

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PELAPISAN *GRAPHITE* PADA PELAT  
ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE *COMPRESSION*  
*MOLDING* SEBAGAI PELAT *CONDUCTING* PADA  
*FUEL CELL***

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau*



Disusun Oleh:

**DENI RESTU FAUZI**

**16.331.0697**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2022**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PELAPISAN *GRAPHITE* PADA PELAT  
ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE *COMPRESSION*  
*MOLDING* SEBAGAI PELAT *CONDUCTING*  
PADA *FUEL CELL***

Disusun Oleh :

**DENI RESTU FAUZI**

**NPM : 163310697**

Disetujui Oleh :

**Dr. DEDIKARNI, S.T., M.Sc**  
**Dosen Pembimbing**

  
**Tanggal : 08/02/2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PELAPISAN *GRAPHITE* PADA PELAT  
ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE *COMPRESSION*  
*MOLDING* SEBAGAI PELAT *CONDUCTING*  
PADA *FUEL CELL***

Disusun Oleh :

**DENI RESTU FAUZI**

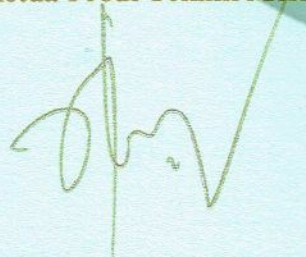
**NPM : 163310697**

Disahkan Oleh :

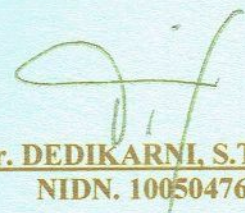
**MENGETAHUI**

**PEMBIMBING**

**Ketua Prodi Teknik Mesin**



**JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., PhD**  
**NIDN. 1009038504**



**Dr. DEDIKARNI, S.T., M.Sc**  
**NIDN. 1005047603**

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Deni Restu Fauzi

NPM : 163310697

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul "**Pengaruh Pelapisan *Graphite* Pada Pelat Aluminium Menggunakan Metode *Compression Molding* Sebagai Pelat *Conducting* Pada *Fuel Cell***" yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Apabila di kemudian hari ada yang merasa dirugikan dan atau menuntut karena penelitian ini menggunakan sebagian hasil tulisan atau karya orang lain tanpa mencantumkan nama penulis yang bersangkutan, atau terbukti karya ilmiah ini **bukan** karya saya sendiri atau **plagiat** hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pekanbaru, 17 Januari 2022



**Deni Restu Fauzi**  
163310697

**PENGARUH PELAPISAN *GRAPHITE* PADA PELAT ALUMINIUM  
MENGUNAKAN METODE *COMPRESSION MOLDING* SEBAGAI  
PELAT *CONDUCTING* PADA *FUEL CELL***

**Nama Mahasiswa : Deni Restu Fauzi**  
**Npm : 163310697**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc**

**ABSTRAK**

Seiring berjalannya waktu maka teknologi semakin meningkat khususnya di bidang transportasi kendaraan mobil. Pada umumnya mobil yang digunakan saat ini menggunakan bahan bakar fosil yang lama kelamaan akan habis dan tidak dapat diperbaharui dan dapat menimbulkan polusi udara. Bahan bakar yang efisien saat ini adalah *fuel cell*. *Fuel cell* merupakan suatu alat konversi elektrokimia untuk menghasilkan listrik dari hasil reaksi hidrogen dan oksigen. Pelat bipolar merupakan salah satu bagian penting dan paling mahal dari sel bahan bakar *fuel cell*, oleh karena itu pengembangan pelat bipolar yang efisien dan hemat biaya sangat menarik untuk pembuatan suatu rangkaian PEMFC generasi mendatang di masa depan karena selama ini bahan yang digunakan hanya *graphite* yang memiliki kelemahan yaitu getas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pelapisan *graphite* pada plat Aluminium menggunakan metode *compression molding* sebagai plat *conducting* pada *fuel cell* tujuannya adalah membandingkan nilai terhadap pengambilan data konduktivitas listrik, mikrostruktur dan kekuatan bending pelat *conducting* yang diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan material energi kedepannya. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan meliputi uji konduktivitas listrik, pengamatan mikrostruktur dan perhitungan kekuatan bending dari setiap sampelnya. Pelat *Conducting* dengan komposisi KG 60% - RE 40%, KG 70% - RE 30% dan KG 80% - RE 20% (fraksi volume) diperoleh melalui cold pressing *compression* pada tekanan lima (6) ton. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa nilai konduktivitas listrik yang tinggi pada sampel tiga (3) dengan perbandingan komposisi 80:20 dengan nilai  $50 \text{ S.cm}^{-1}$  dan sampel yang memiliki kekuatan bending menurut standar DOE itu didapatkan pada sampel ke tiga memiliki nilai kekuatan bending dibawah standar yaitu 21,9 MPA.

**Kata kunci:** Listrik,, *Fuel Cell*, Pelat Bipolar, *Graphite*, *Compression Molding*.

**EFFECT OF GRAPHITE COATING ON ALUMINUM PLATE USING  
COMPRESSION MOLDING METHOD AS CONDUCTING PLATE IN FUEL  
CELL**

**Student Name** : Deni Restu Fauzi  
**Npm** : 163310697  
**Supervisor** : Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc

**ABSTRAK**

*Over time, technology is growing, especially in the field of car transportation. The most efficient fuel today is the fuel cell. A fuel cell is an electrochemical conversion device for generating electricity from the reaction of hydrogen and oxygen. Bipolar plate is one of the most important and most expensive parts and has the disadvantage of being brittle. This research was conducted to compare the value of electrical conductivity, microstructure and flexural strength of the conductor plate which is expected to be a reference in the development of energy materials in the future. In this study, tests were carried out which included electrical conductivity tests, microstructural observations and calculations of the flexural strength of each sample. The conductor plate with the composition of KG 60% - RE 40%, KG 70% - RE 30% and KG 80% - RE 20% (volume fraction) was obtained by cold pressing compression at a pressure of five (6) tons. From the results of this study, it was found that the high electrical conductivity value in sample three (3) with a composition ratio of 80:20 with a value of 50 S.cm<sup>-1</sup> and samples that had flexural strength according to DOE standards were obtained in the third sample which had flexural strength values. below the 21.9 MPA standard.*

**Keywords:** Electricity,, Fuel Cell, Bipolar Plate, Graphite, Compression Molding.

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Wr Wb**

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH PELAPISAN GRAPHITE PADA PELAT ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE COMPRESSION MOLDING SEBAGAI PELAT CONDUCTING PADA FUEL CELL”** dengan baik sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Mesin.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis yang telah memberikan dukungan moril maupun materil yang tak mungkin terbalaskan.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD. selaku Kepala Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, S.T., M.Eng. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Dr. Dedikarni, ST., M.Sc. selaku dosen Pembimbing dalam penyelesaian proposal tugas sarjana ini.
6. Bapak Ir. Irwan Anwar, M.T. selaku dosen penguji pada penelitian ini.
7. Dosen- Dosen pengajar jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
8. Rekan-rekan seperjuangan, serta karib kerabat yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu menyempurnakan skripsi ini.

**Wassalamu'alaikum Wr Wb**

Pekanbaru, 31 januari 2022

( Deni Restu Fauzi )

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Mobil <i>Fuel Cell</i> .....	5
2.2. Komponen Mobil <i>Fuel Cell</i> .....	6
2.3. Sel Bahan Bakar ( <i>Fuel Cell</i> ) .....	7
2.3.1. Komponen Utama Sel Bahan Bakar ( <i>Fuel Cell</i> ) .....	10
2.3.2. Jenis-Jenis Sel Bahan Bakar ( <i>Fuel Cell</i> ) .....	11
2.4. <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC) .....	13
2.5. Pelat Bipolar .....	17
2.5.1. Klasifikasi Pelat Bipolar .....	18
2.6. Pelat <i>Conducting</i> .....	20
2.7. Polimer .....	21
2.8. Komposit .....	21
2.9. Logam .....	24
2.10. Aluminium .....	25
2.11. Grafit .....	26
2.12. Resin Epoxy .....	29
2.13. <i>Compressiion Molding</i> .....	30
2.14. Konduktivitas Listrik .....	31

2.15. Pengujian Kekuatan Bending .....	31
2.16. Pengamatan Mikrostruktur .....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir .....	33
3.2. Waktu Dan Tempat .....	34
3.3. Alat Dan Bahan .....	34
3.3.1. Alat .....	34
3.3.2. Bahan .....	38
3.4. Metode Penelitian .....	40
3.4.1. Volume Cetakan .....	40
3.4.2. Preparasi Spesimen Uji .....	41
3.4.3. Penimbangan Bahan .....	42
3.4.4. Proses Compression Molding .....	42
3.5. Prosedur Pengujian .....	42
3.5.1. Pengujian Konduktivitas Listrik .....	42
3.5.2. Pengamatan Mikrostruktur .....	43
3.5.3. Pengujian Kekuatan bending .....	44
3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian .....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian Pelat <i>Metal Conducting Polymer Composite</i> .....	45
4.2. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik .....	46
4.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro .....	49
4.4. Hasil Pengujian Bending / Flexural .....	54
4.5. Perbandingan Antara Hasil Penelitian dengan Spesifikasi Pelat Aluminium .....	55
4.6. Perbandingan Antara Hasil Penelitian dengan Hasil Penelitian Sebelumnya .....	57
4.7. Perbandingan Karakteristik Pelat <i>Metal Conducting Polymer Composite</i> dengan Variasi Penambahan Karbon Grafit .....	59

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran.....	60

DAFTAR PUSTAKA .....	
----------------------	--

DAFTAR LAMPIRAN.....	
----------------------	--



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Mobil <i>Fuel Cell</i> .....	6
Gambar 2.2. Cara Kerja Sel Bahan Bakar <i>Fuel Cell</i> .....	8
Gambar 2.3. Komponen Inti Susunan PEMFC.....	11
Gambar 2.4. Ilustrasi Cara Kerja Dari Jenis – Jenis <i>Fuel Cell</i> .....	12
Gambar 2.5. Prinsip Kerja PEMFC.....	13
Gambar 2.6. Susunan Rangkaian PEMFC.....	15
Gambar 2.7. Pelat Bipolar.....	17
Gambar 2.8. Bahan Penyusun Pelat Bipolar Berdasarkan Materialnya.....	18
Gambar 2.9. Parameter Bahan Pengisi Komposit .....	23
Gambar 2.10. Fenomena antar muka dan antar fasa pada komposit.....	24
Gambar 2.11. Pelat Aluminium.....	26
Gambar 2.12. Pengaruh Penambahan <i>Graphite</i> Terhadap Konduktivitas Listrik.....	27
Gambar 2.13. Struktur Kristal <i>Graphite</i> .....	28
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 3.2. Timbangan Digital.....	34
Gambar 3.3. Gelas Ukur.....	34
Gambar 3.4. Gerinda.....	35
Gambar 3.5. Penggaris.....	35
Gambar 3.6. Stopwatch.....	36

Gambar 3.7. Kertas Amplas.....	36
Gambar 3.8. Kain Lap.....	37
Gambar 3.9. Sarung Tangan.....	37
Gambar 3.10. Sendok Pengaduk.....	37
Gambar 3.11. Multimeter.....	38
Gambar 3.12. Cetakan Spesimen.....	38
Gambar 3.13. Pelat Aluminium AA1100.....	39
Gambar 3.14. <i>Amorphous Graphite</i> .....	39
Gambar 3.15. Aquades.....	40
Gambar 3.16. Resin Epoxy.....	40
Gambar 3.17. Alat Uji Konduktivitas listrik.....	43
Gambar 3.18. Alat Uji Mikrostruktur.....	43
Gambar 3.19. Alat Uji Bending.....	44
Gambar 4.1. Pelat Metal Conducting Polymer Composite Dengan komposisi Campuran Grafit 60% dan resin 40%.....	45
Gambar 4.2. Pelat Metal Conducting Polymer Composite Dengan komposisi Campuran Grafit 70% dan resin 30%.....	45
Gambar 4.3. Pelat Metal Conducting Polymer Composite Dengan komposisi Campuran Grafit 80% dan resin 20%.....	46
Gambar 4.4. Grafik Konduktansi Terhadap Komposisi Campuran.....	48
Gambar 4.5. Grafik Konduktivitas Listrik Dengan Komposisi Campuran.....	49

Gambar 4.6. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 60% dan Resin Epoxy 40%.....	50
Gambar 4.7. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 60% dan Resin Epoxy 40%.....	50
Gambar 4.8. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 70% dan Resin Epoxy 30%.....	51
Gambar 4.9. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 70% dan Resin Epoxy 30%.....	52
Gambar 4.10. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 80% dan Resin Epoxy 20%.....	52
Gambar 4.11. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 80% dan Resin Epoxy 20%.....	53
Gambar 4.12. Grafik Hasil uji Bending.....	54
Gambar 4.13. Grafik Perbandingan Konduktivitas Listrik Antara hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium.....	56
Gambar 4.14. Grafik Perbandingan Kekuatan Bending Antara Hasil penelitian Denbgan Spesifikasi Pelat Aluminium.....	56
Gambar 4.15. Grafik perbandingan Konduktivitas Listrik Dengan penelitian Sebelumnya.....	57
Gambar 4.16. Grafik Perbandingan Bending / Flexural dengan Penelitan Sebelumnya.....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Dari Jenis – jenis sel Bahan Bakar <i>Fuel Cell</i> .....	12
Tabel 2.2. Keuntungan Dan Kerugian Penggunaan Beberapa material Sebagai Pelat Bipolar.....	19
Tabel 2.3. Target Teknis Department Of Energy (DOE),USA Untuk Karakteristik Pelat Bipolar.....	20
Tabel 2.4 Pengaruh Ukuran Dan Bentuk Partikel Graphite.....	28
Tabel 3.1 Konduktivitas Listrik Pada Pelat <i>Metal Conducting Polymer Composite</i> .....	43
Tabel 3.2. Ketahanan Material Pelat <i>Metal Conducting Polymer Composite</i> dalam Menahan Beban.....	44
Tabel 3.3. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	44
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi.....	46
Tabel 4.2. Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi.....	48
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Bending / Flexural.....	54
Tabel 4.4. Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium.....	55
Tabel 4.5. Perbandingan antara Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya.....	57
Tabel 4.6. Perbandingan Karakteristik Pelat <i>Metal Conducting Polymer Composite</i> dengan Variasi Penambahan Karbon Grafit.....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu maka teknologi semakin meningkat khususnya di bidang transportasi yang merupakan sarana penting untuk meningkatkan pelayanan mobilitas penduduk dalam rangka menunjang keberhasilan pembangunan. Salah satu alat transportasi yang baik dikota maupun di desa adalah mobil. Pada umumnya mobil yang digunakan saat ini menggunakan bahan bakar fosil yang lama kelamaan akan habis dan tidak dapat diperbaharui dan dapat menimbulkan polusi udara. Bahan bakar yang efisien saat ini adalah *fuel cell*. (Agung Dwi Saputra, 2014).

*Fuel cell* merupakan suatu alat konversi elektrokimia untuk menghasilkan listrik dari hasil reaksi hidrogen dan oksigen. Prinsip kerja *fuel cell* sama seperti baterai tetapi tidak memerlukan pengisian ulang (*charging*) karena secara terus menerus akan menghasilkan listrik selama bahan bakarnya terpenuhi. *Fuel Cell* yang dipandang lebih efisien dan ramah lingkungan karena dapat menghasilkan listrik dari reaksi hidrogen dan oksigen yang hanya menghasilkan air sebagai produk buangan.

Pada *fuel cell* terdapat pelat *conducting* atau disebut juga dengan pelat bipolar (BPs) yang merupakan komponen utama dari rangkaian sel bahan bakar membran elektrolit polimer (PEMFCs). Pelat bipolar memainkan karakter multifungsinya dalam tumpukan rangkaian PEMFC yang merupakan salah satu bagian penting dan paling mahal dari sel bahan bakar *fuel cell*, oleh karena itu pengembangan dari pelat bipolar yang efisien dan hemat biaya sangat menarik untuk pembuatan suatu rangkaian PEMFC generasi mendatang di masa depan karena selama ini bahan yang digunakan hanya *graphite* yang memiliki kelemahan yaitu getas.

*Graphite* merupakan suatu bentuk alotrop karbon, Struktur *graphite* sangat lembut dan memiliki warna kelabu akibat delokalisasi elektron antar

permukaannya. Secara ilmiah *graphite* memiliki fungsi sebagai bahan konduktor listrik yang baik.

Aluminium merupakan jenis logam yang jumlahnya sangat melimpah dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari – hari. Aluminium tahan terhadap korosi, aluminium juga menjadi salah satu penghantar listrik dan panas yang baik.

Metode *Compression Molding* merupakan teknik pencetakan material komposit dengan prinsip kerja menerapkan tekanan tinggi ke bagian cetakan.

Struktur dari suatu pembuatan pelat *metal conducting polymer composite* harus diperhatikan karena struktur dapat mempengaruhi standart dari pelat bipolar (BPs).

Konduktivitas listrik yang baik merupakan hal yang penting dari pelat conducting atau pelat bipolar (BPs) karena pengaplikasiannya harus mengacu pada standart yang telah ditentukan.

Permukaan material yang akan dijadikan suatu komponen harus memiliki nilai kekuatan tertentu agar dapat digunakan sesuai dengan fungsi komponennya (Dimas, 2015).

Dari latar belakang diatas maka akan dilaksanakan penelitian yaitu pengaruh pelapisan *graphite* pada plat Aluminium menggunakan metode *compression molding* sebagai plat *conducting* pada *fuel cell* tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai pelat bipolar yang dihasilkan dari pengambilan data terhadap konduktivitas listrik, microstruktur dan kekuatan bending permukaan pelat *conducting* yang diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan material energi kedepannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang didapat yaitu :

1. Bagaimana membuat pelat *metal conducting polymer composite* dengan metode *compression molding* ?

2. Bagaimana Pengaruh komposisi campuran karbon grafit dan pengikat resin epoxy dengan matriks pelat aluminium terhadap konduktivitas listrik, mikrostruktur, dan kekuatan bending ?
3. Berapa perbandingan komposisi yang optimum dalam pembuatan pelat *metal conducting polymer composite* ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk membuat pelat *metal conducting polymer composite* dengan metode *compression molding*.
2. Untuk mengetahui nilai pelat *metal conducting polymer composite* dengan metode *compression molding* terhadap konduktivitas listrik, mikrostruktur, dan kekuatan bending.
3. Untuk mengetahui komposisi yang optimum dalam pembuatan pelat *metal conducting polymer composite* sebagai pelat bipolar pada fuel cell.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Material yang akan dilapisi adalah Aluminium.
2. Bahan pelapis yang digunakan adalah *graphite*.
3. Bahan pengikat yang digunakan adalah resin epoxy.
4. Variasi komposisi campuran grafit 60%, 70% dan 80%.
5. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat uji konduktivitas listrik, mikrostruktur, dan uji kekuatan bending.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Sebagai informasi mengenai pembuatan pelat *metal conducting polymer composite* dengan *compression molding*.
2. Sebagai acuan dasar dalam perkembangan pelat bipolar pada *fuel cell*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab pokok, setelah itu di uraikan pada masing-masing sub bab. Dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari tiga bab, yaitu :

### Bab I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian dan Sistematika penulisan.

### Bab II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mobil *fuel cell*, sel bahan bakar *fuel cell*, proses *compression molding*, graphite, aluminium dan hal lain yang mengacu pada pembuatan pelat bipolar.

### Bab III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan informasi tentang tempat dan waktu penelitian, metode pembuatan sampel, dan peralatan yang digunakan dalam tahapan prosedur pengujian.

### Bab IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan pembahasan data hasil pengujian pada pembuatan pelat *metal conducting polymer composite*.

### Bab V : PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran-saran dari penelitian ini.

Daftar Pustaka.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Mobil Fuel Cell

Menipisnya cadangan bahan bakar minyak di dunia membuat berbagai perusahaan otomotif mulai berpikir untuk menggunakan sumber energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang sedang dikembangkan sebagai sumber energi mobil adalah fuel cell. Sejarah pengembangan sel bahan bakar dimulai pada tahun 1800-an, tetapi baru pada tahun 1966 teknologi ini diterapkan pada mobil. General Motors yang mengembangkan Chevrolet Electrovan yang dianggap sebagai mobil pertama yang menggunakan sel bahan bakar sebagai sumber energinya. Teknologi sel bahan bakar untuk mobil terus dikembangkan hingga akhirnya pada tahun 2002, Toyota dan Honda menjadi pionir mobil sel bahan bakar. Pada bulan Desember 2002, kedua perusahaan menyerahkan mobil sel bahan bakar ke kantor perdana menteri Jepang saat itu, Junichiro Koizumi. Koizumi kemudian melakukan uji jalan terhadap mobil ini. Honda kemudian menjadi yang pertama meluncurkan mobil sel bahan bakar untuk konsumen. Setelah dipamerkan di Detroit Auto Show 2007 dengan nama FC Concept, Honda resmi meluncurkan FCX Clarity pada 2008 yang disewakan secara terbatas di Amerika Serikat dan Jepang. Toyota sendiri kemudian meresponnya dengan meluncurkan mobil konsep Toyota FCV-R di ajang Tokyo Motor Show 2011. Pembuatan mobil fuel cell membutuhkan biaya produksi yang cukup tinggi, yakni membutuhkan sekitar 870 ribu dolar AS atau sekitar 12 miliar Rupiah. Oleh karena itu, pengembangan mobil sel bahan bakar terus berlanjut hingga saat ini. Mobil sel bahan bakar adalah mobil dengan sistem penggerak energi listrik dari reaksi kimia antara hidrogen yang disimpan dalam tangki dan oksigen yang diambil dari udara. Reaksi kimia ini tidak hanya menghasilkan energi listrik tetapi juga menghasilkan air sebagai produk limbah. Pada dasarnya mobil sel bahan bakar bekerja dengan sistem yang sama dengan kendaraan listrik lainnya. Motor penggerak mobil sel bahan bakar merupakan komponen utama yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi gerak. Motor yang menggerakkan mobil

sel bahan bakar memiliki peran yang sangat penting dalam berfungsinya kendaraan. Motor penggerak mengubah energi listrik dari sel bahan bakar menjadi energi gerak atau torsi di dalam kendaraan.

## 2.2. Komponen Mobil *Fuel cell*

Pada mobil *fuel cell* terdapat beberapa komponen utama, Adapun komponen utama tersebut ialah :



Gambar 2.1. Komponen Mobil *Fuel cell*

(Sumber : Soichiro, 2020)

### 1. Baterai

Baterai berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi pada saat kendaraan mati dan sebagai sumber energi utama saat kendaraan hidup, sebagai komponen penyuplai energi kebagian lampu, sebagai komponen penyuplai energi ke bagian ac, dan sebagai penyuplai energi ke komponen lainnya.

### 2. *Fuel Cell*

*Fuel cell* yang digunakan pada mobil berfungsi untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik yang akan di teruskan ke *electric engine* untuk menggerakkan roda pada mobil.

### 3. *Hydrogen Tank*

Pada mobil *fuel cell hydrogen tank* berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar hidrogen.

#### 4. *Electric Engine*

Pada mobil *fuel cell electric engine* berfungsi untuk mengubah energi listrik dari *fuel cell* menjadi energi mekanik pada roda mobil.

### 2.3. Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

Sel bahan bakar *fuel cell* merupakan suatu perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia dari bahan bakar hidrogen menjadi energi listrik secara langsung. *Fuel cell* digunakan sebagai pembangkit listrik yang memiliki efisiensi tinggi serta dampaknya pada lingkungan rendah. Pada *fuel cell* tidak terjadi proses pembakaran karena tidak menggunakan energi fosil melainkan menggunakan bahan bakar hidrogen dan oksigen yang banyak tersedia di alam. Penggunaan bahan bakar hidrogen dan oksigen pada *fuel cell* akan menghasilkan reaksi oksidasi dan reduksi sehingga yang dihasilkan adalah air (H<sub>2</sub>O) maka pada proses tersebut tidak menimbulkan polusi dan lebih ramah lingkungan. Sel bahan bakar *fuel cell* memerlukan pengisian ulang sama seperti batrai akan tetapi memiliki perbedaan mendasar antara *fuel cell* dengan batrai yaitu sifat kontinuitas dari energi yang diberikan. Pada *fuel cell* sumber energi yang diberikan secara kontiniu dari sistem yaitu hidrogen dan oksigen, sedangkan pada batrai bahan energi sudah terpadu jadi satu kesatuan. jika energi pada batrai habis maka perlu diganti atau diisi kembali.

Prinsip kerja pada *fuel cell* yaitu gas hidrogen yang akan disuplai keanoda (kutub negatif) dimana pada sisi lain iyalah pada katoda (kutub positif) terdapat gas oksigen. Hidrogen dipecah menjadi elektron dan proton (H<sup>+</sup>) melalui sebuah reaksi kimia. Adapun reaksi kimia yang terjadi dapat dilihat pada persamaan berikut :



Proton ini selanjutnya akan bergerak menuju katoda dan akan melewati membran, sedangkan untuk hidrogen yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Sedangkan untuk oksigen pada katoda akan beraksi dengan empat elektron dan ion H<sup>+</sup> hasil

dari reaksi hidrogen pada anoda sehingga akan membentuk air seperti yang akan dijelaskan padapersamaan reaksi berikut :



Dari prinsip kerja *fuel cell* maka persamaan reaksi elektrokimia dapat terlihat bahwa *fuel cell* merupakan alat konversi energi yang ramah lingkungan karena emisi yang dihasilkan dari perangkat ini adalah uap air.



Gambar 2.2. Cara kerja Sel bahan bakar *fuel cell*  
 (Sumber : David Bobby Setiabudi, 2018)

Komponen inti penyusun dari sel bahan bakar *fuel cell* ialah anoda dan katoda yang dipisahkan oleh suatu membran dengan lapisan tipis yang bersifat semipermeabel atau permeabel sebagai bahan konduktor proton. Pada sel bahan bakar *fuel cell*, membran penukar proton atau PEM (*Proton Exchange membrane*) yang merupakan membran tipis atau disebut juga sebagai penghalang yang bermuatan negatif bersifat permeabel terhadap kation atau proton. Sedangkan anion tidak dapat melewati membran ini disebabkan karena adanya gaya coulombic dalam membran (Spiegel, 2007).

Pada PEM (*Proton Exchange membrane*) mengalami kontak dengan spesies secara elektrostatis menarik ion positif dan menolak ion negatif. Muatan negatif pada membran tersebut mengadsorpsi ion positif (proton) akan tetapi menolak ion negatif (anion) yang dikenal sebagai eksklusi donan. Hal ini

dikarenakan oleh kesetimbangan termodinamik (kesetimbangan donan) antara ion yang berada di larutan elektrolit dengan ion pada membran serta proton ditarik kembali kedalam larutan anion sehingga didalam larutan tersebut kenetralan muatannya tetap terjaga. Hasil proton diakumulasi sekitar area membran permukaan larutan sehingga potensial donan akan meningkat secara efektif ketika menarik proton kedalam membran sementara anion kedalam larutan (Spiegel, 2007).

Kriteria PEM (*Proton Exchange membrane*) yang digunakan dalam sel bahan bakar *fuel cell* harus memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki permeabilitas (metanol untuk DMFC) rendah ( $< 5,6 \times 10^{-6}$  s/cm),
2. Memiliki konduktivitas proton yang tinggi ( $> 0,08$  S/cm),
3. Dapat digunakan untuk memisahkan bahan bakar (metanol atau hidrogen) dengan oksigen,
4. PEMFC memiliki kestabilan mekanik dan thermal yang baik khususnya pada ( $T > 800^{\circ}\text{C}$ ),
5. Memiliki tingkat elektro-osmotik terhadap aliran air rendah,
6. Memiliki resistensi yang tinggi terhadap oksidasi, reduksi dan hidrolisis,
7. Dapat mengadsorpsi bahan bakar hidrogen.

Dalam komponen *fuel cell* membran polielektrolit berperan untuk mengatur difusi cairan dan menentukan besarnya konduktivitas proton melalui jumlah proton yang bergerak melewati membran dari anoda ke katoda (Peighambardoust dkk, 2010).

Menurut Carrete dkk (2001) terdapat beberapa kelebihan penggunaan sel bahan bakar *fuel cell* ialah sebagai berikut :

1. Mampu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan efisiensi yang baik,
2. Tanpa melalui proses pembakaran,
3. Sel bahan bakar mampu beroperasi tanpa bising dan hampir tanpa polutan yang berbahaya bagi lingkungan,

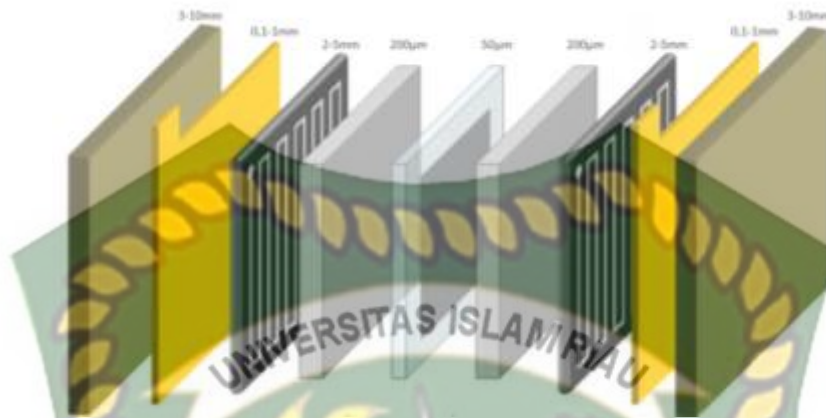
4. Waktu yang diperlukan untuk konstruksi dan instalasi pembangkit listrik lebih pendek dibanding sistem pembangkit batu bara dan nuklir,
5. Biaya operasi rendah.

Sementara hingga saat ini kekurangan dari *fuel cell* yaitu harganya yang mahal dan belum banyak industri yang menggunakannya.

### 2.3.1. Komponen Utama Sel Bahan Bakar (Fuel Cell)

Ada beberapa komponen dasar penyusun dari sel bahan bakar *fuel cell* yang terbagi menjadi 5 yaitu :

1. Anoda (*fuel elctroda*) merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat bertemunya bahan bakar dengan elektrolit, sehingga anoda menjadi katalisator dalam reaksi reduksi bahan bakar dan kemudian mengalirkan elektron dari reaksi tersebut menuju rangkaian diluar sirkuit atau beban,
2. Katoda (*oxigen electrode*) merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk bertemunya oksigen dengan elektrolit, sehingga menjadi katalisator dalam reaksi oksidasi oksigen dan kemudian mengalirkan elektron dari rangkaian diluar kembali kedalam *fuel cell* dalam hal ini katoda yang akhirnya menghasilkan air dan panas,
3. Elektrolit yaitu bahan yang berbentuk cairan gas padat berfungsi untuk mengalirkan ion yang berasal dari bahan bakar di anoda menuju katoda, jika ada elektron yang mengalir melalui elektrolit maka akan terjadi konsleting (*short circuit*) sebagai tambahan agar praktis, peranan gas yang berfungsi sebagai pemisah biasanya disediakan sekaligus oleh sistem elektrolit. Gas yang ada biasanya di atur kapasitasnya dengan tekanan yang di sesuaikan,
4. Pelat bipolar berfungsi untuk Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran, mengalirkan elektrondari anoda menuju katoda, membuang air keluar sel.
5. Pelat penutup berfungsi untuk menyatukan rangkaian *fuel cell*. Bahan yang digunakan ialah material dengan kekuatan mekanis yang baik biasanya yang digunakan ialah material baja atau alumunium.



Gambar 2.3. Komponen Inti Susunan *Fuel Cell*

(Sumber : Alexandre Blanc, 2013)

### 2.3.2. Macam - Macam Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

Pada sel bahan bakar *Fuel cell* yang dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu berdasarkan kombinasi tipe bahan bakar dan oksidan, tipe elektrolit yang digunakan, temperatur operasi, dan lain-lain. *Fuelcell* berdasarkan jenis elektrolit penyusunnya dapat dibedakan menjadi :

1. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*(PEMFC),
2. *Direct Methanol Fuel Cell*(DMFC),
3. *Alkaline Fuel Cell*(AFC),
4. *Phosphoric Acid Fuel Cell*(PAFC),
5. *Molten Carbonate Fuel Cell*(MCFC),
6. *Solid Oxide Fuel Cell*(SOFC).

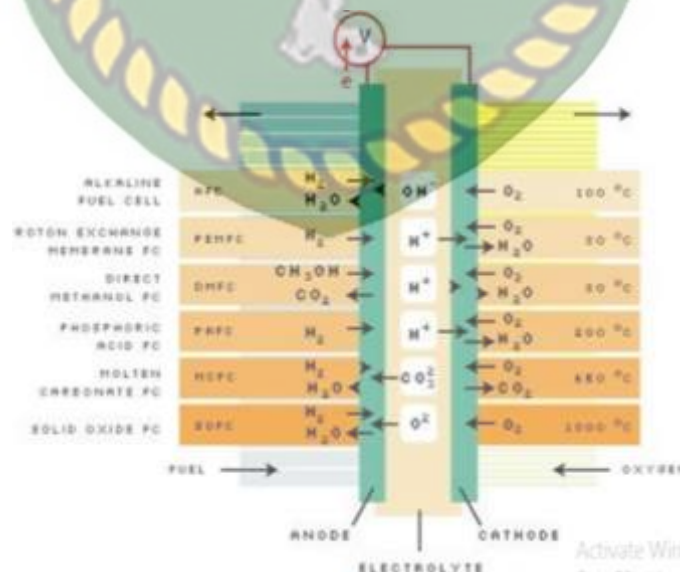
Adapun perbandingan jenis-jenis *fuel cell* dapat dilihat perbedaannya dalam Tabel berikut :

Tabel 2.1. Karakteristik dari Jenis – jenis sel bahan bakar *fuel cell*

	PEMFC	DMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Primary applications	Automotive and stationary power	Portable power	Space vehicles and drinking water	Stationary power	Stationary power	Vehicle auxiliary power
Electrolyte	Polymer (plastic) membrane	Polymer (plastic) membrane	Concentrated (30–50%) KOH in H <sub>2</sub> O	Concentrated 100% phosphoric acid	Molten Carbonate retained in a ceramic matrix of LiAlO <sub>2</sub>	Yttrium-stabilized Zirkondioxide
Operating temperature range	50–100°C	0–60°C	50–200°C	150–220°C	600–700°C	700–1000°C
Charge carrier	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>
Prime cell components	Carbon-based	Carbon-based	Carbon-based	Graphite-based	Stainless steel	Ceramic
Catalyst	Platinum	Pt-Pt/Ru	Platinum	Platinum	Nickel	Perovskites
Primary fuel	H <sub>2</sub>	Methanol	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , CO
Start-up time	Sec-min	Sec-min	Hours	Hours	Hours	Hours
Power density (kW/m <sup>3</sup> )	3.8–6.5	~0.6	~1	0.8–1.9	1.5–2.6	0.1–1.5
Combined cycle fuel cell efficiency	50–60%	30–40% (no combined cycle)	50–60%	55%	55–65%	55–65%

(Sumber : S, Basu, 2007)

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa dari keenam jenis sel bahan bakar *fuel cell* menggunakan sumber energi yang berbeda sehingga menghasilkan emisi yang berbeda pula. Akibatnya, reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda dari masing–masing sel tidak sama, sesuai dengan bahan bakar yang digunakan.



Gambar 2.4. Ilustrasi Cara Kerja Dari Jenis – jenis *Fuel Cell*

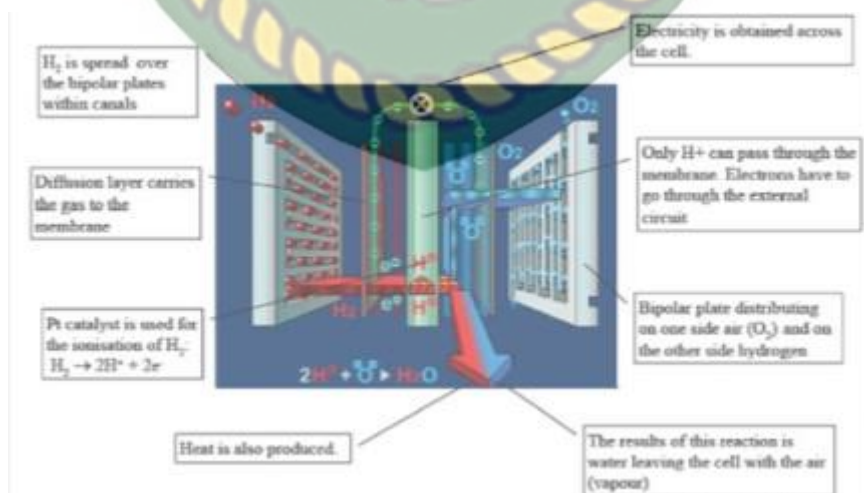
(Sumber : Oky Simbolon, 2011)

Dari enam jenis *fuel cell* yang ada, pada jenis PEMFC memiliki aplikasi yang cukup luas karena dapat diaplikasikan pada peralatan elektronik *portable*, *mobile* dan *residential generation*, mobil, kapal dan lain-lain. Hal ini disebabkan PEMFC memiliki jangkauan yang sangat luas untuk menghasilkan daya yaitu dari 1-100 kW.

Pada penelitian ini digunakan jenis *fuel cell* PEMFC karena dapat menjadi sumber energi listrik yang menjanjikan di masa depan untuk aplikasi stasioner dan transportasi.

#### 2.4. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

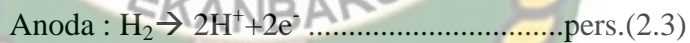
*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*(PEMFC) ialah salah satu jenis sel bahan bakar *fuel cell* yang menggunakan membran *electrolyt eassembly* untuk memisahkan elektrodanya. Untuk pertama kalinya membran ini ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama William Grubbs pada tahun 1995. Ia menemukan bahwa tanpa adanya asam yang kuat pada membran ini maka membran tersebut akan mampu untuk memindahkan kation dan proton ke katoda. Keunggulan yang dimiliki oleh PEMFC ini tingkat efisiensi energi yang tinggi densitas energi yang tinggi, dapat digunakan pada temperatur pengoperasian yang rendah, suplai bahan bakar yang tepat serta dapat digunakan untuk jangka waktu pemakaian yang cukup lama.



Gambar 2.5. Prinsip Kerja PEMFC

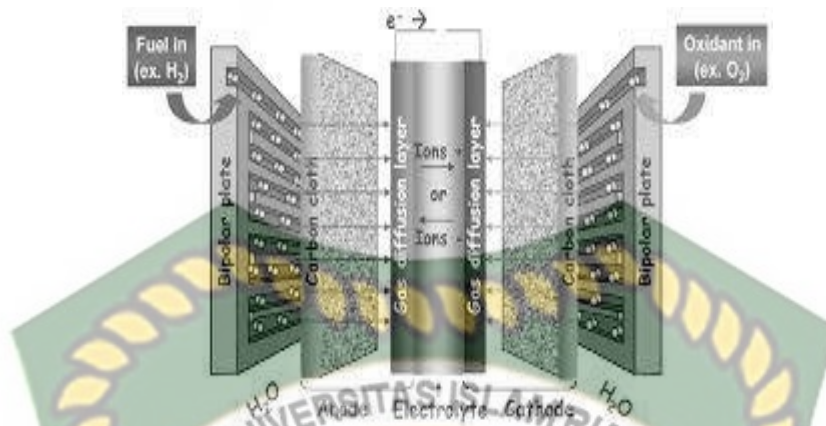
(Sumber : Oky Simbolon, 2011)

Prinsip kerja dari *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) ini cukup sederhana, yaitu pada PEMFC hidrogen dan oksigen akan bereaksi menghasilkan energi listrik dan pada saat yang bersamaan juga membentuk air (H<sub>2</sub>O) dan panas sebagai hasil sampingan. Proses bermula dengan masuknya gas hidrogen bertekanan ke dalam sisi anoda dari *fuel cell* yang kemudian dialirkan melalui pelat bipolar dengan memberikan suatu tekanan. Molekul H<sub>2</sub> akan terpecah menjadi dua proton H<sup>+</sup> dan dua elektron e<sup>-</sup> setelah bersentuhan dengan logam platina yang berfungsi sebagai katalis. Dua proton H<sup>+</sup> tersebut bergerak menuju katoda dengan menembus membran tipis berpori yang dibantu oleh adanya medan listrik pada membran, sedangkan elektron yang terkonduksi di anoda akan keluar melalui *external wire* karena terhalang oleh membran menuju sisi katoda dari *fuel cell* dan dipergunakan untuk menghasilkan energi listrik. Gas oksigen akan dialirkan melalui pelat bipolar dan membentuk dua atom oksigen dimana masing-masing atom mempunyai satupasang elektron dan menarik dua proton H<sup>+</sup> melalui membran sehingga akan bereaksi menghasilkan molekul air (H<sub>2</sub>O). Adapun reaksi yang terjadi pada PEMFC dapat dilihat pada persamaan berikut:



Reaksi yang selanjutnya terjadi dalam *Fuel cell* tinggal hanya menghasilkan 0,7 volts sehingga perlu dilakukan peningkatan dengan mengkombinasikan komponen- komponen serta dengan membentuk suatu susunan pada *fuel cell*.

Rangkaian PEMFC terdiri dari *membrane electrolyte assembly* (MEA) dengan lapisan katalis di kedua sisinya, lapisan difusi gas (GDL), pelat bipolar, penyimpanan arus, dan pelat penutup.



Gambar 2.6. Susunan Rangkaian PEMFC  
(Sumber : Gerald Pourcelly, 2010)

Pada susunan rangkaian PEMFC terdapat empat komponen utama yang akan di jelaskan dibawah ini :

1. *Membrane Electrolyte Assembly* (MEA)

Bahan yang digunakan sebagai penyusun ialah Polimer solid terimpregnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda. Kertas atau kain karbon berpori untuk *Gas Diffusion Layer* (GDL). Terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit, dan 2 GDL. Membran memisahkan 2 setengah-reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran, mengalirkan elektron dari area aktif menuju pelat bipolar dan membantu pengaturan air.

2. Pelat Bipolar

Bahan yang digunakan ialah pelat grafit, stainless steel, atau komposit. Fungsinya untuk Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran, mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda, membuang air keluar sel.

3. Pelat penutup

Bahan yang digunakan ialah material dengan kekuatan mekanis yang baik biasanya yang digunakan ialah material baja atau aluminium. Berfungsi untuk menyatukan rangkaian *fuel cell*.

4. Penyimpanan arus

Bahan yang digunakan ialah logam dengan konduktivitas yang baik

biasanya bahan yang digunakan adalah tembaga. Berfungsi untuk menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit.

Berikut ini ialah keunggulan yang dimiliki oleh PEMFC secara terperinci ialah :

- a. PEMFC memiliki elektrolit padat yang memberikan ketahanan yang sangat baik terhadap permeabilitas gas,
- b. Temperature operasi dari PEMFC yang rendah memungkinkan waktu *startup* yang cepat,
- c. PEMFC sangat cocok digunakan terutama untuk situasi dimana hidrogen murni dapat digunakan sebagai bahan bakar,
- d. PEMFC mampu beroperasi pada kondisi tekanan hingga 20,68 MPa dan memiliki differensial tekanan hingga 3,45 MPa,
- e. *Stack* PEMFC mudah disusun sehingga mudah untuk digunakan dalam berbagai aplikasi,
- f. Kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh PEMFC cukup bervariasi mulai dari 0,1 W – 100kW,
- g. PEMFC dapat beroperasi pada rapat arus yang sangat tinggi dibandingkan dengan jenis *Fuel cell* yang lainnya.

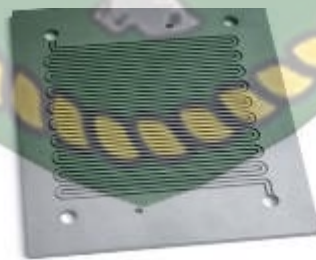
Secara umum biaya untuk fabrikasi yang cukup tinggi sehingga untuk memproduksi *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) masih memiliki sejumlah kendala agar dapat diproduksi secara massal sebagai alat konversi energi alternatif. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dan suatu terobosan dalam mendesain suatu proses fabrikasi dan pemilihan material yang tepat melalui suatu penelitian secara komprehensif sehingga PEMFC ini dapat diproduksi dalam jumlah massal dengan harga cukup ekonomis. Sementara untuk keterbatasan yang dimiliki oleh PEMFC ialah :

- a. Temperatur pengoperasian yang rendah dan rentang temperatur kerja yang sempit itu merupakan kendala tersendiri dalam pembuatan manajemen panas PEMFC,

- b. Pengolahan air (*water management*) yang merupakan salah satu tantangan tersendiri dalam mendesain PEMFC,
- c. Pada PEMFC sangat sensitif terhadap kontaminasi oleh gas CO, sulfur dan amonia,
- d. Kualitas panas yang dihasilkan dari PEMFC rendah dan tidak dapat digunakan secara efektif disemua tempat.

### 2.5. Pelat Bipolar

Pelat bipolar atau sering disebut dengan *flow field plate* atau pelat separator. Pelat bipolar ini memiliki dua fungsi utama, yang pertama yaitu mengalirkan gas reaktan menuju *gas diffusion layer* melalui *flow channel* dan yang kedua yaitu mengalirkan electron dari anoda menuju katoda. Pelat ini biasanya dibuat dari bahan grafit, logam (aluminium, stainlesssteel, titanium, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit. Saluran alir gas dicetak pada permukaan pelat sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Pada pelatbipolar konvensional berkontribusi iyalah 80% volume, 70% berat, dan 60% biaya dari *fuel cell*. Oleh karena itu, diperlukan pelat bipolar yang murah, tipis, dan ringan. Sehingga dapat mengurangi bobot, volume, dan biaya untuk diproduksi pada *fuel cell*.



Gambar 2.7. Pelat Bipolar

(Sumber : William sun, 2019)

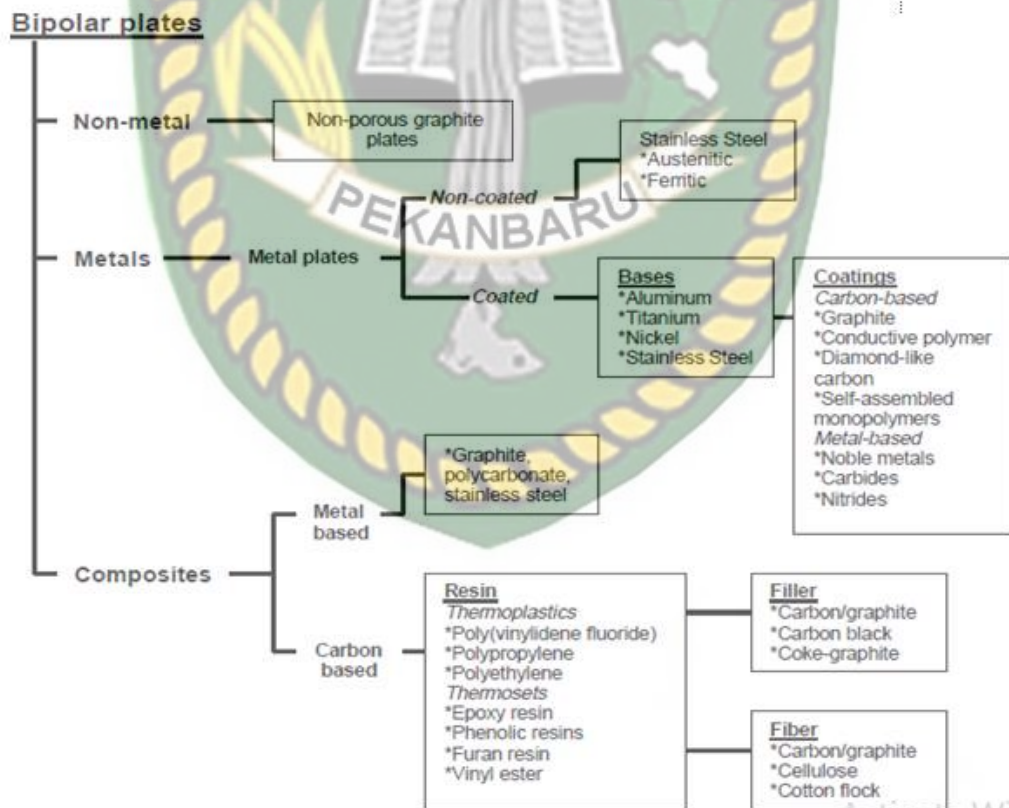
Untuk membuat sebuah pelat bipolar sifat-sifat yang diperlukan ialah harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Konduktivitas listrik yang baik ( $>100\text{S/cm}$ ),
2. Konduktivitas termal yang tinggi ( $>20\text{W/cm}$ ),

3. Stabilitas mekanik terhadap gaya tekan,
4. Permeabilitas gas yang rendah,
5. Material yang murah untuk diproduksi,
6. Berat yang ringan,
7. Volume yang kecil,
8. Material yang dapat daur ulang.

### 2.5.1. Klasifikasi Pelat Bipolar

Pelat bipolar terbuat dari bermacam-macam bahan dasar material seperti non- logam, logam maupun komposit baik komposit berbasis karbon, polimer termoset dan polimer plastis. Adapun bahan penyusun dari plat bipolar dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.8. Bahan Penyusun Pelat Bipolar Berdasarkan Materialnya

(Sumber : Herman Dkk, 2005)

Setiap bahan dasar material yang digunakan sebagai penyusun pelat bipolar difungsikan untuk sebuah aplikasi tertentu yang spesifik. Material yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pelat bipolar memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing yang menjadi dasar perbedaan pemanfaatannya. Adapun perbedaan dari bahan dasar material yang digunakan pada plat bipolar dapat dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 2.2. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Beberapa Material Sebagai PelatBipolar.

Material	Keuntungan	Kerugian
<b>Grafit</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ketahanan terhadap korosi yang sangat baik</li> <li>2. Resistivitas yang rendah</li> <li>3. Resistansi kontak rendah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sifat mekanik yang buruk (getas)</li> <li>2. Porositas</li> <li>3. Volum dan berat besar</li> <li>4. Biaya produksi Mahal</li> </ol>
<b>Komposit karbon – karbon</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Densitas rendah</li> <li>2. Ketahanan terhadap korosi baik</li> <li>3. Resistansi kontak rendah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kekuatan mekanik rendah</li> <li>2. Konduktivitas listrik rendah</li> <li>3. Harga tinggi</li> </ol>
<b>Komposit karbon– polimer</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biaya rendah</li> <li>2. Ketahanan terhadap korosi cukup baik</li> <li>3. Bobotnya ringan</li> <li>4. Tidak menggunakan proses permesinan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kekuatan mekanik rendah</li> <li>2. Konduktivitas listrik rendah</li> </ol>
<b>Logam</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Konduktivitas listrik baik</li> <li>2. Konduktivitas panas baik</li> <li>3. Biaya produksi cukup rendah</li> <li>4. Memiliki sifat mekanik yang baik</li> <li>5. Proses fabrikasi yang mudah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Terjadi korosi pada membran yang menghasilkan oksida pada permukaan</li> </ol>

(Sumber : Herman Dkk, 2005)

Pelat bipolar pada PEMFC umumnya dibuat menggunakan bahan grafit dan stainless steel. Material grafit memiliki konduktivitas yang tinggi, lebih inert dan tahan terhadap korosi. Namun harganya cukup mahal, baik dari material maupun biaya produksi, begitu pula dengan stainless steel sehingga perlu dilakukan pengembangan material baru. Target keberhasilan dalam mengembangkan pelat bipolar untuk PEMFC mengacu pada standar US Department of Energy (DOE). Seperti yang dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 2.3. Target Teknis *Department of Energy* (DOE), USA untuk Karakteristik Pelat Bipolar.

Characteristic [Units]	Status 2005	2010 target	2015 target
Cost [\$]	10	5	3
Weight [kg/kW]	0.36	< 0.4	< 0.4
H <sub>2</sub> permeation [cm <sup>3</sup> sec <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ]	< 2.6 x 10 <sup>-6</sup>	< 2.6 x 10 <sup>-6</sup>	< 2.6 x 10 <sup>-6</sup>
Corrosion [μA/cm <sup>2</sup> ]	< 1 <sup>d</sup>	< 1 <sup>d</sup>	< 1 <sup>d</sup>
Electrical Conductivity [S.cm <sup>-1</sup> ]	> 600	> 100	> 100
Resistivity [Ω.cm <sup>2</sup> ]	< 0.02	0.01	0.01
Flexural [Mpa]	> 34	> 25	> 25
Flexibility [% at mid-span]	1.5 to 3.5	3 to 5	3 to 5

(Sumber : Yuhua Wang, 2005)

## 2.6. Pelat *Conducting*

Bahan pelat *conducting* yang digunakan untuk membuat pelat bipolar pada umumnya adalah berbahan komposit non-logam. Matriksnya relatif ulet dan tangguh, sedangkan untuk bahan pengisinya lebih kuat dan keras. Komposit non-logam yang digunakan untuk membuat pelat bipolar pada umumnya memiliki kandungan bahan pengisi grafit yang cukup besar (hingga 70-80%) dan matriks

polimer yang lebih kecil. Komposit non-logam terbagi menjadi beberapa bagian yaitu karbon- karbon komposit, komposit berbasis termoset, dan komposit berbasis termoplastik. Karakteristik dari pembuatan pelat *conducting* sebagai bahan dasar pembuatan pelat bipolar yang dihasilkan sangat bergantung pada material yang digunakan. Oleh sebab itu, pemilihan dari material penyusun dalam pembuatan pelat bipolar perlu mendapat banyak perhatian. Pada penelitian ini, digunakan material berbahan alumunium dan bahan grafit yang digunakan sebagai pelapisnya.

### 2.7. Polimer

Polimer adalah makro molekul yang terbentuk dari penataan ulang antar molekul - molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia yang disebut polimer (poli = banyak; mer = bagian). Polimer akan terbentuk ketika seratus atau seribu unit dari molekul kecil (monomer) terikat bersama dalam sebuah rantai. Jenis monomer yang saling berikatan membentuk polimer terkadang sama atau berbeda (Januastuti, 2015). Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang dibangun dengan mengulangi unit kimia kecil dan sederhana yang setara dengan monomer, yaitu blok bangunan polimer. Penggolongan polimer berdasarkan asalnya yaitu yang berasal dari alam (natural polymers) dan polimer yang sengaja dibuat oleh manusia (synthetic polymers).

### 2.8. Komposit

Komposit merupakan gabungan suatu bentuk makroskopis dari dua atau lebih material yang berbeda, dimana akan membentuk suatu ikatan. Hal tersebut yang membedakan komposit dengan paduan, dimana paduan dilakukan penambahan pada skala mikroskopis. Kombinasi antara beberapa material di dalam komposit yang baik, memberikan sifat-sifat yang lebih baik diantara material penyusunnya. Maka dari itu, komposit diproduksi untuk mengoptimalkan sifat-sifat dari suatu material, seperti sifat mekanik (kekuatan), sifat kimia atau fisik, optimalisasi sifat thermal (ekspansi termal, konduksi termal, pelunakan dan titik leleh) sebaik sifat listriknya (konduktivitas listrik) dan sifat optiknya.

Komposit digunakan tidak hanya pada aplikasi struktural, melainkan untuk aplikasi elektronik, thermal, dan aplikasi lain sesuai dengan dengan kondisi lingkungannya.

Suatu komposit terdiri dari dua komponen sebagai penyusun, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Antara matriks dan penguat harus memiliki ikatan yang baik untuk menciptakan sifat yang baik pula. Selain itu, pada matriks harus terbentuk fasa terdispersi untuk meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat lainnya. Fungsi dari matriks yang digunakan sebagai pembuatan suatu material komposit adalah sebagai berikut :

1. Mengikat suatu komponen didalam material komposit dan menentukan stabilitas terhadap temperatur operasi pada komposit,
2. Melindungi penguat dari keausan dan kontak dengan lingkungan,
3. Sebagai media transfer tegangan untuk membantu mendistribusikan tegangan,
4. Menyediakan ketangguhan dan kekuatan geser terhadap material komposit yang baik,
5. Mengatur orientasi dari penguat dan jarak pada struktur komposit.

Sementara itu, bahan penguat digunakan dalam suatu komposit berfungsi untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan agar meningkatkan sifat mekanisnya. Berdasarkan jenis penguatnya, material komposit dapat dibagi menjadi beberapa bagian. Adapun bagian tersebut ialah sebagai berikut:

#### 1. Material Penyusun

Sifat dari suatu komposit akan ditentukan dari material penyusunnya. Matriks dalam penelitian ini adalah alumunium, sehingga sifat alumunium akan menjadi sifat utama sebagai pelat *metal conducting polymer composite* atau disebut juga pelat bipolar yang akan dibuat nantinya. Alumunium memiliki konduktivitas yang cukup baik, namun memiliki tingkat keuletan yang cukup tinggi juga. Sedangkan bahan pengisinya menggunakan *graphite*. *Graphite* memiliki konduktivitas yang cukup baik dan pada *graphite* memiliki kekurangan

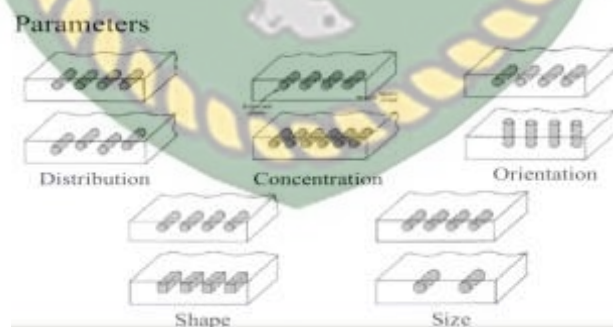
yaitu sifat mekanis yang baik yaitu getas, maka pada penelitian ini akan dibuat pelat *metal conducting polymer composite* dengan bahan utama yaitu alumunium dan *graphite* digunakan sebagai pelapis alumunium tersebut dengan menggunakan metode elektroforesis sebagai pengembangan material energi kedepannya.

2. Jumlah material yang digunakan

Jumlah untuk material yang akan digunakan sebagai penyusun mempengaruhi sifat yang dihasilkan dari komposit. Komposisi antara matriks dan penguat, sebaiknya digunakan dengan komposisi yang seimbang karena jika jumlah material penguat lebih banyak dari matriks, maka sifat yang dihasilkan tidak mencapai nilai optimal.

3. Fasa yang terdispersi

Fasa yang terdispersi dalam matriks juga akan mempengaruhi sifat komposit baik itu dari distribusi, konsentrasi, orientasi, ukuran maupun bentuk fasa seperti yang akan ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Contohnya, pada bahan penguat yang berbentuk silinder atau tidak bersudut memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan penguat yang memiliki sudut pada sisinya. ini diakibatkan oleh tegangan konsentrasi yang lebih besar pada bagian sudut, sehingga sifat mekanik yang buruk.



Gambar 2.9. Parameter Bahan Pengisi Komposit

(Sumber : Frans Armanto, 2017)

4. Ikatan dari antarmuka dan antarfasa

Dalam pembuatan material komposit, penguat dan matriks menghasilkan

kombinasi sifat mekanik yang berbeda dengan sifat dasar dari masing-masing matriks maupun penguat karena terdapat ikatan antar muka antara kedua komponen tersebut. Ikatan antar muka ialah suatu permukaan yang terbentuk diantara matriks dan penguat didalamnya yang berfungsi untuk media transfer beban dari matriks dan penguat. Ikatan dari penguat dan matriks ini memiliki peran yang besar dalam penentuan sifat dari suatu komposit. Semakin baik ikatan yang terbentuk (ditandai dengan semakin luasnya daerah permukaan kontak), maka semakin baik pula sifat akhir dari komposit yang terbentuk. Permukaan yang terbentuk akan mempengaruhi sifat-sifat dari komposit nantinya. Selain itu, diantara matriks dan penguat tersebut akan terbentuk fasa ketiga (antar fasa) yang memiliki sifat gabungan dari kedua fasa pembentuknya. Fasa ketiga dapat terbentuk apabila ikatan antar fasa terbentuk dengan baik, sehingga setiap komponen mampu berdifusi seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.10. Fenomena antar muka dan antar fasa pada komposit

(Sumber : ASM *Handbook* Vol 21, 2001)

Pada saat ini perkembangan pembuatan pelat bipolar komposit lebih pesat diantara jenis pelat bipolar berbasis grafit, logam, dan komposit. Hal ini dikarena pelat bipolar komposit dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah serta menghasilkan properties yang baik.

## 2.9. Logam

Logam merupakan unsur atau senyawa yang biasanya keras tak tembus

cahaya, berkilau, dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Dalam tabel periodik sekitar 91 dari 118 unsur adalah logam, sisanya adalah nonlogam atau metaloid. Dalam ilmu logam, jenis-jenis logam dikelompokkan menjadi 4 bagian, yaitu :

1. Logam berat, misalnya besi, nikel, khrom, tembaga, timah.
2. Logam ringan, misalnya alumunium, magnesium, titanium, kalsium.
3. Logam mulia, misalnya emas, perak, dan platina.
4. Logam tahan api, misalnya wolfram, titanium, sirkonium, dan molibden.

Sedangkan untuk jenis logam berdasarkan bahan dasar yang membentuknya terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

1. Logam besi (*ferrous*) yaitu logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi.
2. Logam bukan besi (*nonferrous*) yaitu logam yang tidak mengandung besi.

#### 2.10. Aluminium

Aluminium merupakan suatu jenis logam yang sering digunakan dalam kehidupan manusia. Jumlahnya yang sangat berlimpah di alam. Sekitar 8% dari permukaan bumi mengandung unsur Aluminium. Berbagai sektor industri di dunia banyak yang menggunakan aluminium dalam berbagai bentuk mulai dari unsur, bijih, serta yang sudah diolah dan dicampur dengan logam lain. Material aluminium ringan, mudah dibentuk untuk menjadi batangan atau lembaran, tahan terhadap korosi dan merupakan penghantar listrik yang baik sehingga dilakukannya penelitian ini. Adapun kelebihan dari aluminium adalah sebagai berikut :

1. Merupakan salah satu penghantar listrik dan panas yang baik meskipun tidak sebaik tembaga. Karena memiliki daya hantar yang cukup baik ini aluminium dapat digunakan sebagai pengganti tembaga karena pada tembaga memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium.

2. Aluminium memiliki warna yang stabil seolah – olah tidak berkarat. Hal ini disebabkan karena pada aluminium begitu cepat bereaksi dengan oksigen yang ada di udara lalu akan menghasilkan aluminium oksida. Oksida yang terbentuk tidak mudah terkelupas sehingga mampu melindungi aluminium yang ada di bagian bawah.
3. Tidak perlu dicat karena pada aluminium sudah memiliki permukaan yang cukup bagus dan menarik.
4. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan.

Pada aluminium terdapat kekurangan. Adapun kekurangan tersebut ialah sebagai berikut :

1. Rentan terhadap goresan,
2. Lemah terhadap benturan,
3. Harus teliti dalam pemilihan materialnya karena kualitas yang baik pastinya dapat menunjang penggunaan jangka panjang.

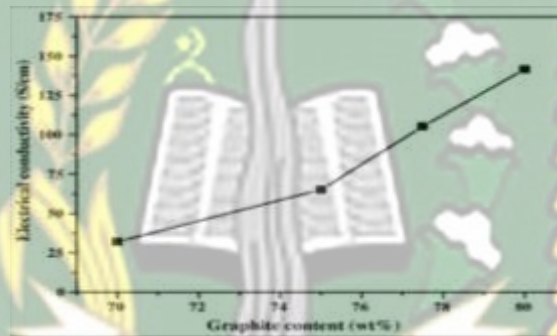


Gambar 2.11. Pelat Aluminium  
(Sumber : Agy Randhiko dkk, 2014)

### 2.11. Grafit

Grafit merupakan alotrop karbon yang memiliki warna kelabu. Akibat dari delokalisasi elektron antar permukannya, *graphite* dapat berfungsi sebagai konduktor listrik yang baik. Grafit dinamai oleh Abraham Gottlob Werner pada tahun 1789 dengan mengambil kata dari bahasa Yunani. Untuk *graphite* digolongkan menjadi dua jenis, yaitu grafit alami dan grafit sintetik. Untuk grafit sintetik lebih murni dibandingkan grafit alami. Grafit sintetik merupakan produk yang dibuat dari material karbon amorf melalui proses perlakuan khusus pada

kondisi temperatur yang tinggi. Grafit pada umumnya digunakan sebagai bahan pengisi khususnya dalam matriks polimer karena memiliki konduktivitas listrik dan panas yang baik, serta memiliki sifat-sifat pelumasan (lubrikasi) yang baik. Karena strukturnya yang berlapis, grafit memberi sifat kekakuan dan dimensi yang stabil terhadap polimer. Pada penelitian ini, grafit digunakan sebagai material pengisi pada pelat aluminium sebagai pelat *metal conducting polymer composite*. Grafit dapat meningkatkan koefisien friksi, serta meningkatkan konduktivitas termal. Pada gambar 2.12 menunjukkan pengaruh penambahan grafit terhadap konduktivitas listrik dari pelat bipolar. Sebaliknya, penambahan grafit juga akan menurunkan resistivitas dari pelat bipolar.



Gambar 2.12. Pengaruh Penambahan *Graphite* Terhadap Konduktivitas Listrik.

(Sumber : Chiang Kuan, 2004)

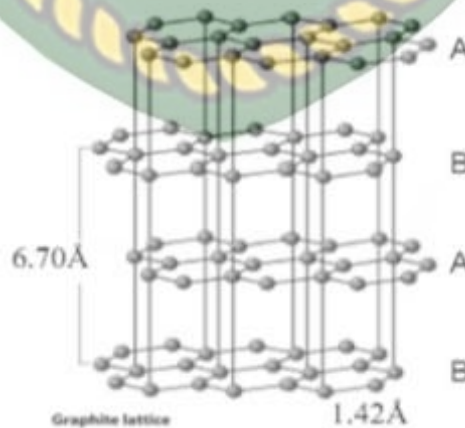
Ukuran, arah, dan bentuk dari partikel grafit yang digunakan akan mempengaruhi sifat dari komposit yang dihasilkan, terutama konduktivitas listrik. Grafit yang memiliki arah orientasi partikel yang tegak lurus terhadap arah penekanan pada saat pencetakan akan memiliki nilai konduktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan arah orientasi yang sejajar dengan arah penekanan. Selain itu, kekuatan fleksural dari grafit yang berbentuk partikel (*spherical*) lebih baik dibandingkan grafit berbentuk serpih (*flake*), karena tegangan yang diterimaukuran dari partikel, akan menurunkan nilai konduktivitasnya, namun secara tidak langsung akan meningkatkan kekuatan fleksuralnya

Tabel 2.4. Pengaruh Ukuran Dan Bentuk Partikel *Graphite*.

Sample	particle Size Direction	Electrical Conductivity (S/cm)	Thermometric Conductivity [W/(m.°C)]	Flexural Strenght (MPa)
Spherical Graphite	44-63 $\mu\text{m}$	84	18.9	39.5
		387.3	71.9	
	< 44 $\mu\text{m}$	60	12.5	44
Flake-like Graphite	44-63 $\mu\text{m}$	76	20.3	35
		566.5	113	
	< 44 $\mu\text{m}$	45.8	13	39,8
		420.3	105.5	

(Sumber : Zhang jie, dkk, 2005)

Grafit merupakan salah satu jenis bentuk alotropi dari karbon yang terdiri dari susunan atom-atom karbon secara heksagonal yang membentuk kisi planar dengan ikatan antar lapisan yang lemah. Kisi yang terbentuk pada *graphite* biasanya memiliki kekakuan yang tinggi, tetapi mudah mengalami pergeseran antar lapisan. Struktur pada grafit akan menghasilkan sifat yang unik sehingga dapat digunakan pada berbagai aplikasi, baik digunakan sebagai material utama maupun sebagai material pengisi. Struktur grafit dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Struktur Kristal *Graphite*

(Sumber : L. Du, S.C. Jana, 2007)

*Graphite* memiliki sifat kimia dan fisika, adapun sifat tersebut adalah sebagai berikut :

1. Memiliki konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik,
2. Memiliki sifat lubrikasi yang baik pada tekanan dan temperatur yang tinggi,
3. Ketahanan oksidasi dan daya tahan terhadap unsur kimia tinggi,
4. Kemampuan untuk mengikat molekul kimia diantara lapisan grafit.
5. Ramah terhadap lingkungan.

Untuk digunakan sebagai aplikasi pelat bipolar, grafit mampu memberikan konduktivitas listrik yang baik dan dapat meningkatkan sifat mekanis dari komposit tersebut. Selain itu, penambahan grafit juga mampu meningkatkan kemampuan dalam pemrosesan dari material komposit karena sifatnya yang baik sebagai pelumas padat. Hal tersebut mampu memberikan performa yang baik dan stabil dalam aplikasi sebagai pelat bipolar komposit.

#### **2.12. Resin Epoxy**

Pada umumnya resin *epoxy* digunakan sebagai cat pelapis, perekat, percetakan cor dan benda - benda cetakan. Resin *epoxy* dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. Resin Bisfenol A, resin ini memiliki kelekatan yang sangat baik terhadap bahan lain. Bahan ini banyak digunakan dalam cat untuk logam, pelapis, perekat, pelapis dengan menggunakan serat *glass*.
2. Resin *Sikloalifatik*, resin ini mempunyai viskositas yang rendah dan ekivalensi epoksinya kecil. Resin ini sangat berguna karena penanganannya yang mudah.

Resin epoxy termasuk jenis polimer thermosetting dan memiliki struktur *amorf*, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Keunggulan yang dimiliki resin epoxy ini adalah ketahanannya terhadap panas dan kelembaban, sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan

resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya (Gamert dkk, 2004). Namun demikian epoksi juga mempunyai kelemahan pada sifat sensitif menyerap air dan getas. Kegunaan epoksi sebagai bahan matriks dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh sebab itu saat ini terus dilakukan penelitian untuk meningkatkan ketangguhan bahan matriks atau epoksi (Liu dkk, 2004). Pada beton penggunaan resin epoksi dapat mempercepat proses pengerasan, karena resin epoksi menimbulkan panas sehingga membantu percepatan pengerasan (Blanco dkk, 2006).

### 2.13. *Compression Molding*

*Compression molding* adalah metode pencetakan tertutup di mana tekanan tinggi diterapkan pada bagian yang dicetak. Mesin cetak kompresi umumnya memiliki pelat dasar di bagian bawah yang dipasang secara statis atau tetap sedangkan pelat atas diaktifkan untuk bergerak ke atas dan ke bawah untuk menyesuaikan dengan tekanan yang diperlukan. Material penguat komposit dan matriks ditempatkan dalam cetakan sebelum dilakukan proses kompresi.

Selain produk komposit, cetakan kompresi dapat digunakan untuk mencetak bahan plastik (plastik majemuk). Untuk pekerjaan *compression moulding* pada bahan plastik tidak jauh berbeda dengan produk komposit, pada proses kompresi dengan produk berbahan plastik prosesnya lebih mudah yaitu dengan memasukkan bahan plastik ke dalam cetakan untuk dipanaskan. Bahan plastik yang dipanaskan dalam cetakan akan melunak sehingga apabila tekanan dan panas dilewatkan pada cetakan maka akan menghasilkan reaksi kimia yang dapat mengerasakan bahan termoset dalam jangka waktu tertentu. Kemudian material akan menyesuaikan dengan rongga cetakan atau biasa disebut rongga yang dirancang dalam bentuk produk dengan ketelitian dan presisi yang tinggi. Setelah serangkaian proses pencetakan kompresi, produk dari cetakan dapat dikeluarkan. (Davis dkk, 2003).

#### 2.14. Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik ialah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik merupakan sifat material yang berbanding terbalik dengan resistansi. Pengujian konduktivitas listrik mengacu pada standar ASTM B193 dan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{A} \times G \dots\dots\dots \text{pers.}(2.5)$$

Dimana :

- L = Jarak (cm)
- A = Luas Pelat (cm<sup>2</sup>)
- R = Resistansi (ohm)
- G = Konduktansi (Siemens)
- σ = Konduktivitas Listrik (S.cm<sup>-1</sup>)

#### 2.15. Pengujian Kekuatan bending

Pengujian kekuatan bending dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu material terhadap tekanan dimana sifat mekanis tersebut ialah untuk mengetahui titik luluh, titik penekanan maksimum, titik putus dan karakter bahan material ulet dan getas.

Pada pengujian kekuatan bending berdasarkan standar ASTM D 790 bisa didapatkan nilai persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{3PL}{2b.d^2} \dots\dots\dots \text{pers.}(2.6)$$

Dimana :

- σ<sub>c</sub> = Tegangan bending (MPa)
- P = Beban / Load (N)
- L = Panjang Span (mm)
- b = Lebar (mm)
- d = Tebal (mm)

## 2.16. Pengamatan Mikrostruktur

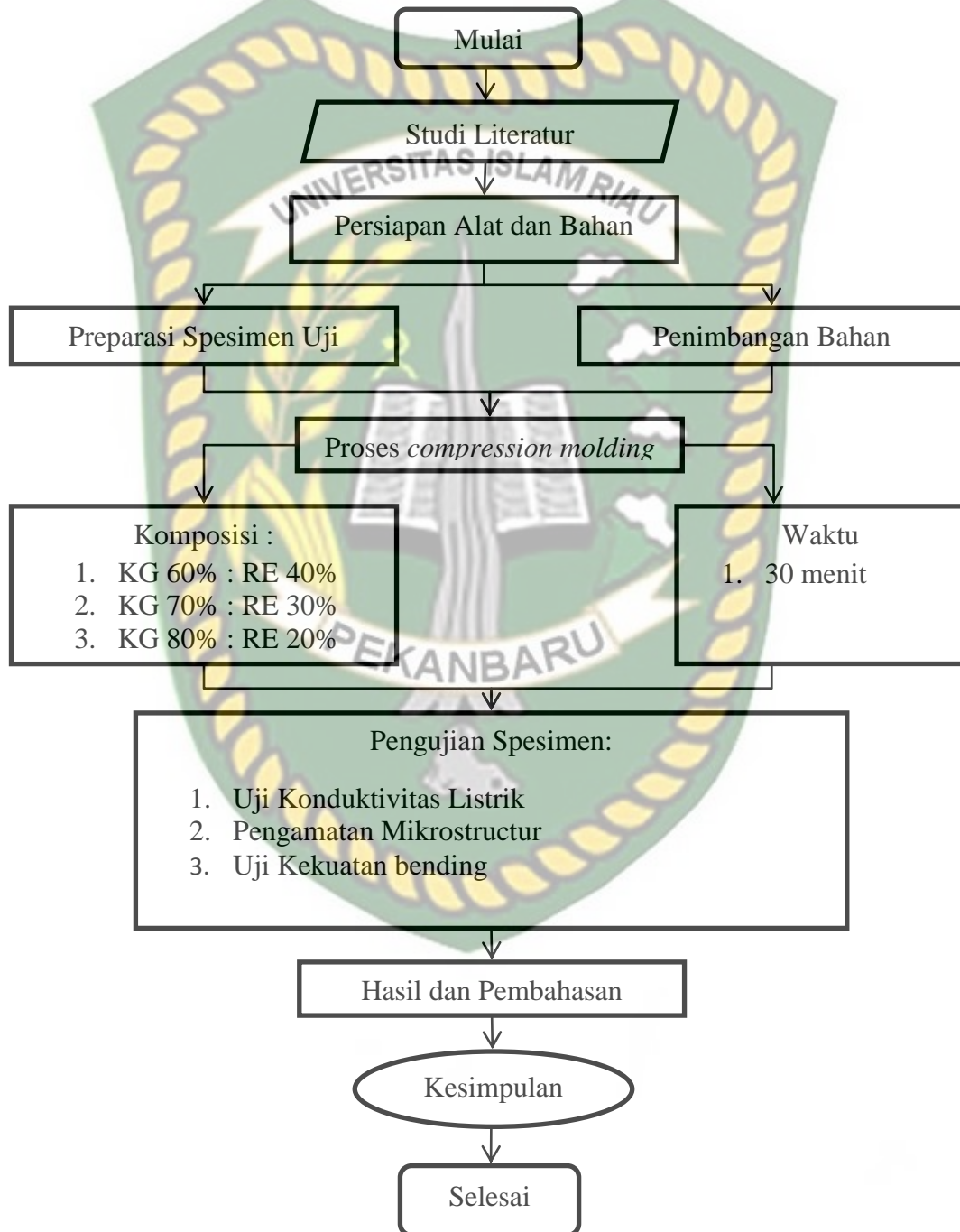
Pengamatan mikrostruktur merupakan gambaran dari kumpulan fasa – fasa yang dapat diamati melalui titik metalografi. Struktur mikro merupakan suatu spesimen uji yang dapat dilihat menggunakan mikroskop.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Waktu Dan Tempat

1. Proses pelapisan menggunakan metode compression molding dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau
2. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau..
3. Pengamatan mikrostruktur dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
4. Pengujian kekuatan bending dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Kampar.

### 3.3. Alat Dan Bahan

#### 3.3.1. Alat

Adapun Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk mengukur massa atau berat bahan seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Timbangan Digital

2. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk tempat mengaduk komposisi campuran grafit dan resin epoxy seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Gelas Ukur

3. Gerinda

Gerinda berfungsi untuk memotong spesimen seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Gerinda

4. Penggaris

Penggaris berfungsi untuk mengukur spesimen yang akan digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Penggaris

5. Stopwath

Stopwath berfungsi untuk menghitung waktu yang dipakai dalam penelitian seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Stopwath

6. Kertas Amplas

Kertas amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan spesimen seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Kertas Amplas

7. Kain Lap

Kain lap berfungsi untuk membersihkan kotoran pada saat melakukan penelitian seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Kain Lap

8. Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi sebagai alat pelindung tangan seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Sarung Tangan

9. Sendok Pengaduk

Sendok pengaduk berfungsi untuk mengaduk komposisi campuran grafit dan resin epoxy, seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Sendok Pengaduk

#### 10. Multimeter

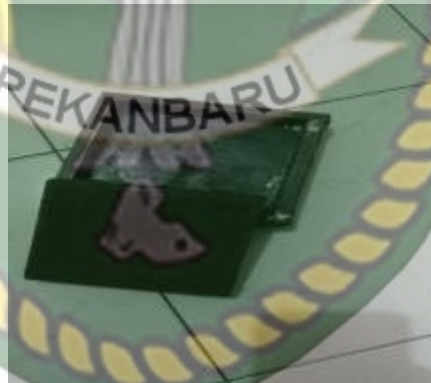
Multimeter Berfungsi untuk mengukur dan mengetahui ukuran tegangan listrik listrik, resistansi, dan arus listrik. Seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Multimeter

#### 11. Cetakan Spesimen

Cetakan spesimen berguna untuk membuat spesimen sesuai bentuk yang di inginkan. Seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Cetakan Spesimen

### 3.3.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Pelat Alumunium

Pelat alumunium tipe AA1100 digunakan pada penelitian seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Pelat Alumunium AA1100

2. *Amorphous Graphite*

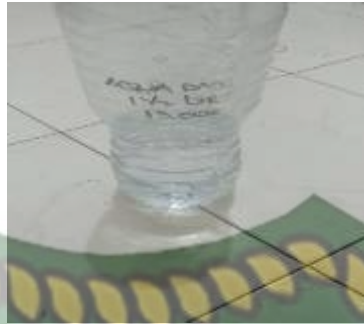
*Amorphous Graphite* yang diproduksi oleh Evergreenindustries digunakan sebagai bahan pelapis pelat alumunium pada penelitian seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. *Amorphous Grapite*

3. *Aquades*

*Aquades* dengan konsentrasi 70% yang dibeli di toko kimia berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa kotoran pada spesimen selesai di amplas seperti pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Aquades

#### 4. Resin Epoxy

Resin epoksi ini berfungsi untuk mengikat campuran karbon grafit menjadi komposit polimer. Resin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu resin epoxy bening (*coating*), resin ini dapat di beli di toko kimia, seperti pada gambar 3.16 berikut :



Gambar 3.16. Resin Epoxy

### 3.4. Metode Penelitian

Prosedur kerja dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, adapun tahapan tersebut yaitu tahap menentukan volume cetakan, preparasi sampel uji, penimbangan bahan dan proses *compression molding* serta melakukan prosedur pengujian untuk melihat nilai konduktivitas listrik, mikrostruktur, dan nilai kekuatan bending setelah dilakukan proses *compression molding*.

#### 3.4.1. Volume Cetakan

Untuk menentukan volume cetakan digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = P \times L \times t$$

Dimana :

$V_c$  = Volume Cetakan ( $\text{cm}^3$ )

$P$  = Panjang (cm)

$L$  = Lebar (cm)

$t$  = Tinggi (cm)

$$\begin{aligned} V_c &= 12\text{cm} \times 12\text{cm} \times 1\text{cm} \\ &= 144 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Untuk menentukan fraksi volume bahan dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

- Berat Grafit

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= V_c \times \text{grafit} \\ &= 144\text{cm}^3 \times 2,16 \text{ g/cm}^3 \\ &= 311,04 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Berat Resin

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= V_c \times \text{resin} \\ &= 144\text{cm}^3 \times 1,13 \text{ g/cm}^3 \\ &= 162,72 \text{ gram} \end{aligned}$$

### 3.4.2. Preparasi Spesimen Uji

Spesimen uji (pelat aluminium digunakan sebagai matrik dan *graphite* digunakan sebagai pengisi dan resin epoxy digunakan sebagai pengikat) yang akan digunakan dalam proses *compression molding* dipreparasi dengan tahapan sebagai berikut :

1. Spesimen uji dipotong sesuai ukuran menggunakan alat pemotong (gerinda) dengan ukuran 10cm x 11cm x 0,5mm.
2. Bersihkan dan haluskan permukaan spesimen uji menggunakan kertas amplas.
3. Bilas spesimen uji dengan aquades untuk menghilangkan sisa-sisa kotoran pada spesimen.
4. Spesimen uji siap untuk dilapisi grafit.

### 3.4.3. Penimbangan Bahan

Penimbangan dilakukan sesuai dengan komposisi dari masing-masing fraksi volume yang ditentukan, adapun fraksi volume yang diambil sebagai berikut :

- a. Spesimen 1 dengan komposisi karbon grafit 60% dan resin epoxy 40%.

$$\begin{aligned}\text{Grafit} &= 60\% \times 311,04 \text{ gram} \\ &= 186,84 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Resin epoxy} &= 40\% \times 162,72 \text{ gram} \\ &= 65,08 \text{ gram}\end{aligned}$$

- b. Spesimen 2 dengan komposisi karbon grafit 70% dan resin epoxy 30%.

$$\begin{aligned}\text{Grafit} &= 70\% \times 311,04 \text{ gram} \\ &= 217,72 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Resin epoxy} = 30\% \times 162,72 \text{ gram} = 48,81 \text{ gram}$$

- c. Spesimen 3 dengan komposisi karbon grafit 80% dan resin epoxy 20%.

$$\begin{aligned}\text{Grafit} &= 80\% \times 311,04 \text{ gram} \\ &= 248,83 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Resin epoxy} &= 20\% \times 162,72 \text{ gram} \\ &= 32,54 \text{ gram}\end{aligned}$$

### 3.4.4. Proses *Compression Molding*

Pada proses *compression molding* dilakukan secara bertahap dan disesuaikan dengan besar tekanan diberikan, tekanan yang diberikan pada proses *compression molding* adalah sebesar 6 ton dengan waktu penekanan 30 menit.

## 3.5. Prosedur Pengujian

### 3.5.1. Pengujian konduktivitas listrik

Pengujian konduktivitas listrik dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan pelat *metal conducting polymer composite* dalam menghantarkan arus listrik pada aplikasinya nanti. Alat uji konduktivitas listrik dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. Alat Uji Konduktivitas

Tabel 3.1. Konduktivitas listrik pada pelat *metal conducting polymer composite*.

No	Komposisi	Waktu (menit)	Konduktivitas Listrik (S.cm <sup>-1</sup> )
1	Grafit 60% : Resin 40%	30	
2	Grafit 70% : Resin 30%	30	
3	Grafit 80% : Resin 20%	30	

### 3.5.2. Pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat dan menganalisa struktur mikro, struktur pelapisan, dan sifat-sifat pada spesimen alumunium yang berlapiskan *graphite*. Untuk melihat struktur mikro maka digunakan alat uji olympus BX53M seperti pada gambar 3.18.



Gambar 3.18. Alat Uji Mikrostruktur

### 3.5.3. Pengujian kekuatan bending

Pengujian kekuatan bending menggunakan alat uji bending tipe SF004H25. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan material pelat *metal conducting* dalam menahan beban ketika ditekan pada aplikasinya nanti seperti pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 Alat Uji Bending

Tabel 3.2. Ketahanan material pelat *metal conducting polymer composite* dalam menahan beban.

No	Komposisi	Waktu (menit)	Kekuatan bending (MPa)
1	Grafit 60% : Resin 40%	30	
2	Grafit 70% : Resin 30%	30	
3	Grafit 80% : Resin 20%	30	

### 3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian

Tabel 3.3. Jadwal kegiatan penelitian

No	Jadwal Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Literatur																	
2	Penulisan Proposal																	
3	Seminar Proposal																	

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian Pelat *Metal Conducting Polymer Composite*

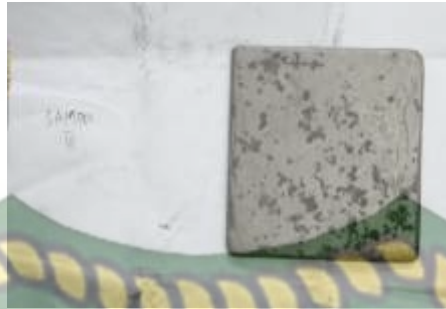
Pada gambar dibawah ini yang akan menunjukkan hasil pembuatan dari pelat *metal conducting polymer composite* dengan metode *compression molding* dengan variasi campuran komposisi yang digunakan.



Gambar 4.1. Pelat *Metal Conducting Polymer Composite* Dengan Komposisi Campuran Grafit 60% Dan Resin 40%.



Gambar 4.2. Pelat *Metal Conducting Polymer Composite* Dengan Komposisi Campuran Grafit 70% Dan Resin 30%.



Gambar 4.3. Pelat *Metal Conducting Polymer Composite* Dengan Komposisi Campuran Grafit 80% Dan Resin 20%

Pada gambar 4.1. di atas terlihat bahwa pada komposisi campuran grafit 60% dan resin 40% terdapat masih banyak lubang – lubang kecil dikarenakan grafit dan resin terlihat kurang terdistribusi secara sempurna, sedangkan pada gambar 4.2. menggunakan komposisi campuran grafit 70% dan resin 30% terlihat bahwa grafit dan resin yang dihasilkan sudah terdistribusi secara merata, sedangkan pada gambar 4.3. menggunakan komposisi grafit 80% dan resin 20% menunjukkan hasil permukaan yang paling bagus dibandingkan dengan gambar 4.1. dan 4.2.

#### 4.2. Hasil Pengujian Konduktifitas Listrik

Pengujian konduktivitas listrik dilakukan bertujuan untuk melihat kemampuan material dalam menghantarkan arus listrik pada pengaplikasiannya nanti. Dari pengujian yang telah dilakukan maka hasil yang diperoleh dari ketiga sampel adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi

No	Komposisi Sampel	Resistivitas ( $\Omega$ )	Voltage (V)	Ampere (A)
1	Grafit 60% : Resin 40%	0,007	4,0	0,71
2	Grafit 70% : Resin 30%	0,004	4,0	2,00
3	Grafit 80% : Resin 20%	0,002	4,0	2,16

Tabel diatas merupakan hasil dari pengujian menggunakan alat konduktivitas listrik dimana nilai yang didapatkan adalah nilai resistivitas, voltage dan ampere. Maka dapat dilakukan perhitungan nilai hambatan dimensi dan konduktivitas listrik sebagai berikut :

1. Spesimen 1

$$G = \frac{1}{R}$$

$$= \frac{1}{0,007 \Omega} = 142 \text{ S}$$

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{10 \times 10 \text{ cm}^2} \times 142 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{100 \text{ cm}^2} \times 142 \text{ S} = 14,2 \text{ S.cm}^{-1}$$

2. Spesimen

$$G = \frac{1}{R}$$

$$= \frac{1}{0,004 \Omega} = 250 \text{ S}$$

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{10 \times 10 \text{ cm}^2} \times 250 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{100 \text{ cm}^2} \times 250 \text{ S} = 25 \text{ S.cm}^{-1}$$

3. Spesimen 3

$$G = \frac{1}{R}$$

$$= \frac{1}{0,002 \Omega} = 500 \text{ S}$$

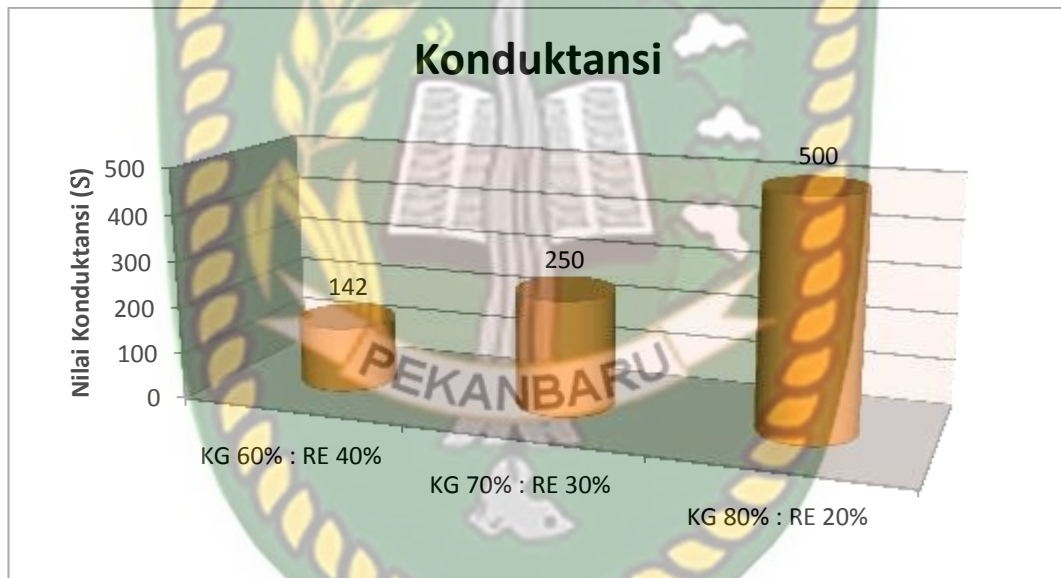
$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{10 \times 10 \text{ cm}^2} \times 500 \text{ S}$$

$$= \frac{10 \text{ cm}}{100 \text{ cm}^2} \times 500 \text{ S} = 50 \text{ S.cm}^{-1}$$

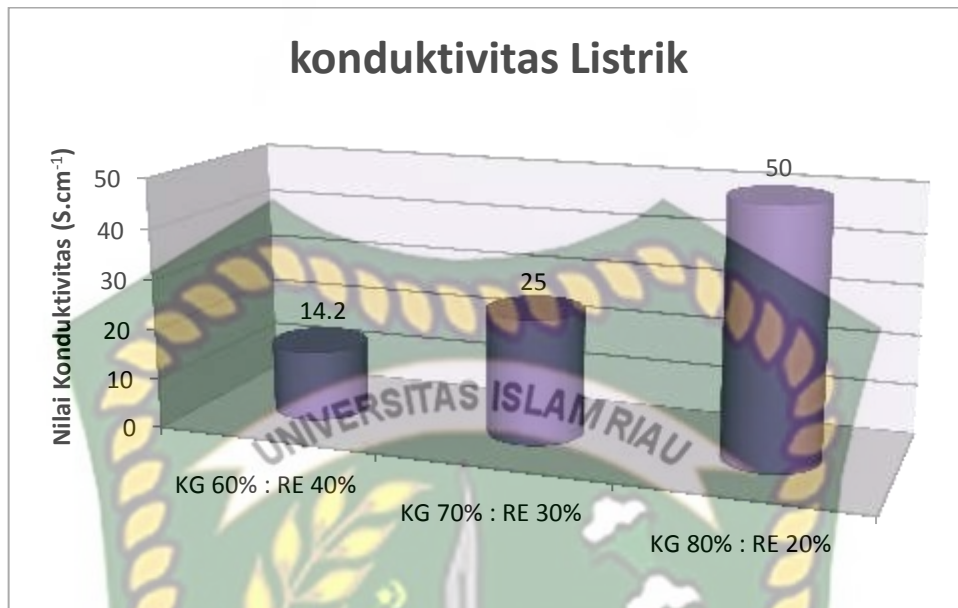
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi

No	Komposisi	Konduktansi (S)	Konduktivitas Listrik (S.cm <sup>-1</sup> )
1	Grafit 60% : Resin 40%	142	14,2
2	Grafit 70% : Resin 30%	250	25
3	Grafit 80% : Resin 20%	500	50



Gambar 4.4. Grafik Konduktansi Terhadap Komposisi Campuran

Perhitungan nilai konduktansi didapat dari rumus persamaan untuk mengetahui seberapa besar nilai yang dihasilkan dari perhitungan nilai konduktansi yang telah dilakukan dimana hasil pengukuran konduktansi yang didapatkan bahwa pada spesimen 3 dengan kandungan karbon grafit 80% dan resin 20% memiliki nilai konduktansi yang baik hal ini disebabkan kandungan grafit yang lebih banyak dibandingkan dengan spesimen 1 dan 2 sehingga mampu meningkatkan nilai konduktansi yang cukup signifikan.



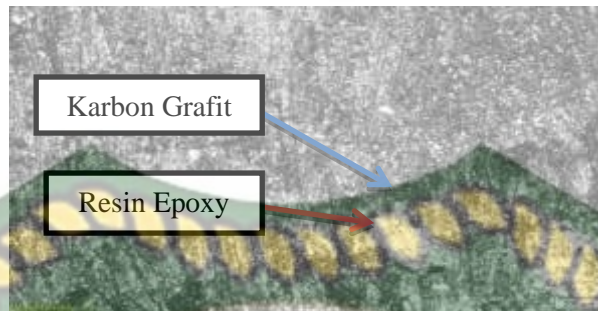
Gambar 4.5. Grafik Konduktivitas Listrik Dengan Komposisi Campuran

Nilai konduktivitas listrik didapatkan dari rumus persamaan untuk mengetahui seberapa besar nilai yang dihasilkan dari perhitungan nilai konduktivitas listrik yang telah dilakukan dimana hasil pengukuran konduktivitas listrik didapatkan setelah dikonversikan menggunakan rumus perhitungan. Dari gambar 4.5. grafik konduktivitas listrik dengan komposisi campuran dapat dilihat dan disimpulkan bahwa nilai terbaik yang di dapatkan pada spesimen 3 dengan kandungan karbon grafit 80% dan resin 20% yang memiliki nilai konduktivitas listrik 50 (S.cm<sup>-1</sup>). hal ini dikarenakan spesimen 3 yang mendekati target nilai Standar *Department Of Energi* (DOE),USA.

#### 4.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

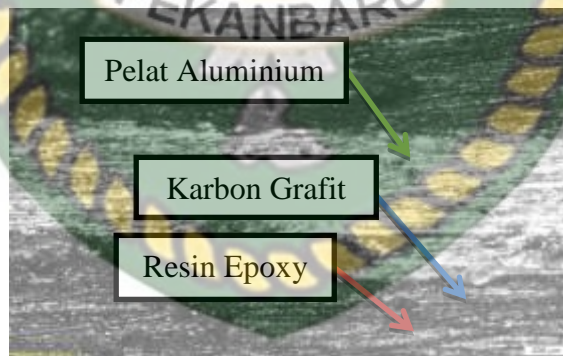
Pengamatan ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro pada spesimen pelat metal *conducting polymer composite*. Spesimen yang akan diuji adalah spesimen yang menggunakan variasi perbandingan komposisi campuran karbon grafit dan resin epoxy.

a. Topografi spesimen 1 dengan 5x pembesaran



Gambar 4.6. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 60% Dan Resin Epoxy 40%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.6. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 60% dan resin epoxy 40% terlihat bahwa pada spesimen tersebut resin epoxy tampak lebih banyak dari pada karbon grafit sehingga resin epoxy terlihat masih terkumpul dan penyebarannya kurang merata pada grafit dan menyebabkan permukaan spesimen terlihat kasar dan berpori hal ini disebabkan karena kandungan resin epoxy lebih dominan dari pada karbon grafit. Dari gambar 4.6. menunjukkan bahwa panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.

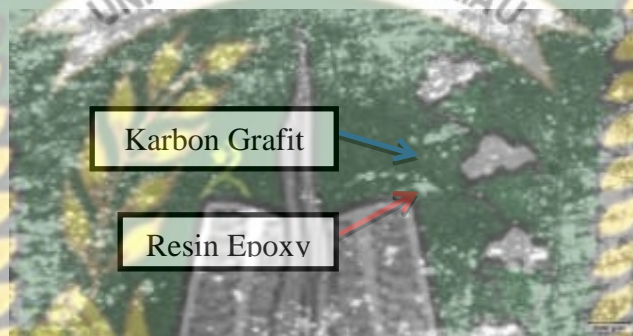


Gambar 4.7. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 60% Dan Resin Epoxy 40%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.7. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 60% dan resin epoxy 40% terlihat bahwa pada spesimen tersebut pelat aluminium memiliki bentuk yang tidak rata hal ini disebabkan karena struktur dari aluminium yang mudah melengkung akibat dari penekanan pada saat melakukan pengepresan, sedangkan

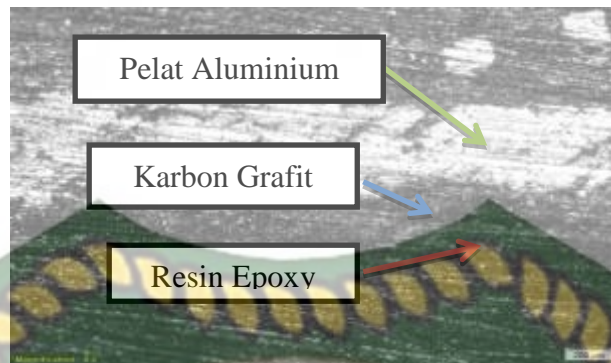
pada pelapisannya terlihat menyatu dikarenakan resin epoxy lebih dominan dari pada karbon grafit sehingga resin epoxy terlihat mengikat pelat aluminium dan karbon grafit terlihat penyebarannya kurang merata hal ini disebabkan karena kandungan resin epoxy lebih dominan dari pada karbon grafit. Dari gambar 4.5. menunjukkan bahwa panah hijau adalah pelat aluminium, panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.

b. Topografi spesimen 2 dengan 5x pembesaran



Gambar 4.8. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 70% Dan Resin Epoxy 30%

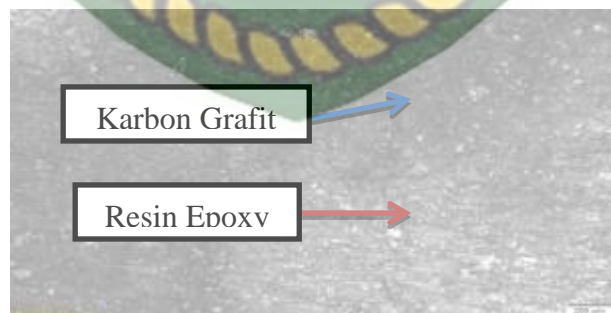
Dari hasil pengamatan pada gambar 4.8. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 70% dan resin epoxy 30% terlihat bahwa pada spesimen tersebut resin epoxy dan karbon grafit struktur partikelnya tersusun merata, hal ini dikarenakan komposisi dari karbon grafit lebih banyak, untuk permukaannya terlihat lebih halus dan tidak berpori dibandingkan dengan spesimen pertama. Dari gambar 4.8. menunjukkan bahwa panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.



Gambar 4.9. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 70% Dan Resin Epoxy 30%

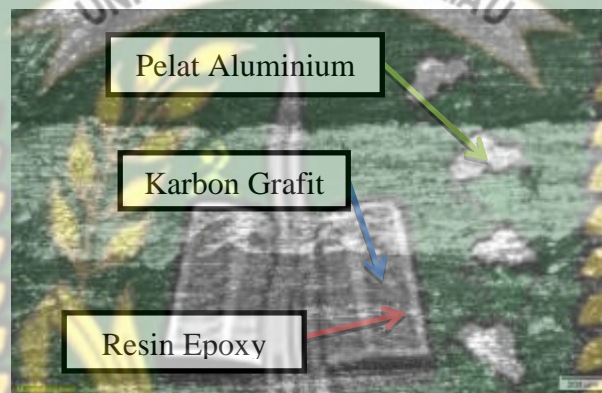
Dari hasil pengamatan pada gambar 4.9. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 70% dan resin epoxy 30% terlihat bahwa pada spesimen tersebut pelat aluminium memiliki bentuk yang tidak rata hal ini disebabkan karena struktur dari aluminium yang mudah melengkung akibat dari penekanan pada saat melakukan pengepresan, sedangkan pada pelapisannya terlihat menyatu dan lebih padu dikarenakan resin epoxy dan karbon grafit penyebarannya merata sehingga resin epoxy dan karbon grafit menempel pada pelat aluminium dengan bagus. Dari gambar 4.9. menunjukkan bahwa panah hijau adalah pelat aluminium, panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.

c. Topografi spesimen 3 dengan 5x pembesaran



Gambar 4.10. Topografi Permukaan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 80% Dan Resin Epoxy 20%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.10. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 80% dan resin epoxy 20% terlihat bahwa pada spesimen tersebut resin epoxy dan karbon grafit struktur partikelnya lebih merata dan pada permukaannya terlihat lebih halus dibandingkan dengan spesimen pertama dan kedua, hal ini dikarenakan komposisi dari karbon grafit lebih banyak. Dari gambar 4.10. menunjukkan bahwa panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.



Gambar 4.11. Topografi Pelapisan Dengan Perbandingan Karbon Grafit 80% Dan Resin Epoxy 20%

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.11. bahwa bentuk dari struktur mikro dengan komposisi campuran perbandingan karbon grafit 80% dan resin epoxy 20% terlihat bahwa pada spesimen tersebut pelat aluminium menyatu dengan resin epoxy dan karbon grafit dengan sempurna dan struktur partikel grafitnya tersebar secara merata dibandingkan dengan sampel 1 dan sampel 2. Dari gambar 4.11. menunjukkan bahwa panah hijau adalah pelat aluminium, panah biru adalah karbon grafit, dan panah merah adalah resin epoxy.

Dari hasil pengujian dan pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi karbon grafitnya maka semakin tinggi kerapatan partikel grafitnya sehingga dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Akan tetapi resin epoxy juga sangat berperan sebagai perekat pada pelat aluminium. Dalam pengujian ini bertujuan untuk melihat struktur dan kerapatan partikel di dalam pelat *metal conducting polymer composite*.

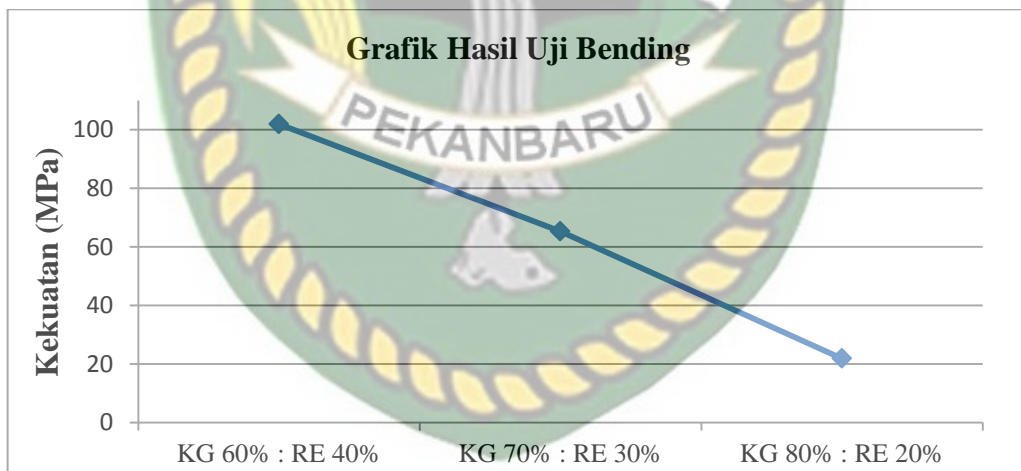
#### 4.4. Hasil Pengujian Bending / Flexural

Pada Pengujian bending ini memiliki tiga variasi spesimen dimana setiap spesimen memiliki kekuatan yang berbeda - beda, komposisi dari spesimen pengujian bending ini yaitu spesimen yang menggunakan variasi perbandingan komposisi campuran karbon grafit dan resin epoxy yang berbeda. Hasil dari pengujian ini selengkapnya akan di jelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Bending / Flexural

Speciment	Area (mm <sup>2</sup> )	max. Force (MPa)	Elongation (%)
Spesimen 1	464.400	101.9	27,67
Spesimen 2	635.100	65.3	27.67
Spesimen 3	623.200	21.9	27.67

a. Grafik Kekuatan Uji Bending



Gambar 4.12. Grafik Hasil Uji Bending

Setelah melakukan pengujian bending, berdasarkan gambar 4.12. Grafik hasil uji bending menggunakan tiga variasi yang berbeda dimana dari setiap spesimen memiliki komposisi yang berbeda, pada spesimen 1 memiliki komposisi dengan perbandingan karbon grafit 60% dan resin epoxy 40%, pada spesimen 2 memiliki komposisi dengan perbandingan karbon grafit 70% dan resin epoxy

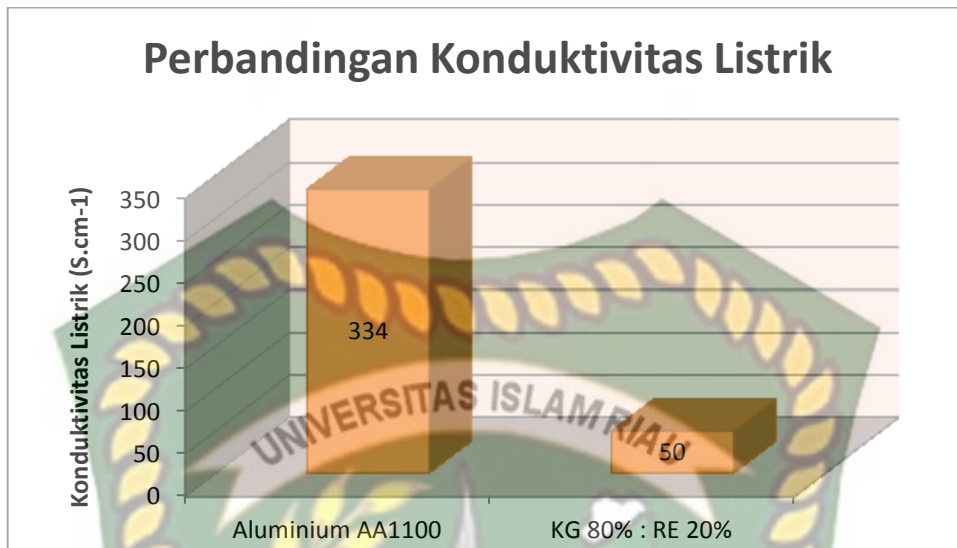
30%, dan pada sampel 3 memiliki komposisi dengan perbandingan karbon grafit 80% dan resin epoxy 20%. Berikut ini adalah hasil data yang didapatkan pada masing – masing komposisi tersebut. Pada komposisi karbon grafit 60% dan resin epoxy 40% hasil yang di dapat yaitu 101,9 (MPa). Pada komposisi karbon grafit 70% dan resin Epoxy 30% hasil yang di dapat yaitu 65,3 (MPa). Pada komposisi karbon grafit 80% dan resin epoxy 20% hasil yang didapat 21,9 (MPa). Dari hasil yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan tertinggi dimiliki oleh spesimen 1 dengan perbandingan komposisi karbon grafit 60% dan resin epoxy 40% dengan nilai 101,9 (MPa). Dan untuk kekuatan terendah dimiliki oleh spesimen 3 dengan perbandingan komposisi karbon grafit 80% dan resin epoxy 20% dengan nilai 21,9 (MPa). Perbandingan yang cukup signifikan.

Berdasarkan tabel dan grafik yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit penggunaan resin epoxy maka hasil yang didapat semakin rendah hal ini dikarenakan resin epoxy digunakan sebagai pengikat karbon grafit untuk menempel ke pelat aluminium.

#### 4.5. Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium

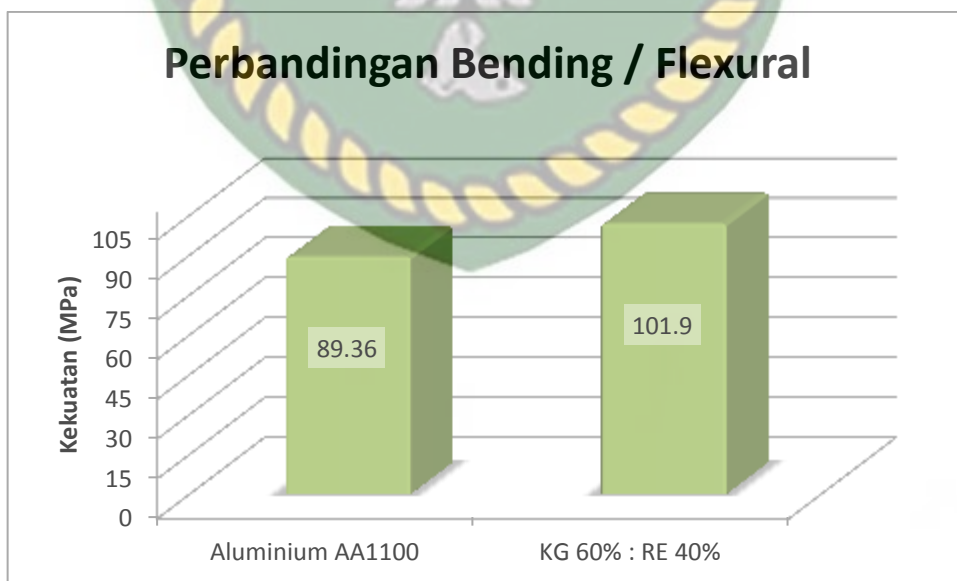
Tabel 4.4. Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium

No	Properties	Spesifikasi Aluminium AA1100	Hasil Penelitian		
			60 : 40	70 : 30	80 : 20
1	Konduktivitas ( S.cm <sup>-1</sup> )	334	14,2	25,0	50,0
2	Bending / Flexural (MPa)	89,36	101,9	65,3	21,9



Gambar 4.13. Grafik Perbandingan Konduktivitas Listrik Antara Hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium

Pada gambar 4.13. dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas listrik pada pelat *metal conducting polymer composite* ini sebesar 50 (S.cm<sup>-1</sup>) jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai konduktivitas listrik pelat aluminium yaitu dengan nilai sebesar 334 (S.cm<sup>-1</sup>). Hal ini disebabkan karena pengaruh dari resin epoxy yang digunakan sebagai pengikat pada pelat aluminium.



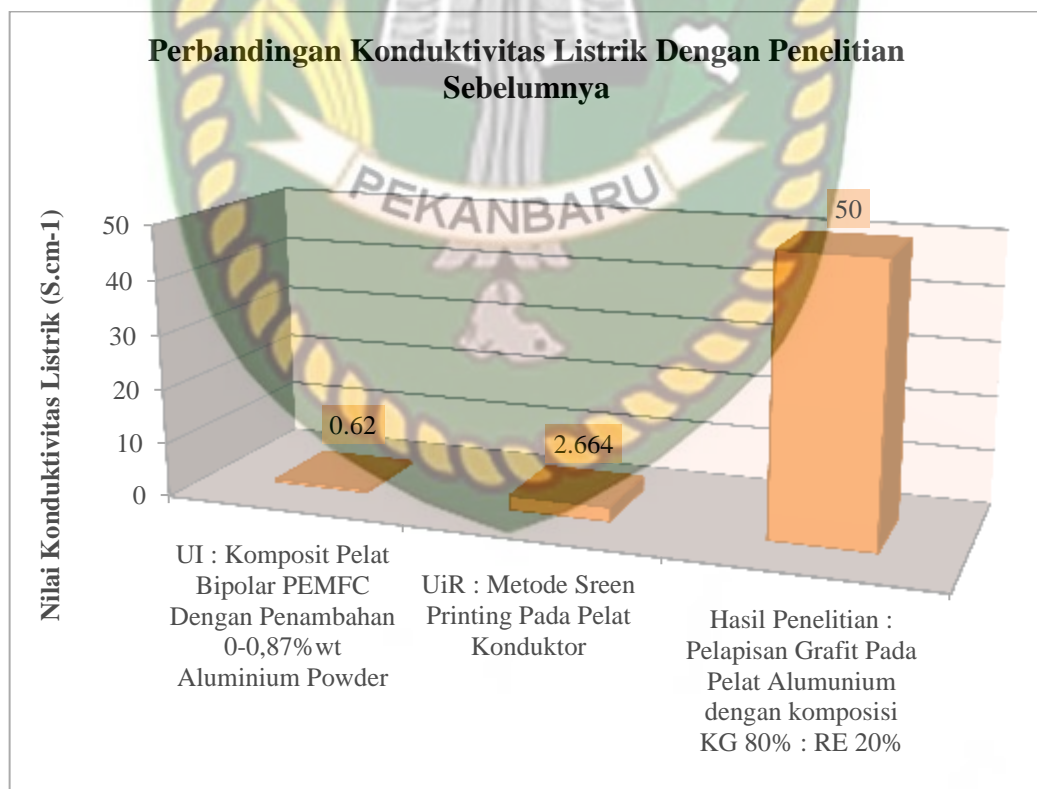
Gambar 4.14. Grafik perbandingan Grafik Perbandingan Kekuatan Bending Antara Hasil Penelitian Dengan Spesifikasi Pelat Aluminium

Berdasarkan gambar 4.14. dapat dilihat bahwa nilai kekuatan bending / flexural pada pelat *metal conducting polymer composite* ini sebesar 101,9 (MPa) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekuatan bending pelat aluminium yaitu dengan nilai sebesar 89,36 (MPa). Hal ini disebabkan karena pengaruh dari kekuatan resin epoxy yang mengikat pelat aluminium.

#### 4.6. Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Tabel 4.5. Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Penelitian Sebelumnya

No	Properties	Hasil Penelitian Sebelumnya UI	Hasil Penelitian sebelumnya UIR	Hasil Penelitian		
				60 : 40	70 : 30	80 : 20
1	Konduktivitas ( S.cm <sup>-1</sup> )	0,62	2,664	14,2	25	50
2	Bending / Flexural (MPa)	49,34	68,8	101,9	65,3	21,9



Gambat 4.15. Grafik perbandingan Konduktivitas Listrik dengan Penelitian Sebelumnya.

Berdasarkan gambar 4.15. dapat dilihat bahwa hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai konduktivitas listrik pada Pelat *metal conducting polymer composite* sebesar  $50 \text{ S.cm}^{-1}$  jauh lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di Universitas Indonesia yaitu sebesar  $0,62 \text{ S.cm}^{-1}$  serta hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan dari Universitas Islam Riau yakni sebesar  $2,664 \text{ S.cm}^{-1}$ .



Gambar 4.16. Grafik Perbandingan Bending / *Flexural* dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan gambar 4.16. dapat dilihat bahwa hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai kekuatan bending / *flexural* pada Pelat *metal conducting polymer composite* sebesar 101,9 (MPa) lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di Universitas Indonesia yaitu sebesar 49,34 (MPa) serta hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan dari Universitas Islam Riau yakni sebesar 68,8 (MPa).

#### 4.7. Perbandingan Karakteristik Pelat Metal Conducting Polymer Composite Dengan Variasi Penambahan Karbon Grafit

Tabel 4.6. Perbandingan karakteristik Pelat *metal conducting polymer composite* dengan variasi penambahan karbon grafit.

No	Karbon Grafit	karakteristik Pelat <i>metal conducting polymer composite</i>	
		Konduktivitas Listrik ( $S.cm^{-1}$ )	Bending / Flexural (MPa)
1	60	14,2	101,9
2	70	25	65,3
3	80	50	21,9

Berdasarkan tabel 4.6. dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan karbon grafit terhadap sifat pelat *metal conducting polymer composite* dengan menggunakan metode *compression molding*, maka akan berpengaruh terhadap peningkatan nilai konduktivitas listrik dan nilai kekuatan bending yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil karakteristik tersebut nilai pelat *metal conducting polymer composite* terbaik pada penelitian ini dimiliki oleh spesimen ketiga, yaitu dengan menggunakan penambahan karbon grafit 80% dimana spesimen tersebut memiliki nilai konduktivitas listrik 50 ( $S.cm^{-1}$ ) dan nilai kekuatan bending 21,9 (MPa) yang belum memenuhi nilai Standar *Departmen Of Energy* (DOE).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada pelat *metal conducting polymer composite* yang terbuat dari komposisi campuran karbon grafit dan resin epoxy dengan variasi yang telah ditentukan dan terdapat pelat aluminium di dalamnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian konduktivitas listrik dengan menggunakan alat uji konduktivitas listrik, didapatkan bahwa pada spesimen 3 dengan kandungan komposisi karbon grafit 80% dan resin epoxy 20% dapat menghantarkan arus listrik dengan nilai 50 (S.cm-1).
2. Dari hasil pengamatan microstuktur dengan menggunakan mikroskop optik olympus didapatkan bahwa pada spesimen 3 dengan kandungan karbon grafit 80 % dan resin epoxy 20% memiliki struktur yang halus pada permukaan dan merekat dengan baik pada pelat aluminium.
3. Spesimen 3 yang memiliki kekuatan bending 21,9 (MPA) belum memenuhi Standar *Departmen Of Energy* (DOE).

#### 5.2. Saran

1. Agar melanjutkan penelitian ini kedepannya untuk bisa dibuat menjadi pelat bipolar yang sempurna untuk perkembangan teknologi yang berguna di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Volume 21 Composite*. ASM Internasional.2001.
- Dedikarni, Panuh, Muammed Ali S.A., Dody Yulianto, Muhammad Fadhlullah Abd. Shukur (2020). *Effect of yttrium-stabilized bismuth bilayer electrolyte thickness on the electrochemical performance of anode-supported solid oxide fuel cells*.<https://www.researchgate.net/publication/346667831>
- Dwi Saputra, Agung, 2014. “Pemodelan PEMFC Sebagai Sumber Energi Mobil Listrik Berbasis Neural Network”
- Gerald Pourcelly. (2010). “*Membranes for Low and Medium Temperature Fuel Cells. State of the Art and New Trends*”, University of Montpellier Eugesne Bataillon, France.
- H. S. Tomo, 2010. “Karakteristik Sifat Mekanik Dan Elektrik Pelat Bipolar Sel Bahan Bakar Berkarbon Grafit Dalam Matrik Polimer ABS”. Teknik Mesin. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Hsu-Chiang Kuan, Chen-Chi M. Ma, Ke Hong Chen, Shih-Ming Chen, “*Preparation, electrical, mechanical and thermal properties of composites bipolar plate for a fuel cell*”, Journal of Power Sources 134, 2004.
- L.Du, S.C. Jana, “Highly conductive epoxy/graphitecompositesfor previous term bipolar plates in proton exchange membrane fuel cells”, Journal of power source 172, 2007.
- Putra, Dody. (2021).” Pengaruh Komnposisi Pencampuran Abu Batok Kelapa Dan Grafit Dengan Resin epoxy pada Pellet Konduktor Komposit terhadap Konduktivitas Listrik, mikrostruktur dan Kerapatan”
- Rovaldi, Afriyal. (2020).”Pengaruh komposisi karbon grafit sebagai bahan pengisi dan damar sebagai bahan pengikat terhadap *pellet conducting polymer composite*”
- S, Basu,ed. “*Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology*”. New Delhi: Anamaya Publisher,2007.
- Simbolon, Oky. (2011).”Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit pelat Bipolar PEMFC Dengan Penambahan 0-0,87% wt *Aluminium Powder*”.Teknik

Mesin. Jakarta : Universitas Indonesia.

Winarno, Denis. (2021).” Metode Sreen Printing Pada pelat Konduktor”.

Zhang Jie, Zou Yan-wen, He Jun, “Influence of graphite particle size and its shape on performance of carbon composite bipolar plate”, Journal of Zhejiang University SCIENCE 6A 10, 2005.

