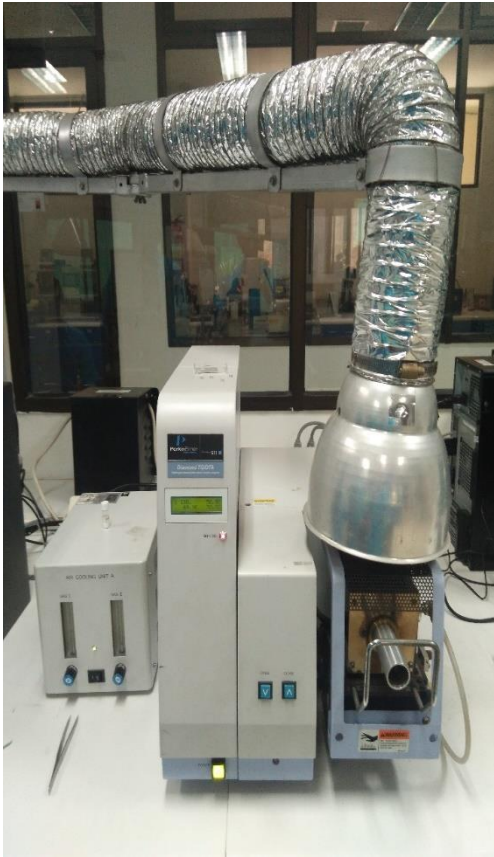
Gambar D.6 Filler Clay



Gambar D.7 Timbangan Digital



Gambar D.8 Magnetic Stirrer



**Gambar D.9 TG-GTA PerkinElmer
(Thermal Analyzer)**



Gambar D.10 Alat Spektroskopi FTIR