

**PENGARUH SUHU PROSES HOT PRESS PADA  
KOMPOSIT POLIPROPILEN/KARBON AKTIF TERHADAP  
KONDUKTIVITAS LISTRIK**  
**SKRIPSI**  
**OLEH**  
**WILLIAM FERIS HUTAPEA**  
**218130083**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MEDAN AREA**  
**MEDAN**  
**2025**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

-----  
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 4/2/26

-----  
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)4/2/26

## HALAMAN JUDUL

# PENGARUH SUHU PROSES HOT PRESS PADA KOMPOSIT POLIPROPILEN/KARBON AKTIF TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK

## SKRIPSI



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 4/2/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)4/2/26

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pengaruh Suhu Proses Hot Press Pada Komposit Polipropilen/Karbon Aktif Terhadap Konduktivitas Listrik  
Nama Mahasiswa : William Feris Hutapea  
NIM : 21.813.0083  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing



Tanggal Lulus: 12 September 2025

## HALAMAN PERNYATAAN

### HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, (12 September 2025)



William Feris Hutapea

218130083

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : William Feris Hutapea  
NPM : 218130083  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Pengaruh Suhu Proses Hot Press Pada Komposit Polipropilen/Karbom Aktif Terhadap Konduktivitas Listrik

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir/Skripsi/Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 2025  
Yang menyatakan



William Feris Hutapea  
218130083

## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh suhu proses *hot press* terhadap konduktivitas listrik dan sifat mekanik komposit berbahan dasar polipropilen (PP) dan karbon aktif (KA). Tiga komposisi digunakan (100% PP, 95% PP + 5% KA, dan 85% PP + 15% KA) dengan suhu pemrosesan 160°C, 180°C, dan 200°C pada tekanan 4 MPa selama 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel masih bersifat isolator, karena karbon aktif belum mencapai ambang pembentukan jalur konduktif. Analisis densitas menunjukkan adanya porositas yang tinggi, yang turut menghambat konduktivitas listrik. Namun, sifat mekanik, khususnya kekuatan lentur, meningkat signifikan dengan penambahan KA, mencapai 127,8 MPa pada komposisi 95% PP + 5% KA. Penambahan KA juga meningkatkan kekakuan namun menurunkan kelenturan material. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan kadar KA, suhu proses, serta penggunaan compatibilizer untuk memperbaiki konduktivitas dan struktur mikro komposit.

**Kata kunci :** Polipropilen, Karbon Aktif, *Hot Press*, Suhu, Konduktivitas Listrik

## ABSTRACT

*This research examines the effect of hot press processing temperature on the electrical conductivity and mechanical properties of composites made from polypropylene (PP) and activated carbon (AC). Three compositions were used (100% PP, 95% PP + 5% AC, and 85% PP + 15% AC) with processing temperatures of 160°C, 180°C, and 200°C at a pressure of 4 MPa for 15 minutes. Test results show that all samples remain insulating, as the activated carbon has not reached the threshold for forming conductive pathways. Density analysis indicates a high level of porosity, which also hampers electrical conductivity. However, mechanical properties, particularly flexural strength, significantly increased with the addition of AC, reaching 127.8 MPa for the 95% PP + 5% AC composition. The addition of AC also increased stiffness but reduced the flexibility of the material. This study recommends increasing the AC content, processing temperature, and the use of compatibilizers to improve the conductivity and microstructure of the composite.*

*Keywords:* Propylene, Activated Carbon, Hot Press, Temperature, Electrical Conductivity.

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama William Feris Hutapea dilahirkan di Pangkalan Susu, Kec. Pangkalan Susu Kab.Langkat , dari ayah Eris Miduk, S.T dan ibu Rismauli Sinur Sinaga, Skep.,Ners. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Tahun 2015 penulis menyelesaikan Pendidikan Dasar di SDN 050765 Gebang, tahun 2018 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Gebang, tahun 2021 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAS Dharma Patra Pangkalan Brandan jurusan IPA, pada tahun 2021 penulis melanjutkan Pendidikan sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin di Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Socfindo Bandar yang beralamat di Jl. Martebing, Kec.Dolok Masihul, Kab.Serdang Begadai, Sumatera Utara 20991 dan tamat di Universitas Medan Area tahun 2025.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadirat ALLAH SWT atas berkat limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Adapun judul yang dipilih penulis yaitu “pengaruh suhu proses hot press pada komposit polipropilen/karbon aktif terhadap konduktivitas listrik”. Skripsi ini adalah salah satu dari beberapa persyaratan untuk menyelesaikan Pendidikan dan memperoleh gelar sarjana pada program studi S1 Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Saya ucapkan terima kasih dan penghargaan kepada yang telah berjasa membantu penyelesaian studi dan penulisan Skripsi, yaitu:

- a. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.sc selaku Rektor Universitas Medan Area
- b. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
- c. Bapak Dr. Iswandi ST, MT selaku ketua prodi Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area
- d. Bapak Tino Hermanto ST, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area
- e. Bapak Dr. Eng, Rakhmad Arief Siregar, ST, MT, M.Eng selaku dosen penasehat akademik saya
- f. Bapak Dr. Iswandi ST, MT Selaku Dosen Pembimbing tugas akhir saya yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan, nasihat dan semangat kepada penulis sampai terlaksananya skripsi ini.

g. Kepada Cinta Pertama Penulis. Mama Rismauli Sinur sinaga, S.Kep., Ners.

Terima kasih atas segala kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tiada pernah henti. Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan terbesar dalam hidup penulis, yang terus mendorong untuk tidak menyerah, bahkan di saat segalanya terasa berat. Tanpa kehadiran dan cinta tulusmu, mungkin langkah ini takkan pernah sampai sejauh ini. Terimakasi sudah menjadi supermom yang dapat mengatasi segala rintangan dan situasi kehidupan dunia yang berat ini tanpa sosok suami di sebelah mama. Terimakasi sudah menjadi mamak yang teramat baik. Love u supermom, sehat dan bahagia selalu mama.

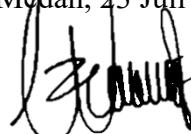
- h. Kakak dan adik tercinta, yang selalu hadir memberi doa, perhatian, dan motivasi. Kehadiran kalian adalah salah satu sumber kekuatan terbesar bagi penulis. Nasihat kakak yang penuh pengalaman serta semangat adik yang tulus telah menjadi pengingat berharga agar penulis tidak menyerah. Walaupun terkadang sederhana, dukungan kalian sungguh berarti dan menjadi alasan kuat bagi penulis untuk terus berjuang hingga menyelesaikan skripsi ini.
- i. penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada sahabat penulis, Vero (Ica) dan Haikal. Pertemanan kita terjalin tanpa sengaja melalui dunia online, sebuah pertemuan yang sederhana namun bermakna. Walaupun jarang bertemu secara langsung, bahkan sebagian besar hanya berinteraksi lewat ruang maya, tetapi kehadiran kalian sangat berarti. Kata-kata semangat, doa, dan dukungan yang kalian berikan menjadi penguatan ketika penulis berada di titik lemah.
- j. penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh teman-teman sekelas Teknik Mesin Universitas Medan Area angkatan 2021, yang telah menjadi bagian dari perjalanan studi ini sejak awal perkuliahan. Setiap diskusi di ruang kelas, kerja kelompok, tawa, serta perjuangan bersama dalam menghadapi tugas dan praktikum telah menjadi

kenangan berharga yang tidak akan terlupakan . Secara khusus, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Tides Swandi Simbolon dan Tomri Rajagukguk selaku rekan satu kelompok dalam pelaksanaan tugas akhir. Terima kasih atas kerja sama, kekompakan, dan semangat saling membantu selama proses penelitian dan penyusunan laporan ini.

- k. Last but not least, Terimakasi untuk diri sendiri William Feris Hutapea. Terima kasih karena selalu mau belajar, dan berusaha memberikan yang terbaik di setiap langkah serta tetap terbuka untuk hal hal baru yang sebelumnya mungkin terasa asing dan tidak mudah. Semua hal ini tidak akan pernah ada jika penulis di masa lalu tidak memberanikan diri untuk merantau tanpa didampingi orang tua, mencoba segala kesempatan yang datang dan tetap berjalan meski tidak selalu tahu ke mana arah pasti akan membawa. Kini, semua proses itu terbayar ketika karya tulis tugas akhir ini berhasil diselesaikan dengan baik. Ini bukan hanya tentang pencapaian akademik, tapi juga tentang bagaimana bertumbuh menjadi pribadi yang lebih kuat dan lebih dewasa. Pencapaian ini mungkin ditulis hari ini oleh diri penulis yang sekarang, namun kelak akan dibaca dengan rasa bangga oleh diri penulis di masa depan sebagai pengingat bahwa segala perjuangan ini layak diperjuangkan, dan telah melakukannya dengan baik.

Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapan terimakasih.

Medan, 23 Juli 2025



William Feris Hutapea

NPM.218130083

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.</b> Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Hipotesis Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Plat Dwikutub/ <i>Bipolar Plate</i> .....	5
2.2 Komponen <i>Fuel Cell</i> .....	6
2.2.1 Definisi Komposit.....	7
2.2.2 Klasifikasi Material Komposit.....	8
2.3 <i>Fuel Cell</i> .....	9
2.4 Polimer .....	11
2.4.1 Klasifikasi material polimer .....	12
2.5 Proses pengaruh Suhu terhadap konduktivitas listrik .....	12
2.6 Suhu .....	13
2.6.1 Persamaan, Rumus, dan Konversi Suhu.....	14
2.7 Uji Bending .....	15
2.7.1 Tegangan bending.....	15
2.7.2 Modulus Elastisitas.....	16
2.8 Konduktivitas Listrik .....	16
2.9 Densitas .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

X

Document Accepted 4/2/26

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
3.1.1 Tempat.....	20
3.2.2 Waktu.....	20
3.2 Bahan Dan Alat.....	21
3.3 Metode Penelitian .....	31
3.4 Populasi dan Sampel .....	32
3.5 Prosedur Penelitian .....	32
3.5.1 Langkah-langkah pembuatan sampel .....	33
3.5.2 Langkah-langkah pengujian .....	34
3.6 Diagram Alur Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Hasil Dan Pembahasan.....	42
4.1.1 pengaruh suhu proses <i>hot press</i> terhadap konduktivitas listrik pada komposit polipropilen/karbon aktif.....	42
4.1.2 Pengaruh Densitas Terhadap Konduktivitas Listrik.....	43
4.1.3 Pengujian Bending.....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Plat Dwikutub/Bipolar Plate	6
Gambar 2 2 Fuel cell	10
Gambar 2 3 Hasil Uji Bending	15
Gambar 2 4 Diagram hasil uji bending	16
Gambar 3 1 Biji Plastik Polipropilen	22
Gambar 3 2 Karbon Aktif	24
Gambar 3 3 Mesin Tekanan Panas Skala Laboratorium	26
Gambar 3 4 Laptop	29
Gambar 3 5 Timbangan Digital	30
Gambar 3 6 Alat uji kekonduksian elektrik arah satah kuar empat titik	35
Gambar 3 7 Sampel Pengujian	37
Gambar 3 8 Melakukan Pengujian Densitas	38
Gambar 3 9 Gambar diagram alir	41
Gambar 4 1 Grafik hubungan konduktivitas listrik dengan hambatan	42
Gambar 4 2 Uji Spesimen ASTM D730-1	43
Gambar 4 3 Spesimen Polipropilen	43
Gambar 4 4 Spesimen Polipropilen Campuran Karbon Aktif	44
Gambar 4 5 Grafik Pengujian 100% PP, 0% KA	45
Gambar 4 6 Grafik Pengujian 95% PP, 5% KA	46
Gambar 4 7 Grafik Pengujian 85% PP , 15% KA	48
Gambar 4 8 Spesimen Polipropilen 100%,KA 0% setelah pengujian bending	50
Gambar 4 9 Spesimen PP 95%,KA 5% setelah pengujian bending	50
Gambar 4 10 Spesimen PP 85%,KA 15% setelah pengujian bending	50
Gambar 4 11 Grafik Pengujian Tegangan Bending	53
Gambar 4 12 Grafik Pengujian Regangan Bending	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian	20
Tabel 3. 2 Tabel Spesifikasi Polipropilen	23
Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop	29
Tabel 3. 4 Data Komposisi sampel	32
Tabel 3. 5 Faktor pembetulan (F) bagi sampel dengan ketebalan (t)	37
Tabel 4. 1 Tegangan VS Regangan	52



## DAFTAR NOTASI

$\sigma_{max}$	=Konduktivitas listrik (S/cm atau S/m)
T	= Suhu proses <i>hot press</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )
I	=Arus listrik (A)
V	=Tegangan listrik (V)
S	=Jarak antar probe (mm)
F	=Faktor koreksi ketebalan sampel
T	=Tebal sampel (mm)
$\rho$ (rho)	=Densitas atau massa jenis ( $\text{g}/\text{cm}^3$ atau $\text{kg}/\text{m}^3$ )
m	=Massa benda (gram atau kilogram)
V (volume)	=Volume benda ( $\text{cm}^3$ atau $\text{m}^3$ )
$\sigma$ (tegangan bending)	=Tegangan lentur (MPa)
F (gaya)	=Gaya uji bending (N)
L	=Jarak antar tumpuan dalam uji bending (mm)
B	=Lebar spesimen uji bending (mm)
d	=Tebal spesimen uji bending (mm)
$\varepsilon$ (epsilon)	=Regangan (%)

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan polipropilen (PP) sebagai matriks polimer telah menarik perhatian peneliti Indonesia karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya produksi yang relatif ekonomis. PP memiliki stabilitas termal yang baik pada rentang suhu 160-220°C, menjadikannya kandidat ideal untuk matriks komposit.

#### Penelitian

Negara Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan karbon aktif sebagai bahan pengisi konduktif. Penelitian yang dilakukan oleh dalam Jurnal Teknologi Indonesia memperlihatkan bahwa karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa lokal mampu mencapai luas permukaan spesifik hingga 950 m<sup>2</sup>/g. Selain itu (Antunes et al., 2011) mencatat bahwa proses modifikasi permukaan karbon aktif dengan metode oksidasi dapat meningkatkan interaksi antarmuka dengan matriks PP hingga 75%.

Mengoptimalkan proses *hot press* merupakan faktor utama dalam meningkatkan kualitas komposit PP/karbon aktif. Jurnal Teknik Mesin ITB mengungkapkan bahwa suhu dalam proses *hot press* berperan penting dalam distribusi pengisi serta pembentukan jaringan konduktif. Sementara itu, penelitian oleh Wijaya dan Santoso (2024) dalam *Indonesian Journal of Physics* melaporkan bahwa konduktivitas listrik dapat meningkat hingga 85% ketika suhu pemrosesan mencapai kondisi optimal.

Namun demikian, Pratama dan Rahman (2023) dalam *Jurnal Material Indonesia* menekankan bahwa pemahaman mengenai mekanisme pembentukan jaringan konduktif dalam berbagai kondisi pemrosesan masih terbatas.(Iswandi et al., 2019), yang mengungkapkan adanya variasi signifikan dalam sifat konduktif komposit yang dihasilkan akibat perbedaan parameter proses.

Sejumlah penelitian di Indonesia telah berupaya mengoptimalkan parameter proses *hot press*, bahwa peningkatan suhu dari 160°C ke 190°C dapat meningkatkan konduktivitas listrik hingga 45%. Namun, Rahmat dan Susilo (2024) dalam *Indonesian Journal of Engineering* mencatat bahwa suhu melebihi 200°C berpotensi menyebabkan degradasi matriks PP, yang pada akhirnya menurunkan sifat mekanik komposit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian mengidentifikasi tiga masalah yang perlu diselidiki berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu *hot press* terhadap konduktivitas listrik komposit PP/karbon aktif?
2. Bagaimana mekanisme pembentukan jaringan konduktif dalam komposit PP/karbon aktif pada berbagai suhu pemrosesan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh suhu *hot press* terhadap konduktivitas listrik komposit PP/karbon aktif
2. Mengidentifikasi kondisi optimal pemrosesan untuk mencapai konduktivitas listrik yang diinginkan

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini , sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis:
  - Memberikan pemahaman mendalam tentang hubungan antara parameter proses *hot press* dan sifat konduktivitas listrik komposit
  - Mengembangkan pengetahuan tentang mekanisme pembentukan jaringan konduktif dalam sistem komposit PP/karbon aktif
  - Menyediakan data ilmiah yang dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan material komposit konduktif lainnya
2. Manfaat Praktis
  - Mengoptimalkan proses produksi komposit konduktif berbasis polipropilen
  - Membuka peluang pengembangan material alternatif untuk aplikasi elektronik dan sensor
  - Memberikan solusi untuk pembuatan material konduktif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan
  - Mendukung pengembangan industri material maju di Indonesia

## 1.5 Hipotesis Penelitian

Ada indikasi bahwa variasi dalam waktu tahan proses *hot press* secara signifikan mempengaruhi konduktivitas listrik dari komposit polipropilen/karbon aktif. Pengaruh tersebut dapat diidentifikasi melalui perubahan karakteristik material komposit yang diukur oleh perbedaan konduktivitas listrik dalam berbagai kondisi waktu tahan yang diterapkan



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

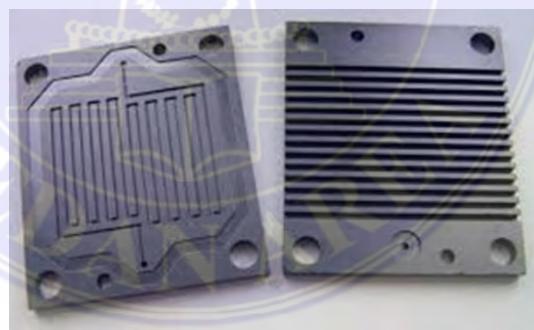
#### 2.1 Plat Dwikutub/*Bipolar Plate*

*Bipolar plate* juga berperan dalam mendistribusikan gas reaktan secara merata ke elektroda serta membantu dalam manajemen termal dengan mengalirkan panas yang dihasilkan selama operasi *fuel cell*. (Jurnal et al., 2025) Material yang digunakan harus memiliki keseimbangan antara konduktivitas listrik yang optimal, ketahanan korosi, serta kekuatan mekanis agar *fuel cell* dapat beroperasi secara efisien dan tahan lama. Dengan inovasi material seperti komposit polimer-konduktif atau logam tahan korosi, performa dan durabilitas *bipolar plate* terus ditingkatkan untuk mendukung pengembangan teknologi energi bersih yang lebih efisien.(Iswandi et al., 2019). Menurut Iswandi & Sulong, material *graphite/polypropylene* sering digunakan dalam pembuatan *bipolar plate* karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, bobot yang ringan, serta dapat diproses pada suhu relatif rendah. Komposisi material ini berperan penting dalam menentukan kinerja akhir dari *bipolar plate*, termasuk dalam hal ketahanan mekanis, konduktivitas termal, dan ketahanan korosi.(Iswandi et al., 2019) Oleh karena itu, optimasi formulasi material *graphite/polypropylene* terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan *fuel cell* dalam berbagai aplikasi energi bersih.

Selain berperan sebagai penghantar arus listrik, *bipolar plate* juga memiliki fungsi dalam menyebarkan gas reaktan secara merata ke seluruh elektrode. Distribusi yang merata ini sangat penting untuk memastikan reaksi elektrokimia berjalan optimal di seluruh elektrode, sehingga meningkatkan efisiensi sel bahan

bakar. Selain itu, *bipolar plate* juga berperan sebagai media pendingin yang menghilangkan panas yang dihasilkan dari reaksi di dalam sel bahan bakar. Oleh karena itu, karakteristik termal dari material yang digunakan dalam *bipolar plate* harus diperhatikan dengan cermat. Komposisi material dan desain fisik dari *bipolar plate* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tahanan listrik dan masa pakainya (Iswandi et al., 2025).

Material dengan komposisi yang tepat akan mengurangi tahanan listrik, sehingga meningkatkan efisiensi transmisi arus. Selain itu, desain yang menggabungkan struktur fisik yang kuat dan ringan dapat membantu mengurangi berat total dari rangkaian sel bahan bakar, yang merupakan faktor krusial dalam aplikasi transportasi. Oleh karena itu, terus dilakukan inovasi dalam material dan teknologi manufaktur *bipolar plate* untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi ekonomisnya.



Gambar 2 1 Plat Dwikutub/*Bipolar Plate*

## 2.2 Komponen Fuel Cell

Material komposit partikel, atau *particulate composite*, terdiri dari dua atau lebih fase yang tersebar secara acak atau teratur dalam bentuk partikel. Partikel ini menjadi komponen utama dalam komposit, yang biasanya terputus-putus dan

tersebar dalam matriks yang kontinu. Istilah ini sering digunakan untuk menggambarkan komposit yang memanfaatkan partikel pengisi untuk memperkuat material dasar, meningkatkan sifat mekanik, atau memberikan karakteristik khusus (Andri Setiawan et al., 2017). Potensi komposit partikel terletak pada peningkatan kinerja material, terutama dalam hal kekuatan, kekerasan, dan stabilitas termal.

Sebagai terobosan dalam bidang rekayasa material, komposit partikel memberikan fleksibilitas dalam pemilihan material sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Keterkaitan antara partikel yang terputus dan matriks yang kontinu sangat krusial dalam menentukan sifat material yang dihasilkan. Interaksi antara partikel dan matriks berdampak pada sifat mekanik, stabilitas termal, dan ketahanan material (Hasan, 2007). Oleh karena itu, dalam memilih material dasar dan bahan pengisi untuk komposit partikel, perlu dipertimbangkan kesesuaian kimia dan fisik antara komponen-komponen tersebut.

### 2.2.1 Definisi Komposit

#### 1. Tingkat dasar

Ketika suatu materi terdiri dari dua atom atau lebih dalam satu struktur molekul tunggal dan susunan kristal, maka materi tersebut dapat dikategorikan sebagai komposit, seperti senyawa, paduan, polimer, dan keramik.

#### 2. Mikrostruktur

Dalam bidang kristal, *phase*, dan senyawa, ketika suatu bahan terdiri dari dua atau senyawa atau lebih, maka bahan tersebut dapat diklasifikasikan sebagai komposit (sebagai contoh, campuran antara besi dan karbon).

### 3. Makrostruktur

Material komposit merupakan suatu substansi yang terbentuk dari penggabungan dua atau lebih elemen besar yang berbeda baik dalam bentuk maupun komposisi, dan tidak dapat bercampur satu sama lain. Definisi ini sering digunakan untuk menggambarkan material komposit secara umum.

#### 2.2.2 Klasifikasi Material Komposit

Material komposit terdiri dari komponen dan bahan penyusun yang dapat berupa unsur organik, anorganik, atau logam dalam bentuk serat, partikel serbuk, dan lapisan. Secara umum , komposit dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

##### 1. Komposit partikel (*particulate composite*)

Material komposit terdiri dari dua atau lebih fase yang tersebar secara acak atau teratur dalam bentuk partikel. Partikel ini merupakan bagian utama dalam komposit, yang biasanya terputus-putus dan tersebar dalam matriks yang kontinu. Istilah ini sering digunakan untuk menggambarkan komposit yang menggunakan partikel pengisi untuk memperkuat material dasar, meningkatkan sifat mekanik, atau memberikan karakteristik khusus.(Material & Energi, 2023) Komposit partikel memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja material, terutama dalam hal kekuatan, kekerasan, dan stabilitas termal.

##### 2. Komposit serat (*Fiber composite*)

Komposit serat adalah jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari fiber dan matriks sebagai pengikat. Umumnya, komposit terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat seperti serat gelas, serat karbon, serat aramid, dan sejenisnya. Serat ini dapat diatur secara acak atau dengan orientasi khusus, bahkan dalam bentuk

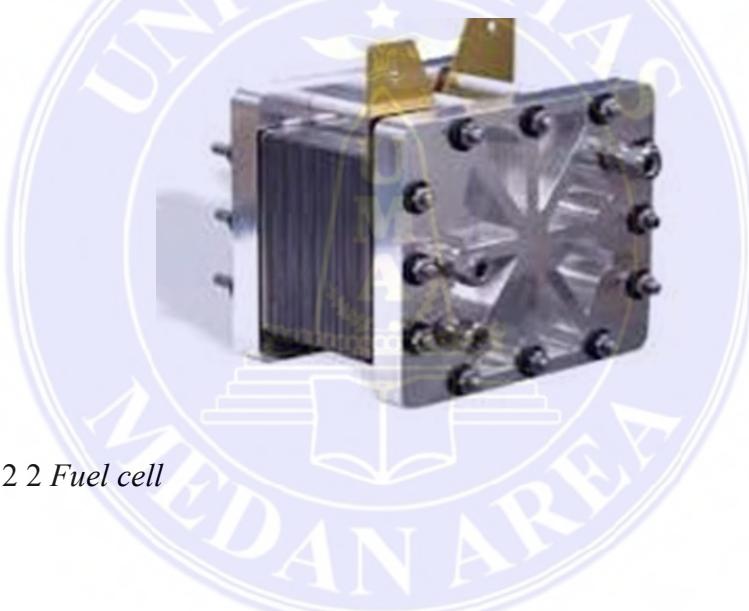
anyaman yang lebih kompleks (Talango, 2021). Tujuan utama dari peningkatan kekuatan adalah agar komponen penguat memiliki rasio aspek yang besar, di mana rasio panjang terhadap diameter harus tinggi untuk dapat ditransfer melalui titik di mana patahan mungkin terjadi.

Peran serat dalam bahan komposit adalah sebagai bahan utama yang menahan beban, sehingga kekuatan bahan komposit sangat bergantung pada kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan atau diameter serat yang mendekati kristal, semakin kuat bahan tersebut karena minimnya cacat pada material. Serat adalah jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang akan membentuk jaringan memanjang yang utuh.

### 2.3 Fuel Cell

*Fuel cell* adalah perangkat elektrokimia yang secara langsung mengonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi antara hidrogen dan oksigen, dengan air sebagai produk sampingannya. (Iswandi et al., 2025) Berbeda dengan pembangkit listrik konvensional yang bergantung pada proses pembakaran, *fuel cell* menawarkan efisiensi lebih tinggi dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya untuk terus menghasilkan listrik selama suplai bahan bakar dan oksigen tersedia, menjadikannya solusi menarik untuk energi bersih. Dengan komponen utama seperti anoda, katoda, dan elektrolit yang bekerja secara sinergis, *fuel cell* dapat diaplikasikan di berbagai bidang, mulai dari transportasi hingga penyediaan energi berskala besar. Meskipun teknologinya kompleks, desain *fuel cell* tetap relatif sederhana (Zarmawan et al., 2024)

Proses kerja *fuel cell* diawali dengan pemecahan hidrogen di anoda menjadi proton dan elektron melalui reaksi oksidasi. Anoda, bersama dengan komponen elektrokimia lainnya, berperan krusial dalam proses ini. Elektron yang dihasilkan mengalir melalui rangkaian eksternal menuju katoda, menghasilkan listrik yang dapat dimanfaatkan. Sementara itu, proton melewati elektrolit menuju katoda, di mana ia bereaksi dengan oksigen dan elektron untuk membentuk air. Efisiensi tinggi *fuel cell* dalam mengonversi energi bahan bakar terlihat dari mekanisme ini, berbeda dengan sistem konvensional yang cenderung mengalami kehilangan energi dalam bentuk panas dan emisi gas buang.



Gambar 2 2 *Fuel cell*

*Fuel cell* memiliki waktu respons yang cepat dan mampu menghasilkan daya secara konsisten, memberikan keunggulan dibandingkan teknologi energi alternatif lainnya. Selain hidrogen, *fuel cell* juga dapat memanfaatkan bahan bakar seperti metana atau metanol, sehingga meningkatkan fleksibilitas penggunaannya. Kemampuan ini tidak hanya memperluas potensi aplikasinya, tetapi juga memungkinkan adaptasi di berbagai sektor industri.(Antunes et al., 2011) Lebih dari sekadar inovasi teknologi, *fuel cell* menjadi solusi potensial dalam menghadapi

tantangan energi global, terutama dalam upaya mencari sumber energi yang bersih dan efisien.

Namun, penerapan *fuel cell* masih menghadapi tantangan teknis dan ekonomi yang perlu diatasi agar potensinya dapat dimaksimalkan. Salah satu kendala utama adalah biaya produksi dan operasional yang masih relatif tinggi dibandingkan sumber energi konvensional. Meski demikian, kemajuan teknologi dan penemuan material baru diharapkan dapat menekan biaya tersebut. Penggunaan material yang lebih efisien dan tahan lama untuk komponen *fuel cell*, seperti substitusi pelat dwikutub dengan komposit polipropilen/karbon aktif, berpotensi memperpanjang umur operasional serta mengurangi biaya pemeliharaan.(Iswandi et al., 2025)

## 2.4 Polimer

Polimer merupakan senyawa yang terdiri dari molekul besar yang terbentuk dari pengulangan unit terkecil yang disebut monomer. polimer memiliki peran penting karena memiliki sifat yang unik dan beragam. Proses penggabungan unit monomer melalui polimerisasi menciptakan rantai panjang yang menghasilkan berbagai sifat fisik dan kimia pada polimer. Proses polimerisasi dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti adisi dan kondensasi, yang menghasilkan jenis polimer dengan karakteristik yang berbeda (Dwinahari Putri, 2023). Polimer yang memiliki fleksibilitas dan ketahanan tinggi digunakan dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari karet, plastik, hingga komposit modern. Keberagaman dalam struktur dan panjang rantai polimer ini menentukan sifat akhirnya, seperti kekuatan, elastisitas, dan ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia.

#### 2.4.1 Klasifikasi material polimer

Material polimer dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan sifat dan fisikanya. Pengelompokan ini biasanya berdasarkan asalnya, seperti polimer alami dan sintetis, atau berdasarkan struktur molekul rantainya, seperti polimer linear, bercabang, dan jaringan.

### 2.5 Proses pengaruh Suhu terhadap konduktivitas listrik

Pengaruh Suhu terhadap konduktivitas listrik pada material komposit merupakan faktor krusial dalam efisiensi transfer listrik dalam bahan tersebut, seperti yang diteliti oleh. (Dwinahari Putri, 2023) Durasi waktu dalam proses pemanasan atau penekanan bahan dapat mengubah struktur mikro komposit, yang pada akhirnya mempengaruhi kemampuan bahan tersebut untuk mengantarkan arus listrik. (Indriati et al., 2013) Ketika material disusun dalam kondisi tekanan dan suhu tertentu, molekul atau partikel yang membentuk bahan tersebut dapat mengalami reorganisasi atau pergeseran. Reorganisasi ini dapat meningkatkan keteraturan struktur internal dan mempengaruhi permeabilitas jalur arus listrik, yang pada akhirnya memengaruhi konduktivitas listrik komposit tersebut.

Hubungan antara suhu dan konduktivitas listrik sangat erat, karena durasi yang berbeda dapat menghasilkan perubahan signifikan dalam sifat fisik dan kimia bahan komposit. (Zulfia & Ariati, 2010) Durasi waktu yang tepat memungkinkan pembentukan ikatan yang lebih kuat dan kohesif antara komponen material, seperti matriks polimer dan pengisi partikel aktif. Ikatan yang kuat ini dapat memfasilitasi aliran listrik dengan lebih efektif, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan kualitas ikatan antar partikel berdampak positif

terhadap konduktivitas listrik. Suhu yang dioptimalkan juga dapat mengurangi cacat mikro dalam bahan, yang sering menjadi hambatan bagi aliran listrik.

## 2.6 Suhu

Suhu merupakan konsep dalam bidang fisika yang digunakan untuk mengukur tingkat panas atau dinginnya suatu benda. Suhu menunjukkan besarnya energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu zat. Semakin tinggi suhu suatu benda, maka semakin cepat gerakan partikel-partikel di dalamnya. Suhu merupakan besaran pokok dalam fisika dan sangat penting dalam memahami perubahan keadaan zat dan perpindahan kalor.

Suhu tidak selalu berkaitan dengan panas yang bisa dirasakan secara langsung oleh indera manusia, karena suhu yang tinggi belum tentu terasa panas jika tidak terjadi perpindahan kalor ke tubuh. Oleh karena itu, alat bantu pengukuran suhu diperlukan untuk mendapatkan nilai yang akurat(Mustika et al., 2015).

### 2.6.11 Klasifikasi Suhu

Secara umum, suhu diklasifikasikan berdasarkan skala pengukuran suhu yang digunakan. Setiap skala memiliki titik acuan yang berbeda-beda.

#### 1. Skala *Celsius* ( $^{\circ}\text{C}$ )

- Titik beku air pada  $0^{\circ}\text{C}$  dan titik didih pada  $100^{\circ}\text{C}$  (pada tekanan 1 atm).
- Digunakan dalam kehidupan sehari-hari di berbagai negara, termasuk Indonesia.

#### 2. Skala *Kelvin* (K)

- Satuan suhu resmi dalam SI.
- Titik nol Kelvin disebut nol mutlak, di mana semua gerakan partikel berhenti.

- Tidak menggunakan derajat ( $^{\circ}$ ), hanya K.

### 3. Skala *Fahrenheit* ( $^{\circ}\text{F}$ )

- Digunakan terutama di Amerika Serikat.
  - Titik beku air  $32^{\circ}\text{F}$  dan titik didih air  $212^{\circ}\text{F}$ .

### 2.6.12 Besaran-Besaran Fisika Yang Berhubungan Dengan Suhu

a. Kalor

Kalor adalah energi panas yang berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Kalor berbeda dengan suhu. Satuan kalor dalam SI adalah Joule (J).

### b. Energi Kinetik Partikel

Suhu suatu benda merupakan indikator dari energi kinetik partikel-partikelnya. Semakin tinggi suhu, semakin cepat partikel bergerak. Ini berlaku untuk zat padat, cair, maupun gas.

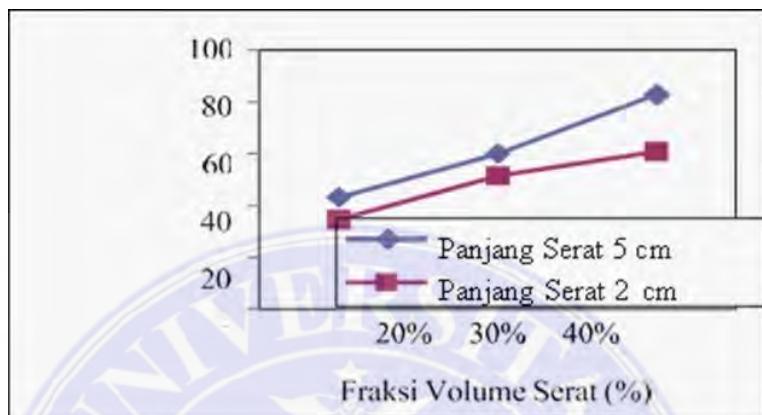
### 2.6.1 Persamaan, Rumus, dan Konversi Suhu

Rumus konversi suhu antara skala yang umum digunakan:

## 2.7 Uji Bending

### 2.7.1 Tegangan bending

Contoh Dari data nilai tegangan bending dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:

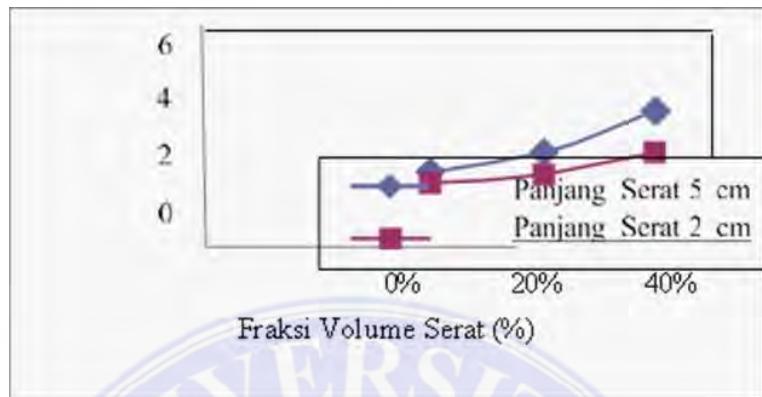


Gambar 2 3 Hasil Uji Bending

Dari gambar di atas, terlihat bahwa komposit yang menggunakan serat berukuran 5 cm memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang menggunakan serat berukuran 2 cm pada semua fraksi volume serat. Hal ini disebabkan oleh efektivitas penguatan yang diberikan oleh serat berukuran 5 cm terhadap matriks, sehingga serat mampu menahan matriks agar tidak mudah patah saat terjadi beban. Kekuatan bending akan meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume serat karena semakin besar fraksi volume, jumlah serat juga semakin banyak sehingga beban yang diterima oleh setiap serat menjadi lebih kecil. Dengan adanya banyak serat, matriks juga mendapat dukungan yang lebih banyak sehingga matriks tidak mudah retak. Berdasarkan gambaran tersebut, kekuatan bending tertinggi tercatat sebesar 83,076 MPa pada fraksi volume 40% dengan serat berukuran 5 cm, sedangkan kekuatan bending terendah terdapat pada fraksi volume serat 20% dengan serat berukuran 2 cm sebesar 34,527 MPa.

### 2.7.2 Modulus Elastisitas

Contoh dari data nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.4 Diagram hasil uji bending

Dari diagram yang terlihat di atas, dapat disimpulkan bahwa komposit yang memiliki panjang serat 5 cm menunjukkan nilai modulus elastisitas bending yang paling tinggi, yakni mencapai 4,358 MPa pada fraksi volume serat 40%. Di sisi lain, komposit dengan panjang serat 2 cm menunjukkan modulus elastisitas bending tertinggi sebesar 2,994 MPa pada fraksi volume serat 40%, dan nilai terendahnya terdapat pada fraksi volume serat 20% dengan nilai 1,988 MPa. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, maka modulus elastisitas bendingnya juga semakin meningkat. Uji bending dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3 dibawah ini:

## 2.8 Konduktivitas Listrik

Kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik dikenal sebagai konduktivitas listrik. Hal ini terjadi akibat pergerakan elektron maupun ion di dalam material, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis material, suhu, serta kondisi fisik penyusunnya. Berdasarkan penelitian (Oktaviani &

Muttaqin, 2015), konduktivitas listrik berperan penting dalam menilai seberapa efisien suatu material dapat digunakan sebagai pengantar arus dalam bidang material dan rekayasa.(Pramono & Zulfia, 2016) Material konduktor banyak dimanfaatkan pada perangkat elektronik dan sistem energi modern, sehingga pemahaman mengenai konduktivitas listrik menjadi sangat krusial dalam menentukan material untuk aplikasi teknologi tertentu.

Selain berfungsi sebagai pengantar listrik, konduktivitas juga memiliki peranan signifikan pada berbagai aplikasi teknologi lain. Material dengan konduktivitas tinggi dipakai dalam rangkaian elektronik guna meningkatkan efisiensi transmisi sinyal. Konduktivitas listrik juga dijadikan parameter utama dalam menilai kualitas material, khususnya di industri elektronik yang membutuhkan ketepatan dan kestabilan sinyal (Zulfia & Ariati, 2010). Kemampuan material dalam menjaga kestabilan energi listrik sangat memengaruhi keandalan serta ketahanan perangkat yang menggunakannya, sehingga pemahaman mendalam tentang konduktivitas menjadi aspek penting dalam rekayasa material (Saputra et al., 2023). Konduktivitas listrik sendiri merupakan sifat material yang berbanding terbalik dengan resistivitas listrik

## 2.9 Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan besaran fisik yang menunjukkan seberapa padat suatu material dalam satuan volume tertentu. Densitas dapat dihitung dengan membagi massa material terhadap volumenya. Dalam konteks material komposit, densitas mencerminkan kepadatan struktur internal, termasuk distribusi partikel dan pori-pori dalam material tersebut (Islamuddin &

Soedarmadji, 2020). Material dengan densitas tinggi umumnya memiliki struktur yang lebih padat, dengan partikel-partikel penyusunnya tersusun lebih rapat dan sedikit ruang kosong di antaranya. Hal ini sangat penting terutama pada komposit yang mengandung bahan pengisi konduktif, seperti karbon aktif, karena penyusunan partikel yang rapat akan meningkatkan peluang terbentuknya jalur konduktif di dalam matriks material(Zakiyya & Utama, 2016).

Hubungan antara densitas dan konduktivitas listrik dalam material komposit sangat erat kaitannya dengan fenomena perkolası, yaitu suatu kondisi di mana jumlah dan penyebaran partikel konduktif di dalam matriks telah mencapai batas minimum tertentu sehingga mampu membentuk jalur konduksi yang kontinu. Ketika jumlah partikel konduktif masih di bawah ambang ini atau distribusinya tidak merata, maka walaupun densitas komposit meningkat, kemampuan material untuk mengantarkan listrik tetap rendah (Clareyna & Mawarani, 2013). Oleh karena itu, peningkatan densitas baru akan memberikan pengaruh nyata terhadap konduktivitas listrik jika didukung oleh komposisi bahan pengisi konduktif yang mencukupi dan tersebar secara merata. Dalam konteks penelitian pada komposit berbasis polipropilen dengan tambahan karbon aktif, peningkatan waktu tahan selama proses *hot press* terbukti dapat memperbesar densitas material. Densitas yang meningkat ini mengindikasikan adanya pemanjangan struktur, di mana partikel karbon aktif tersusun lebih rapat dan mendekati ambang perkolası.

Akibatnya, jalur-jalur konduktif mulai terbentuk, sehingga terjadi peningkatan konduktivitas listrik.(Paundra, 2022) Namun demikian, hubungan antara densitas dan konduktivitas tidak selalu bersifat linier, sebab masih dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti suhu proses, tekanan, jenis material

yang digunakan, serta tingkat homogenitas pencampuran. Dengan demikian, densitas menjadi salah satu parameter penting yang harus dianalisis secara mendalam dalam perancangan dan pengembangan material komposit konduktif berbasis polimer, terutama untuk aplikasi yang menuntut efisiensi penghantaran listrik yang tinggi.

Adapun Rumus Densitas atau massa jenis dasar sebagai berikut:

## Keterangan :

- $\rho$  = densitas ( $\text{g/cm}^3$  atau  $\text{kg/m}^3$ )
  - m = massa benda (gram atau kilogram)
  - V = volume benda ( $\text{cm}^3$  atau  $\text{m}^3$ )

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

##### 3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di CV. Micro Enterprises yang beralamat di Jl. Asem link No. 02,Desa Bandar Klippa Kec. Percut sei tuan Sumatera Utara

##### 3.2.2 Waktu

**Tabel 3. 1 Pelaksanaan Penelitian**

Aktivitas	2025												Bulan IV				Bulan V			
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV				Bulan V			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul																				
Penulisan Proposal																				
Seminar Proposal																				
Proses Penelitian																				
Pengolahan Data																				
Penyelesaian Laporan																				
Seminar Hasil																				
Evaluasi Dan																				
Persiapan Sidang																				
Sidang Sarjana																				

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlanggam selama waktu yang akan ditentukan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut

### **3.2 Bahan Dan Alat**

#### **3.2.1 Bahan**

##### **1. Biji Plastik (*PolyPropylene*)**

Plastik PP (*PolyPropylene*) adalah salah satu jenis plastik yang berwarna bening atau transparan. Plastik ini dibuat dari monomer *polypropylene* yang banyak diproduksi di seluruh dunia yang umumnya banyak digunakan untuk pengemasan makanan. Kepopuleran plastik ini dikarenakan bahannya yang tidak beracun sehingga aman dimanfaatkan untuk pengemasan produk konsumsi. Selain itu, plastik PP (*polypropylene*) juga memiliki fleksibilitas yang membuatnya mudah diolah menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan kebutuhan. Karakteristik plastik PP dapat dikenali dengan menyentuh permukaannya. Jenis plastik ini memiliki permukaan cenderung lebih licin. Meski memiliki daya tahan yang lebih tinggi dibanding plastik PE, harga plastik PP lebih murah. Dari segi bahan. plastik PP (*polypropylene*) mampu menahan lebih baik dari plastik PE. Plastik PP memiliki ketahanan pada suhu tinggi yang jauh lebih baik dibandingkan dari plastik PE.

Sehingga plastik PP (*polypropylene*) cenderung memiliki jangka waktu yang lebih lama. Oleh karenanya, plastik PP menjadi plastik yang efektif bagi produsen untuk usahanya. Bagi Anda yang memiliki usaha makanan beku (*non-vacum*), plastik PP (*polypropylene*) dapat menjadi solusi. Permeabilitas pada plastik

PP lebih kecil terhadap air daripada jenis plastik lain. Sehingga plastik PP (*polypropylene*) memiliki kemungkinan lebih kecil untuk dapat ditembus uap air yang akan merusak makanan.

Dengan semua kelebihan inilah yang membuat plastik PP menjadi jawaban bagi kemasan produk usaha Anda. Bukan hanya untuk kemasan makanan, plastik PP bahkan juga dapat digunakan untuk komponen kelistrikan, tekstil, otomotif, hingga alat-alat medis. Untuk penelitian kali ini kita menggunakan produk biji plastic PP (*polypropylene*) murni natural tanpa daur ulang. Contoh biji plastik PP (*polypropylene*) ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Biji Plastik Polipropilen

Dengan Spesifikasi :

Properti	Satuan	Nilai	Metode Uji (ASTM)
Melt Flow Rate (230 °C)	g/10 min	1.7	D1238
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.90	D1505
Tensile Strength at Yield	kg/cm <sup>2</sup>	360	D638
Elongation at Yield	%	12	D638
Flexural Modulus	kg/cm <sup>2</sup>	17,500	D790B
Notched Izod Impact Strength (23 °C)	kg·cm/cm	5.5	D256A
Heat Deflection Temperature (4.6 kg/cm <sup>2</sup> )	°C	95	D648
Rockwell Hardness (R scale)	-	95	D785A
Water Absorption (24 jam)	%	0.02	D570
Shrinkage	%	1.3 – 1.4 (tergantung ketebalan & parameter molding)	-

Tabel 3. 2 Tabel Spesifikasi Polipropilen

## 2. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% senyawa karbon bebas, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Penggunaan karbon aktif sebagai suatu bahan padat yang berpori yang diperoleh dari hasil pembakaran dimana bahan ini mengandung karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori – porinya masih tertutup hidrokarbon, tar dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixedcarbon*), KA, air, nitrogen dan sulfur. Karbon aktif dengan merek Borneo digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 3.2, mempunyai luas area permukaan 300 sampai 2000 m/gram, ukuran karbon aktif bubuk 325 mesh dengan kandungan air sekitar 5-15 %, kandungan KA 2-3 % dan sisanya

karbon dengan bentuk amorf terdiri dari pla-plat datar dan tersusun secara bertindih, yang disusun dengan satu atom “c” disetiap sudutnya.

Spesifikasi karbon aktif yang digunakan :

1. *Iodine value*: minimal 950 g.
2. *Moisture content*: maksimal 5%.
3. Total *ash content*: maksimal 15%.
4. *Hardness*: minimal 95%.
5. Ukuran: 8 x 30 cm.
6. Luas area: 1050 g/cm.
7. *Methylene blue number*: 280 g.
8. Total *volume pori – pori*: 1.04 g/cm<sup>3</sup>.
9. *Water soluble ash*: 0.2 %.
10. *Apparent density*: 48000 g/cm<sup>3</sup>.
11. PH: 8-11.

Intinya bahan dasar pembuat karbon aktif haruslah mengandung unsur karbon yang besar. Berikut di bawah ini gambar 3.2 yang menggabarkan karbon aktif yang sudah di haluskan:



Gambar 3 2 Karbon Aktif

### 3.2.2 Alat

#### 1. Mesin *hot press* Skala Laboratorium

Mesin *hot press* hidrolik pada dasarnya adalah alat yang dirancang untuk melakukan penekanan dengan pemanasan yang berguna dalam proses pembuatan berbagai jenis produk seperti logam, polimer, serta pemandatan partikel dan serat guna menghasilkan papan komposit dan produk lainnya.

Mesin *hot press* ini menggunakan sistem hidrolik sebagai penggeraknya. Sistemnya terdiri dari pompa hidrolik yang dilengkapi *pressure gauge* untuk memudahkan pengoperasian. Untuk menghasilkan panas, mesin ini menggunakan pemanas listrik dengan spesifikasi daya 350 watt dan tegangan 220 volt. Pemanas dirancang secara modular atau terpisah sehingga jika ada elemen yang rusak, penggantinya bisa dilakukan dengan mudah tanpa mengganggu komponen listrik lainnya. Pemanas ini terhubung dengan *thermo control* yang mengatur suhu mesin.

Pada mesin *hot press* sebelumnya yang dicetak, terdapat kekurangan karena tidak memiliki sistem pemantauan tekanan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan dan pembuatan alat mesin *hot press* khusus untuk keperluan uji laboratorium dalam proses pembuatan papan komposit yang dapat memantau tekanan secara efektif

Berikut gambar 3.3 di bawah ini yang menunjukkan mesin *hot press* skala laboratorium :



Gambar 3.3 Mesin Tekanan Panas Skala Laboratorium

Langkah-langkah pengoperasian mesin *hot press* skala laboratorium

1. Persiapan awal

- Pastikan mesin *hot press* dalam kondisi bersih, kering, dan bebas sisa bahan dari penggunaan sebelumnya.
- Periksa sistem hidrolik, sambungan listrik, serta *termokontrol* untuk memastikan berfungsi dengan baik.
- Atur posisi cetakan tembaga di tengah pelat pemanas agar tekanan dan panas terdistribusi merata.

2. Pemanasan mesin

- Nyalakan elemen pemanas listrik pada mesin *hot press*.
- Atur suhu pemanasan sebesar 180°C menggunakan *termokontrol*.
- Tunggu hingga suhu stabil (indikator suhu mencapai *setpoint*).

- Selama pemanasan, pastikan tidak ada benda atau bahan di area pelat tekan.

### 3. Pemasukan bahan ke dalam cetakan

- Masukkan campuran polipropilen dan karbon aktif yang telah dicacah ke dalam cetakan tembaga sesuai ukuran spesimen (140 mm × 60 mm × 3 mm).
- Ratakan bahan dalam cetakan agar permukaan padat merata dan tidak menimbulkan rongga.

### 4. Penutupan dan penekanan

- Tutup cetakan dengan pelat atas mesin *hot press*.
- Dongkrak hidrolik untuk memberikan tekanan sesuai variasi penelitian.
- Tekanan dapat dipantau melalui *pressure gauge* yang terdapat pada mesin.

### 5. Proses penekanan panas (*hot press*)

- Proses penekanan panas (*hot press*)
- Tahan tekanan pada masing-masing variasi selama 15 menit.
- Jaga agar suhu tetap stabil pada 180°C selama proses berlangsung.
- Pastikan tidak ada kebocoran tekanan dan hindari perubahan mendadak pada suhu.

### 6. Pendinginan

- Setelah waktu penekanan selesai, matikan pemanas.
- Biarkan cetakan tetap tertutup dan dinginkan secara alami hingga suhu ruang agar spesimen tidak melengkung akibat pendinginan cepat.

- Setelah suhu turun, buka dongkrak secara perlahan dan lepaskan cetakan dari mesin.

#### 7. Pelepasan dan finishing spesimen

- Keluarkan spesimen dari cetakan dengan hati-hati menggunakan sarung tangan tahan panas.
- Bersihkan sisa bahan dari permukaan cetakan untuk mencegah kerak pada penggunaan berikutnya.
- Lakukan pengamplasan tepi spesimen dan ukur dimensi hasil cetakan sesuai ukuran uji ( $100 \times 12 \times 3$  mm).

#### 8. Pemeriksaan hasil

- Periksa permukaan spesimen — pastikan tidak ada pori besar, retak, atau cacat bentuk.
- Catat hasil proses untuk setiap tekanan

#### 2. Laptop

Digunakan untuk menyimpan dan mengolah data. Laptop yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.4:



Gambar 3 4 Laptop

Dengan Spesifikasi:

1	<i>Processor</i>	Intel(R) Core(TM) i3-N305	1.80 GHz
2	<i>Memory</i>	8GB RAM	
3	<i>Harddisk</i>	512 GB	

Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop

### 3. Timbangan Digital

Timbangan digital mempunyai peranan penting saat melakukan penelitian ini, agar dapat menimbang bahan yang dicetak sesuai dengan komposisi yang sudah diatur. Untuk timbangan yang digunakan *merk CAMRY*. Alasan menggunakan timbangan ini dikarenakan tidak semua timbangan mempunyai satuan gram. Penelitian ini hanya memerlukan beberapa gram dan sangat sesuai ketika memakai produk ini. Berikut pada gambar 3.5 di bawah ini gambar dari Timbangan Digital:



Gambar 3 5 Timbangan Digital

#### Langkah-langkah penimbangan bahan

##### 1. Persiapan alat dan bahan

- Pastikan timbangan digital dalam kondisi bersih, kering, dan berada di permukaan datar.
- Siapkan bahan polipropilen (PP) dan karbon aktif (KA) yang akan ditimbang.
- Gunakan wadah kecil bersih (gelas ukur atau mangkuk logam ringan) untuk menampung bahan.

##### 2. Kalibrasi timbangan

- Nyalakan timbangan digital dan biarkan stabil.
- Tekan tombol “*tare*” atau “*zero*” untuk mengatur berat awal menjadi 0 g sebelum penimbangan dimulai.
- Periksa akurasi timbangan dengan beban standar (opsional, misalnya 50 g).

##### 3. Penimbangan bahan polipropilen

- Letakkan wadah kosong di atas timbangan, lalu tekan “*tare*” kembali agar berat wadah tidak dihitung.

- Masukkan biji polipropilen sesuai massa yang ditentukan berdasarkan komposisi.
  - Catat hasil penimbangan pada tabel data bahan.
4. Penimbangan bahan karbon aktif
- Bersihkan wadah dari sisa PP.
  - Tekan kembali “*tare*” agar timbangan kembali ke 0 g.
  - Tambahkan karbon aktif sesuai komposisi yang diinginkan.
  - Catat massa hasil penimbangan.
5. Verifikasi total massa campuran
- Pastikan total massa PP + KA untuk setiap komposisi = 50 g.
  - Jika ada perbedaan, lakukan penyesuaian hingga sesuai dengan toleransi  $\pm 0,1$  g.
6. Penyimpanan sementara
- Masukkan bahan yang sudah ditimbang ke dalam wadah tertutup atau plastik zip agar tidak tercampur dengan debu atau lembab sebelum tahap pencampuran.

### 3.3 Metode Penelitian

Untuk mengumpulkan data penelitian, metodologi yang dipilih adalah metode eksperimen. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam menghasilkan data deskriptif yang akurat. Metode eksperimen memungkinkan pembatasan jumlah parameter yang diteliti, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan waktu dan biaya penelitian. Dalam pelaksanaannya, dirancang sebuah alat uji khusus yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai penelitian, khususnya yang berkaitan dengan pengukuran densitas dan kekuatan bending material komposit.

Pengukuran densitas material memerlukan data massa benda yang diukur menggunakan timbangan *digital* dengan tingkat presisi tinggi.

Untuk mendapatkan massa benda, dibuat spesimen dengan ukuran yang telah distandarisasi menggunakan cetakan berukuran 100 mm x 15 mm x 3 mm. Proses pencetakan dilakukan dengan tingkat ketelitian 100% untuk memastikan keakuratan hasil pengukuran

### **3.4 Populasi dan Sampel**

Komposit Polipropilen/Karbon Aktif

Data Komposisi Sampel

NO	Polipropilen(PP)	Massa	Karbon Aktif(KA)	Massa	Tekanan	Suhu	Waktu
							Tahan
1	100%	50 gr	0%	0	4 Mpa	200°C	15 Menit
2	100%	50 gr	0%	0	4 Mpa	200°C	15 Menit
3	100%	50 gr	0%	0	4 Mpa	200°C	15 Menit
4	95%	47,5 gr	5%	2,5	4 Mpa	225°C	15 Menit
5	95%	47,5 gr	5%	2,5	4 Mpa	225°C	15 Menit
6	95%	47,5 gr	5%	2,5	4 Mpa	225°C	15 Menit
7	85%	42,5 gr	15%	7,5	4 Mpa	250°C	15 Menit
8	85%	42,5 gr	15%	7,5	4 Mpa	250°C	15 Menit
9	85%	42,5 gr	15%	7,5	4 Mpa	250°C	15 Menit

Tabel 3. 4 Data Komposisi sampel

### **3.5 Prosedur Penelitian**

### 3.5.1 Langkah-langkah pembuatan sampel

Adapun tahap atau Langkah – langkah pembuatan *sample* plat dwikutub (*bipolar plate*) sebagai berikut :

#### 1. Penentuan komposisi bahan

Komposisi ditentukan berdasarkan berat antara polipropilen dan karbon aktif.

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi komposisi:

- Sampel A: 100% PP , 0% KA
- Sampel B: 95% PP , 5% KA
- Sampel C 85% PP , 15% KA

#### 2. Penimbangan bahan

Setiap bahan diukur beratnya menggunakan timbangan digital sesuai dengan kompisisi yang telah ditentukan. Proses penimbangan dilakukan secara teliti untuk menjaga akurasi komposisi campuran

#### 3. Pencampuran bahan

Setelah penimbangan, bahan-bahan dicampur menggunakan mesin *internal mixer* untuk memperoleh campuran homogen

Parameter :

- Waktu Pencampuran : 30 menit
- Kecepatan : 50 rpm
- Suhu : 250°C

#### 4. Pencacahan bahan

#### 5. Pencetakan

Bahan yang telah dicacah dimasukan ke dalam cetakan tembaga sesuai dengan ukuran yang ada pada mesin *Hot press*, dipadatkan menggunakan dongkrak yang di lengkapi *pressure gauge*

- Suhu : 160°C ,180°C, 200°C
- Waktu Tahan : 15 Menit
- Tekanan 4 Mpa

#### 6. Pendinginan dan *finishing*

Sampel di dinginkan perlahan sampai mencapai suhu ruang lalu dilakukan:

- Pengamplasan tepi
- Pengukuran dimensi akhir untuk diuji
- Pembersihan permukaan

#### 3.5.2 Langkah-langkah pengujian

Adapun tahapan atau langkah-langkah melakukan pengujian sebagai berikut

##### 1. Uji Konduktivitas listrik

Pengujian dilakukan menggunakan empat titik *probe* atau uji resistensi permukaan (*surface resistivity*) menggunaikan multimeter digital dan jangka sorong untuk mengukur dimensi. Sampel pelat persegi atau batang,bagian permukaan dibersihkan agar tidak mengganggu kontak elektroda. Pengukuran konduktivitas listrik dalam arah bidang dilakukan menggunakan alat empat-titik *probe Jandel Multi Height Four-Point Probe* dengan unit uji RM3. Alat ini dialiri arus konstan dan dilengkapi dengan voltmeter digital yang dirancang khusus untuk pengukuran menggunakan *probe* empat titik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 Setiap ujung *probe* didukung oleh pegas untuk mencegah kerusakan pada permukaan sampel. Alat uji *probe*

empat titik ini mampu mengukur sampel dengan berbagai ukuran dan bentuk pada berbagai ketebalan.



Gambar 3 6 Alat uji kekonduksian elektrik arah satah kuar empat titik

Pengujian konduktivitas listrik dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit polipropilen/karbon aktif dalam menghantarkan arus listrik.

Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Persiapan Sampel Uji

- Spesimen uji dibuat dalam bentuk pelat dengan ukuran standar 100 mm × 12 mm × 3 mm sesuai dengan standar ASTM D790-03.
- Permukaan spesimen dibersihkan menggunakan kain halus agar bebas dari debu, minyak, atau kotoran yang dapat mengganggu kontak elektroda saat pengukuran.

### 2. Persiapan Alat Uji

- Alat yang digunakan adalah alat uji empat titik probe (Four Point Probe) tipe *Jandel Multi Height Four-Point Probe* dengan unit **uji RM3**.
- Alat ini dilengkapi dengan sumber arus konstan dan voltmeter digital presisi tinggi.

- Ujung probe didukung oleh pegas untuk memastikan kontak yang baik tanpa merusak permukaan sampel.

### 3. Proses Pengujian

- Spesimen diletakkan pada meja pengujian dan dihubungkan ke alat empat titik probe.
- Arus listrik konstan dialirkan melalui dua probe luar, sementara beda potensial (tegangan) diukur melalui dua probe bagian dalam.
- Pengujian dilakukan pada beberapa titik permukaan sampel untuk mendapatkan hasil yang representatif.
- Setiap hasil pengukuran dicatat meliputi nilai arus (I), tegangan (V), jarak antar probe (s), dan ketebalan sampel (t).

Konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) sampel komposit polimer pengalir dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) berikut

$$\sigma = 2\pi s \frac{V}{I} F \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

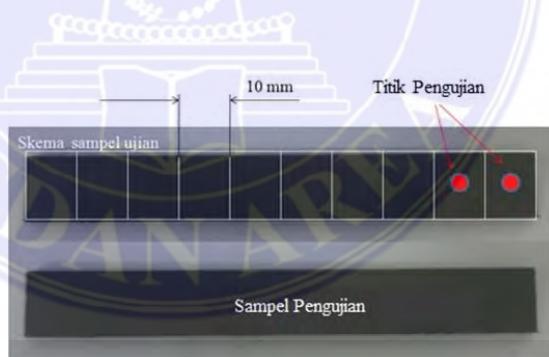
Berdasarkan Persamaan (3.1),  $s = 1\text{mm}$  merupakan jarak antar probe,  $I$  adalah arus tetap yang mengalir melalui dua *probe* luar,  $V$  adalah tegangan jatuh pada dua *probe* dalam, dan  $F$  adalah faktor koreksi yang didasarkan pada rasio antara ketebalan sampel dan jarak antar *probe* ( $s$ ), seperti yang tercantum dalam

Tabel 3. 5

$(t/s)$	$F$
0,3	1
0,4	0.9995
0,5	0.9974
0,6	0.9919
0,7	0.9816
0,8	0.9662
0,9	0.9459
1	0.9215
1,2	0.8643
1,4	0.8226
1,6	0.7419
1,8	0.6852
2	0.6337

Tabel 3. 5 Faktor pembetulan ( $F$ ) bagi sampel dengan ketebalan ( $t$ )

Selanjutnya, untuk sampel yang diproduksi melalui proses pencetakan injeksi, uji konduktivitas dilakukan pada setiap area persegi, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pengujian dilakukan secara acak dalam area persegi pada masing-masing ukuran dengan sampel berukuran 100 mm x 12,7 mm x 2,5 mm, yang dibagi menjadi segmen 10 mm sepanjang panjang 100 mm sesuai dengan standar uji kekuatan lentur *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D790-03.



Gambar 3.7 Sampel Pengujian

### 1. Uji densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk menentukan massa jenis komposit yang dihasilkan dari variasi suhu dan komposisi bahan. Densitas berhubungan erat dengan kerapatan struktur material serta tingkat porositas yang memengaruhi sifat konduktivitas



Gambar 3 8 Melakukan Pengujian Densitas

Langkah-langkah pengujian:

1. Persiapan Sampel Uji

- Spesimen berbentuk balok dengan ukuran  $100 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ .
- Permukaan spesimen dibersihkan dari kotoran atau debu agar hasil pengukuran massa lebih akurat.

2. Persiapan Alat dan Bahan

- Alat yang digunakan meliputi:
- Timbangan digital
- Gelas ukur berisi air bersih pada suhu ruang,

Pengujian menggunakan Hukum Archimedes untuk menentukan massa jenis.

3. Prosedur Pengujian

- Ukur massa sampel di udara ( $m_1$ ) menggunakan timbangan digital.
- Gantung sampel dengan benang dan celupkan seluruhnya ke dalam air, lalu ukur massa sampel dalam air ( $m_2$ ).

- Catat kedua hasil pengukuran dengan hati-hati.

#### 4. Perhitungan Densitas

- Nilai densitas ( $\rho$ ) dihitung menggunakan rumus:

- $\rho$  = densitas sampel ( $\text{g/cm}^3$ ),
  - $m_1$  = massa sampel di udara (g),
  - $m_2$  = massa sampel di dalam air (g),
  - $\rho_{air}$  = densitas air pada suhu ruang ( $\approx 1 \text{ g/cm}^3$ )

## 2. Uji bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural strength*) dan modulus elastisitas material komposit terhadap variasi suhu proses dan komposisi bahan. Uji ini bertujuan untuk menilai sejauh mana komposit mampu menahan gaya lentur sebelum mengalami kerusakan.

Langkah-langkah pengujian:

## 1. Persiapan Sampel Uji

- Spesimen dibuat dalam bentuk batang padat berukuran 100 mm × 12 mm × 3 mm.
  - Permukaan sampel dipastikan rata dan bebas cacat agar gaya lentur terdistribusi merata saat pengujian.
  - Spesimen diambil dari setiap variasi komposisi (100% PP, 95% PP + 5% KA, dan 85% PP + 15% KA) serta suhu proses hot press (160°C, 180°C, dan 200°C).

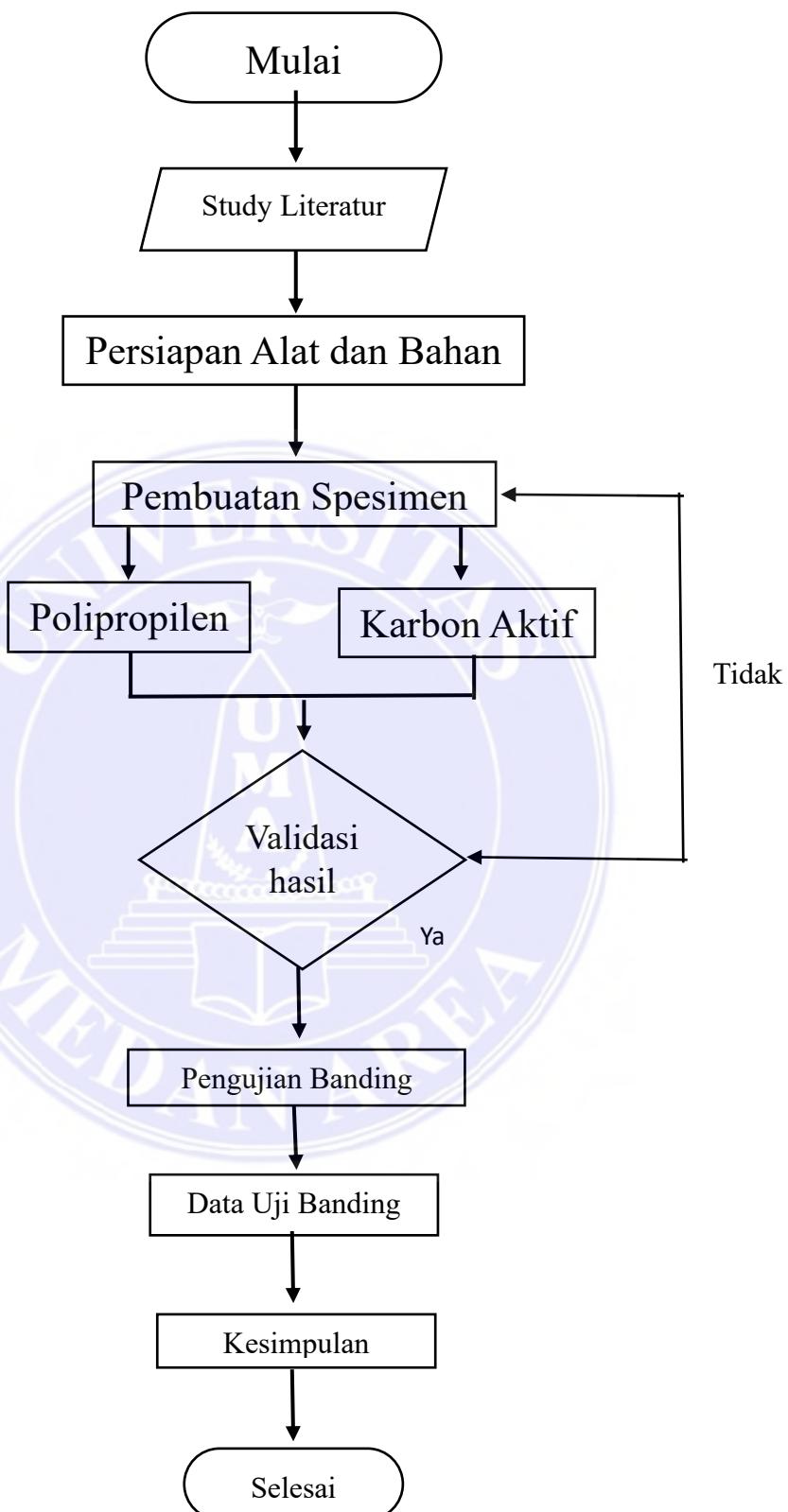
## 2. Persiapan Alat Uji

- Pengujian dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine (UTM) RFF-1350* dengan kapasitas maksimum beban 5000 N.
- UTM dilengkapi dengan sensor gaya presisi tinggi serta sistem kontrol kecepatan lintasan yang dapat diatur sesuai standar pengujian.
- Jarak antar tumpuan diatur sesuai standar ASTM D790-03, yaitu  $L = 50$  mm.

### 3. Prosedur Pengujian

- Spesimen diletakkan secara *horizontal* di atas dua tumpuan.
- Gaya tekan diberikan secara bertahap di bagian tengah spesimen dengan kecepatan penekanan konstan.
- Selama pengujian, alat mencatat nilai gaya maksimum (F) dan defleksi atau regangan yang terjadi pada saat spesimen mulai patah.
- Setelah spesimen patah atau mengalami deformasi maksimum, alat secara otomatis menghentikan pengujian.

### 3.6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3 9 Gambar diagram alir

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi suhu *hot press* (160°C, 180°C, 200°C) pada komposit polipropilen/karbon aktif dengan kadar karbon aktif 0%, 5%, dan 15% belum menghasilkan sifat konduktif. Seluruh sampel masih bersifat isolator karena distribusi karbon aktif belum mencapai *percolation threshold*, ditambah adanya porositas tinggi yang menghambat terbentuknya jalur konduktif.
2. Dari sisi mekanik, penambahan karbon aktif terbukti meningkatkan kekuatan lentur komposit. Nilai tertinggi dicapai pada komposisi 95% PP + 5% KA pada suhu 200°C dengan kekuatan 127,8 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun belum efektif meningkatkan konduktivitas listrik, karbon aktif berfungsi baik sebagai penguat mekanik dalam matriks polipropilen.

#### 5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, perlu dilakukan optimalisasi terhadap parameter proses *hot press*, khususnya suhu dan tekanan. Dalam penelitian ini, suhu 160°C hingga 200°C belum mampu menghasilkan konduktivitas listrik yang signifikan, sehingga disarankan untuk mengevaluasi suhu yang lebih tinggi atau menambah waktu penahanan panas agar memungkinkan partikel karbon aktif terdifusi dan terikat lebih merata dalam matriks polimer. Kedua, untuk membantu pembentukan jaringan konduktif yang efektif, direkomendasikan penambahan bahan *compatibilizer* seperti

*maleic anhydride grafted polypropylene*. Bahan ini dapat meningkatkan ikatan antara matriks PP dan partikel karbon aktif, sekaligus memperbaiki homogenitas campuran.

2. Selain itu, disarankan untuk memperluas variasi komposisi karbon aktif di atas 15%, mengingat pada *persentase* tersebut belum terbentuk jalur konduktif yang efektif. Penelitian lebih lanjut dengan konsentrasi karbon aktif yang lebih tinggi dapat membantu menentukan batas minimum perkolasi konduktif (*percolation threshold*) dalam sistem komposit ini. Untuk mendukung pemahaman terhadap struktur internal material, pengujian tambahan menggunakan teknik karakterisasi mikro seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM) juga sangat disarankan. Teknik ini berguna untuk mengamati distribusi partikel, porositas, dan keterikatan antar fase dalam komposit secara visual dan kuantitatif. Terakhir, meskipun konduktivitas listrik belum tercapai secara optimal, material hasil pengujian menunjukkan kekuatan mekanik lentur yang cukup baik, terutama pada variasi yang mengandung karbon aktif

## DAFTAR PUSTAKA

- Andri Setiawan, Ikhwansyah Isranuri, Tugiman, Alfian Hamsi, & Suprianto. (2017). Pengaruh Variasi Polyurethane Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Polimer Berongga (Polymeric Composite Foam) Yang Akan Digunakan Pada Pesawat Uav. *Dinamis*, 5(2), 9–16. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v5i2.7046>
- Antunes, R. A., De Oliveira, M. C. L., Ett, G., & Ett, V. (2011). Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of the main challenges to improve electrical performance. *Journal of Power Sources*, 196(6), 2945–2961. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.12.041>
- Clareyna, E. D., & Mawarani, L. J. (2013). Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Bagasse. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 208–2013.
- Dwinahari Putri, A. (2023). Review: Pemanfaatan Polimer Alami Dalam Pembuatan Plastik Biodegradable. *Jurnal Al'ilmi*, 12(1), 2023.
- Hasan, A. (2007). Aplikasi Sistem Fuel Cell. *Aplikasi Sistem Fuel Cell*, 8(3), 277–286.
- Indriati, M., Nuryanto, R., & Suyati, L. (2013). Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Konduktivitas dan Kristalinitas Elektrolit Padat NaMn<sub>2-x</sub>Mg<sub>x</sub>O<sub>4</sub>. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(2), 46–49. <https://doi.org/10.14710/jksa.16.2.46-49>
- Islamuddin, N., & Soedarmadji, W. (2020). Analisa Uji Tekan, Kerapatan Densitas Dan Mikrostruktur Terhadap Komposit Bahan Baku Teakwood Serbuk Gergaji Kayu. *Journal Mechanical and Manufacture Technology*, 1(2), 58–65.
- <https://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/jmmt>
- Iswandi, Sulong, A. B., & Husaini, T. (2019). Effects of graphite/polypropylene on the electrical conductivity of manufactured bipolar plate. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(2), 355–361. <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2302-19>
- Iswandi, Supriatno, Susilawati, Hermanto, T., Abdul Rahman Sidik Hasibuan, S., Muliono, R., Royani, I., & Rahmad Aldori, Y. (2025). *Pemberdayaan generasi*

- muda dalam transisi energi hijau melalui pelatihan teknologi fuel cell Empowering young generation in the green energy transition through fuel cell technology training. x, No.x(1), 99–108. <https://ojs.umrah.ac.id/index.php/anugerah>*
- Jurnal, I. R. A., Mesin, T., Putra, A., Malau, V. F., & Lumbantoruan, J. (2025). *Perancangan Mesin Milling untuk Pembuatan Plat Dwikutub pada Teknologi Fuel Cell Milling Machine Design for Making Bipolar Plates in Fuel Cell Technology.* 4(2), 155–161.
- Material, J. R., & Energi, M. (2023). Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(1), 30–40. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i1.13599>
- Mustika, T., Soegiyono, B., & Jujur, I. N. N. (2015). Pembuatan Komposit Ac8a/Sic<sub>p</sub> Dengan Metode Hot Press Metalurgi Serbuk. *Metalurgi*, 26(3), 161. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v26i3.22>
- Paundra, F. (2022). Analisis Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Berpenguat Serat Batang Pisang Kepok Dan Serat Pinang. *Nozzle : Journal Mechanical Engineering*, 11(1), 9–13. <https://doi.org/10.30591/nozzle.v11i1.3122>
- Pramono, A., & Zulfia, A. (2016). Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 1(1), 46. <https://doi.org/10.36055/setrum.v1i1.446>
- Talango, N. (2021). Jurnal Simetrik Vol 11, No. 1, Juni 2021. *Jurnal Simterik*, 11(1), 432–439.
- Zakiyya, H., & Utama, F. Y. (2016). Pengaruh variasi arah serat komposit berpenguat hibrida fiberhybrid terhadap kekuatan tarik dan densitas material dalam aplikasi body part mobil. *Mekanika*, 15(2), 60–69.
- Zarmawan, H., Hermanto, T., Hermawan, L., Ldris, M., & Rahmad Aldori, Y. (2024). (Journal of Electrical and System Control Engineering) Analisis Kekuatan Bending

Material Komposit Plat Dwikutub Pada Tekno/ogi Fuel Cell Analysis of Bending Strength of Composite Materials in Bipolar Plates for Fuel Cell Technology. *Jesce*, 1(1). <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>

Zulfia, A., & Ariati, M. (2010). Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Waktu Tahan Terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam Al/Sic Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan. *Makara Of Technology Series*, 10(1), 18–23.

<Https://Doi.Org/10.7454/Mst.V10i1.397>



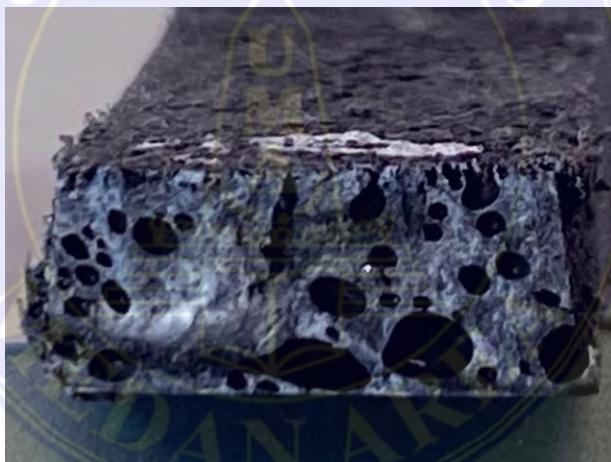
## LAMPIRAN



**Gambar 1 Spesimen Polipropilen**



**Gambar 2 Spesimen Polipropilen Campuran Karbon Aktif**



**Gambar 3 Pengujian Bending Pada Spesimen Terdapat Rongga/Pori-pori**



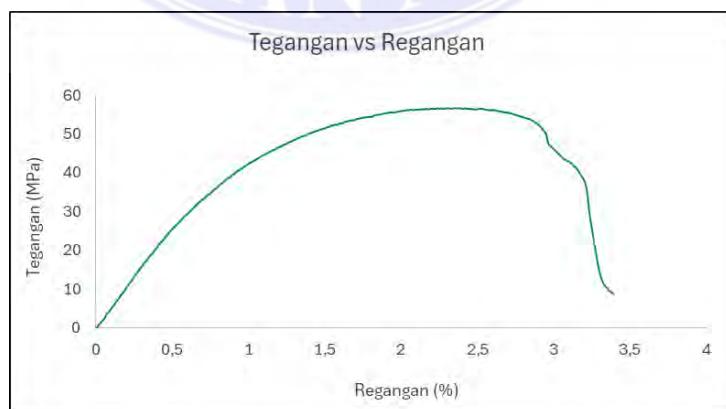
**Gambar 4 Melakukan Pembuatan Spesimen**



**Gambar 5 Melakukan Pengujian Bendinhg**



**Gambar 6 Melakukan Pengujian Densitas**



**Gambar 7 Grafik Hasil Uji Bending**