

**PENGARUH WAKTU TAHAN PROSES *HOT PRESS* PADA
KOMPOSIT POLIPROPILEN/KARBON AKTIF TERHADAP
KONDUKTIVITAS LISTRIK**

SKRIPSI

OLEH:

TIDES SWANDI SIMBOLON

218130043



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 6/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)6/3/26

HALAMAN JUDUL

PENGARUH WAKTU TAHAN PROSES *HOT PRESS* PADA KOMPOSIT POLIPROPILEN/KARBON AKTIF TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh:

TIDES SWANDI SIMBOLON

218130043

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pengaruh Waktu Tahan Proses *Hot Press* pada
Komposit Polipropilen/Karbon Aktif terhadap
Konduktivitas Listrik
Nama Mahasiswa : Tides Swandi Simbolon
NIM : 218130043
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing

Dr. Iswandi, S.T., M.T
Pembimbing I

Dr. Eka Supriatno S.T., M.T
Dekan

Dr. Iswandi, S.T., M.T
Kae Prodi/ WD I

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)

Tides Swandi Simbolon

218130043



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

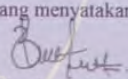
Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Tides Swandi Simbolon
NPM	: 218130043
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 Waktu Tahan 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.

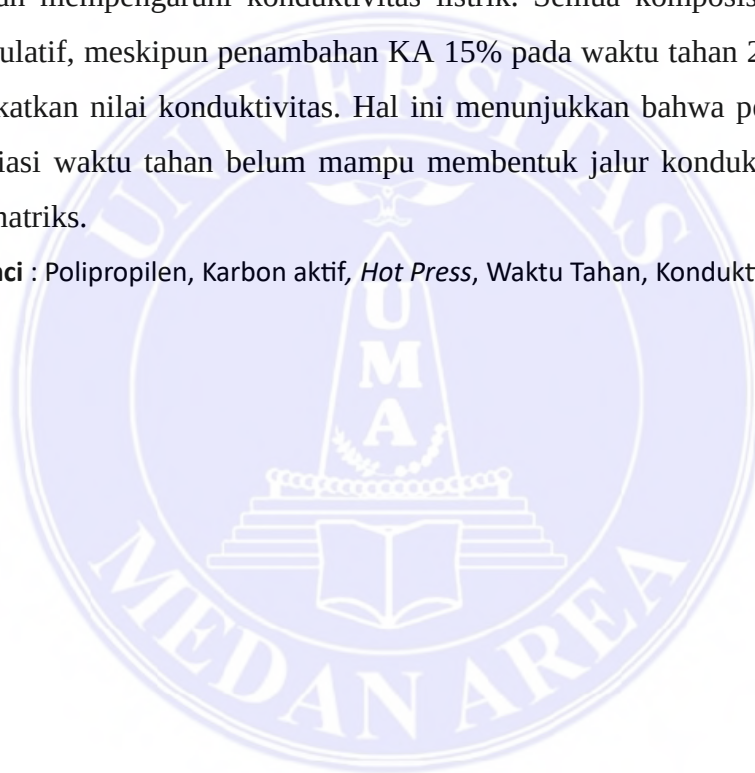
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 2025
Yang menyatakan

Tides Swandi Simbolon
218130043

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh variasi waktu tahan pada proses *hot press* terhadap sifat konduktivitas listrik berbahan dasar polipropilen (PP) dengan penambahan karbon aktif (KA). Tiga komposisi yang digunakan, yaitu PP 100%, PP 95% + KA 5%, dan PP 85% + KA 15%, masing-masing diproses pada waktu tahan 10, 15, dan 20 menit. Pengujian dilakukan terhadap densitas, konduktivitas listrik menggunakan metode empat titik, serta uji bending. Hasil menunjukkan bahwa waktu tahan berpengaruh terhadap peningkatan kepadatan, namun tidak signifikan mempengaruhi konduktivitas listrik. Semua komposisi menunjukkan sifat insulatif, meskipun penambahan KA 15% pada waktu tahan 20 menit sedikit meningkatkan nilai konduktivitas. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan KA dan variasi waktu tahan belum mampu membentuk jalur konduktif yang efektif dalam matriks.

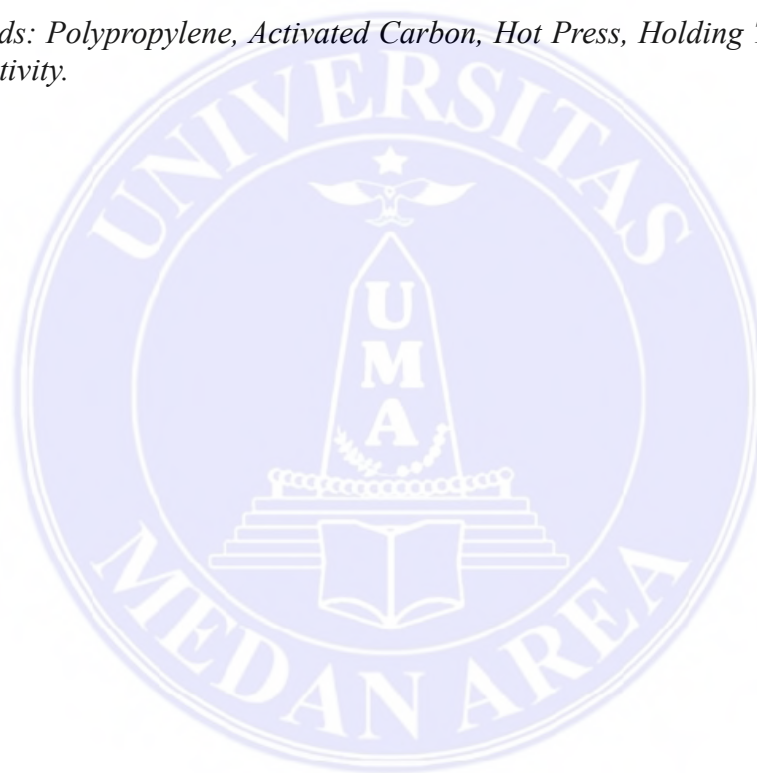
Kata kunci : Polipropilen, Karbon aktif, *Hot Press*, Waktu Tahan, Konduktivitas Listrik



ABSTRACT

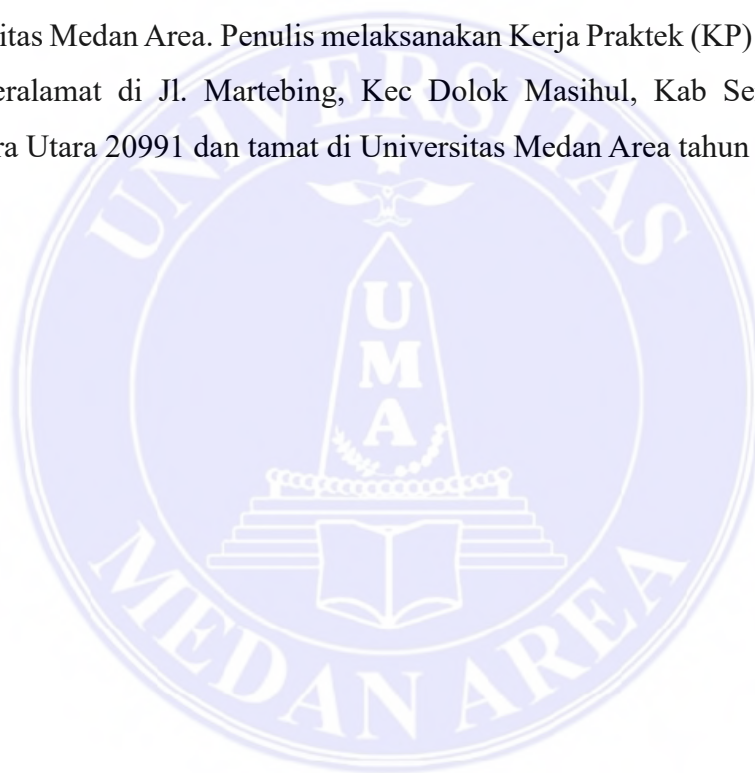
This study examines the effect of varying holding times during the hot press process on the electrical conductivity of polypropylene (PP)-based materials with the addition of activated carbon (KA). Three compositions were used: 100% PP, 95% PP + 5% KA, and 85% PP + 15% KA, each processed at holding times of 10, 15, and 20 minutes. Density and electrical conductivity were tested using the four-point method, as well as bending tests. The results showed that holding time increased density but did not significantly affect electrical conductivity. All compositions exhibited insulative properties, although the addition of 15% KA at a holding time of 20 minutes slightly increased the conductivity value. This indicates that the addition of KA and variations in holding time were not sufficient to form an effective conductive path in the matrix.

Keywords: Polypropylene, Activated Carbon, Hot Press, Holding Time, Electrical Conductivity.



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Tides Swandi Simbolon dilahirkan di Kota Medan, pada tanggal 29 Desember 2003 dari ayah Titus Simbolon dan ibu Tiurlan BR Siahaan. Penulis merupakan putra ke dua dari lima bersaudara. Tahun 2015 penulis menyelesaikan Pendidikan Dasar di St. Santo Paulus, tahun 2018 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Harvard Medan, tahun 2021 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Imelda Medan jurusan Teknik Pemesinan, 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 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 kehadiran ALLAH SWT atas berkat limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Adapun judul yang dipilih penulis yaitu “Perancangan Alat Uji Elektrikal/Kekonduksian Listrik Skala Laboratorium”. 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. Bapak dan Mama, 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. Terimakasih sudah menjad kepada keda orangtua yang dapat mengatasi segala rintangan dan situasi kehidupan dunia yang berat ini. Terimakasih sudah menjadi orangtua yang teramat baik. *Love u my parents*, sehat dan bahagia selalu untuk kedua orangtua ku.
- 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. Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada teman-teman dan sahabat online yang selalu memberikan dukungan, semangat, serta kebersamaan selama proses penyusunan karya ini. Walaupun jarak memisahkan dan pertemuan hanya terjadi melalui layar, namun perhatian, motivasi, dan canda tawa kalian telah menjadi penguat di setiap langkah. Kehadiran kalian, meski tidak secara langsung, memberikan makna mendalam dan membuat perjalanan ini terasa lebih ringan serta penuh warna. Terima kasih atas segala doa, dukungan, dan kehangatan yang tulus persahabatan ini akan selalu saya kenang sebagai bagian berharga dalam perjalanan hidup saya.
- 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 Wiliam Feris Hutapea 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, Terimakasih untuk diri sendiri Tides Swandi Simbolon. 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 ucapkan terimakasih.

Medan, 23 Juli 2025



Tides Swandi Simbolon

NPM.218130043

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Plat Dwikutup/ <i>Bipolar Plate</i>	5
2.2 Polimer	6
2.2.1 Klasifikasi Material Polimer	7
2.3 Komposit	7
2.3.1 Defenisi Komposit	8
2.3.2 Klasifikasi Material Komposit	8
2.4 <i>Fuel cell</i>	10
2.5 Komponen <i>Fuel cell</i>	12
2.6 Waktu Tahan	13
2.6.1 Klasifikasi Waktu Tahan.....	14
2.6.2 Persamaan,Rumusan Dan Satuan Waktu.....	15
2.7 Proses pengaruh waktu tahan terhadap konduktivitas listrik.....	15
2.8 Konduktivitas Listrik.....	16
2.9 Uji Bending	17

2.9.1	Tegangan bending	17
2.9.2	Modulus Elastisitas	18
2.10	Uji Densitas	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		22
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.1.1	Tempat.....	22
3.1.2	Waktu	22
3.2	Alat dan Bahan	23
3.2.1	Alat.....	23
3.2.2	Bahan.....	27
3.3	Metode Penelitian.....	31
3.4	Populasi dan Sampel.....	32
3.5	Prosedur Penelitian.....	32
3.5.1	Langkah-langkah Tahapan Pembuatan Spesimen	32
3.5.2	Langkah-langkah pengujian	36
3.5.3	Diagram Alir Penelitian.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
4.1	Hasil.....	45
4.1.1	Un tuk kerja alat uji konduktivitas listrik empat titik pengujian	45
4.1.2	Pengaruh Densitas Terhadap Konduktivitas Listrik.....	47
4.1.3	Pengujian Bending.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN 1: Spesimen yang di Uji		63
LAMPIRAN 2: Dokumentasi Pengujian Spesimen		64
LAMPIRAN 3: Dokumentasi.....		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Gambar Plat Dwikutup/Bipolar plate	6
Gambar 2. 2. Gambar Fuel cell	11
Gambar 2. 3. Diagram hasil uji bending	17
Gambar 2. 4. Diagram hasil uji bending Modulus Elastisitas	18
Gambar 3. 1. Mesin tekanan skala laboratorium	24
Gambar 3. 2. Laptop	26
Gambar 3. 3. Timbangan digital	27
Gambar 3. 4. Karbon Aktif Jenis Serbuk	29
Gambar 3. 5. Biji Polipropilen	30
Gambar 3. 6. Melakukan Pengujian Densitas	38
Gambar 3. 7. Alat uji kekonduksian elektrik arah satah kuar empat titik	39
Gambar 3. 8. Gambar Sampel Pengujian	41
Gambar 4. 1. hubungan konduktivitas listrik vs Waktu Tahan	45
Gambar 4. 2. Uji Spesimen ASTM D730-1	46
Gambar 4. 3. Spesimen Polipropilen Murni	47
Gambar 4. 4. Spesimen Polipropilen campuran Karbon Aktif	48
Gambar 4. 5. Grafik Pengujian Waktu Tahan	49
Gambar 4. 6. Grafik Pengujian Waktu Tahan 15 Menit	50
Gambar 4. 7. Grafik Pengujian Waktu Tahan 20 Menit	51
Gambar 4. 8. Hasil Spesimen PP 100%, KA 0% Setelah Pengujian Bending	53
Gambar 4. 9. Hasil Spesimen PP 95%, KA 5% Setelah Pengujian Bending	53
Gambar 4. 10. Spesimen PP 85%, KA 15% Setelah Pengujian Bending	54
Gambar 4. 11. Grafik Pengujian Tegangan Bending	56
Gambar 4. 12. Grafik Pengujian Regangan Bending	57

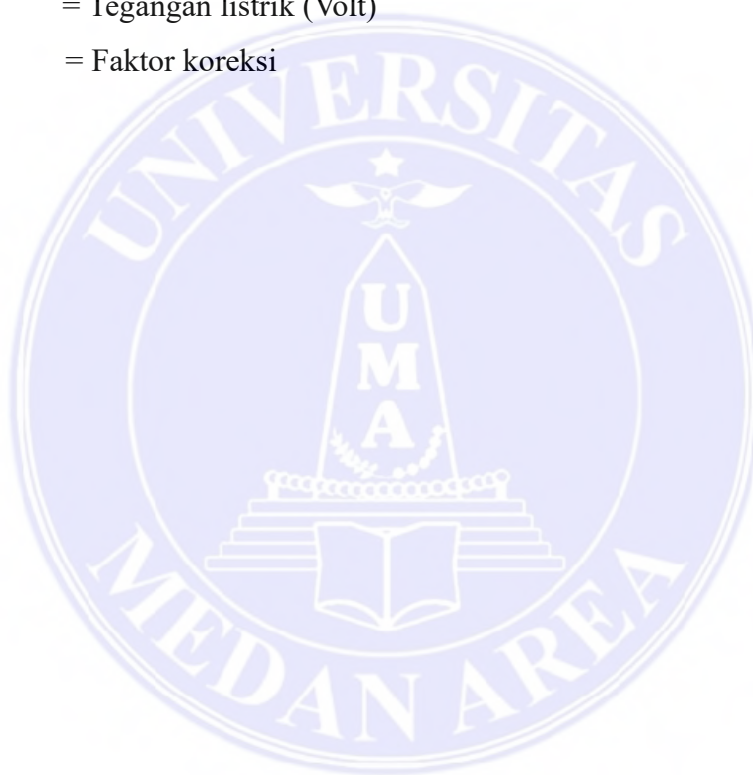
DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir	22
Tabel 3. 2. Data komposisi sampel	32
Tabel 3. 3. Tabel Faktor pembetulan (F) bagi sampel dengan ketebalan (t)	40
Tabel 4. 1. Tegangan vs Regangan	55



DAFTAR NOTASI

σ	= Tenganan Lentur maksimum (MPa/N/mm ²)
s	= Jarak antar Probe (mm)
m	= massa benda (cm ³)
ρ	= densitas
ε	= Regangan
$\sigma_{\max}$	= Konduktivitas Listrik (s/mm)
t	= Ketebalan Sempel
V	= Tegangan listrik (Volt)
F	= Faktor koreksi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material komposit memiliki kepentingan yang besar karena memiliki karakteristik yang khusus. Beberapa di antaranya adalah kekakuan, kekuatan, ringan, tahan korosi, dan umur kelelahan yang lebih baik daripada bahan konvensional lainnya (Novriyanti, Talango 2021). Pada kesempatan ini, material komposit yang akan dibahas adalah plastik. Plastik merupakan bahan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga penggunaannya meningkat pesat di masyarakat modern karena keunggulannya yang kuat, ringan, dan stabil, meskipun sulit terurai oleh mikroorganisme di lingkungan.

Sebagian besar plastik yang digunakan adalah jenis polipropilena (PP). *Polypropylene* adalah jenis plastik yang paling umum digunakan karena memiliki sifat mekanis yang baik, massa jenis rendah, ketahanan panas dan kelembaban, serta kestabilan dimensi yang baik (Mawardi et al., 2015). Plastik merupakan bahan yang sering digunakan dalam industri untuk membuat berbagai produk, baik dalam skala pabrik maupun skala kecil seperti UMKM.

Penggunaan mesin *Hot Press* sangat penting dalam proses pencetakan bahan sebagai dukungan produksi. Mesin ini berfungsi untuk melakukan pemadatan dengan menggunakan panas (Anwar et al., 2024). Sumber tenaga yang digunakan dapat berasal dari mesin hidrolik, tenaga manusia, motor listrik, dan lain sebagainya. Namun, dalam penelitian ini, kami fokus pada penggunaan sistem hidrolik yang umum digunakan dalam berbagai industri seperti makanan, minuman,

permesinan, otomotif, dan pembuatan robot. Panas yang dihasilkan dapat digunakan dalam proses pembuatan produk dari bahan metal dan plastik.

Pemanfaatan teknologi *fuel cell* sebagai sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan di masa depan telah mendapat pengakuan sebagai solusi yang menjanjikan dalam menghasilkan listrik dengan efisiensi tinggi dan tanpa emisi berbahaya (Erwin et al., 2022). Salah satu komponen kunci dalam teknologi *fuel cell* adalah pembuatan komponen plat dwikutub. Oleh karena itu, suhu mesin hot prees memiliki dampak yang signifikan terhadap bahan yang akan ditekan (Iswandi et al., 2019). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pengaruh variasi waktu tahan pengepresan terhadap bahan komposit polipropilen.

1.2 Perumusan Masalah

Berikut adalah Dua Rumusan Masalah berdasarkan Permasalahan Latar Belakang di atas:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu tahan proses *hot press* terhadap konduktivitas listrik pada komposit polipropilen/karbon aktif, dengan mempertimbangkan peranan densitas material yang terbentuk selama proses pengepresan?
2. Bagaimana hubungan antara densitas komposit dengan nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan setelah proses *hot press*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tahan pada proses *hot press* terhadap konduktivitas listrik komposit polipropilen/karbon aktif, dengan menekankan keterkaitannya terhadap perubahan densitas material.
2. Untuk menganalisis hubungan antara densitas komposit yang dihasilkan dengan nilai konduktivitas listrik, berdasarkan teori perkolasi dan pembentukan jalur konduktif dalam material.

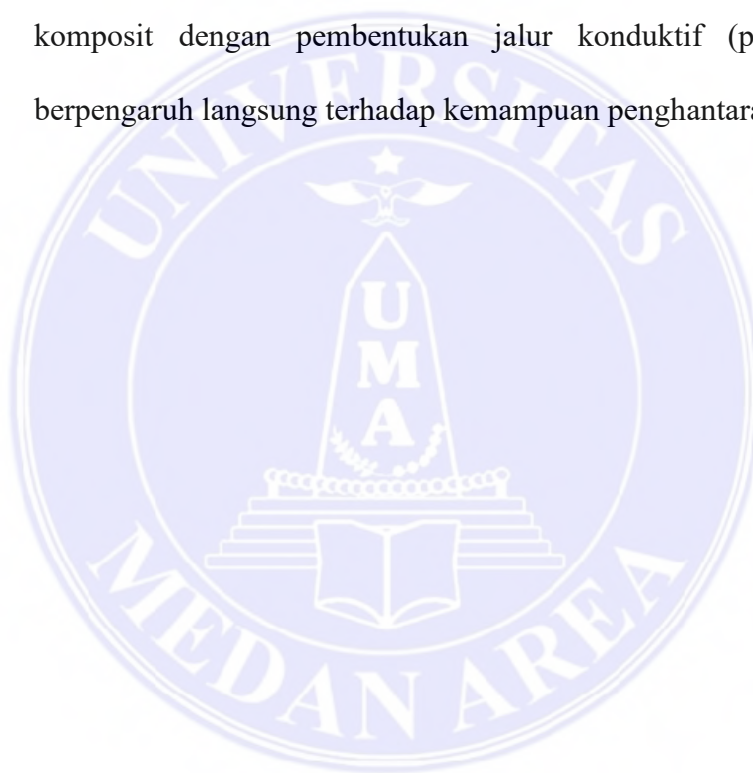
1.4 Hipotesis Penelitian

Diduga bahwa variasi waktu tahan pada proses *hot press* berpengaruh terhadap konduktivitas listrik komposit polipropilen/karbon aktif. Pengaruh tersebut terjadi melalui peningkatan densitas material akibat proses pengepresan, di mana semakin padat struktur komposit maka peluang terbentuknya jalur konduktif antarpartikel karbon aktif akan semakin besar. Dengan demikian, waktu tahan yang lebih optimal diharapkan mampu menghasilkan densitas tinggi dan mendorong peningkatan konduktivitas listrik..

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat di peroleh dari penelitian ini adalah:

1. bermanfaat untuk memberikan pemahaman mengenai pengaruh variasi waktu tahan pada proses *hot press* terhadap konduktivitas listrik komposit polipropilen/karbon aktif dengan mempertimbangkan peranan densitas.
2. Menjadi referensi dalam menentukan hubungan antara densitas material komposit dengan pembentukan jalur konduktif (perkolasi) yang berpengaruh langsung terhadap kemampuan penghantaran listrik.



BAB II

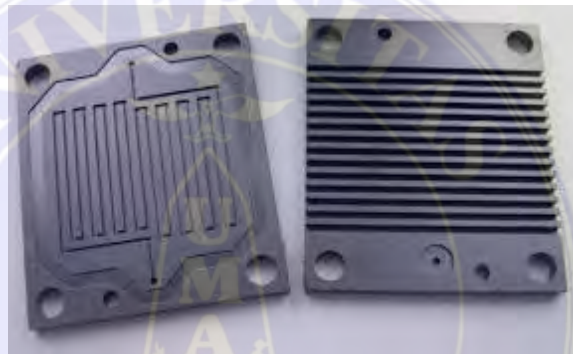
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plat Dwikutup/*Bipolar Plate*

Bipolar plate merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem sel bahan bakar, berfungsi sebagai penghantar arus listrik dan sebagai pemisah antara sel-sel individu dalam rangkaian sel bahan bakar. Biasanya terbuat dari material komposit yang menggabungkan sifat konduktivitas listrik yang baik dengan ketahanan kimia dan mekanis. material *graphite/polypropylene* sering digunakan dalam pembuatan *bipolar plate* karena memiliki konduktivitas listrik yang memadai dan ringan serta dapat diolah pada suhu yang relatif rendah (Zulfia et al., 2011). Komposisi material ini sangat berperan dalam menentukan kinerja akhir dari bipolar plate.

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. 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. Gambar Plat Dwikutup/Bipolar plate

2.2 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 (Vilanti et al., 2017) .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 (Harahap, 2005) . Polimer yang memiliki fleksibilitas dan ketahanan tinggi digunakan dalam berbagai

aplikasi industri, mulai dari karet, plastik, hingga komposit modern (Ningsih et al., 2012). Keberagaman dalam struktur dan panjang rantai polimer ini menentukan sifat akhirnya, seperti kekuatan, elastisitas, dan ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia.

2.2.1 Klasifikasi Material Polimer

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

2.3 Komposit

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. Oleh karena itu, dalam memilih material dasar dan bahan pengisi untuk

komposit partikel, perlu dipertimbangkan kesesuaian kimia dan fisik antara komponen-komponen tersebut.

2.3.1 Defenisi 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 phase 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.

2.3.2 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 (Lidwina, 2013). 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. 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 perpatahan 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.

2.4 *Fuel cell*

Fuel cell merupakan sebuah alat elektrokimia yang mengubah energi kimia dari suatu bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung melalui reaksi antara hidrogen dan oksigen, menghasilkan air sebagai produk sampingan (Iswandi, 2022). Berbeda dengan proses pembangkit listrik konvensional yang melibatkan pembakaran, *fuel cell* lebih efisien dan ramah lingkungan. Keunggulan utamanya adalah kemampuan untuk terus menghasilkan listrik selama ada bahan bakar dan oksigen, menjadikannya pilihan yang menarik untuk aplikasi energi bersih. Dengan komponen utama seperti anod, katod, dan elektrolit yang bekerja bersama, *fuel cell* dapat digunakan dalam berbagai sektor, mulai dari transportasi hingga penyediaan energi dalam skala besar. Meskipun teknologinya kompleks, desain dari *fuel cell* tetap sederhana.

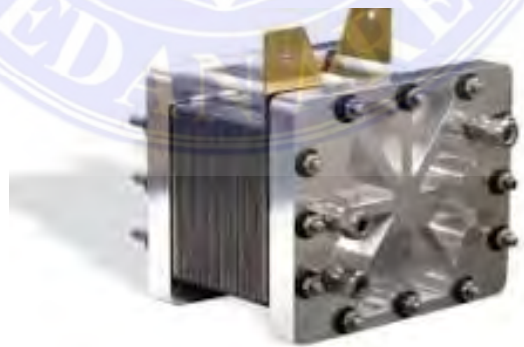
Proses kerja *fuel cell* dimulai dengan menguraikan hidrogen menjadi proton dan elektron di anoda. Anoda dan komponen elektrokimia lainnya memainkan peran penting dalam reaksi oksidasi (Safitri et al., 2016). Elektron yang dihasilkan mengalir ke katoda melalui rangkaian eksternal, menghasilkan listrik yang dapat digunakan. Sementara proton bergerak melalui elektrolit menuju katoda, bergabung dengan oksigen dan elektron untuk membentuk air. Efisiensi tinggi dari *fuel cell* dalam mengkonversi energi bahan bakar terlihat dari rangkaian ini, berbeda dengan sistem konvensional yang sering kehilangan energi dalam bentuk panas dan gas buang.

Fuel cell memiliki waktu respon cepat dan mampu memberikan daya yang konsisten, kelebihan dibandingkan dengan teknologi energi alternatif lainnya.

Selain hidrogen, *fuel cell* juga dapat menggunakan bahan bakar lain seperti metana

atau metanol, meningkatkan fleksibilitasnya. Fleksibilitas ini tidak hanya meningkatkan potensi aplikasi tetapi juga memungkinkan adaptasi di berbagai sektor industri. *Fuel cell* bukan hanya inovasi teknologi tetapi juga solusi potensial untuk tantangan energi global, terutama dalam mencari sumber energi bersih dan efisien.

Meskipun demikian, implementasi *fuel cell* dihadapi oleh tantangan teknis dan ekonomi yang perlu diatasi untuk memaksimalkan potensinya. Salah satu tantangan utama adalah biaya produksi dan operasional yang masih tinggi dibandingkan dengan sumber energi konvensional. Namun, dengan perkembangan teknologi dan penemuan material baru, diharapkan biaya ini dapat ditekan. Pengembangan material efisien dan tahan lama untuk komponen *fuel cell*, seperti pengganti plat dwikutup berbasis komposit polipropilen/karbon aktif, dapat membantu memperpanjang umur operasional dan menurunkan biaya pemeliharaan. Upaya-upaya peningkatan ini penting untuk mencapai target penerapan yang lebih luas dan berkelanjutan dari teknologi *fuel cell* di masa depan.



Gambar 2. 2. Gambar *Fuel cell*

2.5 Komponen *Fuel cell*

Fuel cell atau sel bahan bakar adalah sebuah alat elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses reaksi kimia. Komponen-komponen dari *fuel cell* terdiri dari:

1. Katoda

Peran penting dari katoda adalah dalam mengubah ion menjadi produk akhir dari reaksi. Reaksi pada katoda umumnya melibatkan reduksi gas oksigen yang bergabung dengan ion yang ditransfer melalui elektrolit. Hasil dari reaksi ini adalah air serta arus listrik yang mengalir kembali ke anoda melalui sirkuit eksternal. Dengan demikian, katoda berperan sebagai tempat akhir dari siklus konversi energi dalam *fuel cell*. Efisiensi reaksi pada katoda, yang didorong oleh katalis, menentukan sebagian besar dari efisiensi keseluruhan dari sistem *fuel cell*. Melalui peran berbagai komponennya, *fuel cell* memiliki potensi besar sebagai sumber energi masa depan yang efisien dan ramah lingkungan.

2. Elektrolit

Elektrolit dalam *fuel cell* sangat penting dalam memastikan transportasi ion antara elektroda berjalan lancar. Elektrolit berperan sebagai penopang arus ionik yang bergerak dari anoda ke katoda, memastikan tidak ada perpindahan elektron yang langsung melalui elektrolit. Keberadaan elektrolit yang efektif sangat penting untuk menjaga reaksi kimia berjalan tanpa hambatan, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. Elektrolit bukan hanya sebagai medium pasif, tetapi juga sebagai penentu kinerja dari *fuel cell*, menunjukkan keunggulan teknologi ini dalam aplikasi energi bersih.

3. Anoda

Peran utama anoda dalam *fuel cell* adalah dalam proses oksidasi bahan bakar. Pada tahap ini, molekul bahan bakar mengalami pemisahan elektron yang kemudian mengalir melalui sirkuit eksternal, menghasilkan arus listrik. Reaksi oksidasi ini tidak hanya menghasilkan arus listrik, tetapi juga ion positif yang berpindah melalui elektrolit menuju katoda. Kemampuan *fuel cell* dalam memanfaatkan bahan bakar dengan efisiensi tinggi terlihat dari proses ini, di mana sebagian besar energi dari bahan bakar dapat diubah menjadi energi listrik. Dengan demikian, anoda tidak hanya berperan dalam reaksi kimia, tetapi juga sebagai elemen utama dalam konversi energi.

2.6 Waktu Tahan

Durasi atau lama waktu di mana material komposit dikenakan tekanan dan suhu tertentu dalam proses pembuatan melalui metode hot press didefinisikan sebagai waktu tahan proses *hot press*. Proses ini fokus pada kombinasi tekanan dan suhu untuk mencapai sifat mekanis serta struktur mikro yang diinginkan pada bahan komposit. Parameter kritis ini memengaruhi kinerja akhir dari material, di mana keseimbangan antara suhu dan tekanan harus dikelola dengan hati-hati agar material komposit mencapai kepadatan dan konsistensi maksimum waktu tahan juga berdampak pada sifat fisik, listrik, dan termal material komposit.

Struktur mikro material sangat dipengaruhi oleh waktu tahan dalam proses *hot press*, di mana durasi eksposur terhadap panas dan tekanan memainkan peran penting. Durasi yang tepat memungkinkan partikel-partikel dalam komposit untuk menyatu dengan baik, meningkatkan kekuatan mekanis dan sifat lainnya (Setiajit et

al., 2016). Kontrol yang akurat terhadap waktu tahan menjadi kunci untuk mencapai kualitas material yang optimal dan konsisten.

Keberhasilan optimalisasi waktu tahan dalam proses hot press berdampak pada peningkatan performa material komposit, meningkatkan efisiensi produksi dan memastikan sifat yang konsisten dan dapat diandalkan pada material yang dihasilkan (Setiajit et al., 2016). Pemahaman dan kontrol terhadap parameter ini penting bagi insinyur dan perancang material untuk memaksimalkan potensi teknologi komposit dalam berbagai aplikasi. Kesesuaian waktu tahan pada tahap proses ini akan memastikan produk akhir memiliki sifat yang telah ditargetkan sejak awal desain.

2.6.1 Klasifikasi Waktu Tahan

Konteks ini menunjukkan bahwa penentuan waktu tahan merupakan langkah kritis dalam proses produksi komposit, karena akan menentukan homogeneitas dan kohesi antar partikel di dalam matriks polimer. Dengan demikian, pemahaman yang jelas mengenai definisi dan signifikansi waktu tahan sangat penting untuk optimasi proses manufaktur komposit berbasis polimer. Waktu tahan tidak hanya mempengaruhi hasil akhir produk dalam hal kualitas tetapi juga efisiensi proses produksi. Durasi waktu tahan yang tepat dapat mengoptimalkan energi yang digunakan dan meminimalkan cacat produk yang dihasilkan seperti porositas ataupun ketidakmerataan dalam struktur makro maupun mikro.

Korelasi antara waktu tahan dan sifat akhir komposit menjadi elemen penting dalam penelitian ini. Kesadaran akan pengaruh waktu tahan terhadap sifat mekanis dan listrik memerlukan penilaian yang terintegrasi dan terukur. karena mendokumentasikan bagaimana variabel proses berinteraksi satu sama lain dalam

menghasilkan material dengan kualitas dan kinerja tinggi. Maka dari itu, setiap modifikasi atau penyesuaian yang bisa diterapkan pada waktu tahan akan direfleksikan dalam hasil akhir produk komposit, yang memerlukan analisis lebih lanjut untuk mencapai inovasi dan keunggulan produk di pasaran.

Selain itu, pemahaman yang mendalam tentang definisi waktu tahan memungkinkan peneliti untuk berinovasi dalam teknologi proses, misalnya melalui penemuan material baru atau metode pengerjaan yang lebih efisien. Inovasi tidak hanya memberikan keuntungan ekonomis tetapi juga memungkinkan peningkatan dalam kapasitas produksi serta kualitas produk yang dihasilkan, sesuai dengan standar dan harapan pasar yang berkembang. Dengan demikian, mendalami aspek definisi dari waktu tahan dalam konteks penelitian ini merupakan fundamental bagi keberhasilan optimalisasi proses secara keseluruhan (Setiajit et al., 2016).

2.6.2 Persamaan, Rumusan Dan Satuan Waktu

Persamaan dari Waktu dapat dilihat dari persamaan 2.1 dibawah ini:

$$t = s / v \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

t : waktu tahan (menit atau detik)

s : jarak perpindahan (misal pergerakan *plat hot press*, jika dihitung dari posisi awal ke posisi penekanan penuh)

v : kecepatan pergerakan *plat press* (mm/s)

2.7 Proses pengaruh waktu tahan terhadap konduktivitas listrik

Pengaruh waktu tahan terhadap konduktivitas listrik pada material komposit merupakan faktor krusial dalam efisiensi transfer listrik dalam bahan tersebut, seperti yang diteliti oleh. Durasi waktu dalam proses pemanasan atau penekanan bahan dapat mengubah struktur mikro komposit, yang pada akhirnya

mempengaruhi kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Ketika material disusun dalam kondisi tekanan dan suhu tertentu, molekul atau partikel yang membentuk bahan tersebut dapat mengalami reorganisasi atau pergeseran (Termal et al., 2014). Reorganisasi ini dapat meningkatkan keteraturan struktur internal dan mempengaruhi permeabilitas jalur arus listrik, yang pada akhirnya memengaruhi konduktivitas listrik komposit tersebut.

Hubungan antara waktu tahan dan konduktivitas listrik sangat erat, karena durasi yang berbeda dapat menghasilkan perubahan signifikan dalam sifat fisik dan kimia bahan komposit. 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. Waktu tahan yang dioptimalkan juga dapat mengurangi cacat mikro dalam bahan, yang sering menjadi hambatan bagi aliran listrik.

2.8 Konduktivitas Listrik

Kemampuan suatu materi untuk mengalirkan arus listrik disebut konduktivitas listrik. Proses ini terjadi karena pergerakan elektron atau ion di dalam materi, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis materi, suhu, dan kondisi fisik komponen penyusunnya. Menurut penelitian oleh (Oktaviani & Muttaqin, 2015), konduktivitas listrik memiliki peran yang signifikan dalam mengevaluasi efisiensi material sebagai penghantar listrik dalam bidang material dan rekayasa.

Penggunaan materi konduktor sangat umum dalam perangkat elektronik dan sistem

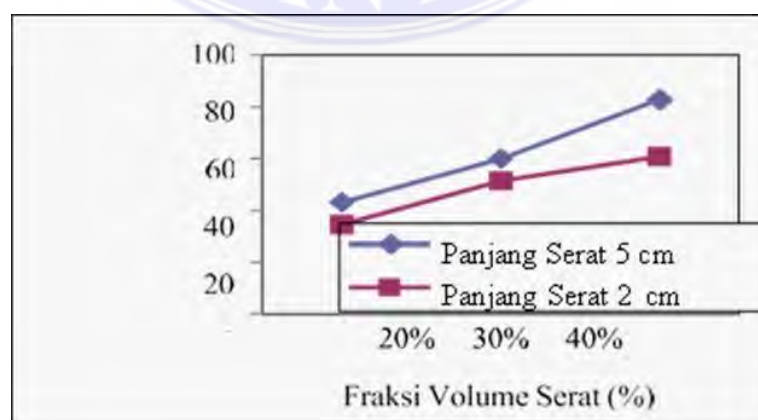
energi saat ini, sehingga pemahaman tentang konduktivitas listrik sangat penting dalam pemilihan materi untuk aplikasi teknologi tertentu.

Selain berfungsi sebagai penghantar arus listrik, konduktivitas listrik juga memiliki peran yang penting dalam aplikasi teknologi lainnya. Materi dengan konduktivitas tinggi digunakan dalam rangkaian elektronik untuk meningkatkan efisiensi transfer sinyal. Konduktivitas listrik juga menjadi parameter utama dalam mengevaluasi kualitas materi, terutama dalam industri elektronik yang membutuhkan ketepatan dan ketahanan sinyal (Zulfia & Ariati, 2010). Kemampuan materi untuk menjaga stabilitas energi listrik sangat berpengaruh pada keandalan dan daya tahan perangkat yang menggunakannya, sehingga pemahaman yang mendalam tentang konduktivitas listrik sangat penting dalam rekayasa material menurut penelitian oleh (Saputra et al., 2023). Konduktivitas listrik adalah karakteristik material yang berbanding terbalik dengan resistivitas listrik.

2.9 Uji Bending

2.9.1 Tegangan bending

Contoh Dari data nilai tegangan bending dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:

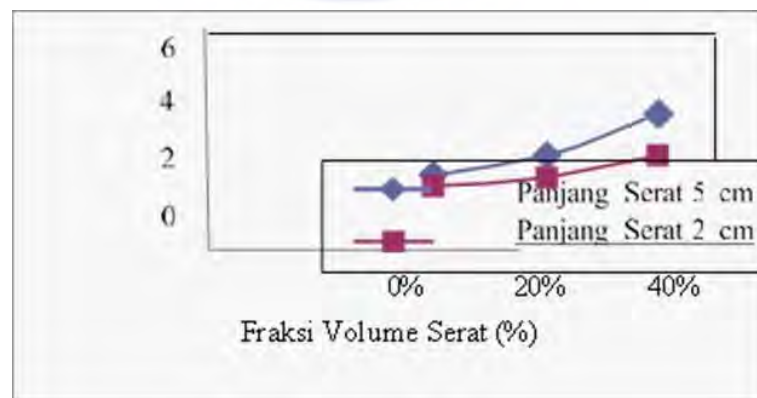


Gambar 2. 3. Diagram hasil uji bending

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 (Paundra, 2022). 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.

2.9.2 Modulus Elastisitas

Contoh dari data nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2. 4. Diagram hasil uji bending Modulus Elastisitas

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.

2.10 Uji 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. Material dengan densitas tinggi umumnya memiliki struktur yang lebih padat, dengan partikel-partikel penyusunnya tersusun lebih rapat dan sedikit ruang kosong di antaranya (Islamuddin & Soedarmadji, 2020). 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.

Hubungan antara densitas dan konduktivitas listrik dalam material komposit sangat erat kaitannya dengan fenomena perkolasi, 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 menghantarkan listrik tetap rendah. 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 pemadatan struktur, di mana partikel karbon aktif tersusun lebih rapat dan mendekati ambang perkolasi.

Akibatnya, jalur-jalur konduktif mulai terbentuk, sehingga terjadi peningkatan konduktivitas listrik. 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 pada persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- ρ = densitas (g/cm³ atau kg/m³)
- m = massa benda (gram atau kilogram)
- V = volume benda (cm³ atau m³)

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.2, Desa Bandar Klippa Kec. Percut Sei Tuan Sumatra Utara.

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung 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:

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir

	2025							
Kegiatan	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	AGU	SEP
Pengajuan Judul	■							
Penyusunan Proposal		■						
Seminar Proposal			■					
Pengambilan data Penelitian				■				
Pengolaan data dan pembuatan laporan					■			
Seminar hasil Evaluasi dan persiapan sidang tugas akhir						■		
Sidang sarjana								■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Mesin *hot press* skala laboratorium

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.

Saat mesin hotpress sedang beroperasi, ia menggunakan teknologi hidrolik yang dilengkapi dengan perangkat pengukur tekanan untuk mengontrol tekanan yang diperlukan. Dalam proses pemanasan mesin *hot press* hidrolik tersebut, digunakan pemanas listrik dengan daya 350 watt dan tegangan 220 volt. Pemanas ini memiliki sistem yang terpisah untuk mempermudah penggantian jika terjadi kerusakan. Selain itu, elemen pemanas ini terhubung dengan *thermocontrol* untuk mengatur suhu secara otomatis.

Sebelumnya, mesin *hot press* yang telah diproduksi mengalami kekurangan karena tidak dilengkapi dengan 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 mampu memonitor tekanan dengan efisien.

Berikut gambar 3.1 di bawah ini yang menunjukkan mesin *hot press* skala laboratorium:



Gambar 3. 1. Mesin tekanan 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 ($140 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$).
- 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 3.2 di bawah ini



Gambar 3. 2. Laptop

Dengan spesifikasi:

1	Processor	AMD 3020e with Radeon Graphics 1.20 GHz
2	Memory	4GB RAM
3	SSD	256GB

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 bermerk 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 3.3 di bawah ini gambar dari Timbangan Digital:



Gambar 3. 3. Timbangan digital

3.2.2 Bahan

1. 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 (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen dan sulfur. Karbon aktif tempurung kelapa dengan merek Borneo digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 2, mempunyai luas area permukaan 300 sampai 2000 m²/gram, ukuran karbon aktif bubuk 325 mesh dengan kandungan air sekitar 5-15 %, kandungan abu 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. Kemudian menyimpannya di dalam permukaan porinya sehingga nantinya keluar nantinya bersama tinja. Secara umum karbon aktif ini dibuat dari bahan dasar batu bara dan biomasa. 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
9. *Water soluble ash*: 0.2 %
10. *Apparent density*: 48000 g/cm³

11. PH: 8-11

Intinya bahan dasar pembuat karbon aktif haruslah mengandung unsur karbon yang besar. Berikut di bawah ini gambar 3.4 yang menggambarkan karbon aktif yang sudah di haluskan:



Gambar 3. 4. Karbon Aktif Jenis Serbuk

2. Biji polimer (*PolyPropylene*)

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

PP memiliki ketahanan pada suhu tinggi yang jauh lebih baik dibandingkan dari polimer PE. Sehingga polimer PP (*polypropylene*) cenderung memiliki jangka waktu yang lebih lama.

Oleh karenanya, polimer PP menjadi polimer yang efektif bagi produsen untuk usahanya. Bagi Anda yang memiliki usaha makanan beku (*non-vacum*), polimer PP (*polypropylene*) dapat menjadi solusi. Permeabilitas pada polimer PP lebih kecil terhadap air daripada jenis polimer lain. Sehingga polimer PP (*polypropylene*) memiliki kemungkinan lebih kecil untuk dapat ditembus uap air yang akan merusak makanan. Dengan semua kelebihan inilah yang membuat polimer PP menjadi jawaban bagi kemasan produk usaha Anda. Bukan hanya untuk kemasan makanan, polimer PP bahkan juga dapat digunakan untuk komponen kelistrikan, tekstil, otomotif, hingga alat-alat medis. Untuk penelitian kali ini kita menggunakan produk biji polimer PP (*polypropylene*) murni natural tanpa daur ulang. Contoh biji polimer PP (*polypropylene*) ditunjukkan pada gambar 3.5 di bawah ini:



Gambar 3. 5. Biji Polipropilen

Properti	Satuan	Nilai	Metode Uji (ASTM)
Melt Flow Rate (230 °C)	g/10 min	1.7	D1238
Density	g/cm ³	0.90	D1505
Tensile Strength at Yield	kg/cm ²	360	D638
Elongation at Yield	%	12	D638
Flexural Modulus	kg/cm ²	17,500	D790B
Notched Izod Impact Strength (23 °C)	kg·cm/cm	5.5	D256A
Heat Deflection Temperature (4.6 kg/cm ²)	°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)	-

3.3 Metode Penelitian

Untuk memperoleh data penelitian, maka dilakukan dengan metode eksperimen. Karena eksperimen sesuai digunakan untuk pengambilan data yang dilakukan secara destruktif. Jumlah parameter dapat dibatasi sehingga dapat menghemat biaya dan waktu pelaksanaan.

Penelitian dilakukan dengan alat uji yang dibuat dengan sedemikian rupa sehingga bisa pakai untuk beberapa riset tentang Densitas bahan dan kekuatan bending bahan komposit. Untuk menghitung densitas bahan harus kita dapatkan nilai massa benda dengan menggunakan timbangan digital. Massa benda dapat diketahui setelah proses pencetakan spesimen 100% menggunakan ukuran cetakan dengan panjang 140 mm, lebar 60 mm dan tebal 3 mm.

3.4 Populasi dan Sampel

Penulis memvariasikan 12 spesimen dalam pengujian dengan 4 komposisi yang berbeda. Masing masing komposisi mempunyai 3 spesimen. 4 komposisi ini meliputi 100 % Polipropilen/ karbon aktif 0%, kedua 95 % Polipropilen/karbon aktif 5%, Ketiga 85% polipropilen/karbon aktif 15%, keempat 75% polipropilen/karbon aktif 25%. Berikut 3.2 data dari 3 spesimen pengujia

Tabel 3. 2. Data komposisi sampel

No	Polipropilen (PP)	Massa	Karbon Aktif	Massa	Tekanan	Suhu	Waktu (s)
1	100%	50 gr	0%	0 gr	6 MPa	200°C	20 Menit
2	100%	50 gr	0%	0 gr	8 MPa	200°C	30 Menit
3	100%	50 gr	0%	0 gr	10 MPa	200°C	40 Menit
4	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	6 MPa	225°C	20 Menit
5	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	8 MPa	225°C	30 Menit
6	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	10 MPa	225°C	40 Menit
7	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	6 MPa	250°C	20 Menit
8	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	8 MPa	250°C	30 Menit
9	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	10 MPa	250°C	40 Menit

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Langkah-langkah Tahapan Pembuatan Spesimen

Adapun Tahapan atau Langkah-langkah yang telah di lakukan dalam pembuatan spesimen plat dwikutup sebagai berikut:

1) Proses Pemilihan Komposisi Bahan

Komposisi ditentukan berdaasarkan berat antara polipropilen dan karbon aktif.

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi komposit:

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

2) Penimbangan bahan

Setiap bahan beratnya menggunakan timbangan digital sesuai dengan komposisi 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

Langkah-Langkah Proses Penimbangan Bahan :

1. Persiapan Bahan Utama

- Siapkan bahan matriks berupa biji polipropilen (*PP*) dan bahan pengisi (*filler*) berupa serbuk karbon aktif (*KA*).
- Pastikan kedua bahan dalam kondisi kering dan bersih, tanpa adanya kotoran, minyak, atau kelembapan yang dapat memengaruhi hasil pencampuran.

2. Penentuan Komposisi Campuran

- a. Komposisi ditentukan berdasarkan persentase berat (berat fraksi) antara *PP* dan *KA*.
- b. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi komposisi:

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

c. Setiap komposisi memiliki massa total 50 gram bahan campuran.

3. Persiapan Alat Penimbangan

- Gunakan timbangan digital merek CAMRY yang memiliki satuan gram (g).
- Letakkan timbangan di atas permukaan datar dan stabil, lalu nyalakan dan pastikan nilai nol (*tare*) sebelum penimbangan dilakukan.

4. Proses Penimbangan Polipropilen (PP)

- Timbang bahan polipropilen sesuai jumlah yang ditentukan berdasarkan variasi komposisi.

Contoh:

1. 100% PP = 50 gram
2. 95% PP = 47,5 gram
3. 85% PP = 42,5 gram

- Catat hasil penimbangan secara teliti di tabel data bahan.

5. Proses Penimbangan Karbon Aktif (KA)

- Timbang karbon aktif sesuai dengan persentase komposisinya terhadap total berat bahan.

Contoh:

1. 0% KA = 0 gram

2. 5% KA = 2,5 gram

3. 15% KA = 7,5 gram

- Pastikan karbon aktif yang ditimbang berbentuk serbuk halus agar mudah tercampur homogen dengan PP.

6. Pemeriksaan Akhir dan Pencatatan

- Pastikan jumlah total berat PP dan KA sesuai dengan total komposisi (50 gram per sampel).
- Simpan bahan hasil penimbangan dalam wadah tertutup dan beri label komposisi (misalnya “PP95-KA5”).
- Bahan yang sudah ditimbang siap untuk masuk ke tahap pencampuran (mixing) menggunakan internal mixer.

4) Pencacahan bahan

5) Pencetakan

Bahan yang telah dicacah dimasukkan ke dalam cetakan tembaga sesuai ukuran yang ada pada mesin *hot press*, dipadatkan menggunakan dongkrak yang dilengkapi pressure gauge.

Parameter :

- Suhu : 180°C
- Tekanan : 4 MPa
- Waktu Tahan : 10 Menit, 15 Menit, 20 Menit

6) Pendingian dan *finishing*

Spesimen di dinginkan perlahan sampai mencapai suhu ruang lalu di lakukan :

- Pembersihan tepi spesimen

- Mengukur pada dimensi akhir untuk diuji
- Pengamplasan keseluruhan permukaan

3.5.2 Langkah-langkah pengujian

Adapun tahapan atau Langkah-langkah melakukan pengujian sebagai berikut:

1) Uji densitas

Pengujian dilakukan menggunakan hukum *archimedes* di manaberat benda di udara dan berat dalam air digunakan untuk menghitung densitas

Parameter:

- Untuk ukuran sampel : 100 x 12 x 3 mm

Langkah-langkah Pengujian Konduktivitas Listrik Sebagai Berikut:

1. Persiapan Sampel dari Pengujian Penelitian Sebelumnya

- Sampel yang digunakan pada pengujian densitas merupakan spesimen komposit polipropilen/karbon aktif hasil dari proses *hot press* yang telah digunakan pada pengujian penelitian sebelumnya.
- Setiap spesimen memiliki ukuran standar 100 mm × 12 mm × 3 mm sesuai dengan dimensi yang telah ditetapkan pada tahap pembuatan spesimen.
- Sebelum dilakukan pengujian, spesimen dibersihkan dari debu, sisa partikel, atau bahan lain yang dapat memengaruhi hasil penimbangan agar diperoleh data densitas yang akurat.

2. Penimbangan Massa di Udara

- Gunakan timbangan digital dengan ketelitian hingga satuan gram (g) untuk menimbang massa spesimen di udara.
- Catat hasil penimbangan sebagai massa kering (m_1)

- Pastikan permukaan timbangan rata dan kondisi lingkungan stabil untuk menghindari kesalahan pembacaan.

3. Penimbangan Massa di Dalam Air

- Siapkan wadah berisi air bersih pada suhu ruang.
- Gantung spesimen menggunakan benang tipis atau kawat halus sehingga terendam seluruhnya di dalam air tanpa menyentuh dasar wadah.
- Timbang kembali dan catat hasilnya sebagai massa dalam air (m_2).

4. Perhitungan Densitas Menggunakan Hukum Archimedes

- Densitas spesimen dihitung berdasarkan Hukum Archimedes dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_{\text{air}} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan keterangan:

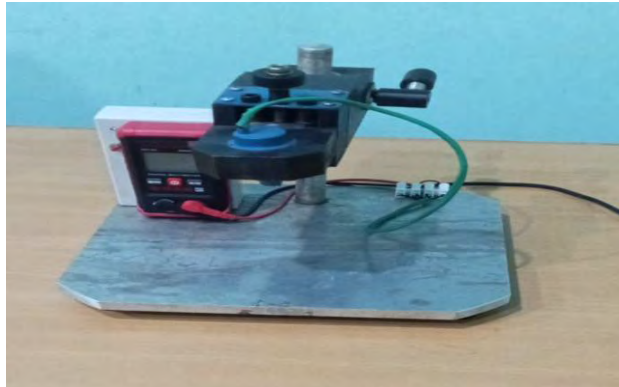
- ρ = densitas spesimen (g/cm^3)
- m_1 = massa spesimen di udara (g)
- m_2 = massa spesimen di dalam air (g)
- ρ_{air} = densitas air (1 g/cm^3 pada suhu ruang)



Gambar 3. 6. Melakukan Pengujian Densitas

2) Uji konduktivitas listrik

Pengujian dilakukan menggunakan metode empat titik probe atau uji resistansi permukaan (*surface resistivity*) menggunakan 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. 7. Alat uji kekonduksian elektrik arah satah kuar empat titik

Langkah-langkah Pengujian Konduktivitas Listrik Sebagai Berikut:

1. Persiapan Sampel

- Spesimen komposit polipropilen/karbon aktif yang telah selesai dibuat dengan ukuran $\pm 100 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ disiapkan untuk diuji.
- Permukaan sampel dibersihkan dari debu, minyak, atau kotoran agar tidak mengganggu kontak antara probe dan permukaan sampel.

2. Pengaturan Alat Uji

- Pengujian dilakukan menggunakan alat empat titik probe (*Four-Point Probe Method*), yaitu *Jandel Multi Height Four-Point Probe* dengan unit uji RM3.
- Alat ini memiliki empat jarum probe yang menyalurkan arus konstan melalui dua probe luar dan mengukur beda potensial (tegangan) melalui dua probe bagian dalam.
- Setiap ujung probe didukung oleh pegas agar tidak merusak permukaan spesimen.

3. Proses Pengukuran

- Letakkan sampel pada meja uji di bawah probe.
- Arus listrik dialirkan secara konstan melalui dua probe luar

- Tegangan yang timbul diukur oleh dua probe bagian dalam menggunakan voltmeter digital.
- Lakukan pengukuran di beberapa titik permukaan sampel (secara acak) untuk memastikan hasil yang representatif

Konduktivitas listrik (σ) sampel komposit polimer pengalir dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) berikut :

$$\sigma = 2\pi s \frac{V}{I} F \dots\dots\dots (3.2)$$

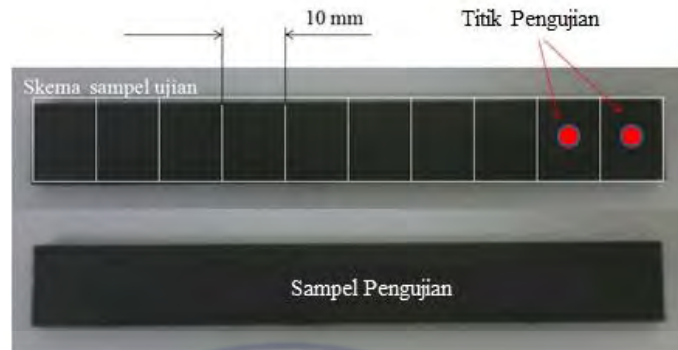
Berdasarkan Persamaan (1), $s = 1\text{mm}$ merupakan jarak antar probe, I adalah arus tetap yang mengalir melalui dua probe luar, V adalah tegangan jatuh pada dua probe dalam, dan F adalah faktor koreksi yang didasarkan pada rasio antara ketebalan sampel dan jarak antar probe (s), seperti yang tercantum dalam Tabel 3.3

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

(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

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 $100\text{ mm} \times 12,7\text{ mm} \times 2,5\text{ mm}$, 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. 8. Gambar Sampel Pengujian

3) Uji bending

Pengujian dilakukan menggunakan *universal testing tachine* (UTM) *Tensilona RYF-1350*, dengan kapasitas bebas maksimal 5000 N. Alat ini memiliki sensor gaya presisi tinggi dan sistem kontrol kecepatan lintasan pengukuran tegangan-lentur secara disecara akurat.

Langkah-langkah Pengujian Konduktivitas Listrik Sebagai Berikut:

1. Persiapan Sampel dari Pengujian Penelitian Sebelumnya

- Spesimen yang digunakan dalam pengujian bending merupakan hasil dari proses *hot press* pada penelitian sebelumnya dengan komposisi polipropilen dan karbon aktif yang telah divariasikan.
- Setiap sampel memiliki ukuran standar 100 mm × 12 mm × 3 mm, sesuai dengan dimensi pengujian material komposit berbasis polimer.
- Sebelum pengujian dimulai, spesimen dibersihkan dari sisa partikel, debu, dan ketidakraturan permukaan agar tidak memengaruhi distribusi beban selama proses uji lentur berlangsung.

2. Persiapan dan Kalibrasi Alat Uji

- Pengujian dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan tipe Tensilona RYF-1350, yang memiliki kapasitas beban maksimum 5000 N.
- Alat dilengkapi dengan sensor gaya presisi tinggi dan sistem kontrol kecepatan untuk memastikan hasil pengujian akurat dan terukur.
- Sebelum pengujian, alat dikalibrasi terlebih dahulu guna memastikan jarak tumpuan dan posisi beban berada sesuai standar uji lentur.

3. Penempatan Sampel pada Alat Uji

- Spesimen diletakkan secara horizontal di atas dua tumpuan dengan jarak antar tumpuan 50 mm.
- Beban diberikan secara perlahan melalui bagian tengah spesimen untuk menciptakan gaya lentur merata di sepanjang permukaan.
- Pastikan posisi spesimen stabil dan tidak bergeser sebelum penekanan dimulai.

4. Pelaksanaan Pengujian

- Pengujian dilakukan dengan kecepatan pembebanan konstan, sesuai dengan standar ASTM D790-03.
- UTM akan menekan bagian tengah spesimen hingga terjadi deformasi (pembengkokan) dan patah.
- Data berupa tegangan lentur (σ) dan regangan (ϵ) terekam secara otomatis oleh sistem sensor alat uji.

- Setiap spesimen diuji satu per satu berdasarkan variasi waktu tahan (10, 15, dan 20 menit) serta komposisi bahan (PP 100%, PP 95% + KA 5%, dan PP 85% + KA 15%)

5. Perhitungan Nilai Tegangan dan Regangan Lentur

- Nilai tegangan lentur maksimum (σ_{max}) dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma_{max} = \frac{3FL}{2bd^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

sedangkan regangan lentur (ϵ) dapat dihitung dengan:

$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan keterangan:

F = gaya maksimum saat spesimen patah (N)

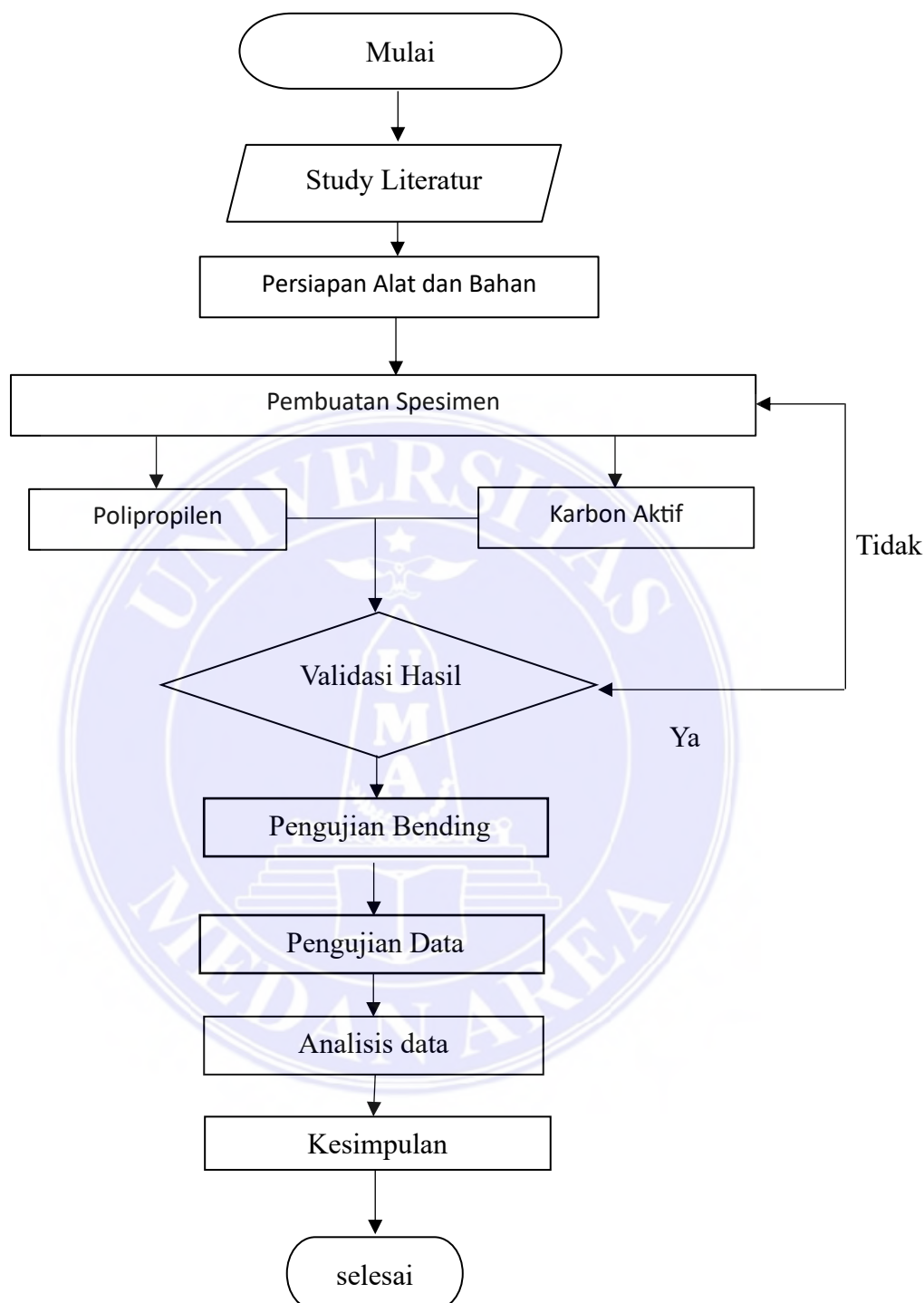
L = jarak antar tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

3.5.3 Diagram Alir Penelitian



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada sampel dengan waktu tahan yang singkat, hasil pengujian menunjukkan konduktivitas listrik yang rendah bahkan ada yang tidak terdeteksi. Hal ini disebabkan karena material komposit masih kurang padat, sehingga partikel karbon aktif di dalam matriks polipropilen belum saling terhubung dengan baik untuk membentuk jalur konduktif. Ketika waktu tahan ditingkatkan, konduktivitas listrik cenderung meningkat. Pada variasi dengan waktu tahan lebih lama, densitas komposit lebih tinggi, partikel karbon aktif saling bersentuhan lebih rapat, dan terbentuk jaringan konduktif yang lebih efektif. Hal ini memperlihatkan bahwa semakin lama waktu tahan proses *hot press*, semakin besar peluang material untuk memiliki jalur penghantar listrik yang kontinu.
2. Perubahan konduktivitas listrik setelah proses *hot press* bervariasi tergantung pada kombinasi waktu tahan dan komposisi material. Pada awalnya, seluruh komposisi menunjukkan nilai hambatan yang sangat tinggi (∞), menandakan bahwa material belum cukup konduktif sebelum proses optimal. Setelah dilakukan proses *hot press* dan pengujian lebih lanjut, terjadi peningkatan konduktivitas secara signifikan pada komposisi yang mengandung karbon aktif, khususnya PP 85% KA 15%, yang mencapai nilai konduktivitas tertinggi sebesar 189,5 (uji 1) dan 113 (uji 2) pada waktu tahan 20 menit. Ini menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif dan proses *hot press* yang tepat mampu mengaktifkan jalur konduktif dalam material.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar proses *hot press* pada komposit polipropilen dan karbon aktif dilakukan dengan pengaturan waktu tahan yang lebih terkontrol dan spesifik. Penambahan variasi waktu tahan seperti 12 atau 18 menit dapat membantu menemukan titik optimal yang menghasilkan densitas tinggi tanpa menyebabkan degradasi material. Selain itu, untuk meningkatkan performa konduktivitas listrik, perlu diterapkan metode pencampuran yang lebih merata seperti pengadukan mekanis atau penggunaan twin-screw extruder agar partikel karbon aktif terdistribusi lebih homogen dalam matriks PP dan tidak membentuk pori-pori besar yang menghambat aliran listrik.
2. Di sisi lain, penting juga dilakukan pengujian lanjutan seperti analisis densitas relatif dan karakterisasi morfologi menggunakan mikroskop elektron (SEM) untuk mengetahui struktur mikro dan penyebab pasti rendahnya konduktivitas listrik pada beberapa sampel. Penggunaan bahan aditif konduktif lain seperti karbon *nanotube* atau *graphene* juga bisa dipertimbangkan guna memperbaiki jaringan jalur konduktif. Selain itu, arah penelitian selanjutnya sebaiknya difokuskan pada aplikasi praktis dari material ini, seperti dalam bidang elektronik fleksibel atau sensor, agar hasil penelitian dapat diterapkan secara langsung di dunia industri maupun teknologi berkelanjutan.

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>
- Anwar, K., Bakri, B., Chandrabakty, S., & Naharuddin, N. (2024). Pelatihan Penggunaan Mesin Hot-Press untuk Daur Ulang Sampah Plastik di Bank Sampah Navoe Kelurahan Taipa. *Jurnal Abmas Negeri (JAGRI)*, 5(1), 9–18. <https://doi.org/10.36590/jagri.v5i1.808>
- Erwin, E., Fernanda, R., Pradipta. Malvin Dharma, Rasendria, N. F., & Khoirunabil, I. R. (2022). Kajian penerapan sistem fuel cell sebagai sumber energi alternatif ramah Lingkungan pada kendaraan bermotor. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 10(2), 104–116. <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.45831>
- Harahap, H. (2005). *Perbandingan beberapa metoda praktis polimerisasi*. 1–9.
- 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>
- Lidwina, S. (2013). Kata kunci s. *Kinabalu*, 11(2), 50–57.
- Mawardi, I., Hasrin, & Hanif. (2015). Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding. *Industrial Engineering Journal*, 4(2), 30–35.
- Ningsih, E. S., Mulyadi, S., & Yetri, Y. (2012). *Sorbitol Sebagai Platisizer*. 1(1), 53–59.
- Oktaviani, Y., & Muttaqin, A. (2015). Konduktivitas Listrik Zeolit Sintetis Dari Abu Dasar Batubara Dengan Metode Alkali Hidrotermal Yunisa Oktaviani , Afdhal Muttaqin. *Jurnal Fisika Unad*, 4(4), 358–364.
- 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>

- Safitri, I. A., Rudiyanto, B., Nursalim, A., & Hariono, B. (2016). Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 16(1).
<https://doi.org/10.25047/jii.v16i1.2>
- Saputra, T. jaya, Fadli, U. M., & Basith, A. (2023). Analisis Konduktivitas Listrik Pada Kitosan Dari Limbah Rajungan Di Paciran Sebagai Bahan Elektrolit Pada Bio-Baterai. *Jurnal Rekayasa Energi*, 2(1), 19–25.
<https://doi.org/10.31884/jre.v2i1.29>
- Setiajit, S. B., Raharjo, W. W., & Sukanto, H. (2016). Pengaruh waktu pengepresan terhadap sifat mekanik komposit kenaf / polypropylene. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 11(2), 89–93.
- Talango, N. (2021). Jurnal Simetrik Vol 11, No. 1, Juni 2021. *Jurnal Simterik*, 11(1), 432–439.
- Termal, S., Pemfc, B. B., Teknik, J., Industri, F. T., & Sepuluh, I. T. (2014). *Pengaruh Penambahan Grafit terhadap Sifat Listrik Komposit Vinil Ester / Grafit sebagai Pelat Bipolar Membran Penukar Proton Sel*. 3(1), 3–8.
- Vilanti, A., Kasmungin, S., & Mardiana, D. A. (2017). Pengaruh Permeabilitas dan Konsentrasi Polimer terhadap Saturasi Minyak Sisa pada Injeksi Polimer. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 2(01), 41–47. <https://doi.org/10.33021/jmem.v2i01.321>
- Zulfia, A., Abimanyu, T., Dalam, W., Metalurgi, D., Teknik, F., Indonesia, U., Ketenagalistrikan, P., Terbarukan, B., Energi, K., Mineral, D., & Selatan, J. (2011). Pengaruhnya Pada Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Listrik Pelat Bipolar Komposit PP/ C-Cu. *Makara, Teknologi*, 15(2), 101–106.
- Zulfia, A., & Ariati, M. (2010). Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Waktu Tahan Terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam AL/SiC Hasil Infiltrasi Tahap Tekanan. *Makala of Technology Series*, 10(1), 18–23.
<https://doi.org/10.7454/mst.v10i1.397>

LAMPIRAN 1: Spesimen yang di Uji



Gambar 1. Spesimen Polipropilen



Gambar 2. Spesimen Campuran Polipropilen Dan Karbon Aktif



Gambar 3. Spesimen Saat Melakukan pengujian Terdapat Rongga/Pori-pori

LAMPIRAN 2: Dokumentasi Pengujian Spesimen



Gambar 4. Melakukan Pengujian Densitas



Gambar 5. Melakukan pengujian Konduktivitas Listrik

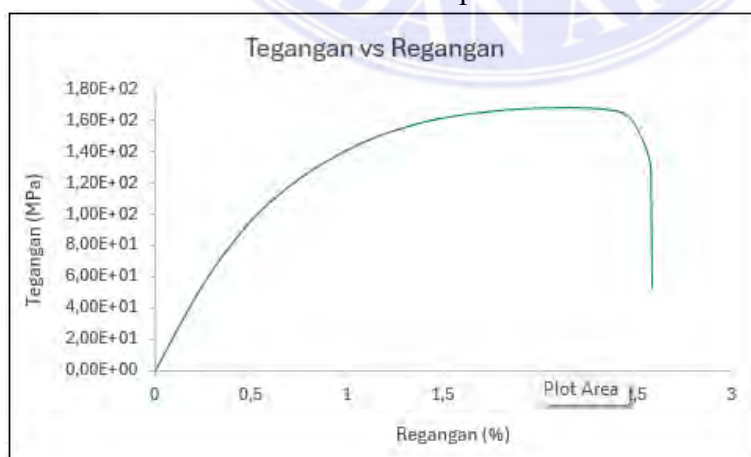
LAMPIRAN 3: Dokumentasi



Gambar 6. Melakukan Pengujian Bending



Gambar 7 Melakukan Pembuatan Spesimen



Gambar 8 Pengujian Bending