

**PENINGKATAN KONDUKTIVITAS MATERIAL KOMPOSIT  
CFRP DENGAN METODE PELAPISAN (*COATING*) SERBUK LOGAM**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**AAN RIDHO SYAIFUL IMAN**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## **ABSTRACT**

### **ENHANCEMENT CONDUCTIVITY OF COMPOSITE MATERIALS CRFP WITH METAL POWDER COATING METHOD**

**By**

**AAN RIDHO SYAIFUL IMAN**

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites are widely used because they have several advantages such as high strength, lightweight, and corrosion resistance. However, the conductivity of CRFP is lower than metals. Good conductivity of materials is very important when its uses as lightning protection system or electromagnetic interference shielding. This research propose method to increase conductivity of CFRP using metal coating paint. Metal powder mixed with epoxy resin and thinner were used to form metal paint solution. Aluminum (Al) and Copper (Cu) powder were used with various weight percentage, i.e., 20%, 50%, and 70% of total weight of epoxy resin. The metal powder weight are equal to 0,8 gr, 2 gr, dan 4 gr, respectively. There are six samples were made, and those were undergone resistance measurement. A four point probes method are used to measure the volume-resistance of samples.

The measured results show that the metal powder weight percentage affects the conductivity of the CFRP. The higher percentage of the metal powder increases higher conductivity of CFRP. CFRP coated with Copper paint solution has a higher conductivity than the CFRP coated with Aluminum (Al). Hence, it is because conductivity of Copper is higher than that of Aluminum.

**Key words :** Conductivity, metal coating, composite material, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Aluminum powder, Copper powder

## ABSTRAK

### PENINGKATAN KONDUKTIVITAS MATERIAL KOMPOSIT CFRP DENGAN METODE PELAPISAN (*COATING*) SERBUK LOGAM

Oleh

AAN RIDHO SYAIFUL IMAN

Komposit *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan seperti kekuatan tinggi, ringan, dan tahan terhadap korosi. Namun konduktivitas CFRP lebih rendah dari logam. Konduktivitas yang baik dari sebuah material sangat penting jika material tersebut digunakan sebagai sistem proteksi petir atau perisai interferensi elektromagnetik. Penelitian ini mengusulkan metode untuk meningkatkan konduktivitas CFRP menggunakan larutan cat logam. Serbuk logam dicampur dengan epoksi resin dan thinner untuk membentuk larutan cat logam. Serbuk Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) yang digunakan mempunyai variasi persentase berat yaitu sebesar 20%, 50%, dan 100% terhadap berat epoksi resin. Berat bubuk logam adalah 0,8 gr, 2 gr dan 4 gr secara berurutan. Ada 6 (enam) sampel yang dibuat dan diukur resistansinya. Metode 4 (empat) titik probe digunakan untuk mengukur resistansi sampel.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa persentase berat serbuk logam mempengaruhi konduktivitas CFRP. Semakin tinggi persentase serbuk logam menambah tinggi konduktivitas CFRP. CFRP yang dilapisi oleh cat Tembaga mempunyai konduktivitas lebih tinggi daripada CFRP yang dilapisi cat Aluminium. Hal ini karena konduktivitas Tembaga lebih tinggi daripada Aluminium.

**Kata kunci :** Konduktivitas, pelapisan logam, material komposit, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), bubuk Aluminium, bubuk Tembaga

**PENINGKATAN KONDUKTIVITAS MATERIAL KOMPOSIT CFRP  
DENGAN METODE PELAPISAN (*COATING*) SERBUK LOGAM**

**Oleh**

**AAN RIDHO SYAIFUL IMAN**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2021**

Judul Skripsi : **PENINGKATAN KONDUKTIVITAS  
MATERIAL KOMPOSIT CFRP DENGAN  
METODE PELAPISAN (COATING)  
SERBUK LOGAM**

Nama Mahasiswa : **Aan Ridho Syaiful Iman**

Pokok Mahasiswa : 1615031036

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



*Diah P.*

**Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**  
NIP. 19700528 199803 2 003

*Herman H. Sinaga*

**Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**  
NIP. 19711130 199903 1 003

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

*Khairudin*

**Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng.**  
NIP. 19700719 200012 1 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro

*Purwasih*

**Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**  
NIP. 19740422 200012 2 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**

*Diah P.*  
.....

Sekretaris

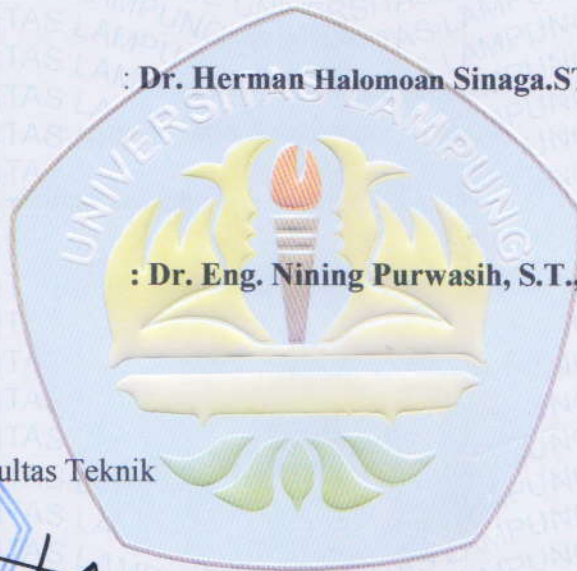
: **Dr. Herman Halomoan Sinaga, ST., M.T.**

*Herman*  
.....

Penguji

: **Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**

*Nining*  
.....



2. Dekan Fakultas Teknik



*[Signature]*  
**Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**  
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 03 Agustus 2021

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Agustus 2021



Farid Widho Syaiful Iman  
NPM. 1615031036

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Panaragan Jaya pada tanggal 27 April 1998, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Ahmad Kholil dan Sundari.

Penulis memulai Pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Swadek 1 pada tahun 2002 dan lulus tahun 2004. Melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SDN 4 Panaragan Jaya tahun 2004 dan lulus tahun 2010. Meneruskan pendidikan ke tingkat Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Tumijajar pada tahun 2010 dan lulus di tahun 2013. Kemudian meneruskan ke Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Tumijajar di tahun 2013 dan lulus pada tahun 2016.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro sebagai anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri periode 2017 dan Kepala Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri di periode 2018. Kemudian Penulis juga menjadi Asisten Lab Konversi Energi Elektrik dan menjadi asisten mata kuliah Praktikum Dasar Tenaga Listrik, Praktikum Mesin Listrik, dan Elektronika Daya. Pada Juli – Agustus 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PLTA Panglima Besar Soedirman PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica.



**PERSEMBAHAN**

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini kepada

**Kedua orangtuaku**

**Ayah & Ibuku yang tercinta**

Dan

**Kakak dan Adikku yang aku sayangi**

**Keluarga besar yang selalu memberi dukungan doa dan semangat**

**Rekan-rekan seperjuangan SINS 2016**

## MOTTO

“Hidup itu tentang berproses, pelan-pelan jadilah versi terbaik dari dirimu”

(Anonim)

“Buah dari suatu pemikiran adalah **islah**”

(Anonim)

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Peningkatan Konduktivitas Material Komposit CFRP dengan Metode Pelapisan (*Coating*) Serbuk Logam”. Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D., Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Dr.Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung dan selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan telah memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis di setiap kesempatannya dengan baik dan ramah.

6. Ibu Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T.,M.T. selaku pembimbing pendamping yang juga telah memberikan arahan, bimbingan serta motivasi kepada penulis dalam mengerjakan skripsi dengan baik dan ramah.
7. Kedua orang tuaku, Ahmad Kholil dan Ibu Sundari yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan tak henti-hentinya mendoakanku serata kakak dan adikku yang selalu mendoakanku.
8. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D., Eng. selaku pembimbing akademik (PA) yang banyak membantu penulis dalam menjalani kehidupan kampus.
9. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
10. Segenap staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
11. Keluarga SINS 2016 yang sudah seperti saudara sendiri bagi penulis dan atas segala kebaikan yang selalu diberikan..
12. Keluarga Kosan Hantu Squad, Anjas, Farhan, Lukman, Asoy Panji, Syahrul, Malik, Aby V, Rahmat, Faisal, Arnel, Made, dan Zul yang sudah menemani penulis dengan canda tawa dan membuat hari hari menjadi tidak membosankan.
13. Keluarga Kontrakan Murah Meriah, Lukman, Asoy, dan Mba riri yang sudah seperti keluarga sendiri dan sudah banyak membantu penulis dalam bentuk perhatian, motivasi, nasihat, serta materi kepada penulis serta selalu menemani penulis dalam suka maupun duka. Doa terbaik untuk kalian semua.
14. Tio dan Reza yang sudah menjadi teman berkeluh kesah dan teman yang sangat baik dan banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>ix</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Rumusan Masalah .....	4
1.6 Hipotesis .....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Material Komposit.....	6
2.1.1 Penguatan ( <i>Reinforcement</i> ).....	7
2.1.2 Matriks .....	8

2.1.3 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> .....	9
2.2 Pelapisan Logam .....	11
2.3 Pengukuran Resistansi Material dengan Metode Pengukuran Langsung....	14
2.4 Tinjauan Pustaka .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	17
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan .....	19
3.4 Prosedur Pengujian.....	20
3.4.1 Pembuatan CFRP .....	20
3.4.2 Pelapisan Logam.....	24
3.5 Pengujian Konduktivitas Listrik.....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Hasil.....	30
4.2 Pengujian Konduktivitas .....	31
4.3 Perhitungan Nilai Konduktivitas .....	32
4.4 Analisis Hasil Pengujian.....	33
4.4.1 Perbandingan konduktivitas CFRP tanpa pelapisan dan CFRP yang dilapisi cat logam .....	34
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembentukan material komposit .....	6
Gambar 2. 2 <i>Carbon fiber</i> .....	7
Gambar 2. 3 Resin.....	8
Gambar 2. 4 <i>Carbon fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i> [4] .....	9
Gambar 2. 5 Diagram metode VARI .....	10
Gambar 2. 6 Pengukuran resistansi volume .....	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3. 2 Pelumasan cairan PVA pada cetakan .....	20
Gambar 3. 3 Pemotongan <i>carbon fiber, peel ply, rilis film,</i> .....	21
Gambar 3. 4 Ukuran resin dan pengeras yang dicampurkan untuk .....	21
Gambar 3. 5 Proses pelapisan resin.....	22
Gambar 3. 6 Pemasangan plastik rilis film, <i>peel ply, dan breather cloth</i> .....	22
Gambar 3. 7 Proses pemasangan plastik vakum .....	23
Gambar 3. 8 Proses vakum.....	23
Gambar 3. 9 Pelepasan CFRP dari cetakan.....	24
Gambar 3. 10 Ukuran resin dan serbuk logam yang akan dicampurkan .....	25
Gambar 3. 11 Ukuran pengeras yang akan dicampurkan .....	25
Gambar 3. 12 Ukuran resin dan tiner yang dicampurkan .....	26
Gambar 3. 13 Pelapisan serbuk logam dengan CFRP.....	26
Gambar 3. 14 Skema Rangkaian Pengujian .....	29
Gambar 3. 15 Rangkaian Pengujian Resistivitas Material Padat.....	29

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Nilai resistivitas dan konduktivitas listrik logam.....	11
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian spesimen uji.....	31
Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan spesimen.....	32



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada dekade belakangan ini bahan komposit banyak digunakan sebagai bagian dari stuktur berbagai wahana/kendaraan seperti: mobil, pesawat ataupun pesawat tanpa awak (*drone*). Bahan komposit memiliki kelebihan dalam kegunaannya seperti mempunyai ketahanan yang kuat, ringan, tahan terhadap korosi dan lain-lain. Bahan komposit terbuat dari 2 (dua) bagian yaitu penguat (*reinforce*) dan pengikat (matriks). *Reinforced* bahan komposit umumnya terbuat dari bahan serat seperti serat kaca, serat karbon ataupun serat organik seperti serabut kelapa, sedangkan bahan pengikat (matriks) seperti: *epoxy resin*, *polyester*, *polyimide*, *phrnic*, ataupun *vinyl ester*.

Bahan komposit CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) umumnya terbuat dari serat karbon sebagai penguat dan epoksi resin yang dipakai sebagai matriks. Bahan komposit CFRP mempunyai keunggulan pada nilai konduktivitas yang lebih tinggi daripada GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) meskipun harganya relatif lebih mahal. Walaupun demikian, konduktivitas bahan CFRP masih jauh lebih kecil dari konduktivitas bahan logam. Sehingga jika CFRP digunakan sebagai bahan untuk sistem proteksi petir misal pada pesawat, ataupun digunakan

sebagai sistem perisai (*shielding*) terhadap interferensi elektromagnetik tidak begitu baik.

Oleh karena itu skripsi ini akan membahas mengenai peningkatan konduktivitas komposit CFRP sehingga cukup baik untuk digunakan sebagai material sistem proteksi petir ataupun perisai interferensi elektromagnetik. Ada beberapa metode yang dikembangkan oleh peneliti untuk meningkatkan konduktivitas pada bahan CFRP yaitu: pemasangan anyaman logam (*metal meshes*)/lembaran logam (*metal foils*); pengisian partikel konduktif ukuran nano sebagai *filler* pada matriks polimer; atau pengecatan/pelapisan bahan logam. Penelitian ini menggunakan serbuk logam yang akan dicampur dengan epoksi resin dan *thiner* sehingga membentuk larutan cat logam yang kemudian dioleskan pada permukaan komposit CFRP sebagai cat pelapis (*coating*). Adapun serbuk logam yang digunakan adalah serbuk tembaga dan aluminium.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini adalah:

1. Membuat material komposit CFRP yang dilapisi dengan serbuk logam (aluminium dan tembaga) dengan berbagai komposisi berat.
2. Mengukur nilai konduktivitas pada sampel CFRP yang dilapisi larutan cat logam.
3. Menganalisis pengaruh pelapisan cat logam pada peningkatan konduktivitas bahan CFRP

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian skripsi ini adalah:

1. Menghasilkan bahan komposit CFRP dengan pelapisan serbuk logam yang memiliki nilai konduktivitas lebih tinggi dari CFRP biasa.
2. Mengetahui komposisi serbuk logam, epoksi resin dan thinner sebagai bahan pelapisan logam.
3. Mengetahui persentase serbuk logam dan jenis serbuk logam yang baik.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian skripsi ini adalah:

1. Material CFRP yang dihasilkan dicetak dalam bentuk sampel uji dengan ukuran diameter 10,4 cm
2. Metode pengukuran konduktivitas yang digunakan menggunakan metode empat titik probe (ampere meter dan voltmeter)
3. Teknik pelapisan yang digunakan adalah dengan pengolesan manual
4. Persentase serbuk logam sebesar 20%, 50% dan 100% dari berat total epoxy resin

### **1.5 Rumusan Masalah**

Dengan mengacu pada permasalahan yang ada, maka perumusan rancangan ini ditekankan pada aspek berikut ini:

1. Menemukan metode yang sesuai untuk digunakan dalam melakukan pelapisan cat logam pada material komposit CFRP.
2. Menentukan komposisi antara serbuk logam, epoksi resin, dan thinner dalam membuat larutan cat logam
3. Mengukur nilai konduktivitas spesimen uji menggunakan pengujian resistivitas volume.

### **1.6 Hipotesis**

Adapun hipotesis hasil penelitian ini adalah pelapisan larutan cat logam pada permukaan komposit CFRP dapat meningkatkan konduktivitas CFRP.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pemahaman serta penulisan mengenai materi pada skripsi ini, maka skripsi ini dibagi menjadi lima bab, sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Memuat latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, perumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori pendukung dalam perancangan pelapisan serbuk logam pada material komposit CFRP serta memuat tentang system perisaian pada suatu peralatan elektronik.

## BAB III METODE PENELITIAN

Berisi rancangan dan realisasi tentang pelapisan bahan CFRP dengan material logam untuk meningkatkan nilai konduktivitas sebagai sistem perisaian, meliputi alat dan bahan, langkah-langkah pengerjaan yang akan dilakukan, cara kerjanya, dan blok diagram.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan prosedur pengujian, hasil pengujian dan analisis hasil pengujian.

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian material komposit, serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

### **Daftar pustaka**

### **Lampiran**

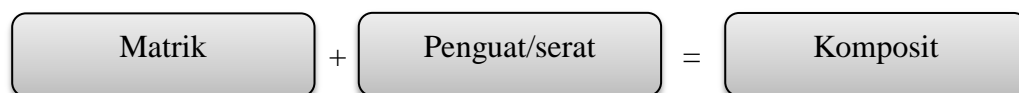
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Komposit**

Material komposit tersusun dari dua atau lebih bahan penyusun yang memiliki karakteristik berbeda-beda dan dikombinasikan sehingga membentuk suatu material komposit yang memiliki sifat dan karakteristik yang baru. Bahan komposit umumnya dibuat dengan tujuan mencari kekerasan, efisiensi ataupun daya tahan [1].

Material komposit terbuat dari susunan matriks polimer yang diperkuat dengan serat sebagai penguat seperti (seperti kaca, karbon atau aramid). Matriks melindungi serat dari kerusakan serta sebagai wadah pembentuk material komposit. Sedangkan serat berfungsi memberikan kekuatan dan kekakuan untuk memperkuat matriks dan membuat material komposit menjadi tahan retak dan patah [2]. Gambar 2.1 menunjukkan skema pembentukan material komposit.

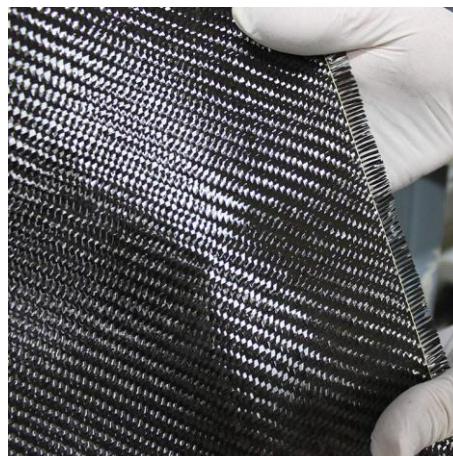


Gambar 2. 1 Pembentukan material komposit [2]

### 2.1.1 Penguatan (*Reinforcement*)

Penguat (*reinforcement*) merupakan salah satu komponen pembentuk material komposit. Penguat memiliki peran penting dalam menjaga kekuatan material komposit sehingga material menjadi lebih tahan dari retak dan tidak mudah patah. Penguat yang biasa digunakan dalam pembuatan material komposit adalah serat karbon (*carbon fiber*) ataupun serat kaca (*glass fiber*).

Penguatan serat karbon untuk pembuatan komposit sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang terutama teknik mesin, penerbangan, industri otomotif. *Carbon fiber* banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya seperti kekuatan dan kekakuan bahan yang tinggi, stabilitas termal yang tinggi, dan konduktivitas tinggi. *Carbon fiber* juga memungkinkan pengurangan berat peralatan atau kendaraan karena memiliki berat yang cukup ringan. Gambar 2.2 menampilkan *carbon fiber* yang digunakan pada penelitian ini [3].



Gambar 2. 2 *Carbon fiber*

### 2.1.2 Matriks

Matriks merupakan bagian penyusun material komposit yang memiliki fungsi untuk merekatkan dan mengeraskan material komposit. Matriks juga berguna sebagai pelindung material komposit dari kerusakan yang disebabkan oleh lingkungan. Pada penelitian ini matriks yang digunakan adalah matriks jenis termoset karena memiliki kemampuan untuk dengan mudah dimanipulasi ke dalam berbagai konfigurasi ketika dipanaskan di atas suhu aktivasinya dan akan menunjukkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi pada suhu yang lebih rendah. Mereka juga dapat dipanaskan dan dibentuk kembali berulang kali tanpa kehilangan sifat materialnya. Beberapa resin yang paling sering banyak digunakan antara lain *epoxy*, *polyester*, dan *phenolic*.

Penelitian ini membuat material komposit menggunakan epoksi resin sebagai matriksnya. Epoksi resin memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki tingkat kekerasan yang baik dan harganya yang murah. Gambar 2.3 menampilkan epoksi resin yang digunakan pada penelitian ini.



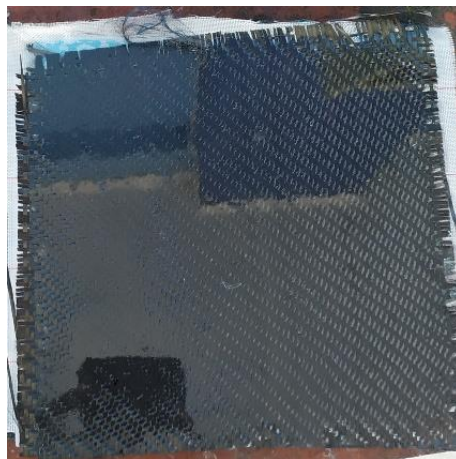
Gambar 2. 3 Resin [4]



### 2.1.3 *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*

*Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* atau yang biasa disebut sebagai polymer yang diperkuat dengan serat karbon adalah bahan komposit yang terdiri dari resin polimer dan serat karbon. Dalam perkembangannya, CFRP menunjukkan potensi yang cukup besar di berbagai bidang khususnya pada bidang transportasi. CFRP banyak diterapkan di otomotif dan dirgantara.

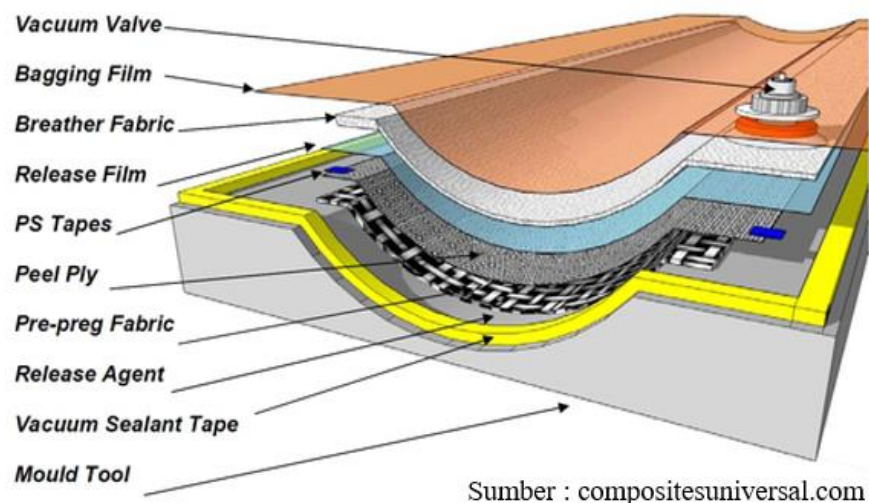
Komposit CFRP banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki kekuatan potensial yang baik, ringan, non-korosi, dan murah. Komposit CFRP juga memiliki ketahanan lelah yang sangat baik yang cocok digunakan sebagai dibidang transportasi. Gambar 2.4 menampilkan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* [5].



Gambar 2. 4 *Carbon fiber Reinforceed Polymer (CFRP)*

Pencetakan material komposit CFRP dalam penelitian ini dicetak menggunakan metode *Vacum Assited Resin Infusion* jenis *interlaminar infusion*. Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* merupakan proses pencetakan tertutup

menggunakan alat vakum. Bahan komposit yang akan dicetak diletakkan didalam plastik yang tertutup kemudian udara yang ada di dalam plastik disedot keluar menggunakan alat vakum sampai udara yang berada di dalam plastik habis dan menekan cetakan. Keuntungan pencetakan menggunakan metode VARI ini adalah desain perkakas cetakan yang fleksibel sesuai kebutuhan dan pembuatan komposit mampu memproduksi material komposit dalam jumlah yang banyak dengan baik [6]. Penelitian ini Gambar 2.5 menjelaskan metode VARI jenis *interlaminar infusion*.



Gambar 2. 5 Diagram metode VARI

Beberapa penelitian mengenai material karbon untuk meningkatkan konduktivitas bahan komposit sebagai proteksi petir diantaranya Hasil Penelitian konduktivitas listrik nanocomposites berbasis *polypropylene* menyatakan bahwa penguat konduktif adalah grafit nanoplatelets, karbon hitam, serat karbon dan serat karbon *polyacrylonitrile*. Produk ini untuk magnet elektrik dan pelapis frekwensi radio seperti melindungi terhadap petir dalam pesawat, komponen baterai, kabel power dan membrane fuel cell [7] Penelitian yang dilakukan oleh Shen terhadap

ketahanan elektrik dari komposit matriks polimer berserat karbon menunjukkan konduktivitas elektrik dari 0.001 sampai 20 ( $\Omega \text{ mm}$ )-1. Penelitian konduktivitas elektrik dari serbuk bersifat karbon menghasilkan konduktivitas elektrik dari 0.1 sampai 400 S/cm. Nilai konduktivitas elektrik dipengaruhi oleh tingkat densitas komposit karbon-karbon [8].

## 2.2 Pelapisan Logam

Logam memiliki nilai konduktivitas listrik yang baik sehingga logam mampu menghantarkan listrik dan panas dengan sangat baik. Karena hal ini, logam banyak diaplikasikan sebagai *grounding* ataupun pengaman peralatan maupun gedung-gedung dari tegangan impuls. Karena kemampuan logam dalam menghantarkan listrik sangat baik, dalam hal ini logam dijadikan sebagai bahan pelapisan untuk system perisai [9]. Table 2.1 menunjukkan nilai resistivitas dan konduktivitas beberapa logam pada 20°C.

Tabel 2. 1 Nilai resistivitas dan konduktivitas listrik logam [10].

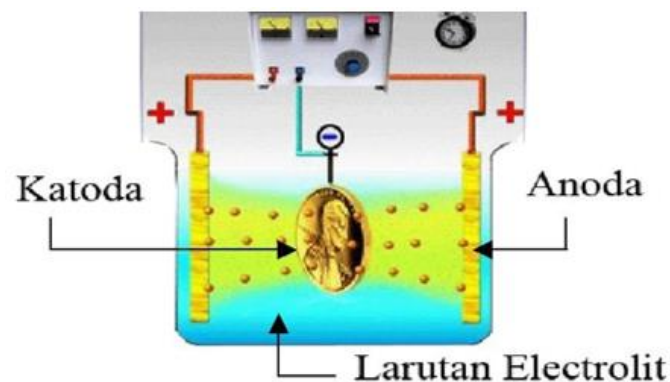
<b>Material</b>	<b>Resistivitas (<math>\rho</math>) (<math>\Omega \cdot \text{m}</math>)</b>	<b>Konduktivitas (<math>\sigma</math>)(<math>\text{Sm}^{-1}</math>)</b>
Perak	$1.6 \times 10^{-8}$	$380 \times 10^{-5}$
Tembaga	$1.7 \times 10^{-8}$	$390 \times 10^{-5}$
Aluminium	$2.8 \times 10^{-8}$	$390 \times 10^{-5}$
Tungsten	$5.6 \times 10^{-8}$	$450 \times 10^{-5}$
Nikel	$6.8 \times 10^{-8}$	$600 \times 10^{-5}$
Besi	$10 \times 10^{-8}$	$500 \times 10^{-5}$
Baja	$18 \times 10^{-8}$	$300 \times 10^{-5}$

Adapun logam yang digunakan sebagai bahan pelapisan CFRP pada penelitian ini adalah aluminium dan tembaga karena mempunyai nilai konduktivitas yang cukup baik dan harganya yang terjangkau. Selain itu, bahan logam aluminium dan tembaga juga banyak mudah di temukan.

Pelapisan logam banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai konduktivitas suatu material. Beberapa Teknik pelapisan logam yang umum digunakan adalah

### 1. *Electroplating*

Elektroplating juga dikenal sebagai elektro-kimia plating. Dalam proses ini ion logam dimasukkan ke dalam larutan elektrolit dan diendapkan ke katoda. Dalam proses elektrolisis, anoda umumnya terbuat dari logam yang disepuh sehingga berfungsi sebagai sumber pelapis logam. Arus searah dari sumber DC eksternal dilewatkan pada larutan elektrolit. Elektrolit yang digunakan adalah larutan asam. Elektrolit menghantarkan arus listrik dengan pergerakan ion logam dari anoda menuju katoda. Untuk hasil yang optimal, bagian yang akan dilapisi harus dibersihkan secara kimia

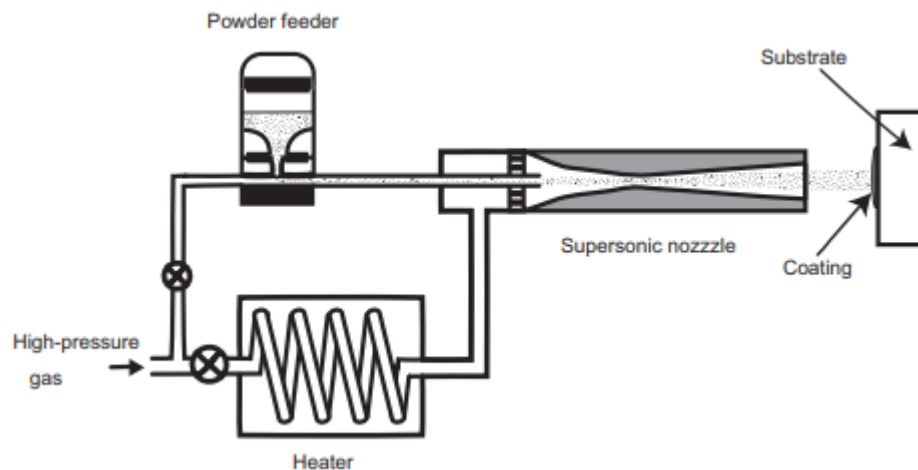


Sumber : infometrik.com

Gambar 2. 6 Skema pelapisan *Electroplating*

## 2. *Cold Spray*

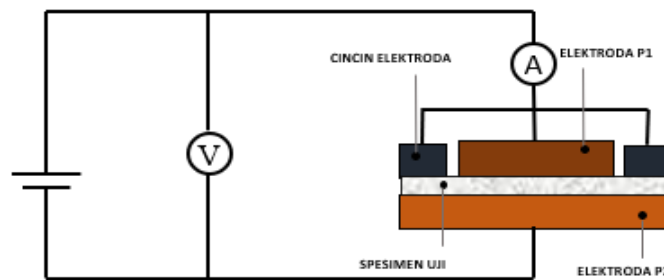
Penyemprotan gas dingin dinamis atau cold spraying adalah metode deposisi pelapisan. Serbuk padat (diameter 1 hingga 50 mikrometer) dipercepat dalam pancaran gas supersonik hingga kecepatan 1200 m/s. Selama tumbukan dengan substrat, partikel mengalami deformasi plastik dan menempel pada permukaan. Untuk mencapai ketebalan yang sama, nosel penyemprotan disemprotkan ke seluruh permukaan substrat. Logam, polimer, keramik, material komposit, dan bubuk nanokristalin dapat diendapkan menggunakan penyemprotan dingin. Energi kinetik partikel, yang disuplai oleh ekspansi gas, diubah menjadi energi deformasi plastik selama ikatan [11].



Gambar 2. 7 Skema pelapisan *Cold Spray* [11]

### 2.3 Pengukuran Resistansi Material dengan Metode Pengukuran Langsung

Pengukuran nilai konduktivitas material komposit pada penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran resistansi volume suatu material menggunakan metode pengukuran langsung. Pengukuran resistansi volume pada suatu material isolasi ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 8 Pengukuran resistansi volume

Jika suatu material isolasi ditempatkan diantara dua elektroda yang berbeda tegangan, maka arus pada sumber tegangan nilainya sama dengan jumlah arus pada permukaan dengan arus volume [12]. Oleh karena itu resistansi material bisa dituliskan sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_p + I_v} \quad (2.1)$$

Jika  $I_v$  dibuat sama dengan nol, resistansi yang terukur adalah resistansi permukaan

$$R_p = \frac{V}{I_p} \quad (2.2)$$

Jika  $I_p$  dibuat sama dengan nol, resistansi yang terukur adalah resistansi volume

$$R_v = \frac{V}{I_v} \quad (2.3)$$

Resistansi material isolasi bisa diukur dengan cincin konsentris yang terbuat dari dua elektroda piring dan satu elektroda cincin seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 dan 2.9. Radius efektif elektroda pengukuran cincin konsentris adalah

$$\tau = \frac{2s}{\pi} \ln \cosh \frac{\pi g}{4s} \quad (2.5)$$

$$r = r_1 + \frac{g}{2} - \tau \quad (2.4)$$

dengan

$r_1$  = radius elektroda  $P_1$  (mm)

$g$  = jarak sela elektroda  $P_1$  dengan elektroda cincin (mm), dan

$s$  = tebal material (mm)

Jika resistansi volume yang diketahui adalah  $R_v$ , maka resistivitas volume material isolasi adalah [11].:

$$\rho_v = \frac{R_v \pi r^2}{s} \text{ (ohm.mm)} \quad (2.6)$$

## 2.4 Tinjauan Pustaka

Beberapa peneliti yang melakukan penelitian mengenai peningkatan konduktivitas dengan pelapisan logam. Natalia Erna S, Rodhotul Muttaqin, dan Isna Mar'ah melakukan pelapisan Emas-Palladium terhadap bahan komposit alam untuk meningkatkan konduktivitas dari komposit alam agar bisa diamati menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) [13].

Nur Asriyani melakukan pelapisan perak (Ag) *nanowires* terhadap substrat polikarbonat. Pelapisan lapisan tipis perak dilakukan menggunakan metode *spray coating*. Pada penelitian ini perulangan pelapisan logam yang dilakukan membuat nilai resistansi substrat menurun dan konduktivitas meningkat [14].

V. Bortolussi, Bruno F, F. Willot, M. Faessel, dan M Jeandin melakukan pelapisan tembaga pada komposit CFRP. menggunakan metode *cold spray*. Pengukuran konduktivitas menggunakan metode Van der Pauw dengan nilai konduktivitas mencapai  $2 \times 10^5 \text{Sm}^{-1}$  [15].

Kemudian di tahun 2020, P. Fallah, S. Rajagopalan, Andre M, dengan S. Yue melakukan pelapisan logam Cu terhadap komposit CFRP. Pelapisan logam dilakukan dengan melapisi CFRP dengan Ni sebagai lapisan awal yang bertujuan untuk menghasilkan lapisan konduktif yang kontinu. Pelapisan logam pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *cold spray*. Nilai resistivitas komposit CFRP yang dilapisi Cu mencapai  $3,5 \mu\Omega\text{-cm}$  [16].



**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

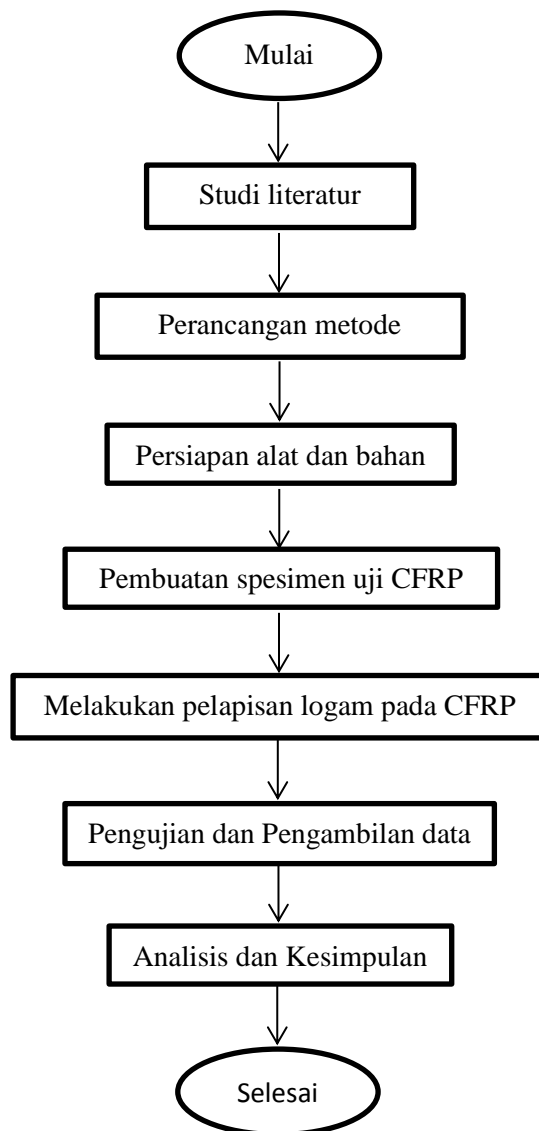
Perancangan dan pengerjaan penelitian ini akan dilaksanakan pada dari bulan September 2020 sampai dengan bulan Juli 2021 yang bertempat di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

Tabel 3.1 Waktu penelitian

No	Aktivitas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Studi pustaka dan literatur												
2	Merancang pelapisan logam												
3	Seminar Usul												
4	Pembuatan pelapisan logam												
5	Pengujian dan pengambilan data												
6	Analisis dan pembahasan												
7	Seminar Hasil												
8	Uji Komprehensif												

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini berisi langkah–langkah dalam proses penelitian. Proses penelitian akan dijelaskan secara sederhana seperti gambar diagram alir di bawah ini



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Pembuatan CFRP

1. *carbon fiber 2x2 twill 3 K 240* gsm dengan ukuran 2 x 1,5 m.
2. 1300 gram cairan PVA digunakan sebagai zat anti perekat.
3. *Molding* (cetakan) berukuran 15 x 15 dari bahan kaca.
4. 1 gulung *sealant tape* digunakan sebagai perekat plastik.
5. Plastik vakum digunakan untuk membungkus spesimen uji dan sebagai membran penarik udara.
6. Resin *epoxy* digunakan sebagai matriks.
7. Plastik rilis film, *peel ply, breather cloth* sebagai pembatas lapisan akhir dan media pembantu proses pemeratan resin.
8. Alat pemotong seperti gunting.
9. Timbangan digital.
10. *Mixer stirring* untuk mencampurkan serbuk logam dengan resin *epoxy*.
11. Motor *vacuum* sebagai alat untuk melakukan *vacuum infusion*.

#### 3.3.1 Pelapisan Logam pada CFRP

1. Resin *epoxy* digunakan sebagai matriks.
2. *Mixer stirring* untuk mencampurkan serbuk logam dengan epoksi resin.
3. Timbangan digital
4. Serbuk logam Aluminium (Al)
5. Serbuk logam Tembaga (Cu)
6. Tiner sebagai pelarut agar larutan pelapis mengering dengan baik

### 3.4 Prosedur Pengujian

Adapun langkah-langkah pembuatan spesimen terbagi menjadi 2 (dua) yaitu pembuatan CFRP dan pelapisan logam dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 3.4.1 Pembuatan CFRP

Pembuatan spesimen uji CFRP dilakukan menggunakan metode VARI. Spesimen uji dibuat di laboratorium terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung. Adapun proses pembuatan CFRP adalah sebagai berikut :

1. Melumasi cetakan kaca menggunakan cairan PVA yang berfungsi sebagai anti perekat agar spesimen uji yang dibuat bisa mudah dilepaskan dari cetakan seperti yang ditampilkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pelumasan cairan PVA pada cetakan

2. Memotong lembaran *carbon fiber*, *peel ply*, *rilis film*, dan *breather cloth* dengan ukuran (15 x 15) cm yang ditampilkan pada gambar 3.3.



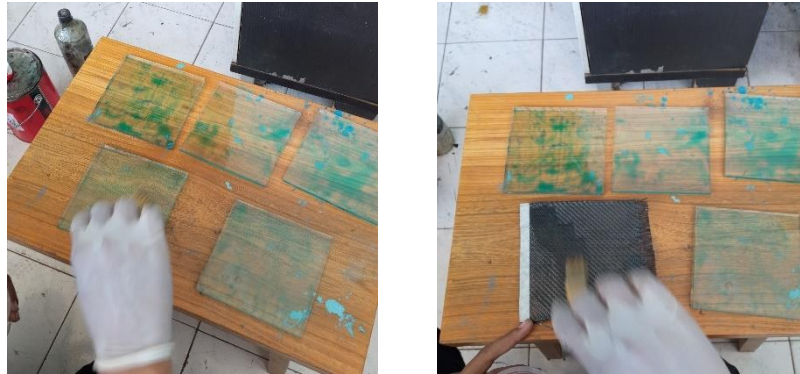
Gambar 3. 3 Pemotongan *carbon fiber*, *peel ply*, *rilis film*, dan *breather cloth*

3. Menimbang dan mencampurkan resin dengan pengeras dengan perbandingan 3:1 yang ditampilkan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Ukuran resin dan pengeras yang dicampurkan untuk 5 spesimen

- Melakukan pelapisan pertama pada permukaan cetakan hingga merata, kemudian memasang *carbon fiber*. Lakukan pelapisan terhadap *carbon fiber* secara berulang sebanyak **2 lapisan** yang ditampilkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Proses pelapisan resin

- Memasang plastik rilis film, *peel ply*, *breather cloth* sebagai pembatas pada lapisan agar resin yang tersisa dapat keluar dari spesimen yang ditampilkan pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Pemasangan plastik rilis film, *peel ply*, dan *breather cloth*

6. Memasukan susunan *carbon fiber* kedalam plastik vakum sebagai penutup untuk membungkus susunan serat karbon yang telah dibuat yang ditampilkan pada gambar 3.7.



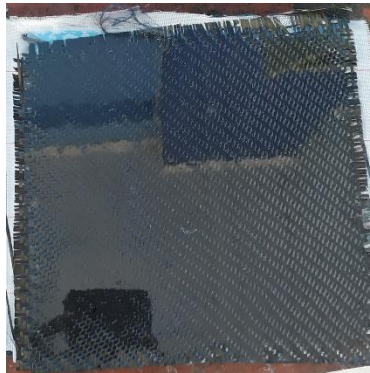
Gambar 3. 7 Proses pemasangan plastik vakum

7. Merekatkan plastik *vacuum* menggunakan sealant tape dan memastikan tidak ada lubang udara pada plastik, kemudian melakukan proses pemvakuman menggunakan pompa vakum. Proses pemvakuman dilakukan selama 2 jam yang ditampilkan pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Proses vakum

8. Setelah itu dikeringkan selama 8 jam untuk memastikan bahwa resin telah mengeras dengan baik, kemudian melepaskan CFRP dari cetakan dan dipotong sesuai kebutuhan pengujian yang ditampilkan pada gambar 3.9



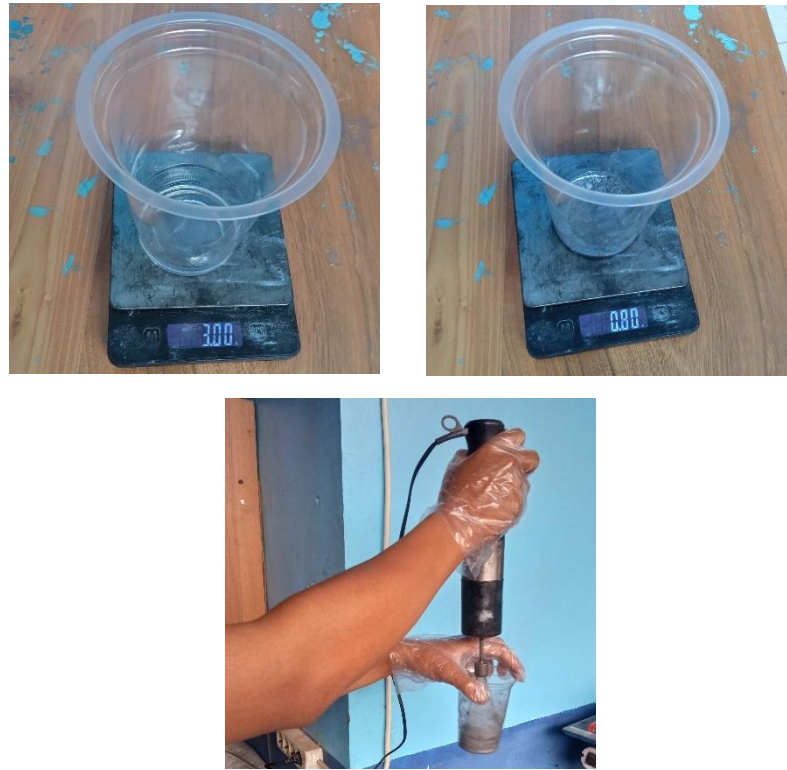
Gambar 3. 9 Pelepasan CFRP dari cetakan

### 3.4.2 Pelapisan Logam

Proses pelapisan logam pada penelitian ini ada dua jenis, yaitu pelapisan aluminium dan pelapisan tembaga. Pelapisan logam dibuat menggunakan metode *hand layup* (cetakan tangan), adapun proses pelapisan logam adalah sebagai berikut :

1. Mencampurkan resin dengan serbuk logam dengan variasi persentase berat. Resin dan pengeras dicampur dengan perbandingan 3:1 sesuai petunjuk dari pabrik, sehingga berat epoksi resin adalah 4gr. Dengan demikian, berat serbuk logam untuk persentase 20%, 50% , dan 100% dari berat total epoksi resin sebesar 0,8gr; 2 gr; dan 4 gr secara berturut-turut.





Gambar 3. 10 Ukuran resin dan serbuk logam yang akan dicampurkan

2. Resin dan serbuk logam diberi pengeras dengan perbandingan resin dan pengeras adalah 3:1 yang ditampilkan pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Ukuran pengeras yang akan dicampurkan

3. Mencampurkan resin dan pengeras dengan tiner sebagai pencair. Banyaknya tiner yang dicampurkan adalah 5% dari berat total resin dan pengeras yaitu 0,2 gr yang ditampilkan pada gambar 3.12.



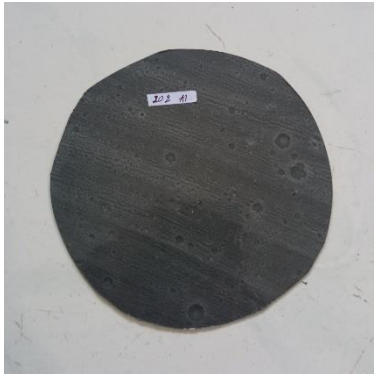
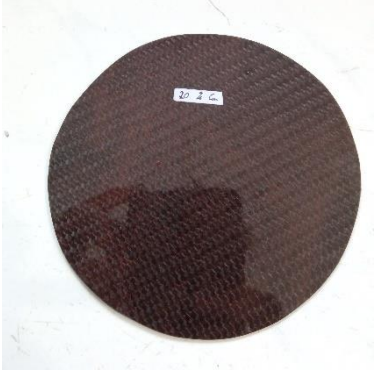


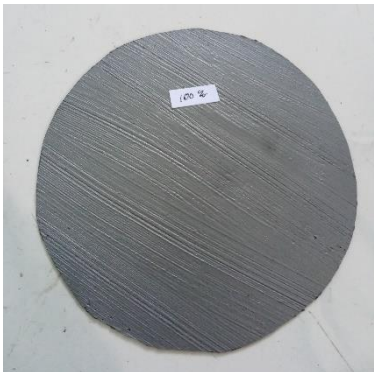

Gambar 3. 12 Ukuran resin dan tiner yang dicampurkan

4. Kemudian melakukan pelapisan pada CFRP, pastikan bahwa CFRP terlapis dengan merata kemudian keringkan selama 8 jam hingga permukaan lapisan mengeras yang ditampilkan pada gambar 4.13.



Gambar 3. 13 Pelapisan serbuk logam dengan CFRP

5. Setelah itu memotong spesimen uji dengan diameter 79 mm yang disesuaikan dengan cincin elektroda pengujian pada alat ukur resistivitas volume.

	Aluminium (Al)	Tembaga (Cu)
20%		
50%		
100%		

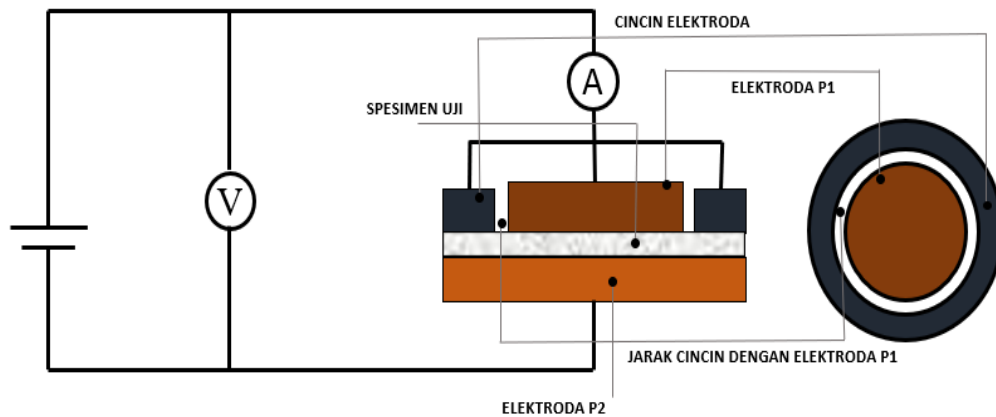
Gambar 3. 14 Hasil pelapisan logam pada CFRP

### 3.5 Pengujian Konduktivitas Listrik

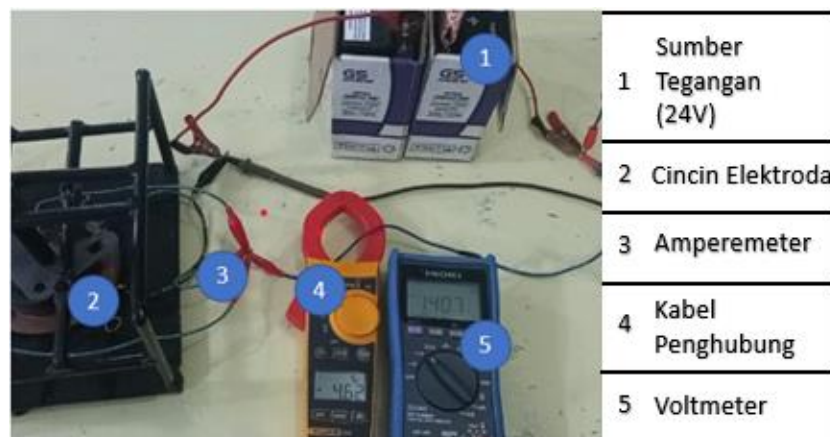
Pengujian konduktivitas listrik dilakukan dengan metode pengujian resistivitas pada material padat. Pengujian dilakukan dengan meletakkan spesimen uji diantara dua elektroda yang bertegangan. Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Elektroda piring  $P_1$   $d=79$  mm.
2. Elektroda piring  $P_2$   $d=105$  mm
3. Elektroda cincin lebar 12 mm.
4. Kabel.
5. Penjepit buaya.
6. Sumber tegangan (Aki 24 V).
7. Voltmeter.
8. Ampermeter.
9. Kamera

Spesimen uji diletakkan diantara dua elektroda  $p_1$  dengan  $p_2$ , dan jarak antara elektroda  $p_1$  dengan cincin sebesar 1 mm. Sumber yang digunakan pada pengujian ini adalah sumber DC (*accu*) sebesar 24 volt. Pada pengujian yang menggunakan metode pengujian resistivitas volume pada material padat ini variabel yang didapatkan adalah arus dan tegangan. Kemudian menghitung resistansi volume spesimen dari rasio tegangan dan arus. Resistivitas volume dihitung menggunakan persamaan (2.1) sampai (2.6). Nilai konduktivitas spesimen dihitung dari resistivitas volume spesimen menggunakan persamaan (3.1) Adapun rangkaian pengujian pada penelitian ini ditampilkan pada gambar 3.15 dan 3.16.



Gambar 3. 15 Skema rangkaian pengujian resistevitas volume



Gambar 3. 16 Rangkaian pengujian konduktivitas

Resistansi isolasi dapat diukur dengan elektroda cincin konsentris seperti ditunjukkan pada gambar 3.14. Radius efektif elektroda pengukuran cincin konsentris bisa dicari dengan persamaan (2.4) dan (2.5). Kemudian, nilai resistivitas dan konduktivitas pada spesimen uji dapat dihitung dengan persamaan (2.6) dan persamaan (3.1) berikut ini :

$$\sigma_v = \frac{1}{\rho_v} \quad (3.1)$$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Konduktivitas CFRP yang dilapisi larutan cat dengan kandungan serbuk Aluminium sebesar 20%, 50%, dan 100% persentase berat adalah:  $2,905 \times 10^{-2}$  S/m,  $9,850 \times 10^{-2}$  S/m dan  $1,059 \times 10^{-1}$  S/m. Sedangkan, pelapisan larutan cat dengan kandungan serbuk Tembaga sebesar 20%, 50%, dan 100% persentase berat menghasilkan konduktivitas yaitu:  $5,286 \times 10^{-2}$  S/m,  $1,235 \times 10^{-1}$  S/m, dan  $1,341 \times 10^{-1}$  S/m.
2. Berdasarkan hasil pengujian, semakin besar penambahan persentase serbuk logam pada larutan cat pelapis maka nilai konduktivitas spesimen juga akan semakin besar. Konduktivitas CFRP yang dilapisi cat dengan kandungan serbuk logam 100% persentase berat meningkat menjadi 114 kali lebih tinggi pada penggunaan serbuk Aluminium dan 144 kali lebih tinggi. pada penggunaan serbuk Tembaga dibandingkan dengan konduktivitas CFRP tanpa pelapisan.

3. CFRP yang dilapisi dengan larutan cat Tembaga memiliki nilai konduktivitas yang lebih baik dibandingkan CFRP yang dilapisi larutan cat Aluminium.

## **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan metode pelapisan yang berbeda, seperti menggunakan flame thermal spray agar logam menempel dengan lebih baik.
2. Menggunakan jenis perekat thermoplastik yang lain selain epoksi resin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krevelan, Surdia, Bishop, “*Composite Material*”, Tinjauan Pustaka, pp. 9-41
- [2] Haryo Wibisono, *Pengaruh Penambahan Carbon Nanotube Pada Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Resin Epoksi*”, Universitas Indonesia.
- [3] Mohit Sharma, Shanglin Gao, Edith Mader, Himani Sharma, Leong Yew Wei, Jayashree Bijwe, 2014. “*Carbon Fiber Surfaces and Composite Interphases*”, *Composite Science and Technology*.
- [4] Menachem C.G., “*Rancang Bangun Sistem Interferensi Elektromagnetik terhadap Sambaran Petir pada Unmanned Aerial Vehicle*” Fakultas Teknik Universitas Lampung, Lampung, pp 1-87, 2018
- [5] Qian Zhao 1, Kai Zhang, Shuang Zhu, Hanyang Xu, Dianguo Cao, Lina Zhao, Ronghua Zhang, and Wuliang Yin, 2019. “*Review on the Electrical Resistance/Conductivity of Carbon Fiber Reinforced Polymer*”. *Applied Sciences*.
- [6] K Abdurohman, T Satrio, N L Muzayadah and Teten, 2018. “*A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method*”



toward *e-glass EW 185/lycal composites.*” *Jurnal of Physics: Conference Series* volume 1130

- [7] Kalaitzidou, K., H. Fukushima and L. T. Drzal, 2010. *A Route for Polymer Nanocomposites with Engineered Electrical Conductivity and Percolation Threshold, Materials*, 3, 1089-1103
- [8] Shen, L., J. Li, B. M. Liaw, F. Delale, J. H. Chung, 2007. *Modeling and analysis of the electrical resistance measurement of carbon fiber polymer–matrix composites, Composites Science and Technology* 67, 2513–2520
- [9] D. M. Bigg and E. J. Bradbury, *Conductive Polymeric Composites from Short Conductive Fibers,* in *Conductive Polymers*, R. B. Seymour Ed. Boston, MA: Springer US, 1981, pp. 23-38.
- [10] Halliday, David J., Resnick, Robert. 1993. *Fisika Jilid 2 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga
- [11] S. Kuroda, J. Kawakita, M. Watanabe, and H. Katanoba, 2008. *Warm spraying—a novel coating process based on high-velocity impact of solid particles*. [t stacks.iop.org/STAM/9/033002](http://stacks.iop.org/STAM/9/033002).
- [12] Tobing L.B., “*Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*”, Erlangga, Jakarta, Edisi ketiga, 2017.

- [12] N. Erna S, R. Muttaqin, Isna M, 2017. *Optimalisasi Waktu Pelapisan Emas-Palladium pada Bahan Komposit Alam untuk Karakterisasi Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)*. Universitas Semarang
- [13] Nur Asriyani, 2019. *Pembuatan Lapisan Tipis Perak (Ag) Nanowires dengan Variasi Perulangan Menggunakan Teknik Spray Coating untuk Aplikasi Elektroda Konduktif Transparan*. Universitas Lampung
- [14] V. Bortolussi, Bruno F, F. Willot, M. Faessel, M. Jeandin, 2020. *Electrical Conductivity of Metal–Polymer Cold Spray Composite Coatings onto Carbon Fiber-Reinforced Polymer*. hal-03087970
- [15] P. Fallah, S. Rajagopalan, Andre M, S. Yue, 2020. *Development of hybrid metallic coatings on carbon fiber-reinforced polymers (CFRPs) by cold spray deposition of copper-assisted copper electroplating process*.  
10.1016/j.surfcoat.2020.126231