

**SKRIPSI**

**PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT  
KONDUKTOR**



**DISUSUN OLEH:**

**DENNIS WINARNO**

**NPM: 143310314**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT  
KONDUKTOR



Disusun Oleh :

DENNIS WINARNO

14.331.0314

Disetujui Oleh :

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

Tanggal : 3/12-2021

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT  
KONDUKTOR



DENNIS WINARNO

14.331.0314

Disahkan Oleh :

MENGETAHUI

PEMBIMBING

Ketua Prodi Teknik Mesin

JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D  
NIDN : 1009038504

Dr. DEDI KARNI, S.T., M.Sc  
NIDN : 1005047603

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Dennis Winarno

NPM : 14.331.0314

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Metode Screen Printing Pada Pelat Konduktor” 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, 30 November 2021

Dennis Winarno

14.331.0314

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas sarjana yang berjudul **“PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR”** 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 penelitian ini.
6. Dosen- Dosen pengajar jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Rekan-rekan seperjuangan, serta karib kerabat yang yang banyak membantu dalam menyelesaikan proposal tugas sarjana ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu menyempurnakan proposal tugas sarjana ini.

**Wassalamu’alaikum Wr Wb**

Pekanbaru, 05 Maret 2021

( Dennis Winarno )

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
ABSTRAK.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Fuel Cell .....	6
2.2. Aplikasi Fuel Cell di Mobil.....	7
2.3. Karakterisasi Sel Bahan Bakar (fuel cell) .....	8
2.3.1. Komponen Utama Sel Bahan Bakar (Fuel Cell).....	10
2.3.2. Jenis – Jenis Sel Bahan Bakar (Fuel Cell) .....	12
2.4. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC).....	14
2.5. Pelat Bipolar .....	18
2.5.1. Klasifikasi Pelat Bipolar .....	19
2.6. Pelat Conducting .....	21
2.7. Material Komposit.....	22
2.8. Logam.....	25
2.9. Alumunium.....	26
2.10. Graphite .....	27

2.11. Metode Screen printing .....	30
2.12. Ketebalan Pelapisan .....	30
2.13. Konduktivitas listrik.....	31
2.14. Pengujian Flexural.....	32
2.15. Pengamatan Mikrostruktur.....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Diagram Alir .....	34
3.2. Waktu Dan Tempat .....	35
3.3. Alat Dan Bahan .....	35
3.3.1. Alat.....	35
3.3.2. Bahan.....	40
3.4. Metode Penelitian.....	41
3.4.1. Preparasi Spesimen Uji .....	41
3.4.2. Pembuatan Larutan Graphite.....	42
3.4.3. Proses Screen Printing.....	42
3.5. Prosedur Pengujian.....	43
3.5.1. Pengamatan Mikrostruktur.....	43
3.5.2. Pengujian Konduktivitas Listrik.....	44
3.5.3. Pengujian Flexural.....	45
3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian Pelat Aluminium Grafit.....	47
4.2 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik.....	48
4.3 Pengamatan Mikrostruktur.....	51
4.4 Hasil Pengujian Flexural/Bending.....	52
4.4.1 Hasil Perhitungan Tegangan Flexural/Bending.....	54
4.4.2 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Flexural/Bending.....	54
4.4.3 Tabel Perhitungan Grafik Tegangan Bending & Modulus Elastisitas Bending.....	55
4.5 Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya.....	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	62
LAMPIRAN.....	63



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

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Mobil Fuel cell .....	7
Gambar 2.2. Cara kerja Sel Bahan Bakar Fuel Cell.....	9
Gambar 2.3. Komponen Inti Susunan Fuel Cell .....	12
Gambar 2.4. Ilustrasi Cara Kerja Dari Jenis – jenis Fuel Cell .....	13
Gambar 2.5. Prinsip Kerja PEMFC.....	15
Gambar 2.6. Susunan Rangkaian PEMFC .....	16
Gambar 2.7. Pelat Bipolar.....	18
Gambar 2.8. Bahan Penyusun Pelat Bipolar Berdasarkan Materialnya.....	19
Gambar 2.9. Parameter Bahan Pengisi Komposit .....	24
Gambar 2.10. Fenomena Antar Muka dan Antar Fasa Pada Komposit.....	25
Gambar 2.11. Pelat Aluminium .....	27
Gambar 2.12. Pengaruh Penambahan Graphite Terhadap Konduktivitas Listrik. ....	28
Gambar 2.13. Struktur Kristal Graphite.....	29
Gambar 2.14. Metode Screen Printing Untuk Melapisi Aluminium .....	30
Gambar 2.15. Struktur Mikro Aluminium Murni .....	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 3.2. Timbangan Digital .....	35
Gambar 3.3. Gelas Ukur.....	35
Gambar 3.4. Gerinda.....	36
Gambar 3.5. Penggaris .....	36
Gambar 3.6. Jangka Sorong .....	36
Gambar 3.7. Stopwatch.....	37

Gambar 3.8. Kertas Amplas .....	37
Gambar 3.9. Kain Lap .....	37
Gambar 3.10. Sarung Tangan.....	38
Gambar 3.11. Sendok Pengaduk .....	38
Gambar 3.12. Rectifier .....	39
Gambar 3.13 Penghantar Konduktifitas listrik.....	39
Gambar 3.14. Pelat Alumunium AA1100.....	40
Gambar 3.15. Amorphous Grapite .....	40
Gambar 3.16. Resin Epoxy .....	40
Gambar 3.17. Alat Uji Mikrostruktur .....	45
Gambar 3.18. Skema Alat Uji Konduktivitas .....	44
Gambar 3.19 Skema Pengujian Flexural.....	45
Gambar 4.1 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,6 mm.....	47
Gambar 4.2 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,7 mm.....	47
Gambar 4.3 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,8 mm.....	47
Gambar 4.4 Grafik Konduktansi dan Konduktivitas Listrik.....	50
Gambar 4.5 Grafik Konduktivitas Listrik.....	50
Gambar 4.6 Topografi Sample 1 dengan ketebalan 0,6 mm.....	51
Gambar 4.7 Topografi Sample 2 dengan ketebalan 0,7 mm.....	51
Gambar 4.8 Topografi Sample 3 dengan ketebalan 0,8 mm.....	52
Gambar 4.9 Titik Tumpuan (span).....	52
Gambar 4.10 Grafik Tegangan Bending.....	56
Gambar 4.11 Grafik Modulus Elastisitas Bending.....	56
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Konduktivitas Listrik Hasil Sebelumnya dan Hasil Penelitian.....	57

Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Hasil

Penelitian Sebelumnya dan Hasil Penelitian.....58

Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Konduktivitas Listrik

Dengan Penelitian Sebelumnya.....59



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Dari Jenis-jenis Sel Bahan Bakar Fuel Cell .....	13
Tabel 2.2. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Beberapa Material Sebagai Pelat Bipolar.....	20
Tabel 2.3. Target Teknis Department of Energy (DOE), USA untuk Karakteristik Pelat Bipolar.....	21
Tabel 2.4. Pengaruh Ukuran Dan Bentuk Partikel Graphite .....	28
Tabel 3.1. Konduktivitas listrik Pada Pelat Metal Conducting Polymer Composite .....	44
Tabel 3.2. Ketahanan Material Pelat Dalam Menahan Beban .....	45
Tabel 3.3. Jadwal Kegiatan Penelitian .....	46
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi.....	48
Tabel 4.2. Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi.....	49
Tabel 4.3. Hasil pengujian bending.....	53
Tabel 4.4. Tabel hasil perhitungan tegangan bending & Modulus Elastisitas Bending.....	55
Tabel 4.5. Perbandingan antara hasil penelitian dan hasil penelitian sebelumnya.....	57

## DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI	SATUAN
$V_c$	Volume cetakan	cm <sup>3</sup>
$\rho$	Massa jenis	gr/cm <sup>3</sup>
M	Massa	kg
V	Volume	cm <sup>3</sup>
K	Kerapatan	cm <sup>3</sup>
KA	Kadar air	%
BKO	Berat kering oven	gr
Ba	Berat awal sebelum perendaman	gr
Bt	Berat setelah perendaman	gr
Ta	Tebal awal sebelum perendaman	mm
Tt	Tebal setelah perendaman	mm
$\Delta P$	Selisih Beban	kgf
$\Delta y$	Lenturan beban	cm
b	Lebar sampel Uji	cm
d	Tebal sampel Uji	cm
MOR	Modulus of Repture	kg/cm <sup>2</sup>
MOE	Modulus of Elatisitas	kg/cm

# PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR

Dennis Winarno<sup>1\*</sup>, Dedikarni<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jl. Kaharuddin Nasution Km. 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Gmail :denniswinarno@student.uir.ac.id

## ABSTRAK

*Pelat bipolar disebut juga pelat flow channel atau pelat separator merupakan komponen penting di dalam Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) yang berfungsi untuk mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda ke katoda. Pelat bipolar grafit merupakan material yang menjadi pilihan karena memiliki sifat termal, listrik, dan ketahanan korosi yang baik. Namun demikian, sifat rapuh grafit mengakibatkan pelat bipolar yang dihasilkan menjadi lebih tebal dan dibutuhkan biaya proses permesinan yang tinggi dalam pembuatan pelat bipolar. Sehingga penelitian metode screen printing dikembangkan untuk mendapatkan pelat bipolar yang memenuhi persyaratan. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan meliputi uji konduktivitas listrik, pengamatan mikrostruktur dan pengujian flexural dari setiap sampelnya. Pada pelat konduktor yang terbuat dari campuran aluminium, grafit dan resin epoxy. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa nilai konduktivitas listrik yang tinggi pada sampel tiga dengan ketebalan lapisan 0,8 mm dengan nilai  $2,664 S.cm^{-1}$ . Selanjutnya berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap pelat konduktor yang terbuat dari campuran aluminium, pada uji bending nilai paling tertinggi diperoleh pada material dengan ketebalan lapisan 0,8 mm yaitu  $68,46 N/mm^2$  belum memenuhi SNI. Dan pada modulus elastisitas bending dengan nilai paling tinggi pada lapisan ketebalan 0,8 mm yaitu  $318,51 N/mm^2$  belum memenuhi SNI.*

*Kata kunci : Aluminium, Grafit, Sablon, Resin Epoksi*

# THE EFFECT OF THE SCREEN PRINTING METHOD ON THE CONDUCTOR PLATE

Dennis Winarno<sup>1\*</sup>, Dedikarni<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jl. Kaharuddin Nasution Km. 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834  
Gmail :denniswinarno@student.uir.ac.id

## ABSTRACT

*Bipolar plate, also known as flow channel plate or separator plate, is an important component in the Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) which functions to collect and transfer electrons from the anode to the cathode. Bipolar graphite plate is the material of choice because it has good thermal, electrical, and corrosion resistance properties. However, the brittle nature of graphite causes the resulting bipolar plate to be thicker and requires high machining costs in the manufacture of bipolar plate. So the research on screen printing methods was developed to obtain bipolar plates that meet the requirements. In this study, the tests were carried out including electrical conductivity tests, microstructural observations and flexural testing of each sample. On the conductor plate made of a mixture of aluminum, graphite and epoxy resin. From the results of this study, it was found that the high electrical conductivity value in sample three with a layer thickness of 0.8 mm with a value of  $2.664 \text{ S.cm}^{-1}$ . Furthermore, based on the results of research that has been carried out on conductor plates made of a mixture of aluminum, in the bending test the highest value was obtained for materials with a layer thickness of 0.8 mm, namely  $68.46 \text{ N/mm}^2$  that did not meet SNI. And the modulus of elasticity of bending with the highest value in the layer thickness of 0.8 mm, which is  $318.51 \text{ N/mm}^2$  does not meet SNI.*

*Keywords : Aluminum, Graphite, Screen Printing, Epoxy Resin*

## 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 pembangkit tenaga listrik alternative yang lagi di kembangkan saat ini adalah *fuel cell*.

*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 yaitu hidrogen dan oksigen terpenuhi. *Fuel Cell* yang dipandang lebih efisien dan ramah lingkungan karena dapat menghasilkan listrik dari hidrogen dan 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 pelat *conducting* atau 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 mudah 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.

Pelat bipolar disebut juga pelat flow channel atau pelat separator merupakan komponen penting di dalam *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang berfungsi untuk mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda ke katoda. Lebih dari 80 persen dari volume, 70 persen dari total berat dan 60 persen biaya dalam fuel cell berupa pelat bipolar.

Pelat bipolar dapat dibuat dari berbagai macam- material, pelat bipolar grafit merupakan material yang menjadi pilihan karena memiliki sifat termal, listrik, dan ketahanan korosi yang baik. Namun demikian, sifat rapuh grafit mengakibatkan pelat bipolar yang dihasilkan menjadi lebih tebal dan dibutuhkan biaya proses permesinan yang tinggi dalam pembuatan pelat bipolar. Sehingga, penelitian yang berkaitan dengan pelat bipolar terus dikembangkan untuk mendapatkan pelat bipolar yang memenuhi persyaratan.

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 *screen printing* merupakan suatu teknik pelapisan logam dengan jenis pencetakan yang menggunakan metode cetak saring. Oleh karena itu dalam prosesnya *screen printing* memerlukan sebuah media penyaring tinta yang dinamakan kain saring atau screen. Screen adalah sebuah media penyaring tinta keatas bahan cetak sekaligus tempat meletakkan tinta selama proses penyablonan.

Ketebalan pelapisan merupakan suatu hal penting bagi suatu pelat *conducting* dikarenakan untuk menentukan nilai ketebalan efektif dalam suatu pelat *conducting* yang baik.

Struktur dari suatu pembuatan pelat *conducting* 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.

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

Dari latar belakang diatas maka akan dilaksanakan penelitian yaitu pengaruh waktu pelapisan *graphite* pada plat Aluminium menggunakan metode *screen printing* sebagai plat *conducting* pada *fuel cell* tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai pelat bipolar yang dihasilkan dari pengambilan data terhadap konduktivitas listrik, microstruktur dan flexural 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* dengan metode *screen printing* ?
2. Bagaimana pengaruh pengulangan pelapisan pelat pada konduktivitas?
3. Bagaimana pengaruh pengulangan pelapisan pelat terhadap uji flexural?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk membuat pelat *metal conducting* dengan metode *screen printing*.
2. Untuk mengetahui pengaruh pengulangan pelapisan pelat konduktivitas.
3. Untuk mengetahui pengaruh pengulangan pelapisan pelat terhadap uji flexural.

#### 1.4 Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan yang ada di dalam penelitian ini, maka penulis membatasinya. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Material yang akan dilapisi adalah Aluminium.
2. Bahan pelapis yang digunakan adalah *graphite*.
3. Variasi waktu dalam proses *screen printing*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Sebagai informasi mengenai pembuatan pelat *metal conducting* dengan metode *screen printing*.
2. Sebagai acuan dasar dalam perkembangan pelat bipolar pada *fuel cell*.

#### 1.6 Waktu dan tempat pelaksanaan

Waktu pelaksanaan dari tugas akhir ini adalah sesuai dengan yang di tetapkan dosen pembimbing. Tempat pelaksanaan pengujian ini di lakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau dan di luar jika di perlukan.

#### 1.7 Sistematika penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang analisa ini, penulis melengkapi penguraiannya sebagai berikut :

##### 1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, alasan pemilihan judul, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penulisan dan sistematika penulisan.

## 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori screen printing, material komposit, gaya dan tekanan yang berhubungan dengan penelitian ini.

## 3. BAB III METODOLOGI

Bab ini berisikan tentang uraian dan tahap penyelesaian masalah yang dilakukan dalam penelitian, seperti tahapan indentifikasi permasalahan.





Dokumen ini adalah Arsip Miik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 1.1. Fuel Cell

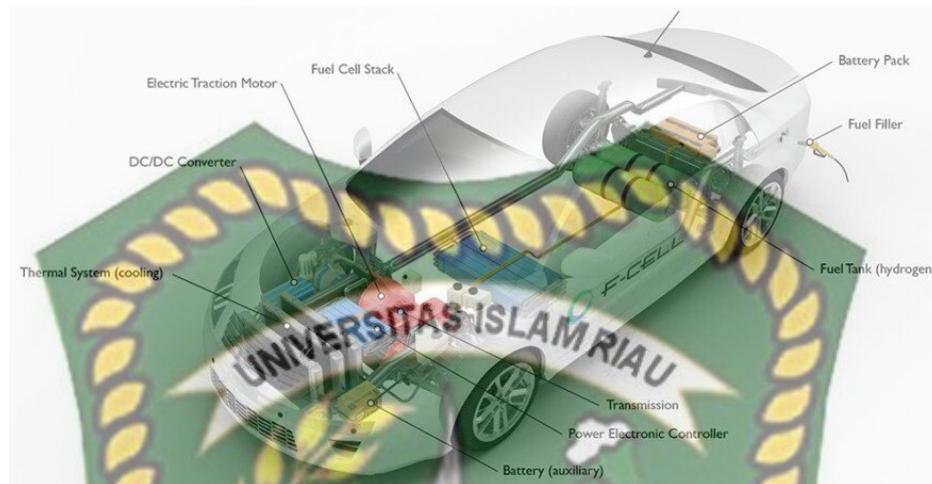
Salah satu dampak dari pertumbuhan jumlah penduduk adalah meningkatnya kebutuhan energi yang berasal dari sumber daya alam guna menunjang kegiatan produksi. Padahal, sumber daya tersebut jumlahnya cukup terbatas. Jika sumber daya ini terus menerus dikuras tanpa bisa diperbaharui lagi, tentu lama kelamaan sumber daya ini akan habis dalam beberapa tahun mendatang.

Untuk menghadapi masalah ini, sebenarnya sudah ada pengembangan-pengembangan teknologi yang berfungsi sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi. Satu di antara alternatif tersebut adalah teknologi *fuel cell* yang terus dikembangkan karena diyakini dapat menjawab masalah kelangkaan energi.

*Fuel cell* merupakan temuan teknologi berupa konverter yang dapat mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air yang dalam prosesnya sekaligus menghasilkan energi listrik. Sesuai dengan penjelasan tersebut, maka limbah yang dihasilkan oleh *fuel cell* berupa air, listrik, serta panas yang dikarenakan oleh proses konversi tersebut. Oleh sebab itu, *fuel cell* dapat menggantikan peran dari energi-energi yang selama ini jamak digunakan.

Di negara-negara maju seperti Jepang, Amerika dan Jerman, teknologi *fuel cell* sudah dimanfaatkan sebagai pembangkit energi di gedung-gedung bertingkat dan rumah tangga hingga alat-alat elektronik dalam bentuk prototipe. Sektor otomotif juga termasuk yang sudah mulai memanfaatkan teknologi ini dengan menerapkannya pada bus maupun mobil.

## 2.2. Aplikasi Fuel Cell di Mobil



Gambar 2.1. Komponen Mobil *Fuel Cell*  
(Sumber : Adrenal Ken Gunadarma, 2019)

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

### 1. Baterai

Pada mobil *fuel cell* baterai berfungsi untuk menyimpan tegangan listrik lebih yang dihasilkan oleh fuel cell stack. Namun terkadang juga sama-sama memasok tegangan ke motor listrik saat kendaraan membutuhkan tenaga yang besar seperti pada kecepatan tinggi

### 2. Fuel Cell

Ini adalah sebuah perangkat tempat dimana terjadinya reaksi elektrokimia antara Hidrogen yang berasal dari tangki Hidrogen dan oksigen dari udara sekitar yang bereaksi untuk menghasilkan listrik.

### 3. Hydrogen Tank

Gas hidrogen adalah sebagai gas utama yang digunakan pada kendaraan ini untuk menghasilkan tegangan listrik. Tangki ini menyimpan Hidrogen dengan tekanan yang sangat tinggi sekitar 700 bar

#### 4. Electric Engine

Tegangan listrik yang dihasilkan dari reaksi kimia akan menghasilkan listrik yang selanjutnya akan disalurkan ke motor listrik. Motor yang telah dialiri listrik berputar dan meneruskan putaran ke roda.

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

Ada beberapa jenis fuel cell yang telah dicoba pada kendaraan, salah satu jenis yang paling sesuai adalah Proton Exchange Membrane (PEM). Jenis ini beroperasi pada temperatur yang rendah : 60 – 100oC, dapat segera menghasilkan energi tanpa harus menunggu pemanasan, bentuknya tidak terlalu besar karena memiliki kepadatan energi yang tinggi (high density energy).

Fuel cell adalah alat yang mampu menghasilkan listrik arus searah. Alat ini terdiri dari dua buah elektroda, yaitu anoda dan katoda yang dipisahkan oleh sebuah membran polymer yang berfungsi sebagai elektrolit. Membran ini sangat tipis, ketebalannya hanya beberapa mikrometer saja.

Hidrogen dialirkan ke dalam fuel cell yaitu ke bagian anoda, sedang oksigen atau udara dialirkan ke bagian katoda, dengan adanya membran, maka gas hidrogen tidak akan bercampur dengan oksigen. Membran dilapisi oleh platina tipis yang berfungsi sebagai katalisator yang mampu memecah atom hidrogen menjadi elektron dan proton. Proton mengalir melalui membran, sedang elektron tidak dapat menembus membran, sehingga elektron akan menumpuk pada anoda, sedang pada katoda terjadi penumpukan ion bermuatan positif.

Apabila anoda dan katoda dihubungkan dengan sebuah penghantar listrik, maka akan terjadi pengaliran elektron dari anoda ke katoda, sehingga terdapat arus listrik. Elektron yang mengalir ke katoda akan bereaksi dengan proton dan oksigen pada sisi katoda dan membentuk air.

Reaksi kimia yang terjadi pada fuel cell:



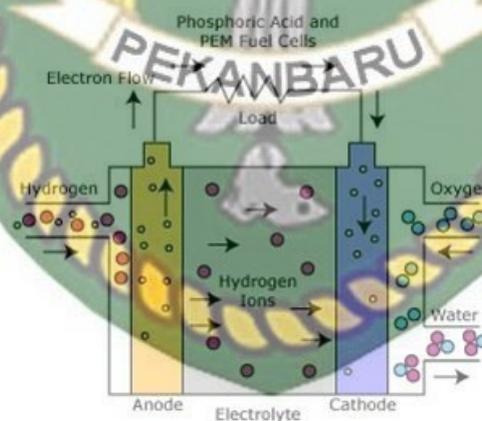
Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton:



Setiap molekul  $\text{H}_2$  terpecah menjadi dua atom  $\text{H}^+$  (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen dirubah :



Untuk mengalirkan hidrogen, oksigen atau udara ke dalam fuel cell, maka lapisan luar dari cell ini dibuat dari lembaran bipolar yang diberi kanal-kanal untuk lewatnya gas maupun air pendingin agar temperatur fuel cell dapat selalu



terkendali.

Gambar 2.2. Cara Kerja Sel Bahan Bakar *Fuel Cell*

(Sumber : <https://dendiisnandar.wordpress.com/>, 21/09/2019)

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 ( $T = 50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ ),
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 :

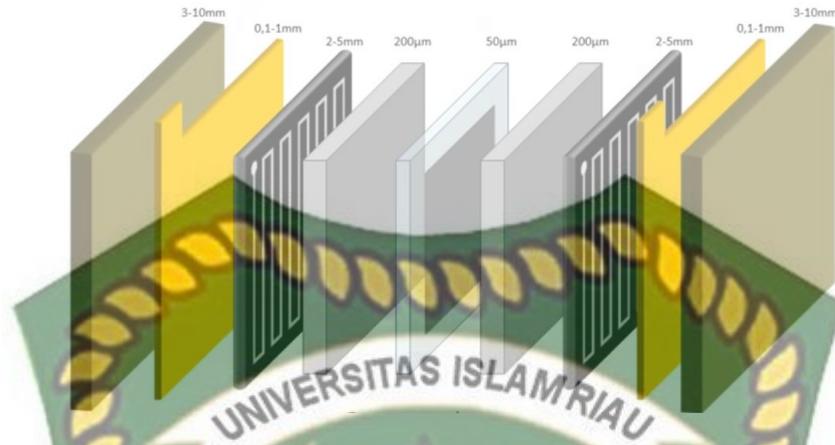
1. Mampu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan efisiensi yang baik,
2. Tanpa melalui proses pembakaran,
3. Sel bahan bakar mampu beroperasi tanpa bising dan hampir tanpa polutan yang berbahaya bagi lingkungan,
4. Waktu yang diperlukan untuk konstruksi dan instalansi pembangkit listrik 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 electrode*) 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 telah disesuaikan.
4. Pelat bipolar berfungsi untuk Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran, mengalirkan electron dari 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. Jenis-Jenis 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).

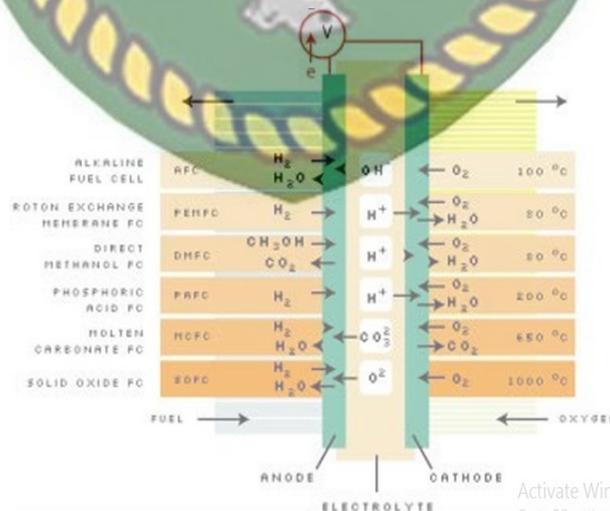
Adapun perbandingan jenis-jenis *fuel cell* dapat dilihat perbedaannya dalam Tabel berikut :

	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/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
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%

Tabel 2.1. Karakteristik Dari Jenis-jenis Sel Bahan Bakar *Fuel Cell*

(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*

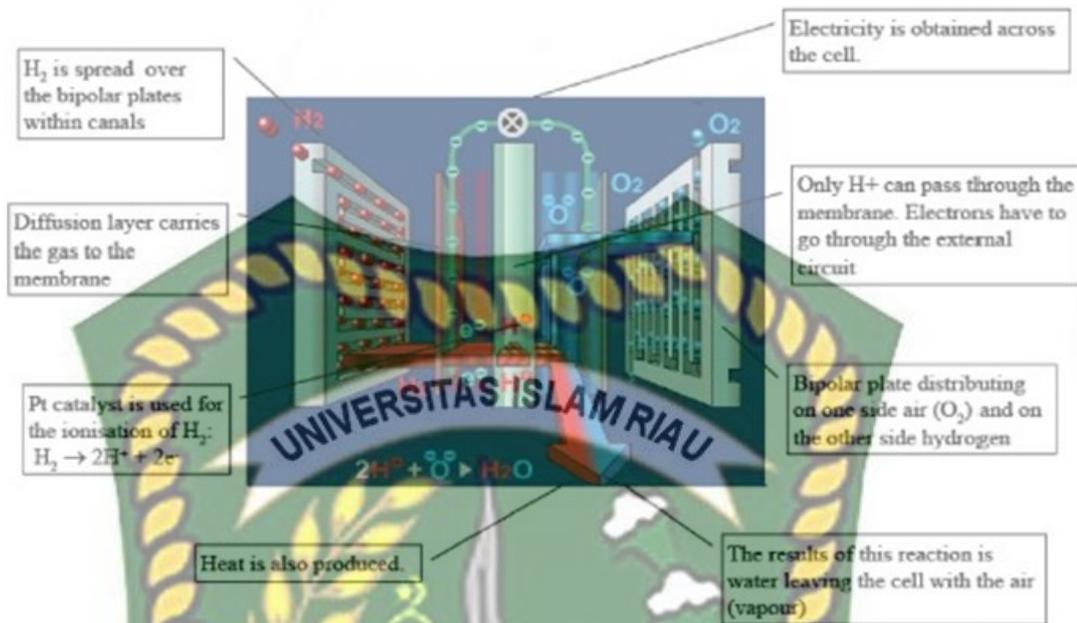
(Sumber : Oky Simbolon, 2011)

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)

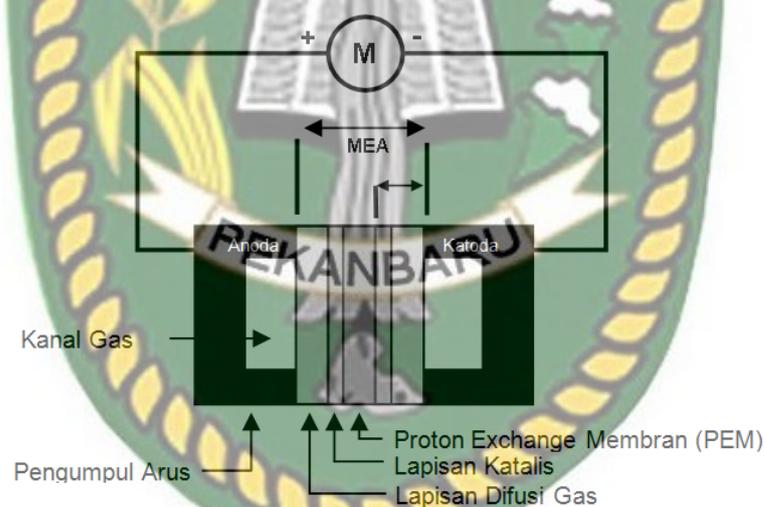
Prinsip kerja dari *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) ini cukup sederhana, yaitu pada PEMFC hidrogen dan oksigen akan bereaksi menghasilkan energi listrik dan pada saat yang bersamaan juga membentuk air (H<sub>2</sub>O) dan panas sebagai hasil sampingan. Proses bermula dengan masuknya gas hidrogen 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, penyimpan arus, dan pelat penutup.



Gambar 2.6. Susunan Rangkaian PEMFC

(Sumber : Bono Pranoto, 2012)

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

#### 1. *Membrane Electrolyte Assembly* (MEA)

Membrane Electrode Assembly (MEA) adalah komponen inti dari sel bahan bakar yang membantu menghasilkan reaksi elektrokimia yang diperlukan untuk memisahkan elektron. Di sisi anoda MEA, bahan bakar (hidrogen, metanol,

dll.) berdifusi melalui membran dan bertemu di ujung katoda oleh oksidan (oksigen atau udara) yang berikatan dengan bahan bakar dan menerima elektron yang dipisahkan dari bahan bakar. Katalis di setiap sisi memungkinkan reaksi dan membran memungkinkan proton melewatinya sambil menjaga gas tetap terpisah. Dengan cara ini potensial sel dipertahankan dan arus diambil dari sel yang menghasilkan listrik.

## 2. Pelat Bipolar

Bipolar plate merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem Proton Exchange Membran Fuel Cell berperan untuk menghindari bercampurnya oksigen dan bahan bakar hidrogen. Pada penelitian ini telah berhasil dibuat pelat bipolar sebagai bagian suatu sistem sel bahan bakar berbasis PEMFC ( Proton Exchange Membrane Fuel Cell ).

## 3. Pelat penutup

Bahan yang digunakan ialah material dengan kekuatan mekanis yang baik biasanya yang digunakan ialah material baja atau alumunium. 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.

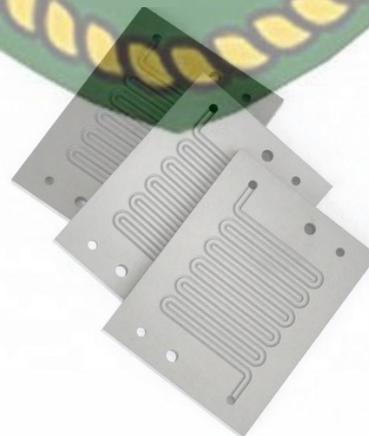
Secara umum biaya untuk fabrikasi yang cukup tinggi sehingga untuk memproduksi *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) masih memiliki sejumlah kendala agar dapat diproduksi secara massal sebagai alat konversi energi alternatif. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dan suatu terobosan dalam mendesain 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, stainless steel, titanium, dan nikel*), atau dapat juga dibuat dari komposit. Saluran alir gas dicetak pada permukaan pelat sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Pada pelat bipolar 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

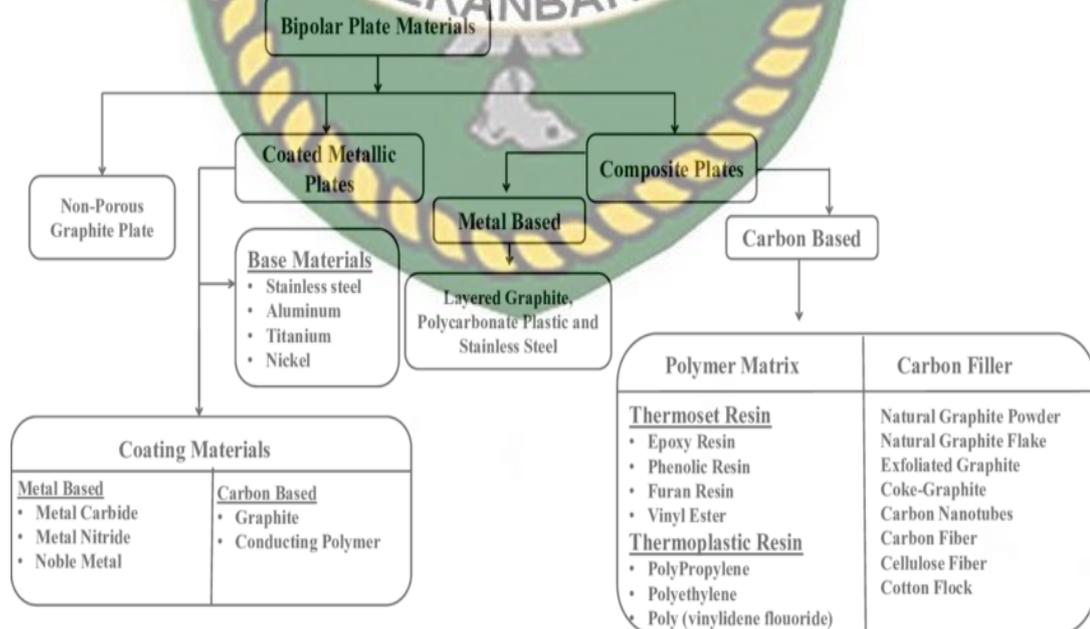
(Sumber : Qingdao Tenny Carbon Co., Ltd, 2021)

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 simasal,
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 : Soma Banerjee, 2015)

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 :

<b>Material</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
<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>

Tabel 2.2. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Beberapa Material Sebagai Pelat Bipolar.

(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 :

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>
Corosion [μA/cm <sup>2</sup> ]	< 1 <sup>d</sup>	< 1 <sup>d</sup>	< 1 <sup>d</sup>
Electrical Conductivity [S/cm]	> 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

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

(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 aluminium dan bahan *graphite* digunakan sebagai pelapisnya.

## 2.7. Material Komposit

Material 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 elektriknya (konduktivitas listrik) dan sifat optiknya.

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

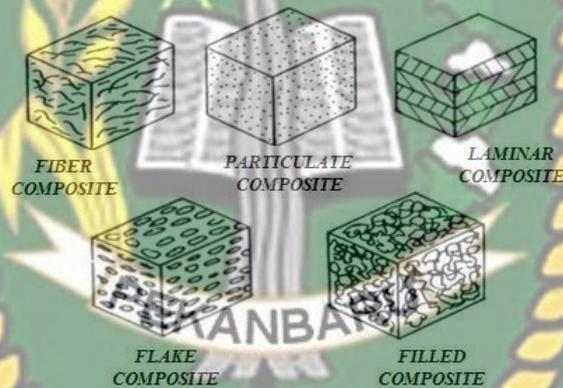
Sifat dari suatu komposit akan ditentukan dari material penyusunnya. Matriks dalam penelitian ini adalah alumunium, sehingga sifat alumunium akan menjadi sifat utama sebagai pelat *metal conducting polymer composite* atau disebut juga pelat bipolar yang akan dibuat nantinya. Alumunium memiliki konduktivitas 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 *screen printing* 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 2.9. 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.

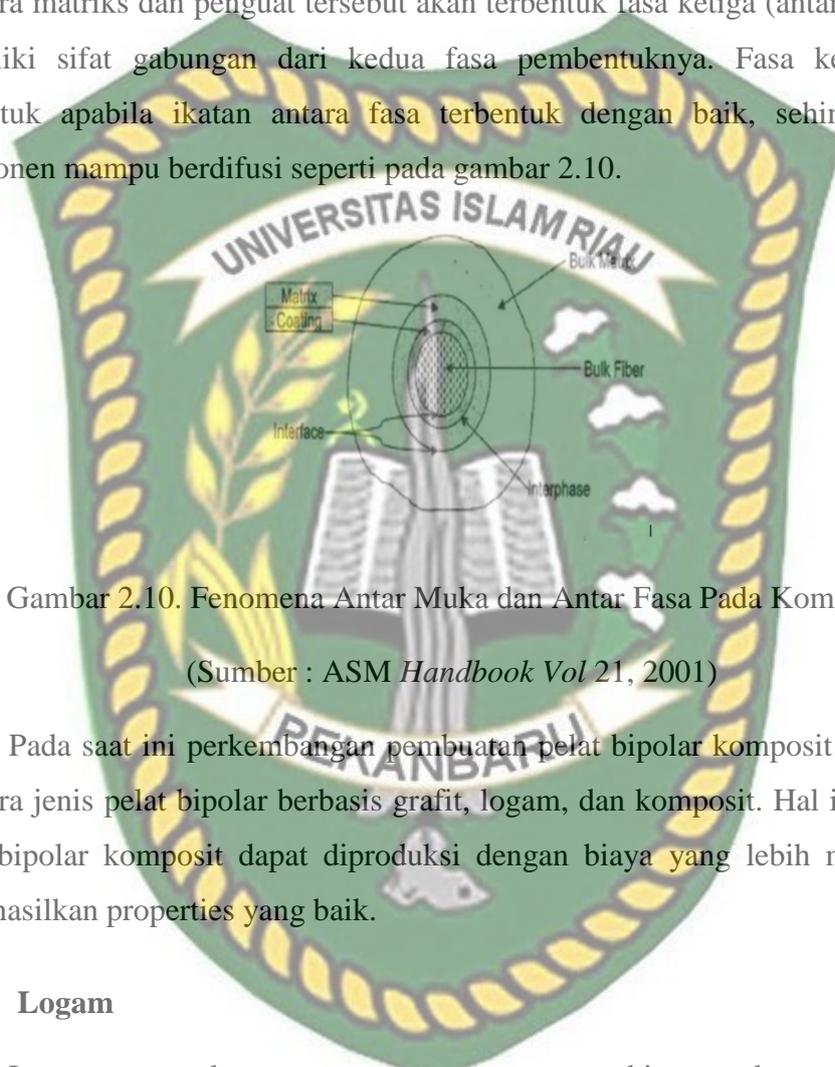


Gambar 2.9. Parameter Bahan Pengisi Komposit  
(Sumber : Nehemia Martua Saragih, 2017)

### 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 antara fasa terbentuk dengan baik, sehingga setiap komponen mampu berdifusi seperti pada gambar 2.10.



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 karena pelat bipolar komposit dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah serta menghasilkan properties yang baik.

## 2.8. 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 aluminium, magnesium, titanium, kalsium.
3. Logam mulia, misalnya emas, perak, dan platina.
4. Logam tahan api, misalnya wolfram, titanium, zirkonium, 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.

### 2.9. Aluminium

Aluminium merupakan suatu jenis logam yang sering digunakan dalam kehidupan manusia. Aluminium memiliki lambang kimia (AL) dengan nomor atom 13, dan 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.



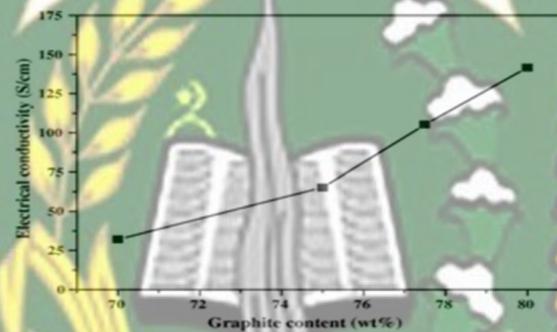
Gambar 2.11. Pelat Aluminium

(Sumber : Dalian Highland Metals Co., Ltd, 2020)

## 2.10. Graphite

*Graphite* memiliki warna kelabu. Akibat dari delokalisasi elektron antar permukannya, *graphite* dapat berfungsi sebagai konduktor listrik yang baik. Untuk *graphite* digolongkan menjadi dua jenis, yaitu *graphite* alami dan *graphite* sintetik. Untuk *graphite* sintetik lebih murni dibandingkan *graphite* alami. *Graphite* sintetik merupakan produk yang dibuat dari material karbon amorf melalui proses perlakuan khusus pada kondisi temperatur yang tinggi. *Graphite* 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, *graphite* memberi sifat kekakuan dan dimensi yang stabil terhadap polimer. Pada penelitian ini, *graphite* digunakan sebagai material penguat pada pelat aluminium sebagai pelat *metal conducting polymer composite*. *Graphite* berfungsi sebagai penguat konduktif yang dapat mengurangi resistansi listrik pada pelat bipolar komposit. Selain itu, grafit dapat meningkatkan koefisien friksi, serta meningkatkan konduktivitas termal. Pada gambar 2.12 menunjukkan pengaruh penambahan *graphite* terhadap konduktivitas listrik dari pelat bipolar. Sebaliknya, penambahan *graphite* 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 *graphite* yang digunakan akan mempengaruhi sifat dari komposit yang dihasilkan, terutama konduktivitas listrik. *Graphite* 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 *graphite* yang berbentuk partikel (*spherical*) lebih baik dibandingkan *graphite* berbentuk serpih (*flake*), karena tegangan yang diterima ukuran dari partikel, akan menurunkan nilai konduktivitasnya, namun secara tidak langsung akan meningkatkan kekuatan fleksuralnya

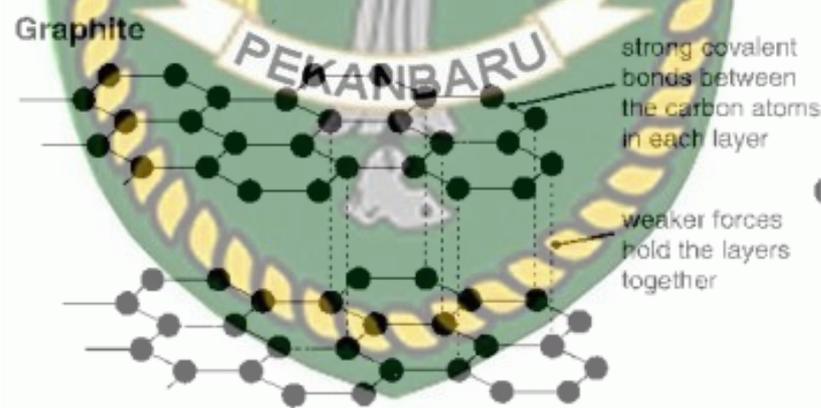
Sample	particle Size Direction	Electrical Conductivity (S/cm)	Thermometric Conductivity [W/(m.°C)]	Flexural Strenght (MPa)
<b>Spherical</b>	44-63 $\mu\text{m}$	84	18.9	39.5

Graphite	< 44 $\mu\text{m}$	387.3	71.9	44
		60	12.5	
		326.9	61.4	
Flake-like	44-63 $\mu\text{m}$	76	20.3	35
Graphite	< 44 $\mu\text{m}$	566.5	113	39,8
		45.8	13	
		420.3	105.5	

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

(Sumber : Zhang jie, dkk, 2005)

*Graphite* 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 *graphite* akan menghasilkan sifat yang unik sehingga dapat digunakan pada berbagai aplikasi, baik digunakan sebagai material utama maupun sebagai material pengisi. Struktur *graphite* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.13. Struktur Kristal *Graphite*

(Sumber : Universeater, 2016)

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

1. Memiliki konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik,
2. Memiliki sifat pelumasan yang baik pada tekanan dan temperatur yang tinggi,

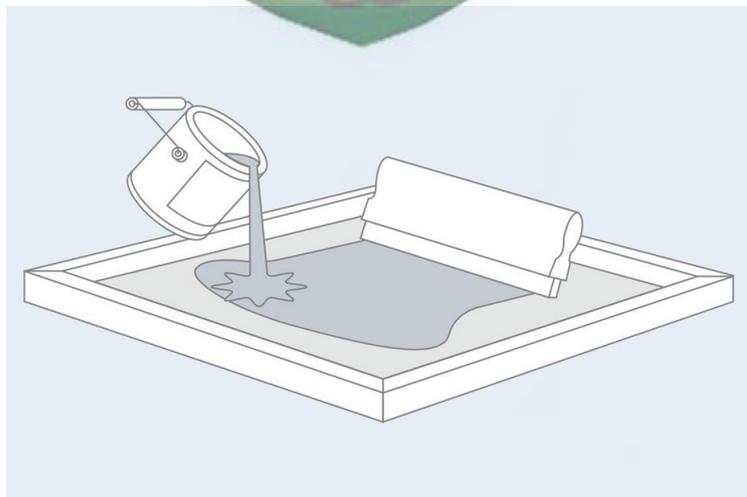
3. Ketahanan oksidasi dan daya tahan terhadap unsur kimia tinggi,
4. Kemampuan untuk mengikat molekul kimia diantara lapisan *graphite*,
5. Ramah terhadap lingkungan.

Untuk digunakan sebagai aplikasi pelat bipolar, *graphite* mampu memberikan konduktivitas listrik yang baik dan dapat meningkatkan sifat mekanis dari komposit tersebut. Selain itu, penambahan *graphite* 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.

### 2.11. Metode Screen printing

Screen printing umumnya digunakan saat ini, sebagai metode lanjutan untuk membuat prosedur pencetakan. Screen printing sering disebut sablon. Pembuatan bentuk diselesaikan dengan melapisi komponen utama pada materi layar yang diperpanjang di luar garis luar layar. Memanfaatkan interaksi ini, ruang pada permukaan dapat dibuat dan denahnya dapat dicetak berulang kali, untuk menciptakan berbagai bentuk lapisan yang sebanding.

Dalam penelitian ini *screen printing* digunakan untuk melapisi pelat konduktor (*Aluminium*) untuk menghasilkan medan listrik yang dialirkan pada suatu medium yang mengandung sampel yang akan dipisahkan



Gambar 2.14. Metode Screen Printing Untuk Melapisi Alumunium

(Sumber : kreativv.com, 2021)

### 2.12. Ketebalan Pelapisan

Ketebalan merupakan jarak tegak lurus antara dua lapisan yang sejajar. Mengukur ketebalan bertujuan untuk mengetahui berapa nilai ketebalan dari lapisan tersebut. Pada penelitian ini digunakan metode *screen printing* sebagai metode pelapisannya dan langkah selanjutnya melakukan pengukuran ketebalan menggunakan alat uji ketebalan. Dimana setiap lapisan harus memiliki ketebalan 0.1 mm.

Alat uji ketebalan merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur seberapa tebal suatu benda atau material tersebut. Hal ini menyangkut kemudahan dalam penggunaan dan menampilkan pengukuran langsung. Selain mengukur ketebalan material beberapa alat uji ketebalan lain memiliki fungsi dan mampu mengukur hanya ketebalan lapisannya saja sehingga data yang tampil hanya informasi ketebalan lapisan. Kemudahan menggunakan alat uji ketebalan ini memberikan *durability* dan efektifitas karena beberapa tipe bersifat portable sehingga memberikan efisiensi waktu dan praktis dalam mengaplikasikannya. Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk mengukur ketebalan ialah jangka sorong atau juga menggunakan alat uji UT *Thickness*.

### 2.13. Konduktivitas listrik

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

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{A} \times G \dots\dots\dots \text{pers.(2.6)}$$

Dimana :

$L$  = Tebal bahan (cm)

$A$  = Luas alas pelet (cm<sup>2</sup>)

$R$  = Resistansi (ohm)

$G$  = Konduktansi (Siemens)

$\sigma$  = Konduktivitas Listrik (S/cm)

#### 2.14. Pengujian Flexural

Flexural test mengukur kekuatan yang dibutuhkan untuk membengkokkan sebuah pelat yang di beri beban pada tiga titik. Data tersebut terkadang di gunakan untuk memilih material untuk parts (bagian) yang akan menerima beban tanpa mengalami pembengkokan ( flexing)

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

$$\sigma_c = \frac{3PL}{2b.d^2} \dots \dots \dots \text{pers.(2.7)}$$

Dimana :

$\sigma_c$  = Tegangan bending (MPa)

$P$  = Beban / Load (N)

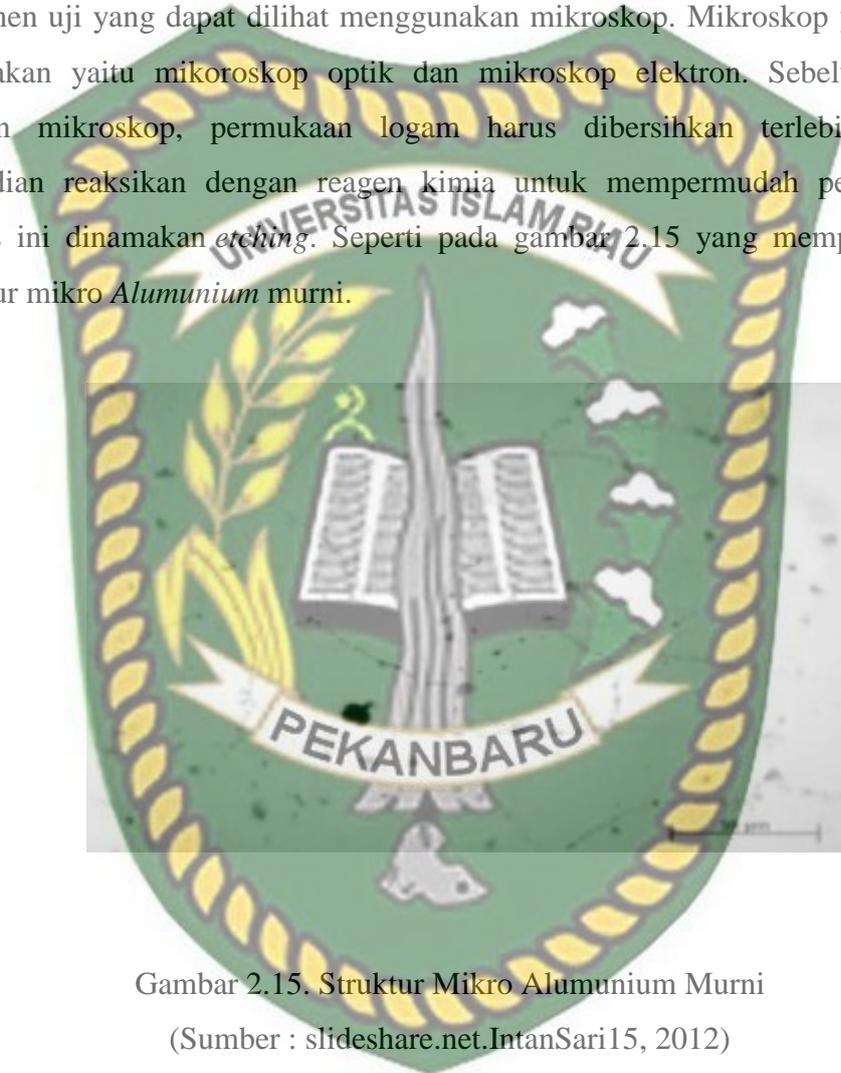
$L$  = Panjang Span (mm)

$b$  = Lebar spesimen (mm)

$d$  = Tebal specimen (mm)

### 2.15. Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur merupakan gambaran dari kumpulan fasa – fasa yang dapat diamati melalui titik metalografi. Struktur makro merupakan suatu spesimen uji yang dapat dilihat menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*. Seperti pada gambar 2.15 yang memperlihatkan struktur mikro *Aluminium* murni.



Gambar 2.15. Struktur Mikro Aluminium Murni  
(Sumber : slideshare.net.IntanSari15, 2012)

Mengetahui struktur mikro dari material juga diperlukan untuk memastikan material tidak mengalami cacat internal seperti *porosity*, *inklusi* dan *retak*. Cacat-cacat internal pada material dapat mempengaruhi sifat mekanis dari material, semakin banyak cacat internal maka kekuatan mekanis material akan berkurang.

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya

dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat:

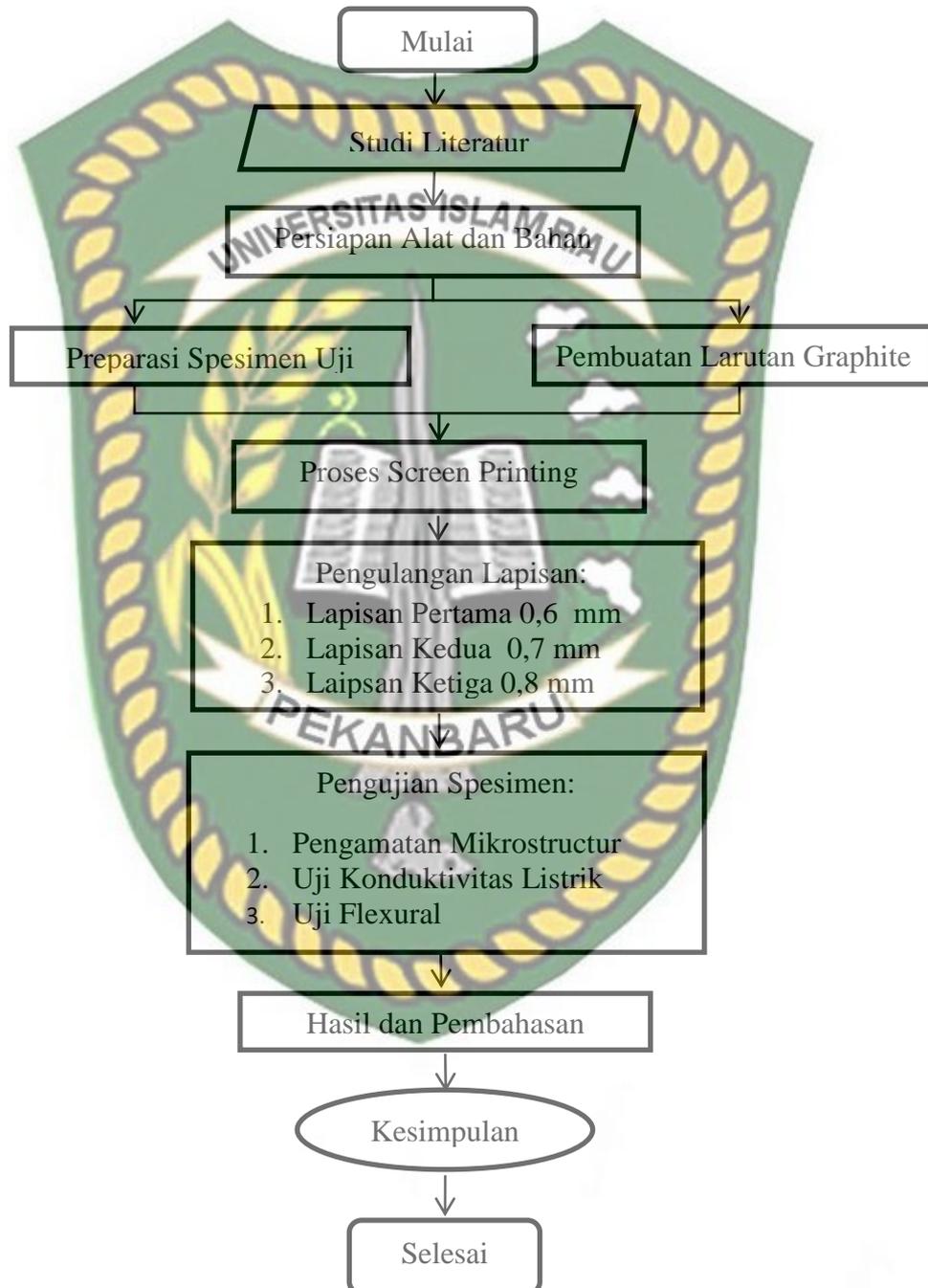
- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan.



**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1. Diagram Alir**



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Waktu Dan Tempat

1. Pengamatan Mikrostruktur dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
2. Pengujian Konduktivitas listrik dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
3. Pengujian Flexural/Bending 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 benda seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Timbangan Digital

2. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume cairan 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. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen yang akan digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Jangka Sorong

6. Stopwath

Stopwath berfungsi untuk menghitung waktu yang dipakai dalam penelitian seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Stopwath

7. Kertas Amplas

Kertas amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan spesimen seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Kertas Amplas

8. Kain Lap

Kain lap berfungsi untuk membersihkan kotoran pada saat melakukan penelitian seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Kain Lap

## 9. Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi sebagai alat pelindung tangan bahan kimia seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Sarung Tangan

## 10. Sendok Pengaduk

Sendok pengaduk berfungsi untuk mengaduk fluida seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Sendok Pengaduk

### 11. Resistivity Meter

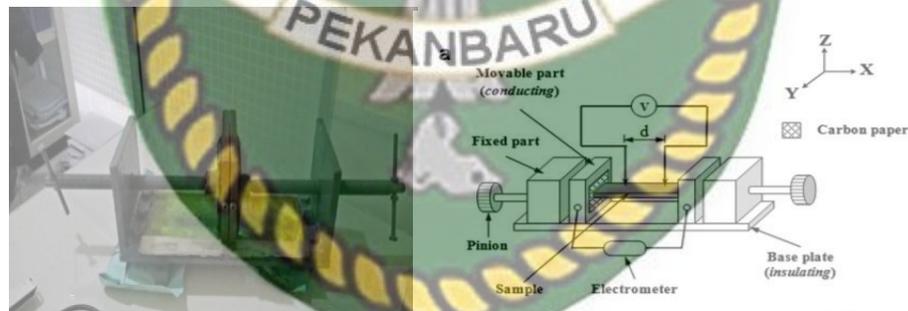
Resistivity Meter digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dengan menggunakan rectifier tegangan dan arus yang digunakan dalam penelitian dapat diatur seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Resistivity Meter

### 12. Alat Uji Konduktifitas Listrik standar US-DOE

Alat ini berfungsi mengalirkan listrik dari Resistivity Meter yang di jepitkan pada specimen seperti gambar 3.7 berikut :



Gambar 3.13 Penghantar Konduktifitas listrik

#### 3.3.2. Bahan

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

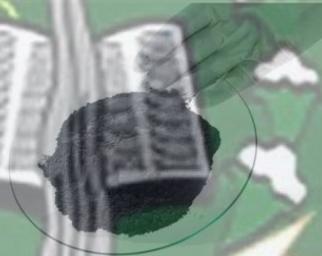
##### 1. Pelat Aluminium

Pelat aluminium tipe AA1100 digunakan sebagai katoda pada penelitian seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Pelat Alumunium AA1100

2. *Amorphous Graphite*  
c pada penelitian seperti pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. *Amorphous Grapite*

3. Resin Epoxy

Resin epoxy (matriks polimer) dapat kita lihat pada gambar 3.16 resin epoxy (matriks polimer) merupakan bahan yang akan kita gunakan dalam pengujian ini yang berfungsi mengikat bahan campuran lain agar memiliki



kekuatan yang sesuai dengan yang dibutuhkan.

Gambar 3.16. Resin Epoxy

### 3.4. Metode Penelitian

Prosedur kerja dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, adapun tahapan tersebut yaitu tahap preparasi sampel uji, pembuatan campuran graphite dengan resin epoxy dan proses *screen printing* serta melakukan prosedur struktur makro, kekuatan, dan konduktivitas listrik setelah dilakukan proses *screen printing*.

#### 3.4.1. Preparasi Spesimen Uji

Spesimen uji (pelat aluminium digunakan sebagai elektroda primer dan pelat *graphite* digunakan sebagai elektroda tumbal) yang akan digunakan dalam proses *screen printing* dipreparasi dengan menggunakan standar ASTM D790, dengan tahapan sebagai berikut :

1. Spesimen uji dipotong sesuai ukuran menggunakan alat pemotong (gerinda) dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 0,5 mm.
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 dilakukan proses *screen printing*.

#### 3.4.2. Pembuatan Larutan *Graphite*

Membuat larutan *graphite* dilewatkan resin penukar ion  $H^+$  dengan perbandingan 2:8 selama 30 menit dan disertai pengadukan sehingga terbentuk larutan *graphite* gel dengan pH 2, dengan suhu dijaga konstan  $60^{\circ} C$  disertai dengan pengadukan. Hal ini berguna untuk mengontrol ukuran partikel *graphite*. Mengapa perbandingna Resin 2 sedangkan Grafit 8, dikarenakan perbandinagn ini memiliki kekutan yang cukup untuk merekatkan antara Grafit dengan aluminium dan mampu menghantarkan aliran arus listrik pada saat melakukan pengujian Konduktifitas listrik.

#### 3.4.3. Proses Screen Printing

Selanjutnya proses *screen printing* pada alumunium akan dimulai, dan pertama-tama silahkan letakkan alumunium pada bidang datar, kemudian letakkan screen di area yang ingin Anda *screen printing*. Kemudian pada permukaan screen, tuangkan Larutan *Graphite* secara perlahan dengan arah horizontal, kemudian ratakan satu arah ke bawah dengan rakel hingga larutan *Graphite* melapisi screen dengan merata.

Setelah itu lapisi terus larutan *Graphite* ke atas, kiri, kanan, bawah menggunakan rakel yang sedikit Anda tekan supaya larutan *Graphite* dapat terdorong ke permukaan pelat dengan merata. Apabila sudah, angkat screen perlahan dan Anda bisa lihat bahwa proses sablon sudah selesai, hanya perlu ditunggu hingga kering atau Anda bisa menggunakan metode berikut ini. Untuk lapisan ke 2 dan selanjutnya.

### 3.5. Prosedur Pengujian

#### 3.5.1. Pengamatan struktur makro

Pengamatan struktur makro dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat dan menganalisa struktur mikro, struktur makro, dan sifat-sifat pada spesimen alumunium yang berlapiskan *graphite*. Untuk melihat struktur makro maka digunakan alat uji olympus BX53M seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. Alat Uji Mikrostruktur

Pengujian ini dilakukan untuk melihat unsur resin epoxy yang mengikat karbon grafit dan abu batok kelapa pada pelet komposit. Untuk mendapatkan Struktur makro pada spesimen uji dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop.

Berikut beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur :

a. Persiapan spesimen

Pengamplasan spesimen dilakukan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang bertujuan untuk menghilangkan goresan. Proses ini dilakukan secara bertahap dari ukuran amplas besar hingga ukuran kecil.

b. Tahapan untuk mendapatkan struktur makro

Pemotretan dilakukan untuk mendapatkan gambaran struktur makro benda uji setelah difokus dengan mikroskop.

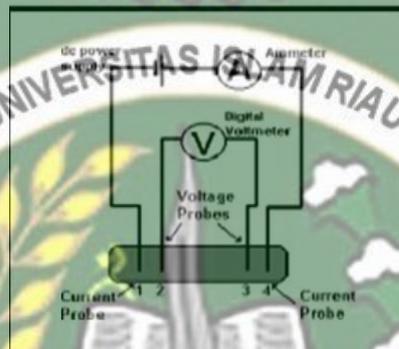
### 3.5.1. Pengujian konduktivitas listrik

Pengujian konduktivitas listrik material mengacu pada US-DOE, dilakukan menggunakan alat Resistivity Meter digunakan sebagai sumber arus konstan. Prosedur uji konduktivitas listrik adalah sebagai berikut:

- a. menggunakan alat poles. Amplas yang digunakan mulai dari yang kasar sampai yang paling halus, kemudian yang terakhir menggunakan serbuk alumina.
- b. Hidupkan power ( main power di bagian depan unit).
- c. Pilih beban voltage V dan ampere A (terletak di atas identator) .
- d. Pilih load yang dikehendaki.
- e. Jepit sampel dengan metode trough plane.
- f. sambungkan kutub positif dan negative power supplay ke alat konduktivitas listrik.

- g. kemudian set multimeter untuk mengukur ohm nya.
- h. catat hasil nya di tabel.

Pengujian konduktivitas listrik dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan pelat *metal conducting* dalam menghantarkan arus listrik pada aplikasinya nanti. Skema alat uji konduktivitas listrik dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18. Skema Alat Uji Konduktivitas

no	Lapisan (mm)	Konduktivitas Listrik (S/cm)
1	0.6	
2	0.7	
3	0.8	

Tabel 3.1. Konduktivitas Listrik Pada Pelat *Metal Conducting Polymer Composite*.

### 3.5.3. Pengujian Flexural/Bending

Untuk mengetahui kekuatan *flexural* suatu material dapat dilakukan dengan pengujian terhadap material komposit tersebut. Pengujian *flexural* mengacu pada standar ASTM D790 dengan kondisi pengujian statis. Mesin yang digunakan untuk melakukan uji *flexural* yaitu *Universal Testing Mecine* (UTM) di Laboratorium Material Teknik Mesin Politeknik Kampar. Flexural test mengukur kekuatan yang

dibutuhkan untuk membengkokkan sebuah pelat yang di beri beban pada tiga titik, seperti pada gambar 3.21. mesin uji yang digunakan HUNG TA HT-8503.



Gambar 3.21 Skema Pengujian Flexural

no	Lapisan (mm)	Flexural Strength (Mpa)
1	0,6	
2	0,7	
3	0,8	

Tabel 3.2. Ketahanan Material Pelat Dalam Menahan Beban.

### 3.6 JADWAL KEGIATAN PENELITIAN

Dalam manajemen produksi, kegiatan suatu produksi akan berjalan dengan lancar bila ada jadwal kegiatan. Dengan adanya jadwal kegiatan produksi lama waktu proses produksi suatu mesin dapat ditentukan. Selain itu jadwal kegiatan yang teratur bisa menurunkan biaya produksi mesin. Jadwal kegiatan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan Ke-4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penulisan Proposal																
2	Seminar Proposal																
3	Revisi																
4	Pengumpulan Data																
5	Analisa dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir																
6	Seminar Hasil Tugas Akhir																
7	Revisi																

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian Pelat Aluminium Grafit

Pada gambar 4.1, 4.2, 4.3 dibawah ini menunjukkan hasil pembuatan pelat

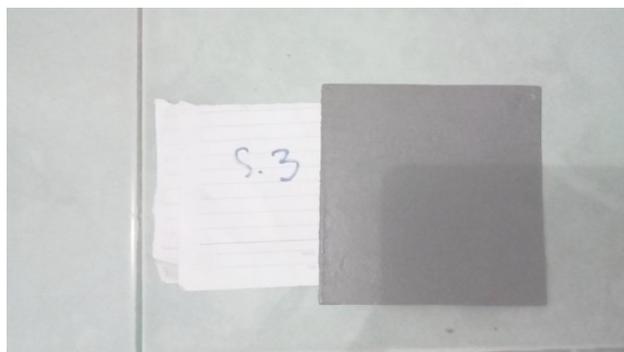


aluminium grafit dengan variasi pada tebal lapisan screen printing.

Gambar 4.1 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,6 mm



Gambar 4.2 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,7 mm



Gambar 4.3 Pelat Alumunium Grafit Pada tebal grafit 0,8 mm

Dari gambar 4.1 di atas bisa terlihat bahwa ketebalan 0.6 mm masih terlihat kurang rapi dan grafit masih mengikuti bengkakan atau lekukan dari pelat aluminium, sedangkan pada gambar 4.2 dengan ketebalan 0.7 mm terlihat bahwa material grafit yang di cetak menggunakan screen printing sudah terlihat lebih rapi dan datar. Pada gambar 4.3 dengan ketebalan 0.8 mm menunjukkan hasil yang lebih merata dimana terlihat grafit sudah sangat rapi dari pada sampel 1 dan 2.

#### 4.2 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

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

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi

No	Tebal Lapisan Sampel	Resistivitas ( $\Omega$ )	Voltage (V)	Ampere (A)
1	0.6 mm	0,013	0,4	7,54
2	0.7 mm	0,007	0,4	7.57
3	0.8 mm	0,003	0,4	7.62

Tabel diatas adalah hasil pengujian menggunakan alat konduktivitas listrik dimana nilai yang didapat adalah nilai resistivitas, voltage dan ampere. Maka dapat dihitung nilai hambatan dimensi dan konduktivitas listrik :

1. Spesimen 1

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

$$= \frac{1}{0,013} = 76,9$$

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

$$= \frac{0.6}{10 \times 10} \times 76,9$$

$$= \frac{0.06}{100} \times 76,9$$

$$= 0,4614 \text{ S.cm}^{-1}$$

2. Spesimen 2

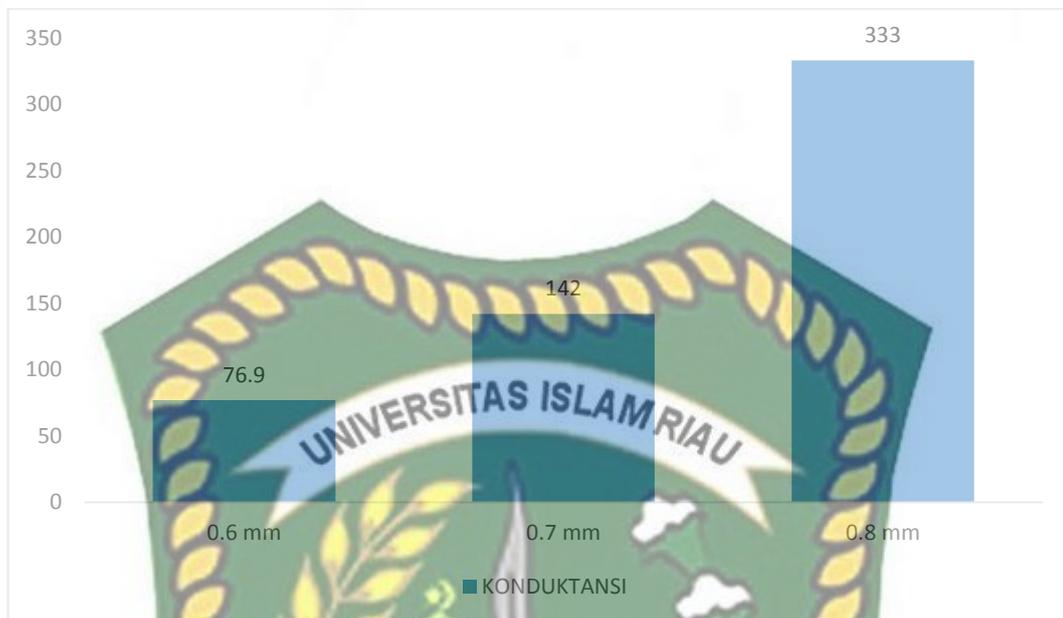
$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{0,007} = 142 \\ \sigma &= \frac{L}{A} \times G \\ &= \frac{0,7}{10 \times 10^{-8}} \times 142 \\ &= \frac{0,07}{100} \times 142 \\ &= 0,994 \text{ S.cm}^{-1} \end{aligned}$$

3. Spesimen 3

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{0,03} = 333 \\ \sigma &= \frac{L}{A} \times G \\ &= \frac{0,8}{10 \times 10^{-8}} \times 333 \\ &= \frac{0,8}{100} \times 333 \\ &= 2,664 \text{ S.cm}^{-1} \end{aligned}$$

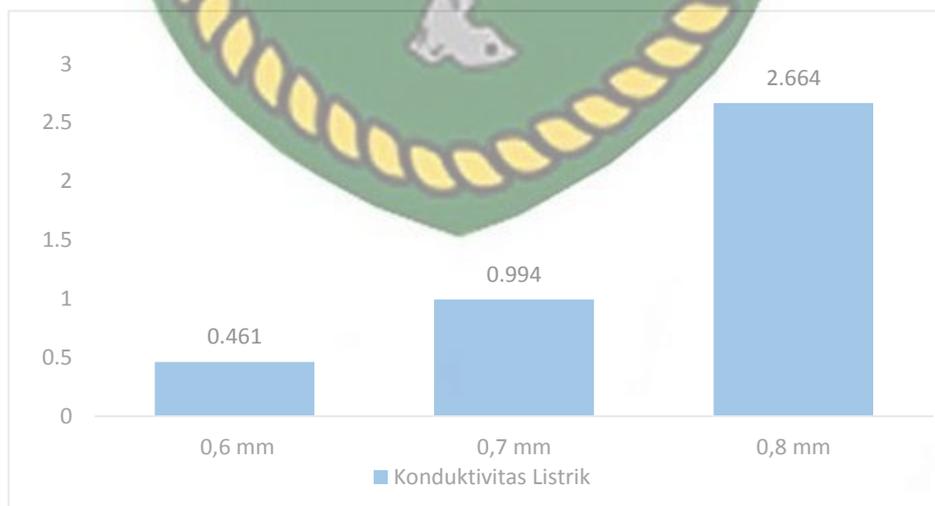
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi

No	Tebal Lapisan Sampel	Konduktansi (G)	Konduktivitas Listrik ( $\sigma$ )
1	0.6 mm	76,9	0.461
2	0.7 mm	142	0.994
3	0.8 mm	333	2.664



Gambar 4.4 : Grafik Konduktansi

Dari grafik dapat dilihat bahwa sampel tiga (Tebal Lapisan 0,8 mm) memiliki nilai konduktansi paling baik dibandingkan dengan sampel uji lainnya. Hal ini disebabkan karena memiliki lapisan yang lebih tebal dan memiliki kandungan grafit yg lebih banyak.



Gambar 4.5 : Grafik Konduktivitas Listrik

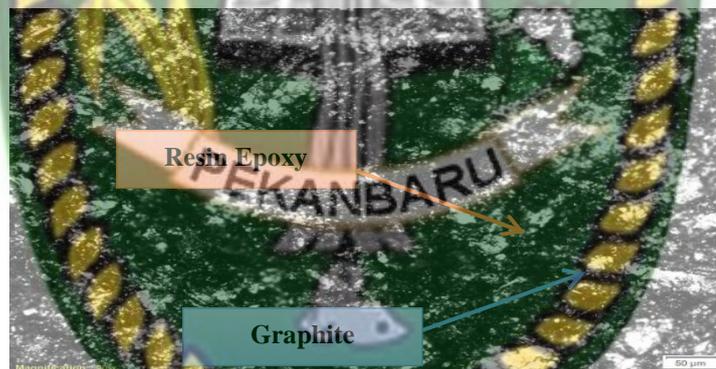
Perhitungan nilai konduktivitas listrik ini didapat dari rumus persamaan untuk mengetahui seberapa besar arus yang dihasilkan dari perhitungan nilai

konduktansi yang telah dilakukan dimana hasil pengukuran konduktansi didapatkan setelah dikonversikan menggunakan rumus perhitungan. Dan dapat disimpulkan dari grafik 4.5 bahwa sampel yang memiliki nilai konduktivitas listrik yang paling baik yaitu pada sampel ketiga (Tebal Lapisan 0,8 mm) karna memiliki lapisan yang lebih tebal dan memiliki kandungan grafit yg lebih banyak, dengan nilai konduktivitas listrik  $2,664 \text{ S.cm}^{-1}$

#### 4.3 Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan struktur makro pada spesimen ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro pada spesimen pelat ini. Spesimen yang akan diuji adalah spesimen yang menggunakan variasi perbandingan ketebalan pada setiap spesimen.

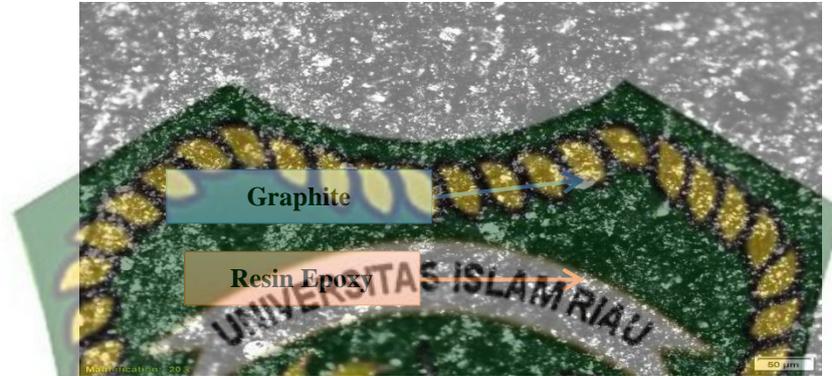
- a. Topografi sampel dengan 20 x pembesaran



Gambar 4.6 Topografi Sample 1 dengan ketebalan 0,6 mm

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.6 bahwa bentuk struktur mikro dengan ketebalan lapisan Graphite 0,6 mm terlihat bahwa sampel tersebut graphite terlihat masih terkumpul pada masing-masing partikelnya dan kerapatannya kurang rapat, dengan resin epoxy sebagai media pengikat partikelnya. Dari gambar 4.6 menunjukkan bahwa panah biru adalah graphite dan panah merah adalah resin epoxy.

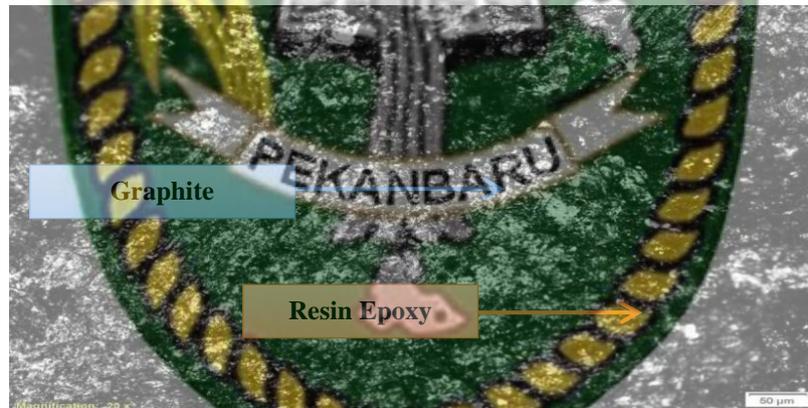
- b. Topografi sampel dengan 20 x pembesaran



Gambar 4.7 Topografi Sample 2 dengan ketebalan 0,8 mm

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.7 bahwa bentuk struktur mikro dengan ketebalan lapisan Graphite 0,7 mm. Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa panah biru adalah Graphite, panah merah adalah resin epoxy.

- c. Topografi sampel dengan 20 x pembesaran



Gambar 4.8 Topografi Sample 3 dengan ketebalan 0,8 mm

Hasil pengamatan pada gambar 4.8 bahwa bentuk struktur mikro dengan ketebalan lapisan Graphite 0,8 mm terlihat bahwa sampel tersebut graphite terlihat pertikel dan kerapatannya lebih bagus dibandingkan dengan kedua sampel sebelumnya, dengan resin epoxy sebagai media pengikat partikelnya. Dari gambar 4.8 menunjukkan bahwa panah biru adalah graphite, panah merah adalah resin epoxy.

#### 4.4 Hasil Pengujian Flexural/Bending

Uji flexural adalah pengujian mekanis secara statis dimana benda uji lengkung ditumpu di kedua ujung dengan tumpuan, kemudian dibebani tekanan P(N) ditengah-tengah jarak antara dua tumpuan tersebut dengan panjang span 8 cm seperti gambar 4.8 dan terdiri dari tiga (3) buah spesimen dengan ukuran panjang 10 cm x lebar 10cm x tebal 0,6 mm, 0.7 mm, & 0.8 mm



Gambar 4.9 Titik Tumpuan (span)

Tabel 4.3 Hasil pengujian bending

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max.Force (N)	0,2% Y.S (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Bending Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Defleksi mm
SAMPEL 1 0,6 mm	90.900	53,4	0.22	0.39	62.04	30.2
SAMPEL 2 0,7 mm	91.080	53.9	0.45	0.45	64.24	30.5
SAMPEL 3 0,8 mm	102.000	57,6	0.49	0.49	68,46	24.3

Dari data hasil pengujian bending pada material pelat graphite aluminium dan resin epoxy (matriks) maka bisa dihitung antara lain, tegangan bending dan modulus elastisitas bending.

#### Pembahasan Hasil Perhitungan

Untuk mencari perhitungan tegangan bending dan modulus elastisitas bending itu dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

##### a. Tegangan Bending ( $\sigma$ ) :

$$\sigma_b = \frac{2PL}{2bd^2} \text{ (Mpa)}$$

b. Modulus Elastisitas Bending (Eb) :

$$E_b = \frac{L^3 P}{4bd^3 \delta} \text{ (Mpa)}$$

Dimana :

$\sigma_b$  = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

$E_b$  = Modulus elastisitas bending (MPa)

$\delta$  = Defleksi (mm)

L = Panjang Span/jarak antara titik tumpuan, 43 (mm)

$L_0$  = Panjang spesimen, 100 (mm)

b = Lebar spesimen, 100 (mm)

d = Tebal spesimen (mm)

#### 4.4.1 Hasil Perhitungan Tegangan Flexural/Bending

1. Sampel uji dengan ketebalan 0,6 mm

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{2 \times 53,4 \text{ N} \times 43 \text{ mm}}{2 \times 100 \text{ mm} \times 0,6^2 \text{ mm}} \\ &= \frac{4592,4}{72} \\ &= 63,78 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Sampel uji dengan ketebalan 0,7 mm

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{2 \times 53,9 \text{ N} \times 43 \text{ mm}}{2 \times 100 \text{ mm} \times 0,7^2 \text{ mm}} \\ &= \frac{4635,4}{98} \\ &= 64,38 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

3. Sampel uji dengan ketebalan 0,8 mm

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{2 \times 57,6 \text{ N} \times 43 \text{ mm}}{2 \times 100 \text{ mm} \times 0,8^2 \text{ mm}} \\ &= \frac{4953,6}{120} \\ &= 68,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

#### 4.4.2 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Flexural/Bending

1. Sampel uji dengan ketebalan 0,6 mm

$$\begin{aligned}
 E_b &= \frac{43^3 \text{ mm} \times 53.4 \text{ N}}{4 \times 100 \text{ mm} \times 0.6^3 \text{ mm} \times 30,2 \text{ mm}} \\
 &= \frac{2296,2}{7,248} \\
 &= 316,8 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Sampel uji dengan ketebalan 0,7 mm

$$\begin{aligned}
 E_b &= \frac{43^3 \text{ mm} \times 53.9 \text{ N}}{4 \times 100 \text{ mm} \times 0.7^3 \text{ mm} \times 30,5 \text{ mm}} \\
 &= \frac{2317,7}{8,540} \\
 &= 317,39 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Sampel uji dengan ketebalan 0,8 mm

$$\begin{aligned}
 E_b &= \frac{43^3 \text{ mm} \times 57.6 \text{ N}}{4 \times 100 \text{ mm} \times 0.8^3 \text{ mm} \times 24.3 \text{ mm}} \\
 &= \frac{2476,8}{7,776} \\
 &= 318,51 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.4.3 Tabel Perhitungan & Grafik Tegangan Bending & Modulus Elastisitas Bending

Tabel 4.4 Tabel hasil perhitungan tegangan bending & Modulus Elastisitas Bending :

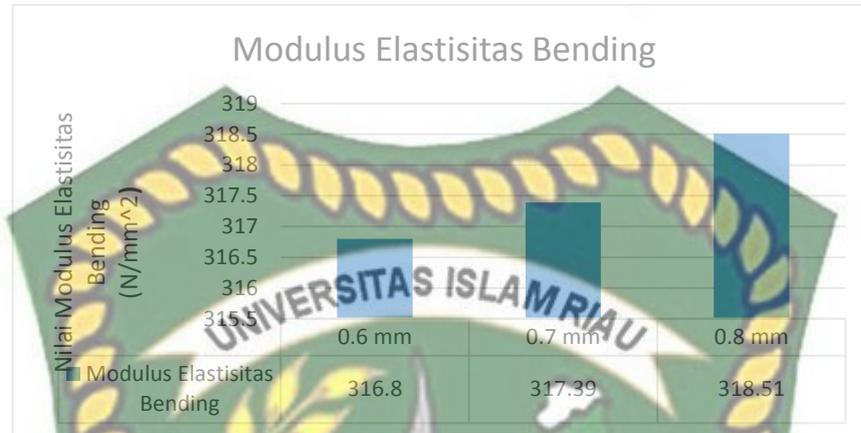
Sampel Uji Bending	Ketebalan Lapisan	Tegangan Bending ( $\sigma_b = \text{N/mm}^2$ )	Modulus Elastisitas Bending ( $E_b = \text{N/mm}^2$ )
1	0,6 mm	63.78 N/mm <sup>2</sup>	316.8 N/mm <sup>2</sup>
2	0,7 mm	64.38 N/mm <sup>2</sup>	317.39 N/mm <sup>2</sup>
3	0,8 mm	68.8 N/mm <sup>2</sup>	318.51 N/mm <sup>2</sup>



Gambar 4.10 : Grafik Tegangan Bending

Dari tabel 4.4 dan grafik 4.10 dapat dilihat nilai tegangan bending dari material pelat graphite aluminium dan resin epoxy dengan nilai paling tinggi yaitu pada sampel 3 dengan lapisan 0,8 mm yaitu 68.8 N/mm<sup>2</sup>. Di karenakan pada

sempel 3 lebih tebal dan sifat dari resin epoxy tersebut ialah memiliki sifat tahan banting dan elastisitas yang melebihi resin resin lainnya.



Gambar 4.11 : Grafik Modulus Elastisitas Bending

Dari tabel 4.4 dan grafik 4.11 dapat dilihat pada modulus elastisitas bending nilai paling tinggi yaitu pada pelat graphite aluminium dan resin epoxy dengan tebal pelat 0.8 yaitu 318.51 N/mm<sup>2</sup>.

Selanjutnya nilai paling rendah pada sampel 1 dengan tebal 0.6 mm dengan nilai 316.8 N/mm<sup>2</sup> kemudian di ikuti dengan sampel 2 tebal 0.7 mm nilai 317.39 N/mm<sup>2</sup>.

Modulus elastisitas bending pada material pelat graphite aluminium dan resin epoxy untuk lapisan 0,6 mm, 0,7 mm dan 0,8 mm dengan nilai rata-rata modulus elastisitas bending 317,56 N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.5 Perbandingan Antara Hasil Penelitian Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

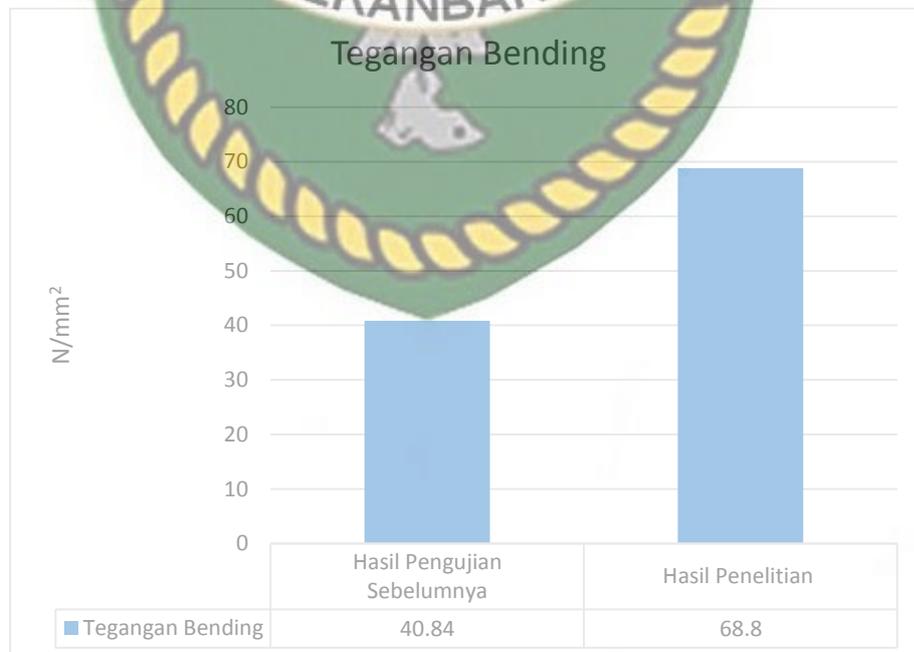
Tabel 4.5 Perbandingan antara hasil penelitian dan hasil penelitian sebelumnya

Properties	Hasil Penelitian Sebelumnya	Hasil Penelitian		
		0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm
Konduktivitas	2,52	0,461	0,994	2,664
Tegangan Bending	40,84	63.78	64.38	68.8



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Konduktivitas Listrik Hasil Sebelumnya dan Hasil Penelitian

Berdasarkan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa hasil penelitian yang dilakukan, nilai konduktivitas listrik pada pellet ini sebesar 2,664 S.cm<sup>-1</sup> jauh lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan di Universitas Indonesia yakni sebesar 2,52 S.cm<sup>-1</sup>.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Tegangan Bending Hasil Penelitian  
Sebelumnya dan Hasil Penelitian

Berdasarkan gambar 4.13 dapat dilihat bahwa hasil penelitian yang dilakukan didapat nilai Tegangan Bending sebesar  $68,8 \text{ N/mm}^2$ , lebih bagus dari pada penelitian sebelumnya yang dilakukan di Universitas Indonesia yakni sebesar  $40,84 \text{ N/mm}^2$ .



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan pada pelat konduktor yang terbuat dari campuran aluminium, graphit dan resin epoxy pada tebal lapisan tertentu, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengukuran konduktivitas listrik menggunakan alat uji konduktivitas listrik, di dapatkan bahwa sampel 3 dengan tebal lapisan 0,8 mm dapat menghantarkan arus listrik yang lebih besar dengan nilai  $2,664 \text{ S.cm}^{-1}$ .
2. Dari hasil pengamatan mikro struktur menggunakan mikroskop optik olympus didapatkan bahwa susunan partikel campuran aluminium, graphit dan resin epoxy diketahui bahwa sampel 3 dengan lapisan lebih tebal yaitu 0,8 mm kandungan graphit nya yang lebih dominan dapat menghantarkan arus listrik yang lebih baik.
3. Pada material aluminium, graphit dan resin epoxy dengan tebal lapisan 0,8 mm lebih kuat, itu dilihat dari hasil tertinggi yaitu pada tegangan bending  $68,46 \text{ N/mm}^2$
4. Pada modulus elastisitas bending paling tinggi dihasilkan oleh material material aluminium, graphit dan resin epoxy dengan tebal lapisan 0,8 mm yaitu  $318,51 \text{ N/mm}^2$

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka penulis menyarankan:

1. Agar melanjutkan penelitian ini kedepannya untuk bisa dibuat menjadi sebuah produksi teknologi yang berguna bagi masyarakat dan lebih bisa memanfaatkan metode screen printing sebagai produk yang sangat hemat biaya dan gampang di gunakan
2. Untuk melakukan penelitian selanjutnya dengan metode yang sama namun harus menambahkan alat pengujian lainnya dan pencampuran resin dan

graphit yang lebih sempurna, karena pelat aluminium, graphit dan resin epoxy belum bisa memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Supaya untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih maksimal karena menurut penulis kurangnya pengujian dan pencampuran resin dan graphit yang baik akan sangat berpengaruh pada hasil penelitian.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Volume 21 Composite*. ASM Internasional.2001.
- Besra, L., Liu, M. (2007). *A Review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EDP)*, *Progres in Materials Science*, 52.
- Dwi Saputra, Agung, 2014. “Pemodelan PEMFC Sebagai Sumber Energi Mobil Listrik Berbasis Neural Network”
- H. S. Tomo, 2010. “Karakteristik Sifat Mekanik Dan Elektrik Pelat Bipolar Sel Bahan Bakar Berkarbon Grafit Dalam.
- 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 termbipolar plates in proton exchange membrane fuel cells”, *Journal of power source* 172, 2007.
- M Matrik Polimer ABS”. Teknik Mesin. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Rieza Zulrian Aldio, Dedikarni, Budi Saputra (2021). “*Effect Of Spraying And Mesh Size On Surface Roughness Of SS400 Steel Sandblasting Process*. <https://journal.uir.ac.id/>
- 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.
- Saputra, R. I., Kurniasari, R., & Affandi, S. (2012). Pelapisan Baja Dengan Nanosilika Secara Elektroforesis Untuk Perlindungan Terhadap Korosi.
- 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.
- Zuriadi, M. R., Fadli, A., Amri, A., Jurusan, M., Kimia, T., Jurusan, D., ... Riau, U. (n.d.). Pelapisan permukaan stainless steel 316L menggunakan hidroksiapatit dengan metode deposisi.

## LAMPIRAN

LABORATORIUM QUALITY CONTROL  
PROGRAM STUDI PERAWATAN DAN PERBAIKAN MESIN  
POLITEKNIK KAMPAR  
JL. TENGGU MUHAMMAD - BATU BELAH KM 2, BANGKINANG - KAMPAR

### SERTIFIKAT HASIL UJI

Nama Pelanggan DENNIS WINARNO  
Alamat TBKNIK MESIN UIR  
Jenis Sampel PELAT KONDUKTOR ALUMINIUM GRAPHIT  
Jenis Pengujian UJI BENDING  
Standart Pengujian ASTM D 790  
Nama Alat Uji HUNG TA HT-8503  
Tanggal Pengujian 2021/11/11  
Nomor Pengujian QC-PPM-POLKAM/11-21-006

Specimen	Area (mm <sup>2</sup> )	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Bending Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
SAMPEL 1	90.900	53.4	0.22	0.39	62.04	0.65
SAMPEL 2	91.080	53.9	0.45	0.45	64.24	0.65
SAMPEL 3	102.000	57.6	0.49	0.49	68.46	0.65

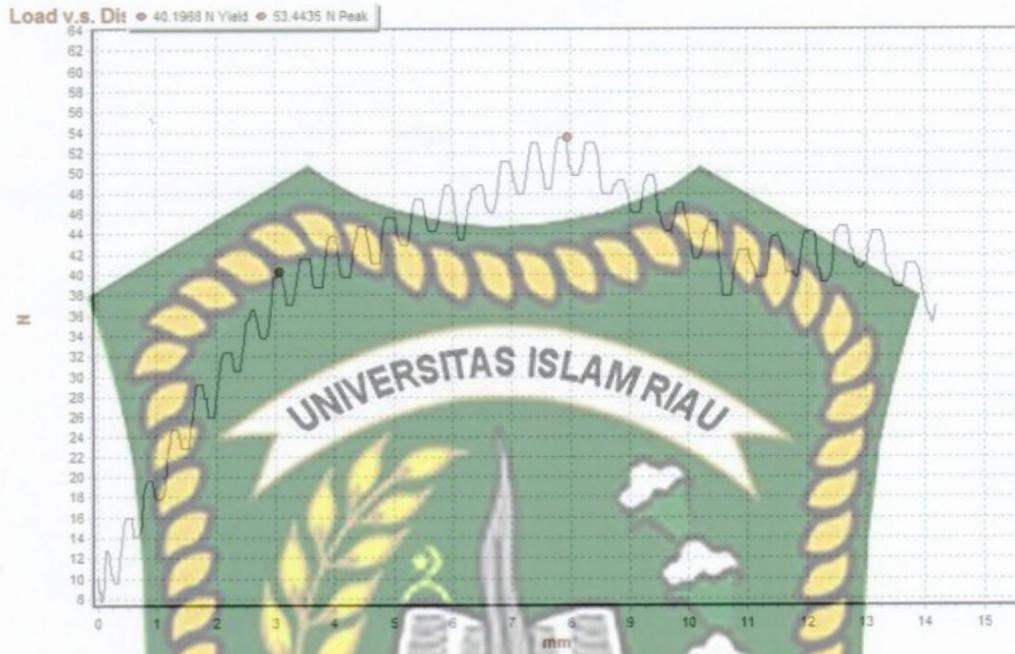
Kepala Laboratorium



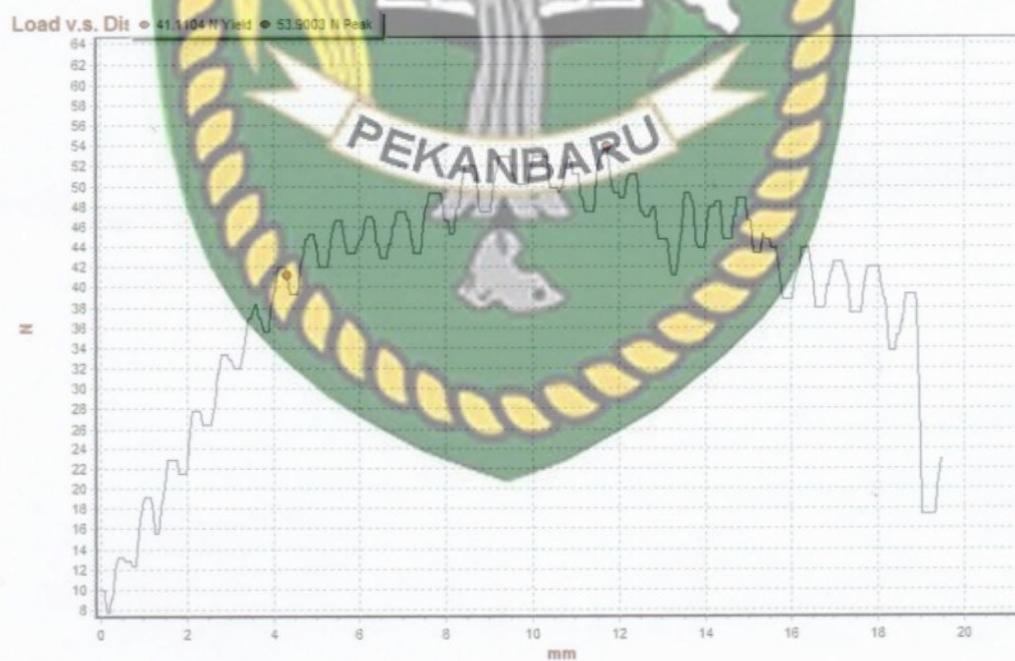
OPERATOR

Masriyanto, ST

Hasil Uji Bending



Grafik Uji Banding Spesimen 1



Grafik Uji Banding Spesimen 2



Grafik Uji Banding Spesimen 3

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
NOMOR : 1383/KPTS/FT-UIR/2021  
TENTANG PENGANGKATAN TIM PEMBIMBING PENELITIAN DAN PENYUSUNAN SKRIPSI

**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**

- Membaca : Surat Ketua Program Studi Teknik Mesin Nomor : 0938/TA-TM/FT/2021 tentang persetujuan dan usulan pengangkatan Tim Pembimbing penelitian dan penyusunan Skripsi.
- Menimbang : 1. Bahwa untuk menyelesaikan perkuliahan bagi mahasiswa Fakultas Teknik perlu membuat Skripsi.  
2. Untuk itu perlu ditunjuk Tim Pembimbing penelitian dan penyusunan Skripsi yang diangkat dengan Surat Keputusan Dekan.
- Mengingat : 1. Undang - Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi  
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia  
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 Tentang Dosen  
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan  
5. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 63 Tahun 2009 Tentang Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan  
6. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2014 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi  
7. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018  
8. Peraturan Universitas Islam Riau Nomor 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

**MEMUTUSKAN**

- Menetapkan : 1. Mengangkat saudara-saudara yang namanya tersebut dibawah ini sebagai Tim Pembimbing Penelitian & penyusunan Skripsi Mahasiswa Fak. Teknik Program Studi Teknik Mesin.

No	Nama	Pangkat	Jabatan
1.	Dr. Dedikarni, M.Sc	Lektor	Pembimbing

2. Mahasiswa yang akan dibimbing :

Nama : Dennis Winarno  
NPM : 143310314  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)  
Judul Skripsi : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR

3. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkannya dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan dikemudian hari segera ditinjau kembali.

Ditetapkan di : Pekanbaru  
Pada Tanggal : 2 Rabiul Akhir 1443 H  
08 November 2021 M

Dekan,



**Dr. Eng. Muslim, ST., MT**

NPK : 09 11 02 374

Tembusan disampaikan :

1. Yth. Bapak Rektor UIR di Pekanbaru.
2. Yth. Sdr. Ketua Program Studi Teknik Mesin FT-UIR
3. Arsip

*\*Surat ini ditandatangani secara elektronik*

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
NOMOR : 0305/KPTS/FT-UIR/2021  
TENTANG PENETAPAN DOSEN PENGUJI SKRIPSI MAHASISWA FAK. TEKNIK UNIV. ISLAM RIAU

**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**

- Menimbang : 1. Bahwa untuk menyelesaikan studi S.1 bagi mahasiswa Fakultas Teknik Univ. Islam Riau dilaksanakan Ujian Skripsi/Komprehensif sebagai tugas akhir. Untuk itu perlu ditetapkan mahasiswa yang telah memenuhi syarat untuk ujian dimaksud serta dosen penguji.  
2. Bahwa penetapan mahasiswa yang memenuhi syarat dan dosen penguji yang bersangkutan perlu ditetapkan dengan Surat Keputusan Dekan.
- Mengingat : 1. Undang - Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi  
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia  
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 Tentang Dosen  
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan  
5. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 63 Tahun 2009 Tentang Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan  
6. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2014 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi  
7. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018  
8. Peraturan Universitas Islam Riau Nomor 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

**MEMUTUSKAN**

- Menetapkan : 1. Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang tersebut namanya dibawah ini :
- |                    |  |
|--------------------|--|
| Nama               | : Dennis Winarno                                       |
| NPM                | : 143310314  |
| Program Studi      | : Teknik Mesin   |
| Jenjang Pendidikan | : Strata Satu (S1)                                     |
| Judul Skripsi      | : Pengaruh Metode Screen Printing Pada Pelat Konduktor |
2. Penguji Skripsi/Komprehensif mahasiswa tersebut terdiri dari :
- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1. Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc.           | Sebagai Ketua Merangkap Penguji   |
| 2. Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D. | Sebagai Anggota Merangkap Penguji |
| 3. Ir. Irwan Anwar, M.T.                | Sebagai Anggota Merangkap Penguji |
3. Laporan hasil ujian serta berita acara telah sampai kepada Pimpinan Fakultas selambat-lambatnya 1(satu) bulan setelah ujian dilaksanakan.
4. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkannya dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan dikemudian hari segera ditinjau kembali.

KUTIPAN : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Ditetapkan di : Pekanbaru  
Pada Tanggal : 11 Rabiul Akhir 1443 H  
17 November 2021 M

Dekan,



**Dr. Eng. Muslim, ST., MT**

NPK : 09 11 02 374

Tembusan disampaikan :

1. Yth. Rektor UIR di Pekanbaru.
2. Yth. Ketua Program Studi Teknik Mesin FT-UIR
3. Yth. Pembimbing dan Penguji Skripsi
3. Mahasiswa yang bersangkutan
5. Arsip

*\*Surat ini ditandatangani secara elektronik*



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

F.A.3.10

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
 Telp. +62 761 674674 Fax. +62 761 674834 Website: [www.uir.ac.id](http://www.uir.ac.id) Email: [info@uir.ac.id](mailto:info@uir.ac.id)

**KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR**  
**SEMESTER GENAP TA 2020/2021**

NPM : 143310314  
 Nama Mahasiswa : DENNISWINARNO  
 Dosen Pembimbing : Dr. DEDIKARNI, ST., M.Sc.  
 Program Studi : TEKNIK MESIN  
 Judul Tugas Akhir : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR  
 Judul Tugas Akhir : THE EFFECT OF THE SCREEN PRINTING METHOD ON THE CONDUCTOR PLATE  
 (Bahasa Inggris)  
 Lembar Ke : .....

Perpustakaan Universitas Islam Riau

NO	Hari/Tanggal Bimbingan	Materi Bimbingan	Hasil / Saran Bimbingan	Paraf Dosen Pembimbing
1.	Icones 6 Mei 2021	Menentukan judul	perbaikan	d/.
2.	Dokumen 9 Juni 2021	BAB I	perbaikan bab I	d/.
3.	Kabu 16 Juni 2021	BAB I	perbaiki latar belakang	d/.
4.	Kamis 8 Juli 2021	BAB II	perbaikan	d/.
5.	Senin 12 Juli 2021	BAB II	perbaikan referensi	d/.
6.	Rabu 14 Juli 2021	BAB III	perbaikan	d/.
7.	Senin 19 Juli 2021	BAB III	perbaikan metodologi	d/.
8.	JUMAT 13 AGUSTUS 2021	ACC judul/sampul		d/.

Pekanbaru, 20 Agustus 2021  
 Ketua Program Studi

Jhonni Rahman ,B.Eng.,M.Eng.,PhD



MTQZMZEWMZE0

Catatan :

1. Lama bimbingan Tugas Akhir/ Skripsi maksimal 2 semester sejak TMT SK Pembimbing diterbitkan
2. Kartu ini harus dibawa setiap kali berkonsultasi dengan pembimbing dan HARUS dicetak kembali setiap memasuki semester baru melalui SIKAD
3. Saran dan koreksi dari pembimbing harus ditulis dan diparaf oleh pembimbing
4. Setelah skripsi disetujui (ACC) oleh pembimbing, kartu ini harus ditandatangani oleh Wakil Dekan I / Kepala Departemen / Ketua prodi
5. Kartu kendali bimbingan asli yang telah ditandatangani diserahkan kepada Ketua Program Studi dan kopinya dilampirkan pada skripsi.
6. Jika jumlah pertemuan pada kartu bimbingan tidak cukup dalam satu halaman, kartu bimbingan ini dapat didownload kembali melalui SIKAD



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

F.A.3.10

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
 Telp. +62 761 674674 Fax. +62 761 674834 Website: [www.uir.ac.id](http://www.uir.ac.id) Email: [info@uir.ac.id](mailto:info@uir.ac.id)

**KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR**  
**SEMESTER GANJIL TA 2021/2022**

NPM : 143310314  
 Nama Mahasiswa : DENNIS WINARNO  
 Dosen Pembimbing : 1. Dr DEDIKARNIST., MSc 2.  
 Program Studi : TEKNIK MESIN  
 Judul Tugas Akhir : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR  
 Judul Tugas Akhir (Bahasa Inggris) : THE EFFECT OF THE SCREEN PRINTING METHOD ON THE CONDUCTOR PLATE  
 Lembar Ke : .....

NO	Hari/Tanggal Bimbingan	Materi Bimbingan	Hasil / Saran Bimbingan	Paraf Dosen Pembimbing
	30 September 21	BAB II	perbaiki metodologi	<i>[Signature]</i>
	4 Oktober 2021	BAB IV	perbaiki metoda	<i>[Signature]</i>
	13 Oktober 2021	BAB IV	perbaiki gambar	<i>[Signature]</i>
	27 Oktober 2021	BAB IV	perbaiki table	<i>[Signature]</i>
	4 November 2021	BAB IV	perbaiki ampu	<i>[Signature]</i>
	11 November 2021	BAB V	perbaiki kesimp	<i>[Signature]</i>
		ACC SIKAD	ACC tugas akhir perbaikan	<i>[Signature]</i>

Dokumen ini adalah Arsip Mlirik :



MTQZMZEWMZEO

Pekanbaru, 11 November 2021  
 Ketua Prodi

(Jhonni Rahman ,B.Eng.,M.Eng.,PhD)

Catatan :

- Lama bimbingan Tugas Akhir/ Skripsi maksimal 2 semester sejak TMT SK Pembimbing diterbitkan
- Kartu ini harus dibawa setiap kali berkonsultasi dengan pembimbing dan HARUS dicetak kembali setiap memasuki semester baru melalui SIKAD
- Saran dan koreksi dari pembimbing harus ditulis dan diparaf oleh pembimbing
- Setelah skripsi disetujui (ACC) oleh pembimbing, kartu ini harus ditandatangani oleh Wakil Dekan I/ Kepala departemen/Ketua prodi
- Kartu kendali bimbingan asli yang telah ditandatangani diserahkan kepada Ketua Program Studi dan kopiannya dilampirkan pada skripsi.
- Jika jumlah pertemuan pada kartu bimbingan tidak cukup dalam satu halaman, kartu bimbingan ini dapat di download kembali melalui SIKAD

Perpustakaan Universitas Islam Riau



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

Jl Kaharuddin Nasution No. 113 Telp. (0761) 674674 Fax : (0761) 674834  
Marpoyan Pekanbaru – Riau, Kode Pos 28284 Indonesia

**SURAT KETERANGAN  
ACC SEMINAR PROPOSAL**

Kami yang bertanda tangan dibawah ini, pembimbing. Seminar Proposal menerangkan bahwa mahasiswa dibawah ini:

Nama : Dennis Winarno  
NPM : 1433.10.314  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA  
PELAT KONDUKTOR

Sehubungan telah selesainya penulisan Seminar Proposal ini, sesuai dengan berita acara bimbingan Seminar Proposal, maka kepada mahasiswa yang namanya tercantum diatas diberikan kesempatan untuk mengikuti Seminar Proposal.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Pekanbaru, 13 Agustus 2021

Pembimbing :

(Dr. Dedikarni, ST., MSc)



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

Jln. Kharudin Nasution no.113, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru-Riau 28284

Telp : 0761-674674, fax :0761-674834

SURAT KETERANGAN ACC SIDANG TUGAS AKHIR

Kami yang bertanda tangan dibawah ini, pembimbing tugas akhir menerangkan mahasiswa dibawah ini :

Nama : DENNIS WINARNO  
Npm : 14.331.0314  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR

Sehubung dengan telah selesainya penulisan tugas akhir ini, sesuai dengan berita acara bimbingan tugas akhir, maka kepada mahasiswa yang namanya tercantum diatas diberikan kesempatan untuk mengikuti Sidang Tugas Akhir.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Untuk itu dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatiannya kami ucapkan terimakasih.

Pekanbaru, 11 November 2021

Pembimbing

  
Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc  
NIDN 1005047603



# UNIVERSITAS ISLAM RIAU

## FAKULTAS TEKNIK

### الجامعة الإسلامية الريوية

Alamat: Jalan Kaharuddin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284  
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas\_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

#### SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 403/A-UIR/5-T/2021

Operator Turnitin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

Nama : DENNIS SUTANASO  
NPM : 143310314  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)  
Judul Skripsi TA : PENGARUH METODE SCREEN PRINTING PADA PELAT KONDUKTOR

Dinyatakan **Bebas Plagiat**, berdasarkan hasil pengecekan pada Turnitin menunjukkan angka **Similarity Index < 30%** sesuai dengan peraturan Universitas Islam Riau yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,

Kaprodi. Teknik Mesin

Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D

Pekanbaru, 12 November 2021 M

7 Robi'ust Tsānī 1443 H

Operator Turnitin F. Teknik



Ahmad Pandi, S.Kom.

Lengkap



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. 761 674674 Website: [www.eng.uir.ac.id](http://www.eng.uir.ac.id) Email: [fakultas\\_teknik@uir.ac.id](mailto:fakultas_teknik@uir.ac.id)

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru, tanggal 17 November 2021, Nomor: 0305/KPTS/FT-UIR/2021, maka pada hari Rabu, tanggal 24 November 2021, telah dilaksanakan Ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jenjang Studi S1, Tahun Akademik 2021/2022 berikut ini.

- 1. Nama : Dennis Winarno
- 2. NPM : 143310314
- 3. Judul Skripsi : Pengaruh Metode Screen Printing Pada Pelat Konduktor
- 4. Waktu Ujian : 14.30 – 15.30 WIB
- 5. Tempat Pelaksanaan Ujian : Online

**Dengan keputusan Hasil Ujian Skripsi:**

~~Lulus\*~~ / Lulus dengan Perbaikan\* / ~~Tidak Lulus\*~~

\* Coret yang tidak perlu.

**Nilai Ujian:**

Nilai Ujian Angka = ...77,2... Nilai Huruf = ...B+...

Tim Penguji Skripsi.

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1	Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc.	Ketua	1.
2	Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D.	Anggota	2.
3	Ir. Irwan Anwar, M.T.	Anggota	3.

Panitia Ujian  
Ketua,

Dr. Dedikarni S.T., M.Sc.  
NIDN. 1005047603

Pekanbaru, 24 November 2021

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T.  
NIDN. 1016047901