

TUGAS AKHIR

**PEMBUATAN PLAT KOMPOSIT KONDUKTOR POLIMER
MENGUNAKAN METODE LAMINATING**



OLEH:

RAHMAD EKO SYAPUTRA

143310358

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**PEMBUATAN PLAT KOMPOSIT KONDUKTOR POLIMER
MENGUNAKAN METODE LAMINATING**



Disusun Oleh :

RAHMAD EKO SYAPUTRA

NPM : 143310358

Disetujui Oleh :

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


Tanggal : 11/04/2022

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN PLAT KOMPOSIT KONDUKTOR POLIMER
MENGUNAKAN METODE LAMINATING



Disusun Oleh :

RAHMAD EKO SYAPUTRA

NPM : 143310358

Disahkan Oleh :

MENGETAHUI

PEMBIMBING

Ketua Prodi Teknik Mesin

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

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rahmad Eko Syaputra

NPM : 143310358

Fakultas/ prodi : Teknik/ Program Studi Teknik Mesin

Judul TA : Pembuatan Plat Komposit Konduktor Polimer Menggunakan Metode Laminating

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, 8 April 2022



Rahmad Eko Syaputra
NPM: 14.331.0358

PEMBUATAN PLAT KOMPOSIT KONDUKTOR POLIMER MENGUNAKAN METODE LAMINATING

Nama Mahasiswa : Rahmad Eko Syaputra
NPM : 143310358
Jurusan : Program Studi Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc

Abstrak

Penggunaan dan pemanfaatan material komposit sekarang ini semakin berkembang, seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan tersebut yang semakin meluas mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga sampai sektor industri baik industri skala kecil maupun industri skala besar. komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lain seperti kuat, ringan, tahan korosi, ekonomis dan sebagainya. Disini akan dilakukan penelitian menggunakan metode laminating untuk pembuatan plat konduktor polimer dan sebagai pengikatnya resin epoxy. Secara khusus tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat membuat komposit dari bahan kain serat karbon, kertas karbon dan resin epoxy sebagai pengikat agar menjadi bahan komposit yang bernilai lebih alternatif, dan mendapatkan lapisan yang terbaik dalam pembuatan komposit laminating. Yaitu kain serat karbon, kertas karbon dan resin epoxy sebagai pengikat untuk mendapatkan nilai optimum dari uji konduktivitas listrik, uji bending dan pengamatan mikrostruktur dari lapisan kain serat karbon, kertas karbon dan resin epoxy. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan meliputi uji konduktivitas listrik, uji bending, dan pengamatan mikrostruktur dari setiap sampelnya, Plat komposit dengan varian suhu dalam penekanan lapisan yaitu 110°C dan 120°C. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa nilai konduktivitas listrik yang tinggi pada sampel pertama(1) dengan varian suhu 110°C dengan nilai $0.436 \Omega.S^{-1}$ dan sampel yang memiliki nilai kekuatan bending tertinggi itu didapatkan pada sampel pertama karna memiliki nilai $18.29 N/mm^2$.

Kata kunci : Kain serat karbon, Kertas karbon, Resin Epoxy

MANUFACTURE OF POLYMER CONDUCTOR COMPOSITE PLATE USING LAMINATING METHOD

Student Name : Rahmad Eko Syaputra
NPM : 143310358
Department : Mechanical Engineering Study Program
Supervisor : Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc

Abstract

The use and utilization of composite materials is currently growing, along with the increasing use of these materials, which are increasingly widespread, ranging from simple ones such as household appliances to the industrial sector, both small-scale and large-scale industries. Composites have their own advantages compared to other alternative engineering materials such as strength, light weight, corrosion resistance, economical and so on. Here will be conducted research using the laminating method for the manufacture of polymer conductor plates and as a binder of epoxy resin. In particular, the purpose of this research is to be able to make composites from carbon fiber cloth, carbon paper and epoxy resin as a binder to become a composite material that has more alternative value, and to get the best layer in the manufacture of laminated composites. Namely carbon fiber cloth, carbon paper and epoxy resin as a binder to get the value optimum from the electrical conductivity test, bending test and microstructural observations of the layers of carbon fiber cloth, carbon paper and epoxy resin. In this study, the tests were carried out including electrical conductivity tests, bending tests, and microstructural observations of each sample, composite plate with temperature variants in layer compression, namely 110°C and 120°C. From the results of this study, it was found that the high electrical conductivity value in the first sample (1) with a temperature variant of 110°C with a value of $0.436 \Omega.S^{-1}$ and the sample that had the highest bending strength value was obtained in the first sample because it had a value of $18.29 N/mm^2$.

Keywords : Carbon fiber cloth, Carbon paper, Epoxy Resin

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana yang berjudul **“PEMBUATAN PLAT KOMPOSIT KONDUKTOR POLIMER MENGGUNAKAN METODE LAMINATING”** 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 tugas sarjana ini.
6. Dosen- Dosen pengajar Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Rekan-rekan seperjuangan, serta karib kerabat yang banyak memberi dorongan motivasi dan membantu dalam menyelesaikan tugas sarjana ini.

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

Wassalamu'alaikum Wr Wb

Pekanbaru, 1 Desember 2021



(Penulis)

Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. <i>Fuel Cell</i>	6
2.1.1. Komponen Utama Sel Bahan Bakar (<i>Fuel Cell</i>)	7
2.1.2. Macam-Macam Sel Bahan Bakar (<i>Fuel Cell</i>)	8
2.2. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)	10
2.3. Pelat Bipolar.....	14
2.3.1. Klasifikasi Pelat Bipolar	16
2.4. Metode Pembuatan Plat Konduktor Polimer (Bipolar Plat).....	20

2.5. Komposit	20
2.5.1. Jenis-Jenis Komposit Berdasarkan Penguat yang Digunakan	22
2.5.2. Klasifikasi Material Komposit Berdasarkan Komponen Struktural	24
2.6. Komposit Laminat Hibrid	28
2.7. Serat Karbon	29
2.7.1. Keunggulan Serat karbon	31
2.7.2. Kekurangan Serat karbon	32
2.8. Kertas Karbon	33
2.9. Carbon Black	34
2.10. Sifat Mekanik Komposit	36
2.10.1. Kekuatan Bending	36
2.10.2. Sifat Konduktivitas Listrik Komposit	37
2.10.3. Pengujian mikrostruktur	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1. Diagram Alir	42
3.2. Waktu Dan Tempat	44
3.3. Alat Dan Bahan	44
3.3.1. Alat	44
3.3.2. Bahan	48
3.4. Metode Pengujian	50
3.5. Pengolahan Data	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Pengamatan visual pelat komposit hasil laminating	51

4.2. Hasil pengujian konduktivitas listrik	53
4.3. Hasil pengujian kekuatan fleksural	55
4.4. Pengamatan struktur mikro	60
4.5. Perbandingan karakteristik plat komposit konduktor polimer dengan variasi suhu	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen inti susunan <i>fuel cell</i>	8
Gambar 2.2. Skema <i>polymer electrolyte membrane fuel cell</i>	12
Gambar 2.3. Pelat bipolar.....	15
Gambar 2.4. Pilihan material pelat bipolar pada PEM <i>fuel cell stack</i>	16
Gambar 2.5. <i>Fibrous Composite</i>	22
Gambar 2.6. Komposit laminat	23
Gambar 2.7. Komposit partikel.....	23
Gambar 2.8. <i>Continous fiber composite</i>	25
Gambar 2.9. <i>Woven fiber composite</i>	25
Gambar 2.10. <i>Chopped fiber composite</i>	25
Gambar 2.11. <i>Hybrid composite</i>	26
Gambar 2.12. <i>Particular composite</i>	26
Gambar 2.13. <i>Laminated composite</i>	27
Gambar 2.14. Serat karbon tenunan polos	30
Gambar 2.15. Dimensi spesimen uji bending ASTM D790	36
Gambar 2.16. Pengaruh penambahan karbon terhadap konduktivitas listrik	38
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 3.2. Penggaris	44
Gambar 3.3. gunting.....	45

Gambar 3.4. Stopwacth.....	45
Gambar 3.5. Resistivity meter di labor universitas islam riau	46
Gambar 3.6. Multitester digital	46
Gambar 3.7. Mesin pengujian bending di labor politeknik Kampar.....	47
Gambar 3.8. Alat Uji Mikrostruktur di labor universitas islam riau.....	48
Gambar 3.9. Kain karbon	48
Gambar 3.10. kertas karbon.....	49
Gambar 3.11. resin epoxy	49
Gambar 4.1 Pelat Bipolar yang Dihasilkan pada Temperatur 110°C.	51
Gambar 4.2 Pelat Bipolar yang Dihasilkan pada Temperatur 120°C.	52
Gambar 4.3 grafik pengujian konduktivitas listrik	55
Gambar 4.4 sebelum di uji bending pada temperatur 110°C.	56
Gambar 4.5 sesudah diuji bending pada temperatur 110°C.....	57
Gambar 4.6 sebelum pengujian bending pada temperatur 120°C.....	57
Gambar 4.7 sesudah pengujian bending pada temperatur 120°C	58
Gambar 4.8 grafik pengujian bending.....	59
Gambar 4.9 struktur mikro permukaan pada temperatur 110°C	60
Gambar 4.10 ketebalan lapisan pada temperatur 110°C	61
Gambar 4.11 struktur mikro permukaan pada temperatur 120°C	62

Gambar 4.12 ketebalan lapisan atas pada temperatur 120°C..... 62

Gambar 4.13 ketebalan lapisan bawah pada temperatur 120°C..... 63

Gambar 4.14 grafik perbandingan karakteristik..... 64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik dari jenis-jenis sel bahan bakar <i>fuel cell</i>	9
Tabel 2.2. Karakteristik teknis dari fuel cell yang berbeda.....	11
Tabel 2.3. Keuntungan dan kerugian penggunaan beberapa material sebagai pelat bipolar	18
Table 2.4. Target teknis Department of Energy (DOE), USA untuk karakteristik pelat bipoloar	19
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik.....	53
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Bending	58
Tabel 4.3 Perbandingan karakteristik plat komposit dengan variasi suhu	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan dan pemanfaatan material komposit sekarang ini semakin berkembang, seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan tersebut yang semakin meluas mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga sampai sektor industri baik industri skala kecil maupun industri skala besar. Komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lain seperti kuat, ringan, tahan korosi, ekonomis dan sebagainya. Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) merupakan salah satu jenis fuel cell yang saat ini dikembangkan. PEMFC sendiri. Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell (PEMFC) memiliki banyak kelebihan yaitu : membran yang digunakan tidak mudah menguap (volatil) karena padatan, elektrolit yang bersifat menolak keberadaan CO₂, kemungkinan terbentuk korosi rendah, masalah elektrolit rendah, beroperasi pada temperature rendah, tidak menggunakan waktu yang lama selama proses start-up dan pengisian, efisiensi tinggi. Disisi lain, Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell (PEMFC) memiliki kelemahan yaitu rendah akan toleransi adanya impuritas yang masuk kedalam Fuel cell, harga katalis yang masih tergolong mahal (U.S. Department of Energy, 2015). Salah satu komponen yang paling berpengaruh terhadap biaya produksi PEMFC adalah pelat bipolar (bipolar plates). 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 carbon. Saluran alir gas dicetak pada permukaan pelat sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Pada pelat bipolar konvensional berkontribusi ialah 80% volume, 70% berat, dan 60% biaya dari *fuel cell* (Hermanna, dkk. 2005). Oleh karena itu, diperlukan pelat bipolar yang tipis, tahan korosi dan ringan. Sehingga dapat mengurangi bobot, volume, dan ketahanan pada *fuel cell*. Banyak metode-metode pada pembuatan plat konduktor polimer seperti *stamping*, *compressing*, *injeksi molding*, dan *laminating*. Bahan yang digunakan dalam pembuatan plat konduktor polimer atau juga disebut dengan bipolar plat yaitu menggunakan bahan kain serat karbon serta kertas karbon dengan perekat resin bening epoxy dengan varian suhu untuk perekat yaitu 110°C, 120°C., dari beberapa metode diatas masih banyak kekurangan seperti menghasilkan plat konduktor polimer yang rendah konduktivitas, kelenturan, dan ketahanan terhadap korosi. Oleh karena itu dalam latar belakang diatas digunakan salah satu metode yaitu metode laminating yang mana untuk meningkatkan konduktivitas, kelenturan serta ketahanan terhadap korosi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan beberapa rumusan penelitian yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat plat konduktor komposit dengan metode laminating.
2. Bagaimana mendapatkan pengaruh metode laminating terhadap konduktivitas plat konduktor komposit.
3. Bagaimana mendapatkan pengaruh metode laminating terhadap kelenturan plat konduktor komposit.
4. Bagaimana pengaruh dari metode laminating terhadap bentuk struktur mikro

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk membuat plat konduktor komposit dengan metode laminating.
2. Mendapatkan pengaruh metode laminating terhadap konduktivitas plat konduktor komposit.
3. Mendapatkan pengaruh metode laminating terhadap kelenturan plat konduktor komposit.
4. Mendapatkan pengaruh metode laminating terhadap struktur mikro

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi apa itu plat komposit PEMFC dengan metode laminating.

2. Dapat mengetahui konduktivitas yang tinggi dengan metode laminating.
3. Dapat mengetahui kelenturan yang baik.
4. Dapat mengetahui bentuk dari struktur mikro

1.5 Batasan Masalah

Agar tugas akhir ini dapat mengarah pada tujuan serta menghindari terlalu kompleksnya permasalahan yang muncul maka diperlukan adanya batasan-batasan masalah yang sesuai dengan judul dari tugas akhir ini. Adapun batasan masalahnya yaitu, mencari sifat konduktivitas, kelenturan dan struktur mikronya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan ini bisa dijadikan proposal judul untuk tugas sarjana terbagi dalam lima bab secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian plat komposit PEMFC yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini memberikan informasi mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan dan prosedur penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN

Bab ini merupakan hasil dari apa yang sudah di teliti dan dibandingkan dengan hasil dari studi literatur.

BAB V Kesimpulan Dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Fuel Cell*

Fuel cell merupakan suatu perangkat berprinsip elektrokimia yang dapat mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik secara langsung yang memiliki efisiensi proses tinggi serta ramah terhadap lingkungan. Bahan bakar yang digunakan pada perangkat tersebut adalah hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dan hasil sampingan dari fuel cell ini hanya berupa air sebagai zat buang serta panas dari hasil reaksi. Pada prinsipnya, fuel cell hampir sama dengan baterai, dimana di dalam sistemnya terdapat dua buah elektroda yang dipisahkan oleh elektrolit. Namun, dalam fuel cell tidak memerlukan sistem pengisian ulang, seperti yang dilakukan pada teknologi baterai dimana energi akan dihasilkan apabila bahan bakar terus diberikan (Ling Du, 2008).

Fuel cell mempunyai beberapa kelebihan, yaitu memiliki efisiensi energi yang jauh lebih tinggi daripada sistem konversi energi konvensional dan performa yang dihasilkan juga lebih baik. Hasil sampingan dari sel ini hanya berupa bahan bakar yang teroksidasi, oleh karena itu sumber energi yang digunakan adalah hidrogen. Selain itu, sistem ini juga menggunakan sedikit komponen dan desain yang modular sehingga memudahkan dalam proses pemeliharannya. Kapasitas energi yang tinggi dengan ukuran sel yang lebih kecil dan tidak menimbulkan suara ketika beroperasi

sehingga banyak digunakan pada berbagai aplikasi, seperti alat – alat elektronik dan kendaraan (Hermann, dkk. 2005).

2.1.1 Komponen Utama Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

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

1. Anoda (fuel elctroda) adalah komponen yang berfungsi sebagai tempat bertemunya bahan bakar dengan elektrolit, sehingga anoda menjadi katalisator dalam reaksi reduksi bahan bakar serta mengalirkan elektron dari reaksi tersebut menuju rangkaian diluar sirkuit atau beban.
2. Katoda (oxigen electrode) merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk bertemunya oksigen dengan elektrolit, sehingga menjadi katalisator dalam reaksi oksidasi oksigen dan kemudian mengalirkan elektron dari rangkaian diluar kembali kedalam fuel cell dalam hal ini katoda yang akhirnya menghasilkan air dan panas.
3. Elektrolit yaitu bahan yang berbentuk cairan gas padat berfungsi untuk mengalirkan ion yang berasal dari bahan bakar di anoda menuju katoda, jika ada elektron yang mengalir melalui elektrolit maka akan terjadi konsleting (*short circuit*) sebagai tambahan agar praktis, peranan gas yang berfungsi sebagai pemisah biasanya disediakan sekaligus oleh sistem elektrolit. Gas yang ada biasanya di atur kapasitasnya dengan tekanan yang di sesuaikan,

4. Pelat bipolar berfungsi untuk Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran, mengalirkan 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 (Alexandre Blanc, 2013).
Komponen inti susunan *fuel cell* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini.



Gambar 2.1. Komponen Inti Susunan *Fuel Cell*

Sumber: Yuhua Wang.2006.

2.1.2 Macam - Macam Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

Pada sel bahan bakar *Fuel cell* yang dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu berdasarkan kombinasi tipe bahan bakar dan oksidan, tipe elektrolit yang

digunakan, temperatur operasi, dan lain-lain. Fuelcell berdasarkan jenis elektrolit penyusunnya dapat dibedakan menjadi :

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

Adapun perbandingan jenis-jenis fuel cell dapat dilihat perbedaannya dalam

Tabel berikut:

	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 ₂ O	Concentrated 100% phosphoric acid	Molten Carbonate retained in a ceramic matrix of LiAlO ₂	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 ⁺	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Prime cell components	Carbon-based	Carbon-based	Carbon-based	Graphite-based	Stainless steel	Ceramic
Catalyst	Platinum	Pt-Pt/Ru	Platinum	Platinum	Nickel	Perovskites
Primary fuel	H ₂	Methanol	H ₂	H ₂	H ₂ , CO, CH ₄	H ₂ , CO
Start-up time	Sec-min	Sec-min		Hours	Hours	Hours
Power density (kW/m ³)	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 enam jenis fuel cell yang ada, 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.

2.2. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

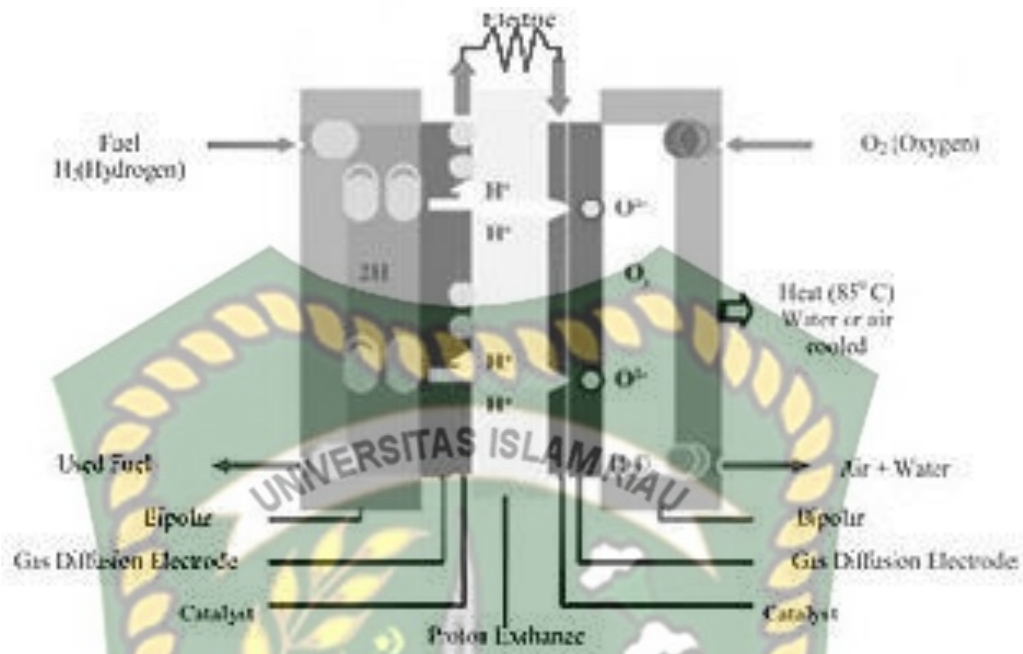
Jenis-jenis fuel cell dapat dibedakan berdasarkan jenis elektrolit yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.2. Berdasarkan tabel tersebut, fuel cell jenis Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) merupakan jenis fuel cell yang dapat beroperasi pada temperatur rendah (50-80°C) dan hanya membutuhkan hidrogen dengan kemurnian rendah. Selain itu kelebihan dari PEMFC yaitu juga memiliki densitas daya tinggi (high power density), relatif cepat dalam permulaan menghasilkan energi (quick start-up) serta respon yang cepat terhadap perubahan masukan.

Types	Electrolyte	Operating T (C)	Fuel
Alkaline (AFC)	Potassium hydroxide (KOH)	50–200	Pure hydrogen, or hydrazine
Direct methanol (DMFC)	Polymer	60–200	Liquid methanol
Phosphoric acid (PAFC)	Phosphoric acid	160–210	Hydrogen from hydrocarbons and alcohol
Sulphuric acid (SAFC)	Sulphuric acid	80–90	Alcohol or impure hydrogen
Proton-exchange membrane (PEMFC)	Polymer, proton exchange membrane	50–80	Less pure hydrogen from hydrocarbons or methanol
Molten carbonate (MCFC)	Molten salt such as nitrate, sulphate, carbonates...	630–650	Hydrogen, carbon monoxide, natural gas, propane, marine diesel
Solid oxide (SOFC)	Stabilised zirconia and doped perovskite	600–1000	Natural gas or propane
Solid polymer (SPFC)	Solid sulphonated polystyrene	90	Hydrogen

Tabel 2.2. Karakteristik Teknis dari Fuel Cell yang Berbeda

Sumber: Hermanna, dkk. 2005.

Perkembangannya sebagai perangkat sistem energi alternatif dan terbarukan untuk menggantikan sumber energi fosil, fabrikasi PEMFC terdapat beberapa kendala seperti biaya tinggi dalam fabrikasinya, serta ukuran volum dan berat yang besar. Satu perangkat PEMFC terdiri dari susunan pelat-pelat atau fuel cell stack. Satu *fuel cell stack* tersebut terdiri dari gabungan antara dua pelat penutup monopolar (katoda dan anoda) dan pelat-pelat bipolar yang mengalirkan fuel berupa hidrogen dan oksigen untuk dialirkan ke sisi lain pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada satu sisi pelat bipolar berperan sebagai tempat terjadinya reaksi anoda dan di sisi lain berperan sebagai tempat terjadinya reaksi katoda untuk sel berikutnya. Di antara pelat bipolar tersebut juga terdapat Polymer Electrolyte Membrane (PEM) yang dihubungkan oleh masing-masing pelat bipolar. Pada PEM tersebut terdapat Membrane Electrode Assembly (MEA) yang terdiri dari susunan antara proton exchange membrane, lapisan katalis anoda dan katoda, *Gas Diffusion Layer* (GDL), sealing gasket, serta katalis yang berbahan logam mulia atau platina yang dapat mempercepat reaksi reduksi dan oksidasi, dan sebagai pengalir proton yang dihasilkan dari reaksi oksidasi hidrogen untuk melewati katoda sehingga dapat bereaksi dengan molekul hasil reduksi oksigen membentuk H₂O atau air. Dalam satu individual sel dapat menghasilkan 0.7 V, sehingga gabungan-gabungan pelat bipolar tersebut diperlukan untuk menghasilkan daya yang lebih besar (Cunningham, Brent. 2007).



Gambar 2.2. Skema *polymer electrolyte membrane fuel cell*

Sumber: Reddy, Ramana G. 2006.

Berikut ini ialah keunggulan dari PEMFC secara terperinci ialah :

- a. PEMFC memiliki elektrolit padat yang memberikan ketahanan yang sangat baik terhadap gas.
- b. Temperature operasi dari PEMFC yang rendah memungkinkan waktu *start up* yang cepat.
- c. PEMFC sangat cocok digunakan terutama untuk situasi dimana hidrogen murni dapat digunakan sebagai bahan bakar.
- d. PEMFC mampu beroperasi pada kondisi tekanan hingga 20,68 MPa dan memiliki differensial tekanan hingga 3,45 MPa.
- e. Stack PEMFC mudah disusun sehingga mudah untuk digunakan dalam

berbagai aplikasi.

- f. Kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh PEMFC cukup bervariasi mulai dari 0,1 W – 100kW.
- g. PEMFC dapat beroperasi pada rapat arus yang sangat tinggi dibandingkan dengan jenis Fuel cell yang lainnya.

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

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

2.3. 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, *stainles 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 2.3. Pelat Bipolar

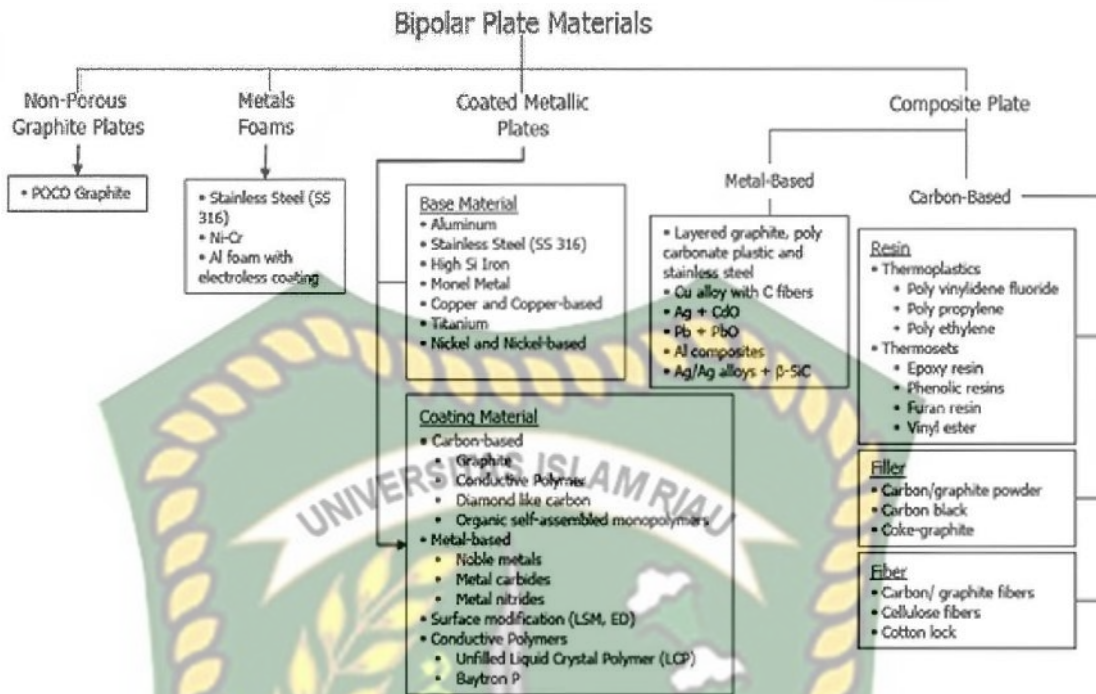
Sumber: Yean-Der Kuan. 2020.

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 massal,
6. Berat yang ringan,
7. Volume yang kecil,
8. Material yang dapat daur ulang

2.3.1. 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 2.4. Pilihan material pelat bipolar pada PEM *fuel cell stack*

Sumber: hermana, dkk. 2005.

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

Material	Keuntungan	Kerugian
Grafit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketahanan terhadap korosi yang sangat baik 2. Resisitivitas yang rendah 3. Resistansi kontak rendah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sifat mekanik yang buruk (getas) 2. Porositas 3. Volum dan berat besar 4. Biaya produksi Mahal
Komposit karbon karbon	<ol style="list-style-type: none"> 1. Densitas rendah 2. Ketahanan terhadap korosi baik 3. Resistansi kontak rendah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kekuatan mekanik rendah 2. Konduktivitas listrik rendah 3. Harga tinggi
Komposit karbon-polimer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya rendah 2. Ketahanan terhadap korosi cukupbaik 3. Bobotnya ringan 4. Tidak menggunakan proses permesinan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kekuatan mekanik rendah 2. Konduktivitas listrik rendah

Logam	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konduktivitas listrik baik 2. Konduktivitas panas baik 3. Biaya produksi cukup rendah 4. Memiliki sifat mekanik yang baik 5. Proses fabrikasi yang mudah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terjadi korosi pada membran yang menghasilkan oksida pada permukaan
--------------	---	--

Tabel 2.3. 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. serta 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
H2 permeation [cm ³ sec ⁻¹ cm ⁻²]	< 2.6 x 10 ⁻⁶	< 2.6 x 10 ⁻⁶	< 2.6 x 10 ⁻⁶
Corossion [μA/cm ²]	< 1 ^d	< 1 ^d	< 1 ^d
Electrical Conductivity [S/cm]	> 600	> 100	> 100
Resistivity [Ω.cm ²]	< 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 2.4. Target Teknis *Department of Energy* (DOE), USA untuk Karakteristik Pelat Bipolar.

Sumber : Yuhua Wang, 2005.

2.4. Metode pembuatan plat konduktor polimer (bipolar plat)

Ada beberapa macam dalam pembuatan bipolar plat (Strong, A. Brent. 2006).

1. Proses stamping

adalah proses pencetakan metal secara dingin dengan menggunakan dies dan mesin press umumnya plate yang dicetak, untuk menghasilkan produk sesuai dengan yang dikehendaki.

2. Proses *Compression* (penekanan),

Proses ini termasuk dalam operasi forming yang mana tekanan yang kuat diberikan pada sheet metal untuk menghasilkan tegangan kompresi yang tinggi pada plat untuk menghasilkan deformasi plastis.

3. Injeksi *molding*

adalah metode pembentukan material termoplastik di mana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh plunger ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air sehingga mengeras.

2.5. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari campuran atau kombinasi dua atau lebih material dimana sifat material tersebut berbeda bentuk dan komposisi kimia dari zat asalnya (Susanto, 2014). Umumnya, sifat komposit akan menjadi lebih baik ketika dilakukan penggabungan material (Nugroho, 2016). Komposit juga dapat dikatakan gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat dapat berbentuk serat, partikel,

serpihan atau dapat berbentuk yang lain (Efendi, 2016). Dalam struktur komposit, bahan komposit partikel tersusun dari partikel–partikel disebut bahan komposit partikel (*particulate composite*). Partikel ini berbentuk beberapa macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi rata–rata berdimensi sama. Bahan komposit partikel pada umumnya lebih lemah dibanding bahan komposit serat. Bahan komposit partikel mempunyai keunggulan, seperti ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya pengikat dengan matrik yang baik (Supiansyah, 2015). Bentuk (dimensi) dan struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit. Dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan tahan terhadap

keausan. Pada umumnya dalam proses pembuatannya melalui pencampuran yang homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan mengatur komposisi dari material pembentuknya (Efendi, 2016).

2.5.1. Jenis-Jenis Komposit Berdasarkan Penguat yang digunakan.

1. Komposit Serat (*Fiber Composites*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari fiber dalam matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit. Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit, Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5. *Fibrous Composite*.

Sumber: George H. Staab, 1999.

2. Komposit Laminat (*Laminated Composite*)

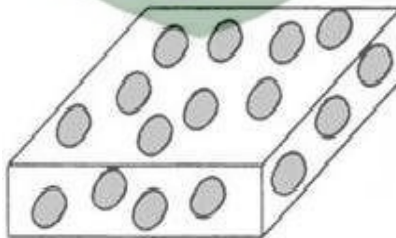
Komposit laminat adalah komposit yang terdiri dari sekurang-kurangnya dua lapis material yang berbeda dan digabung secara bersama-sama. Laminated composite dibentuk dari berbagai lapisan-lapisan dengan berbagai macam arah penyusunan serat yang ditentukan yang disebut laminat, seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.6. Komposit Laminat
Sumber: George H. Staab, 1999.

3. Komposit Partikel (*Partikulate Composite*)

Merupakan komposit yang terdiri dari satu atau lebih partikel / serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya, Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7. Komposit Partikel
Sumber: George H. Staab, 1999.

2.5.2. Klasifikasi material komposit berdasarkan komponen struktural.

Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam (Jones, 1975), yaitu:

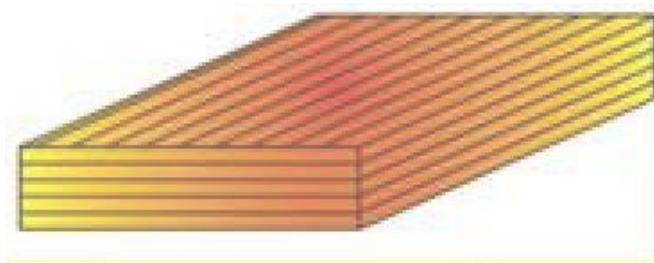
1. Komposit serat (*Fibrous Composites*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari fiber dalam matriks. Secara alami serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah (*bulk*). Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat / fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa *fibers glass*, carbon fibers, aramid fibers (*poly aramide*), dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi serta diameternya berukuran mendekati kristal. Serat juga mempunyai kekuatan dan kekakuan terhadap densitas yang besar (Jones, 1975).

Kebutuhan akan penempatan serat dan arah serat yang berbeda menjadikan komposit diperkuat serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

- 1) *Continous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue)

Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

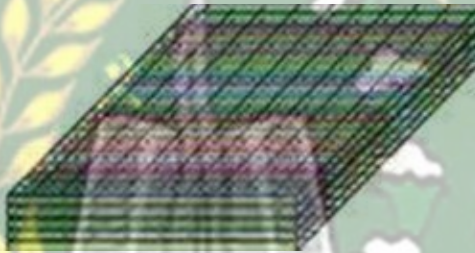


Gambar 2.8. *Continous fiber composite*

Sumber: Gibson, 1994.

- 2) *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman).

Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

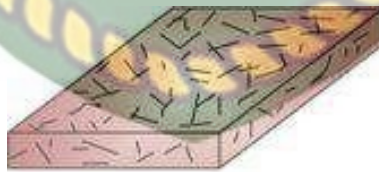


Gambar 2.9. *Woven fiber composite*

Sumber: Gibson, 1994.

- 3) *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak).

Seperti pada gambar dibawah ini.

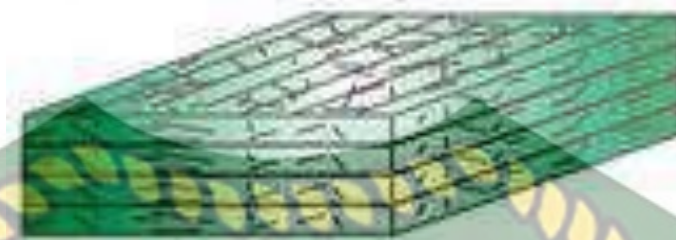


Gambar 2.10. *Chopped fiber composite*

Sumber: Gibson, 1994.

4) *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).

Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.11. *Hybrid composite*

Sumber: Gibson, 1994.

2. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya, Yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.12. *Particulate Composite*

Sumber: Jones, 1975.

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hamper sama, yang kerap disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang dibenamkan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula

polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat (Jones, 1975).

3. Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

Merupakan jenis komposit terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri, seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.13. *Laminated Composit*

Sumber: Jones, 1999.

Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks.

Bentuk nyata dari komposit lamina adalah:(Jones, 1999)

1. Bimetal

Bimetal adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda. Bimetal akan melengkung seiring dengan berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok

untuk alat ukur suhu.

2. Pelapisan logam

Pelapisan logam yang satu dengan yang lain dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

3. Kaca yang dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam. Kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca

4. Komposit lapis serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat

2.6. Komposit laminat hibrid

Komposit laminat ialah komposit yang terdiri dari lembaran-lembaran(lamina) atau panel-panel 2 dimensi yang membentuk elemen struktur secara integral lamina biasanya berkaitan dengan penyusunan struktural secara unidirectional serat dalam matrik. perubahan penyusunan struktur menjadi sangat penting karena serat berfungsi sebagai agen pembawa beban sedangkan matrik berfungsi mendukung dan melindungi serat serta mentranfer beban antara serat yang rusak. Komposit laminasi terbentuk dari lapisan-lapisan yang bervariasi. Komposit laminat hibrid ada komposit laminasi yang membentuk komposit lapis tunggal, komposit laminat hibrid ini dibuat dengan penambahan 2 jenis penguat yang berbeda. Penguat yang digunakan dapat berupa partikulat, whisker maupun serat. Penguat komposit hibrid di kontribusi oleh

penguatan dua jenis penguat yang berbeda maupun penyusunan strukturalnya, sifat yang dikembangkan dari material komposit laminat dibandingkan material pembentuknya adalah kekuatan, kekakuan, berat, ketahanan fatik, ketahanan aus, kemampuan isolasi panas, konduktivitas, ketahanan korosi, dll. (widyastuti, FT UI. 2009).

2.7. Serat karbon

Serat karbon adalah salah satu dari berbagai bentuk material komposit. Artinya, serat karbon dibuat dari dua material penyusun atau lebih yang punya sifat kimia dan fisik yang berbeda. Dan ketika bahan-bahan penyusun tersebut dikombinasikan, material yang dihasilkan akan memiliki karakteristik yang sepenuhnya berbanding terbalik dari material yang membentuknya.

Dalam proses pembuatan serat karbon, salah satu material penyusun yang digunakan adalah fiber karbon yang bekerja sebagai material penguat atau reinforcement. Sedangkan sifat material penyusun satunya disebut dengan istilah matriks, yang dalam proses pembuatan serat karbon biasanya adalah resin polimer seperti epoksi. Fungsi dari matriks resin adalah untuk mengikat material penguat. Dan karena serat karbon dibuat hanya dari dua jenis material tersebut, maka karakteristiknya pun ditentukan hanya oleh kedua jenis material itu



Gambar 2.14. serat karbon tenunan polos
Sumber: Yean-Der Kuan 2020.

Jenis material yang satu ini punya beberapa karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah alur atau arah serat karbon, yang membuat serat karbon maupun beragam jenis material komposit lainnya disebut pula dengan istilah material anisotropik. Artinya, arah dan bentuk serat penyusunnya sangat memengaruhi karakteristik material. Dan untuk serat karbon, keduanya memainkan peran utama dalam menentukan kekuatan material yang satu ini.

2.7.1. Keunggulan Serat Karbon

Ada beberapa alasan mengapa salah satu jenis material komposit yang satu ini unggul:

1. Bahannya ringan

Karena kepadatan serat karbon yang rendah, namun punya kekuatan yang sangat tinggi terhadap rasio berat, material ini pun jadi favorit dalam dunia otomotif, terutama dunia balap, karena sifatnya yang ringan.

2. Punya kekuatan tarik yang tinggi

Material yang satu ini akan berkontraksi atau mengembang jauh lebih sedikit dalam perubahan suhu apapun (dingin atau panas) jika dibandingkan dengan material lain, terutama logam seperti aluminium dan baja.

3. Daya tahan yang hebat

Karena sifat kelelahanya yang jauh mengungguli material logam, maka komponen yang terbuat dari material komposit yang satu ini tidak akan mudah aus bahkan ketika terus-menerus di bawah tekanan.

4. Tahan korosi

Selama serat karbon diproduksi dengan memanfaatkan resin yang cocok, material ini akan jadi salah satu jenis material yang paling tahan korosi.

5. Radiolucence

Maksudnya, serat karbon punya sifat transparan terhadap radiasi dan tidak bisa dilihat pada sinar X. Artinya, material ini pun dapat digunakan dalam pembuatan fasilitas maupun peralatan medis.

6. Penghantar listrik yang baik

Serat karbon merupakan salah satu konduktor listrik terbaik.

7. Tahan sinar UV

Dengan pemilihan resin yang sesuai dalam proses produksinya, serat karbon bisa menahan sinar UV dengan sangat baik.

2.7.2. Kekurangan Serat Karbon

1. Pecah ketika dikompres/ditekan

Apabila serat karbon dipaksa sampai melampaui batas kemampuan kekuatannya atau menerima tekanan tinggi, material ini rentan atau bahkan langsung pecah

2. Harga yang mahal

Dengan mempertimbangkan kualitasnya, maka efeknya berupa harga mobil menjadi lebih mahal dibanding mobil dengan material non serat karbon.

2.8. kertas karbon

Kertas karbon adalah kertas dengan lapisan tinta kering yang diikat dengan lilin di salah satu sisi. Digunakan untuk membuat salinan naskah hingga beberapa salinan sekaligus. Produsen kertas karbon dulunya merupakan konsumen montan wax terbesar. Kertas karbon diletakkan di antara dua lembar kertas kosong atau lebih. Ketika kertas paling atas ditulisi dengan menggunakan mesin ketik, kertas karbon yang berada di bawahnya juga ikut terkena tekanan dari pukulan logam yang meninggalkan jejak-jejak huruf pada naskah asli. Tekanan pada kertas karbon memindahkan tinta kertas karbon ke kertas yang berada di bawahnya sehingga kertas yang berada di bawah kertas karbon menjadi salinan dari naskah asli.

Pukulan logam pada mesin ketik meninggalkan bekas pada sisi kertas karbon yang berlapis tinta setelah tinta pindah ke kertas yang ada di bawahnya. Akibatnya, isi naskah yang pernah disalin bisa diketahui dengan melihat bekas jejak-jejak huruf pada sisi kertas karbon yang berlapis tinta. Informasi yang bersifat rahasia biasanya dilindungi dengan cara menghancurkan kertas karbon dengan mesin penghancur kertas. Fungsi kertas karbon sudah digantikan oleh mesin fotokopi walaupun masih saja ada orang yang menggunakan kertas karbon sewaktu mengetik. Struk kasir biasanya menggunakan kertas salinan tanpa karbon (carbonless copy paper) yang bagian bawahnya tidak berwarna hitam tetapi bisa menghasilkan salinan seperti kertas karbon. Kertas karbon juga masih banyak digunakan di bank, kantor pos dan berbagai jasa layanan public (Wikipedia/kertas karbon).

2.9. Carbon Black

Carbon black merupakan suatu partikel yang terbentuk dari karbon sebagai unsur penyusun utama, yang memiliki mikrostruktur hampir sama dengan grafit. Kebanyakan carbon black dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dari hidrokarbon seperti *coal tar*, *ethylene cracking tar*, dan sejumlah kecil dari minyak sayur. Biasanya, carbon black digunakan sebagai aditif yang dapat meningkatkan konduktivitas dari polimer. Carbon black adalah suatu bentuk karbon amorf yang memiliki rasio luas permukaan yang tinggi terhadap volum, namun lebih rendah dibandingkan dengan karbon aktif. Semua carbon black biasanya memiliki oksigen chemisorbed kompleks (karboksilat, quinonic, lactonic, kelompok fenolik dan lain-lain) pada permukaannya, tergantung proses manufaktur.

Fungsi dari *carbon black* ditentukan dari campuran antara kimia karbon, energi permukaan, dan partikel. Umumnya, sifat carbon black berhubungan dengan proses pelarutan yang bergantung pada ukuran dan struktur partikel.

a. Ukuran Partikel / Luas permukaan

Ukuran dari partikel dan luas permukaan akan menentukan sifat yang dihasilkan dari carbon black. Ukuran partikel yang kecil akan memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga akan lebih mudah untuk dibasahi dan dapat dengan mudah larut ketika dicampur dengan material lain daripada carbon black yang memiliki ukuran yang besar. Selain itu, ukuran partikel yang kecil akan menghasilkan konduktivitas listrik yang tinggi.

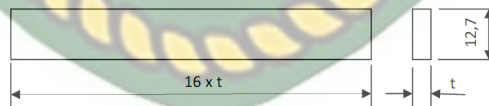
b. Struktur

Struktur *carbon black* yang besar akan lebih mudah terdispersi Dari pada struktur yang kecil. Struktur yang lebih besar menunjukkan bidang terpadat yang rendah, sehingga akan menyediakan ruang yang lebih besar bagi resin polimer ketika dicampurkan untuk mengisi bidang kosong dari karbon dan membentuk ikatan kimia yang baik. Struktur partikel yang lebih besar juga penting dalam pencapaian konduktivitas listrik yang tinggi. Carbon black dikarakterisasi berdasarkan jumlah partikel utama (*prime particle*) yang terkandung dalam aglomerat carbon black. Ketika mengandung lebih sedikit partikel utama, maka disebut *low-structure black*. Ketika carbon black memiliki *high-structure black* yang cenderung menghasilkan jarak antar agregat yang lebih kecil, maka akan menghasilkan konduktivitas listrik yang lebih besar dengan penambahan berat yang sama. Pada plat bipolar karbon komposit perlu dilakukan penambahan suatu material konduktif dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas dari pelat sehingga dapat menghantarkan listrik dalam fuel cell. Biasanya material tersebut adalah *carbon black* karena memiliki konduktivitas yang baik dan harga yang cukup rendah dibandingkan dengan carbon active pada sistem komposit, carbon black akan mengikat polimer dan membentuk jaringan antar karbon sehingga dengan mudah mengalirkan arus listrik dan mengurangi efek isolator dari polimer (Xiao Zi Yuan. 2005.).

2.10. Sifat Mekanik Komposit

2.10.1. kekuatan bending

Kekuatan Bending (*Flexural Strength*) Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material komposit tersebut. Pengujian bending mengacu pada standar ASTM D790 dengan kondisi pengujian statis. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah. Hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Berdasarkan standar pengujiannya yang digunakan yaitu ASTM D790 maka bentuk spesimen dan ukurannya dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.15. Dimensi Spesimen Uji Bending ASTM D790

Sumber: Gibson, 1994.

Kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut (Gibson,1994):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots \text{pers,(2.1.)}$$

Keterangan:

σ = tegangan/kekuatan lentur (MPa);

P = beban maksimum (MPa);

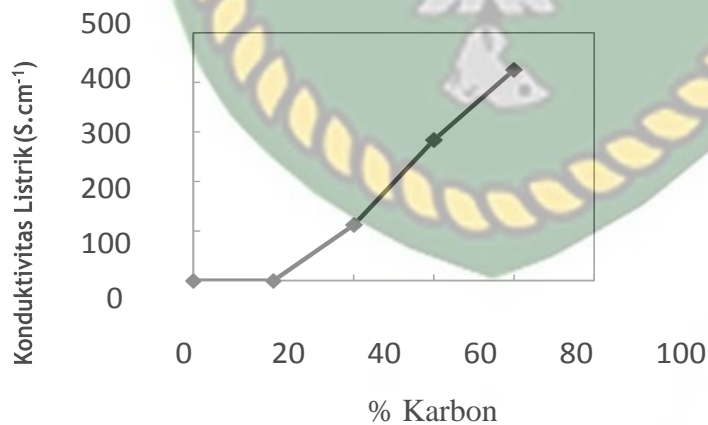
L = jarak antar *span* (mm);

b = lebar spesimen (mm);

d = Tebal (mm)

2.10.2. Sifat Konduktivitas Listrik Komposit

Fungsi utama dari pelat bipolar adalah menghubungkan anoda dari satu sel ke katoda sel yang lain, karena itu sifat konduktivitas listrik menjadi poin penting yang harus dimiliki oleh pelat bipolar.



Gambar.2.16. Pengaruh penambahan karbon terhadap Konduktivitas Listrik.

Gambar 2.16 menunjukkan pengaruh penambahan karbon terhadap konduktivitas listrik. Konduktivitas listrik bertambah seiring dengan bertambahnya karbon. Nilai tertinggi ditunjukkan pada komposit dengan 80% karbon senilai 424.8 S.cm-1. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Shen terhadap ketahanan elektrik dari komposit matriks polimer berserat karbon menunjukkan konduktivitas elektrik dari 0.001 sampai 20 ($\Omega.mm^{-1}$) atau 1 sampai 2000 ($S.cm^{-1}$) yang dipengaruhi oleh densitas dari komposit karbon. Nilai konduktivitas listrik bergantung pada fraksi berat serbuk, dan kandungan minimum dari serbuk karbon, dimana serbuk karbon tersebut membentuk jaringan kerja yang bersambung, yang menentukan komposit karbon menjadi konduktif secara elektrik. Faktor-faktor penentu adalah: konduktivitas dari serbuk, fraksi volume dan karakteristik serbuk, seperti: ukuran, bentuk, luas permukaan, distribusi dan orientasi dari serbuk pengisi. Konduktivitas listrik ditentukan pada kemungkinan kontak antar serbuk di dalam matriks polimer. Metode fabrikasi dan kondisi pembuatan komposit memainkan peranan penting dalam konduktivitas karena mempengaruhi penyebaran, orientasi dan jarak antar serbuk di dalam matriks polimer.

Perhitungan konduktivitas listrik sesuai dengan persamaan:

$$\rho = \frac{RA}{l} \dots \dots \dots \text{pers (2.2.)}$$

$$\Omega = \frac{1}{p} \dots \dots \dots \text{Pers (2.3.)}$$

ρ =merupakan perhitungan resistivitas

R =adalah tahanan listrik dalam Ω hasil pengukuran,

A= luas penampang dalam mm^2 hasil pengukuran,

l =panjang jarak arus mengalir dalam mm

Ω =merupakan konduktivitas listrik ($\Omega.S^{-1}$).

Pengukuran diawali secara kualitatif dengan cara menghubungkan sampel dengan aliran listrik yang dilengkapi dengan lampu pijar, ketika lampu pijar menyala maka hal ini menunjukkan sampel komposit tersebut mampu menghantarkan daya elektrik (TEKNIK POMITS. 2013).

2.10.3 Pengujian Mikrostruktur

Sifat fisik dan mekanik material tergantung pada struktur mikro material. struktur mikro dalam logam (paduan) ditunjukkan oleh ukuran, bentuk dan orientasi butir, jumlah fase, proporsi dan perilaku di mana mereka diatur atau didistribusikan. Struktur mikro paduan tergantung pada beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diterapkan. Pengujian mikrostruktur atau mikrografik dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien perbesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro yaitu:

- a. *Grinding* (Pengamplasan kasar). Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji yang dimaksudkan untuk menghilangkan goresan. *Grinding* dilakukan secara bertahap dari ukuran terkecil hingga terbesar.

b. *Polishing* (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilat, tidak boleh ada goresan. Pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan kain yang telah diolesi autosol. Untuk mendapatkan hasil yang baik, perlu memperhatikan hal-hal berikut:

Pemolesan: Dalam melakukan pemolesan sebaiknya dilakukan satu arah agar tidak tergores. Pemolesan ini menggunakan kain yang diolesi autosol dan dalam melakukan pembersihan harus bersih.

c. Pengambilan gambar

Ditujukan untuk mendapatkan gambar mikrostruktur spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop.(dody putra, 2021)



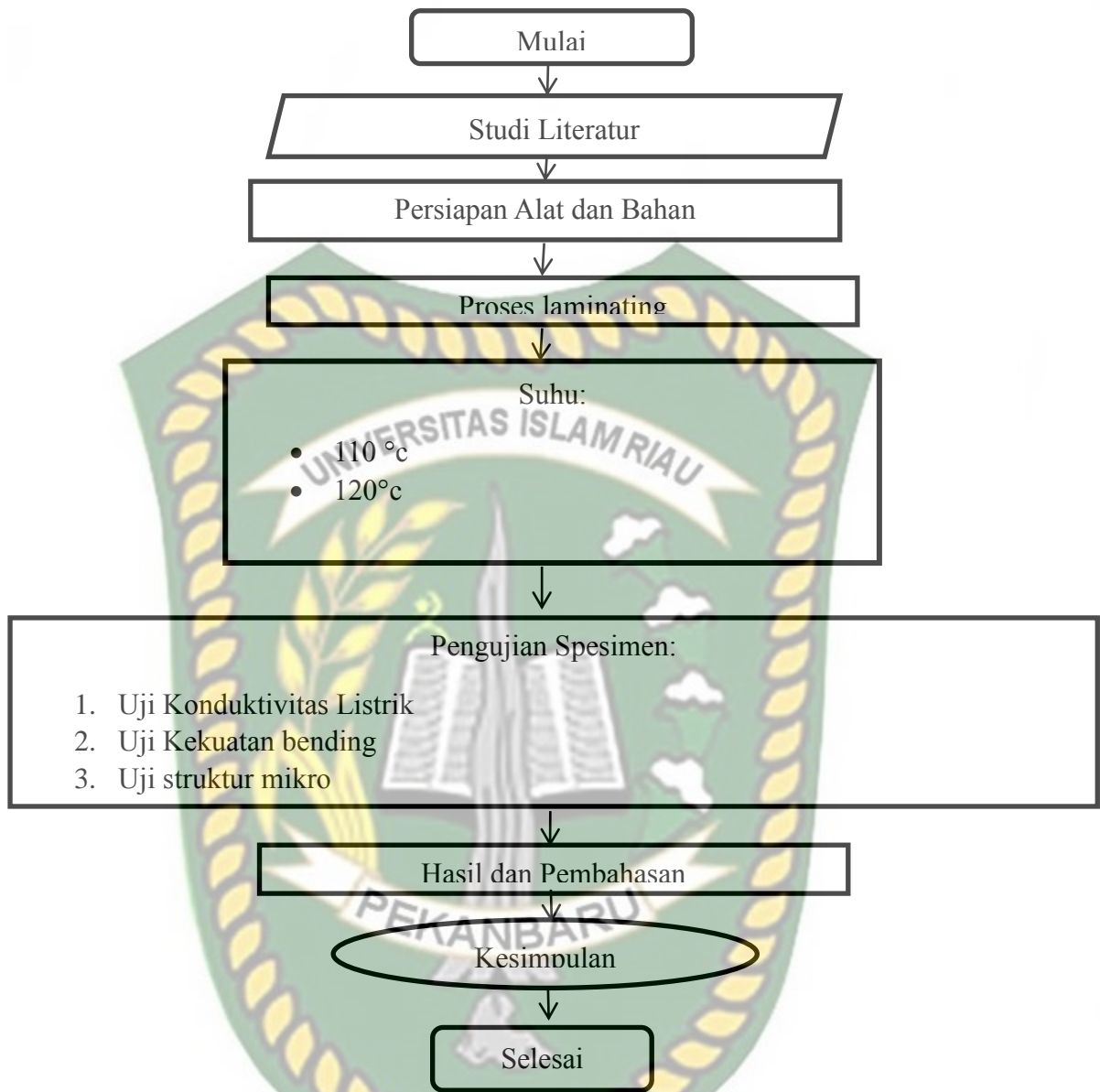
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir

Berikut ini adalah diagram alir yang menggambarkan secara umum kegiatan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh plat konduktor komposit, konduktivitas serta kelunturan plat konduktor komposit dengan metode laminating. Dapat digambarkan pada diagram alir dibawah ini





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Waktu Dan Tempat

Penelitian pembuatan plat komposit konduktor polimer menggunakan metode laminating dilakukan di Whorkshop Universitas Islam Riau dan Politeknik Kampar. penelitian dimulai dari jam 08:00 sampai jam 16:00 WIB.

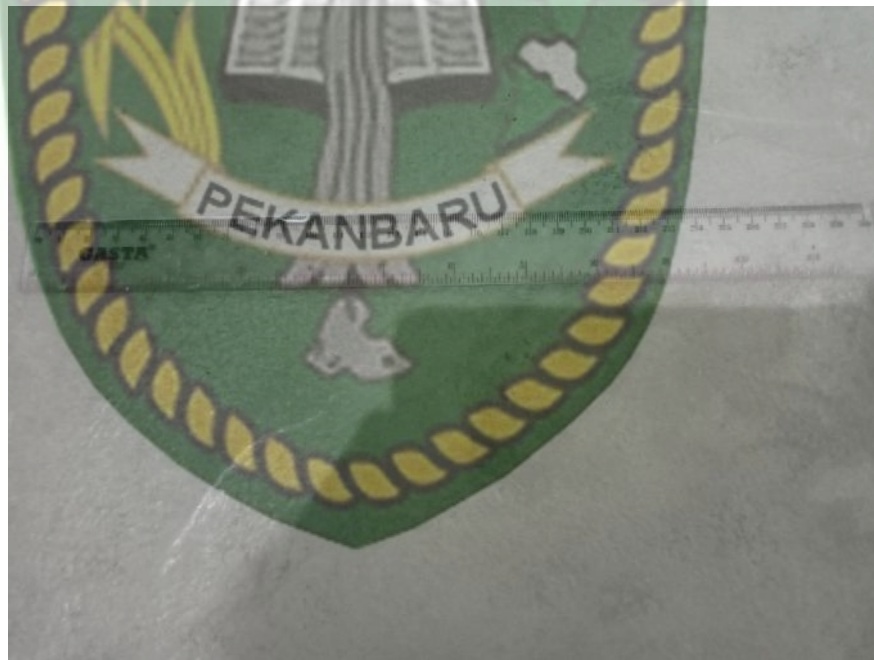
3.3. Alat Dan Bahan

3.3.1. Alat

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

1. Penggaris

Penggaris berfungsi untuk mengukur spesimen yang akan digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Penggaris

2. Gunting

Digunakan untuk memotong bahan penelitian sesuai yang sudah diukur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.3. gunting

3. Stopwath

Stopwath berfungsi untuk menghitung waktu yang dipakai dalam penelitian seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Stopwath

4. Alat ukur konduktivitas listrik

Berfungsi untuk mengukur kelistrikan pada pengujian dengan standar kelistrikan $> 100 \text{ S/cm}$, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.5. Resistivity meter di labor Universitas Islam Riau

5. Multitester digital

Berfungsi untuk mengukur dan mengetahui ukuran tegangan listrik listrik, resistansi, dan arus listrik. Seperti gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6. Multitester digital

6. Alat uji bending

berfungsi untuk mengukur kelenturan pada penelitian dengan DOE 2020 target >25 MPa, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.7. Mesin pengujian bending di labor Politeknik Kampar

7. Mikroskop

Mikroskop ini berfungsi untuk melihat mikrostruktur bagian terdalam dari komposit polimer, merek alat uji yang digunakan olympus seperti pada gambar 3.8 berikut :



Gambar 3.8. Alat Uji Mikrostruktur di labor Universitas Islam Riau

3.3.2. bahan

1. Kain serat karbon

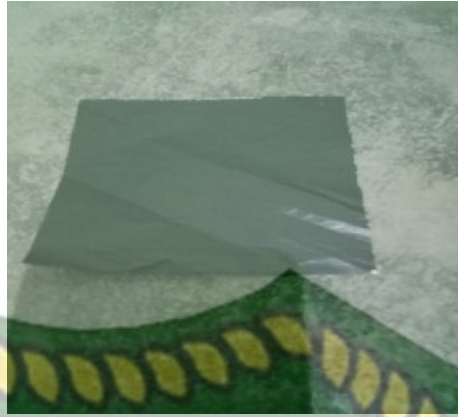
Dalam penelitian ini menggunakan bahan kain serat karbon, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.9. Kain serat karbon

2. Kertas karbon

Digunakan sebagai pelapis dengan kain serat karbon, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.10. kertas karbon

3. Resin epoxy

Digunakan sebagai perekat antara kain karbon dan kertas karbon dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.11. resin epoxy

3.4 Metode Pengujian

Adapun tahapan metode yang diuji sebagai berikut:

- a) Mempersiapkan kain serat karbon terlebih dahulu dengan ukuran 10 cm x 10 cm.
- b) Lalu lapiasi dengan metode laminating
- c) Setelah itu uji kelistrikan, bending dan juga struktur mikronya.

3.5 Pengolahan Data

Setelah dilakukan tahapan-tahapan penelitian diatas maka didapat parameter hasil pengujian pembuatan plat komposit menggunakan metode laminating.

1. Membuat plat konduktor komposit menggunakan metode laminating.
2. Konduktivitas listrik.
3. Kekuatan bending.
4. Struktur mikro

Dari semua parameter yang didapat dari hasil pengeujian langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan mensubstitusikan parameter tersebut kedalam persamaan- persamaan pada bab II.

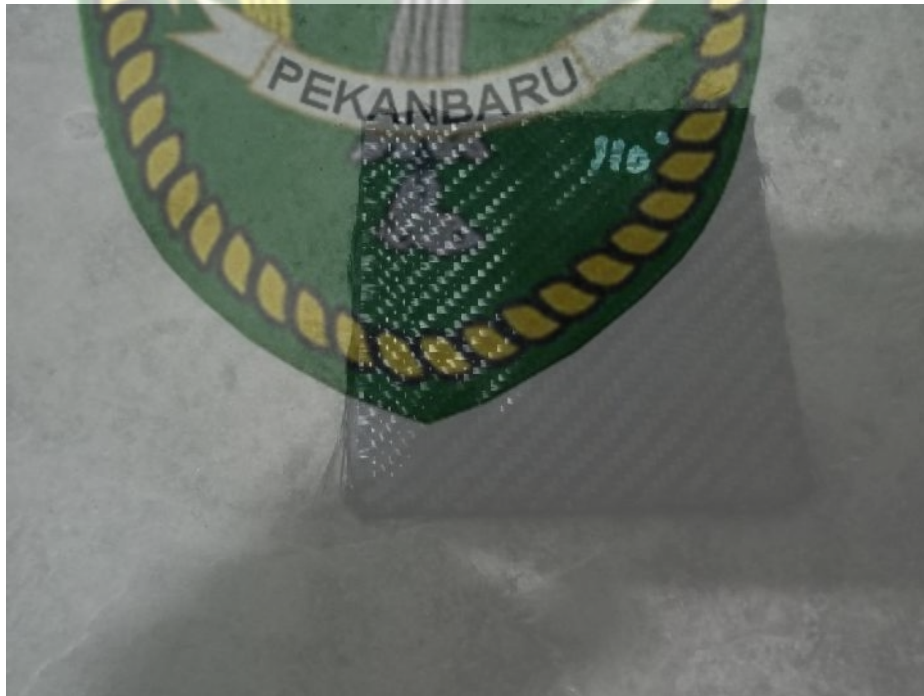
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengamatan Visual Pelat Komposit Hasil Laminating

Pada penelitian ini, dibuat pelat konduktor polimer dengan menggunakan material kain serat karbon dan kertas karbon dengan perbandingan 3:2 dan 6:4 serta resin epoksi dan *hardener* dengan perbandingan 1:1 dengan variasi temperatur *compression* sebesar 110 dan 120°C, dengan variabel proses lain yang sama untuk masing-masing pelat, Masing-masing pelat bipolar yang dihasilkan berukuran 10x10 cm, dengan

ketebalan pelat dalam kisaran 0,1-0,3 cm.



Gambar 4.1 Pelat Bipolar yang Dihasilkan pada Temperatur 110°C.



Gambar 4.2 Pelat Bipolar yang Dihasilkan pada Temperatur 120°C.

Seperti terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sampel pelat bipolar hasil laminating secara keseluruhan cenderung memiliki tekstur permukaan yang baik serta layak untuk digunakan sebagai sampel pengujian karakterisasi. Hal ini dikarenakan adanya proses pencampuran yang baik antara resin epoksi dan *hardener* pada pelapisan kain serat karbon dan kertas karbon. Setiap proses yang dilakukan, yaitu mulai dari pelapisan dengan perekat hingga proses pada mesin hot pres dilakukan berdasarkan metodologi yang telah ditentukan sebelumnya Apabila setiap proses pembuatan pelat bipolar tersebut dijalankan dengan sangat baik dan teliti, akan

didapatkan pelat yang mempunyai permukaan visual yang keras, tidak rapuh, serta minim cacat.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah ketebalan pelat yang dihasilkan. Ketebalan yang dihasilkan pada masing-masing pelat bervariasi, yaitu antara 0,1- 0,3 cm. Namun hal tersebut tidak berpengaruh secara signifikan pada karakteristik pelat yang dihasilkan jika dibandingkan satu sama lain, selama proses pelapisan berjalan dengan baik. Pengaruh yang ditimbulkan adalah ketidakseragaman karakteristik yang dihasilkan pada masing-masing pelat, sehingga nantinya pengambilan sampel akan menentukan baik tidaknya data pengujian yang didapatkan.

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 kedua sampel sebagai berikut :

No	Suhu (°C)	Resistivitas (Ω)	Voltage (V)	Ampere (A)	Konduktivitas listrik ($\Omega.S^{-1}$)
1	110	0.229	4	1.79	0.436
2	120	0.913	3.6	4.45	0.109

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

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

Specimen 1.

- $\rho = \frac{R \times A}{L}$
 $= \frac{0.229 \times 10^2}{10}$

$$= \frac{22.9}{10}$$

$$= 2.29$$

- $\Omega = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{2.29} = 0.436 \Omega \cdot S^{-1}$

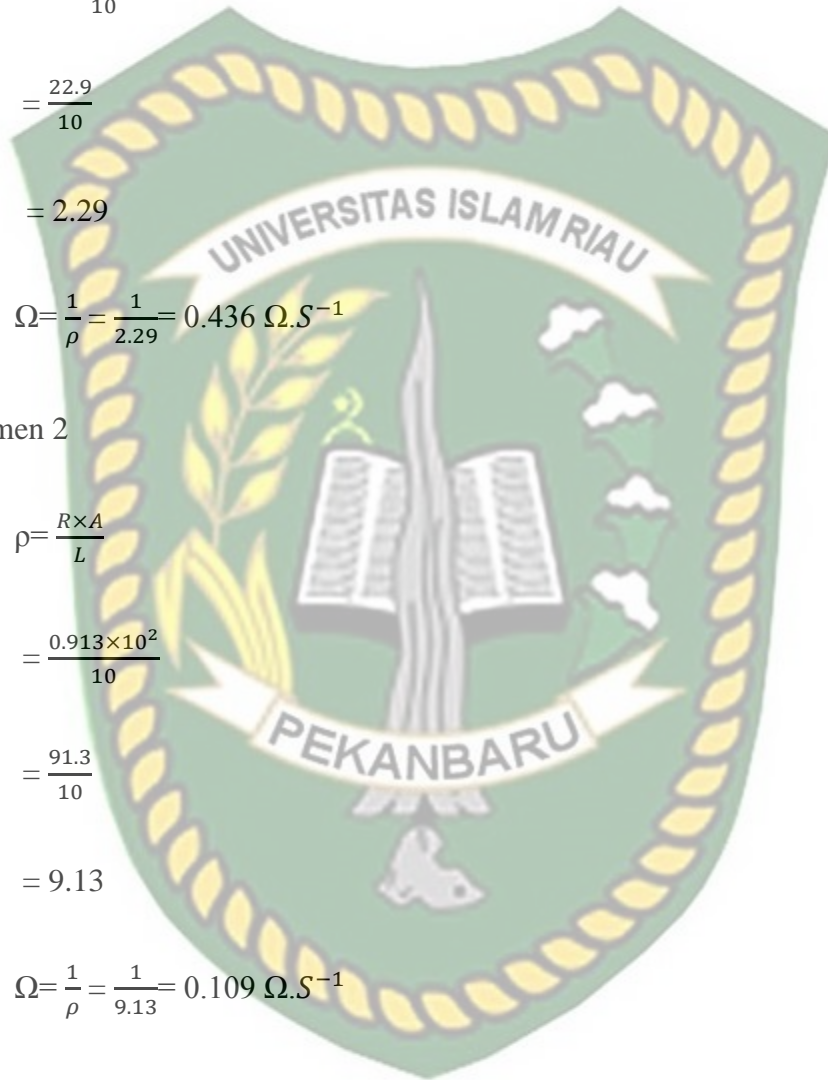
Specimen 2

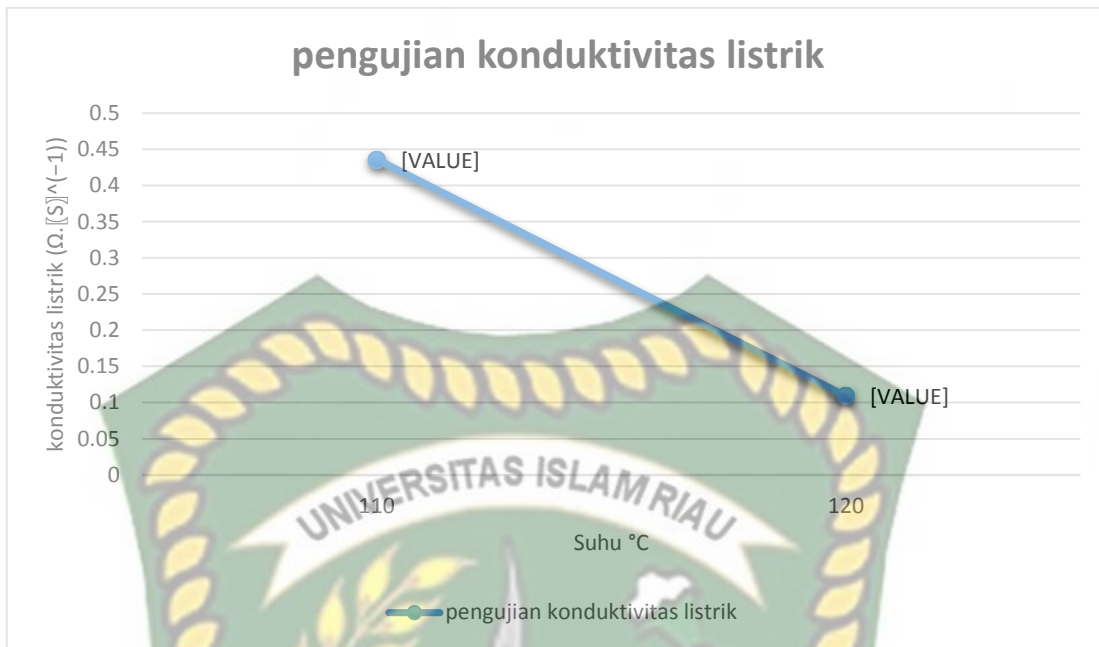
- $\rho = \frac{R \times A}{L}$
 $= \frac{0.913 \times 10^2}{10}$

$$= \frac{91.3}{10}$$

$$= 9.13$$

- $\Omega = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{9.13} = 0.109 \Omega \cdot S^{-1}$





Gambar 4.3 grafik pengujian konduktivitas listrik

Perhitungan nilai konduktivitas listrik ini didapat dari rumus persamaan untuk mengetahui seberapa besar arus yang dihasilkan dari perhitungan yang telah dilakukan menggunakan rumus perhitungan. Dan dapat disimpulkan dari gambar grafik 4.3 bahwa sampel yang memiliki nilai konduktivitas listrik yang paling baik dari beberapa pengujian tersebut yaitu pada sampel pertama (pada suhu 110°C), karna bentuk struktur dan ukuran kain serat karbon juga akan mempengaruhi sifat yang dihasilkan terutama konduktivitas listrik (Dinda putri amalia, 2011).

4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Fleksural

Persyaratan mengenai sifat mekanis yang baik mutlak diperlukan bagi setiap pelat konduktor polimer yang dihasilkan. Sesuai dengan persyaratan yang dikeluarkan

US DOE yaitu sebuah pelat bipolar harus memiliki kekuatan fleksural lebih besar dari 25 MPa. (Ling Du,2008. dan Lee, et al, 2006.)



Gambar 4.4 sebelum di uji bending pada temperatur 110°C.



Gambar 4.5 sesudah diuji bending pada temperatur 110°C



Gambar 4.6 sebelum pengujian bending pada temperatur 120°C

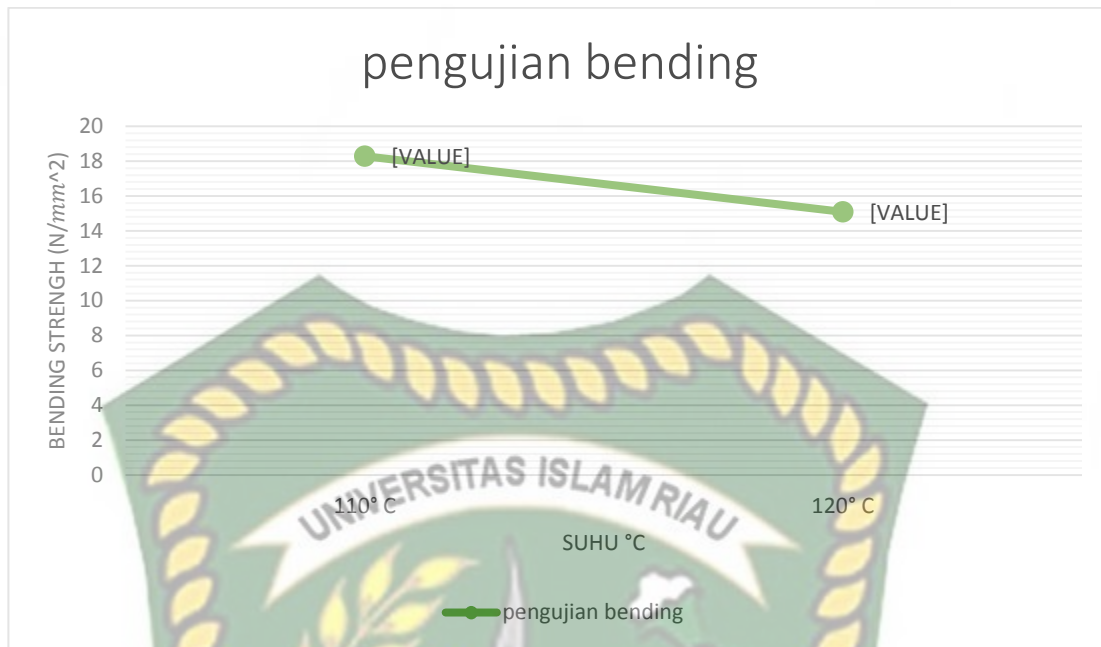


Gambar 4.7 sesudah pengujian bending pada temperatur 120°C

Pada penelitian ini Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian fleksural yang dilakukan di labor politeknik Kampar pada sampel yang dibuat dari masing-masing pelat yang dihasilkan.

Specimen	Area (mm^2)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm^2)	Yield Strength (N/mm^2)	Bending Strength (N/mm^2)	Elongation (%)
110° C	127.400	31.1	0.24	0.24	18.29	14.06
120° C	156.800	38.8	0.11	0.16	15.09	14.06

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Bending



Gambar 4.8 grafik pengujian bending

Pada Gambar 4.8, terlihat bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan pada pembuatan pelat bipolar akan menghasilkan peningkatan pada nilai kekuatan fleksural pelat konduktor polimer yang dihasilkan menurut (Dinda putri amalia, (2011). dimana ada beberapa factor yang mempengaruhi nilai kekuatan bending antara lain karena adhesi yang kurang baik menyebabkan terjadinya celah-celah mikro pada antar muka sehingga mudah terdeformasi dengan beban yang lebih rendah yang menyebabkan turunnya tingkat kekuatan bending pada pengaruh suhu dalam pengujian tersebut.

Dapat disimpulkan dari hasil pengujian tersebut pada sampel yang dibuat dari masing-masing pelat, maka nilai kekuatan fleksural terbaik dimiliki oleh sampel yang dihasilkan dengan menggunakan temperatur sebesar 110°C, dan yang

terendah terjadi pada sampel yang dihasilkan dengan menggunakan temperatur sebesar 120°C. Namun secara keseluruhan, nilai kekuatan fleksural yang dimiliki oleh masing-masing pelat yang dihasilkan masih di bawah target yang ditetapkan oleh US DOE (*Department of Energy*).

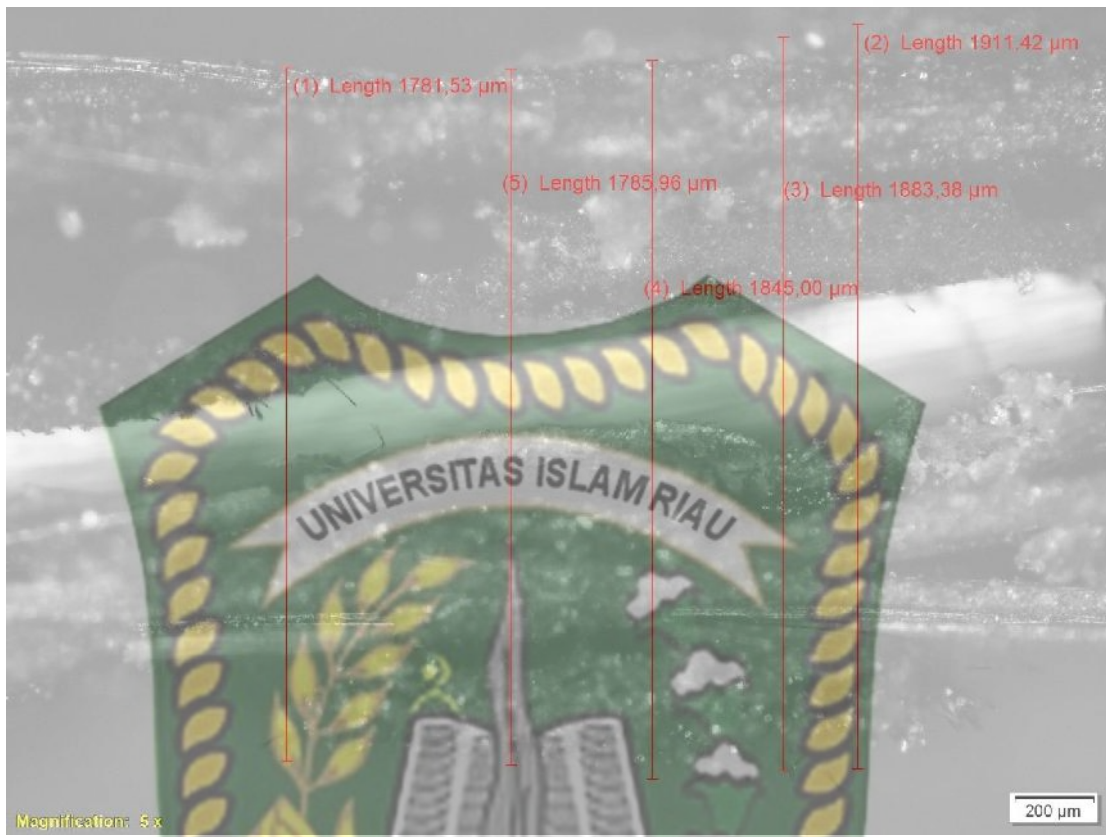
4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur makro pada spesimen ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro pada spesimen plat ini. Spesimen yang akan diuji adalah spesimen yang menggunakan variasi temperatur pada kain serat karbon, kertas karbon, dan resin epoxy.

1. Spesimen pada temperatur 110°C



Gambar 4.9 struktur mikro permukaan pada temperatur 110°C



Gambar 4.10 ketebalan lapisan pada temperatur 110°C

$$\begin{aligned}
 \text{Ketebalan rata-rata} &= \frac{\text{length 1} + \text{length 2} + \text{length 3} + \text{length 4} + \text{length 5}}{5} \\
 &= \frac{1781,53 + 1911,42 + 1883,38 + 1845 + 1785,96}{5} \\
 &= \frac{9207,29}{5} \\
 &= 1841,458 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

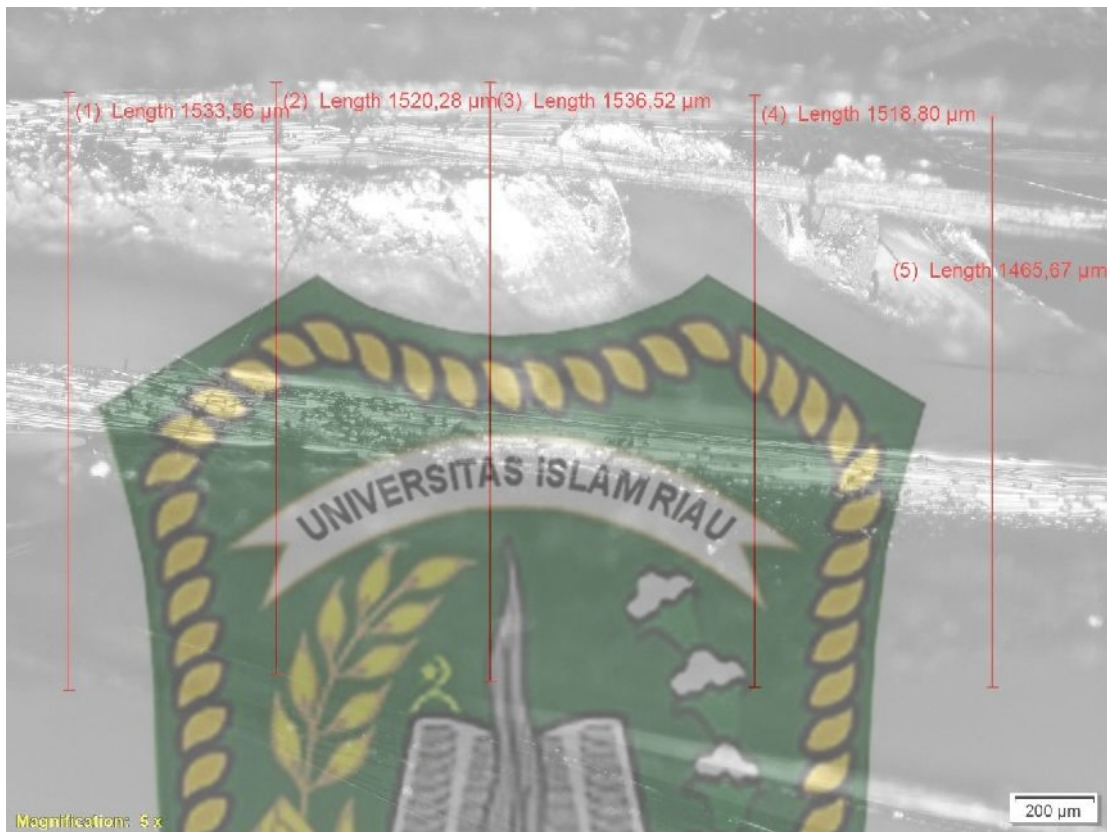
2. Spesimen pada temperatur 120°C



Gambar 4.11 struktur mikro permukaan pada temperatur 120°C



Gambar 4.12 ketebalan lapisan atas pada temperatur 120°C



Gambar 4.13 ketebalan lapisan bawah pada temperatur 120°C

$$\begin{aligned}
 \text{Ketebalan rata-rata} &= \frac{\text{ketebalan lapisan atas} + \text{ketebalan lapisan bawah}}{5} \\
 &= \frac{5688,96 + 7574,83}{5} \\
 &= \frac{13265,79}{5} \\
 &= 2651,758 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

4.5 Perbandingan Karakteristik Plat Komposit Konduktor Polimer Dengan Variasi Suhu

Suhu (°C)	Karakteristik plat komposit	
	Konduktivitas listrik ($\Omega.S^{-1}$)	Bending Strength (N/mm^2)
110	0.436	18.29
120	0.109	15.09

Tabel 4.3 Perbandingan karakteristik plat komposit dengan variasi suhu



Gambar 4.14 grafik perbandingan karakteristik

Berdasarkan karakteristik tersebut menunjukkan pengaruh suhu terhadap sifat plat komposit yang dihasilkan semakin tinggi suhu yang digunakan pada pembuatan

plat komposit dengan metode *laminating*, maka akan berpengaruh terhadap peningkatan dari nilai konduktivitas dan kekuatan bending dari plat komposit yang dihasilkan (Dinda putri amalia, 2011). Namun pada pengujian ini ada penyebab yang membuat nilai kekuatan bending menurun yaitu adanya celah-celah mikro pada antar muka sehingga mudah terdeformasi dengan beban yang lebih rendah akibatnya nilai kekuatan bending menurun.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Pada pengukuran konduktivitas listrik menggunakan alat uji konduktivitas listrik, di dapatkan bahwa sampel 1 dengan temperatur 110°C dapat menghantarkan arus listrik yang lebih besar dengan nilai $0.436 \Omega.S^{-1}$. Dibandingkan dengan temperatur 120°C.
2. Plat komposit yang dihasilkan dengan menggunakan temperatur sebesar 110°C memiliki performa terbaik dengan nilai kekuatan bending sebesar $18.29 N/mm^2$.
3. Dari hasil pengamatan mikro struktur menggunakan mikroskop optik olympus didapatkan bahwa susunan lapisan kain serat karbon, kertas karbon dan resin epoxy diketahui bahwa jarak serat yang berjarak dan juga terdapat komposisi plastis pada kain serat yang dapat menurunkan nilai konduktivitas dan bendingnya

5.2 SARAN

Adapun saran dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Agar melanjutkan penelitian ini kedepannya untuk bisa dibuat menjadi sebuah produksi teknologi yang berguna bagi masyarakat.
2. dan lebih bisa memanfaatkan waktu semaksimal mungkin agar terciptanya hasil yang berkualitas pada sampel pengujian dari kain serat karbon dan kertas karbon agar tercapainya hasil yang telah di standarkan.



DAFTAR PUSTAKA

- American Standards for Testing Materials International. ASTM D790–00 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. 2003.
- Ara Gradiniar Rizkyta dan Hosta Ardhyanta Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2013.
- *ASM Handbook Volume 21 Composite*. ASM Internasional.2001.
- Dinda Putri Amalia, “Pengaruh Temperatur *Compression Molding* Terhadap Karakteristik Pelat Bipolar PEMFC Komposit Grafit EAF/EPOKSI Dan 5% *Carbon Black*” [skripsi]. Depok, Universitas Indonesia, 2011.
- Dody Putra, “Pengaruh Komposisi Pencampuran Abu Batok Kelapa Dan Grafit Dengan Resin Epoxy Pada Pellet Konduktor Komposit Terhadap Konduktivitas Listrik, Mikro Struktur, Dan Kerapatan” [skripsi]. Universitas Islam Riau, 2021.
- Hermanna, Allen, Tapas Chaudhuria, and Priscila Spagnolb. *Bipolar plates for PEM Fuel Cells : A Review*. Golden National Renewable Energy Laboratory: University of Colorado. 2005.
- H.S. Lee, et al., ed. *Evaluation of Graphite Composite Bipolar Plate for PEM (Proton Exchange Membrane) Fuel Cell: Electrical, Mechanical, and Molding Properties*. South Korea, 2006.

- http://en.wikipedia.org/wiki/Kertas_karbon diakses pada 26 Juli 2021
- J. Fournier, G. Boiteux, G. Seytre, and G. Marichy, *Positive temperature coefficient effect in carbon black epoxy polymer composites*, Journal of Materials Science Letters, 16(20): 1677-1679 (1997).
- Ling Du. *Thesis : Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates In Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells*. 2008.
- Reddy, Ramana G. *Fuel Cell and Hydrogen Economy*. Tuscaloosa: University of Alabama, 2006.
- S, Basu, ed. *Recent Trends in Fuel Cell Science and Technology*. New Delhi: Anamaya Publisher, 2007
- Sopian, Kamaruzzaman, and Wan Ramli Wan Daud. *Challenges and Future Developments in Proton Exchange Membrane Fuel Cells*. Malaysia: Universiti Kebangsaan Malaysia, 2005.
- U.S. Department of Energy, "Fuel cells fact sheet," Fuel cells fact sheet, p. 2, 2015.
- Widayastuti, rekayasa proses (skripsi), FT UI, 2013.
- Yean-Der Kuan, Chuang-Wei Ciou, Min-Yuan Shen, Chong-Kai Wang, Raydha Zul Fitriani, Che-Yin Lee *Bipolar plate design and fabrication using graphite reinforced composite laminate for proton exchange membrane fuel cells*, DEPARTMENT of MECHANICAL Engineering, NATIONAL Chin-Yi University of Technology, TAICHUNG City, 411, TAIWAN, 2020.

- Yuhua Wang. *Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC)*. University of Waterloo, Canada.2006.
- Yuwono, A. Herman and Sumadi Agustinus. *Diktat Kuliah Teknologi Polimer*. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008.

