

**PENGARUH TEKANAN PROSES *HOT PRESS* PADA
KOMPOSIT POLIPROPILEN/KARBON AKTIF TERHADAP
KONDUKTIVITAS LISTRIK**
SKRIPSI
OLEH
TOMRI RAJAGUKGUK
218130029



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/1/26

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 (repository.uma.ac.id)22/1/26

**PENGARUH TEKANAN 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 :

TOMRI RAJAGUKGUK

218130029

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 22/1/26

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 (repository.uma.ac.id)22/1/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal	Pengaruh Tekanan Proses <i>Hot Press</i> Pada Komposit Polipropilen/Karbon Aktif Terhadap Konduktivitas Listrik
Nama Mahasiswa	Tomri Rajagukguk
NIM	218130029
Fakultas	Teknik



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.



**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 : Tomri Rajagukguk
NPM : 218130029
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 Tekanan 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

Tomri Rajagukguk
218130029

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan proses *hot press* terhadap konduktivitas listrik pada komposit polipropilen/karbon aktif sebagai material calon plat dwikutub pada *fuel cell*. Sampel dibuat dengan beberapa variasi komposisi polipropilen dan karbon aktif, serta diuji pada tekanan 2 MPa, 4 MPa, dan 6 MPa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel, baik dengan maupun tanpa penambahan karbon aktif, tidak menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang terukur. Kondisi ini diduga disebabkan oleh tingginya porositas dan belum terbentuknya jalur konduktif antar partikel karbon aktif dalam matriks polipropilen. Peningkatan tekanan *hot press* memang dapat meningkatkan densitas material, namun belum cukup untuk membentuk struktur pengantar listrik yang efektif. Temuan ini menegaskan perlunya optimasi parameter proses dan desain cetakan agar distribusi partikel lebih merata serta jalur konduktif dapat terbentuk dengan baik dalam aplikasi material komposit konduktif.

Kata Kunci: Polipropilen, Karbon Aktif, Hot Press, Konduktivitas Listrik, Komposit, Fuel Cell

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of variations in hot press pressure on the electrical conductivity of polypropylene/activated carbon composites as candidate materials for bipolar plates in fuel cells. Samples were made with several variations in polypropylene and activated carbon compositions, and tested at pressures of 2 MPa, 4 MPa, and 6 MPa. The test results showed that all samples, both with and without the addition of activated carbon, did not produce measurable electrical conductivity values. This condition is thought to be caused by high porosity and the lack of conductive pathways between activated carbon particles in the polypropylene matrix. Increasing the hot press pressure can indeed increase the material density, but it is not enough to form an effective electrically conducting structure. These findings emphasize the need for optimization of process parameters and mold design to ensure more even particle distribution and proper conductive pathways in the application of conductive composite materials.

Keywords: Polypropylene, Activated Carbon, Hot Press, Electrical Conductivity, Composite, Fuel Cell

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Tomri Rajagukguk dilahirkan di Desa Sitanggor (Bunturaja), Kec. Muara, Kab. Tapanuli Utara pada tanggal 12 Mei 2002 dari ayah Lisdon Rajagukguk dan ibu Sondang Marbun. Penulis merupakan putra ke lima dari Sembilan bersaudara. Tahun 2015 penulis menyelesaikan Pendidikan Dasar di SDN 177664 Sitanggor, tahun 2018 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Muara, tahun 2021 penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 1 Muara jurusan Teknik Kendaraan Ringan, 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. Baru, Perkebunan Negeri Lama Kec.Bilah Hilir, Kab.Labuhan Batu, Sumatera Utara 21471 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. Seluruh Teman -Teman dan Orang Tua tercinta saya yang turut memberikan semangat dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
- h. Buat seseorang yang spesial, falentina simanjuntak terimahsih sudah seslalu ada, ngedukung, dan sabar nemenin dari awal sampai akhir proses ini. Makasih udah percaya dan terus nyemangatin di saat penulis sempat capek dan hampir nyerah .dukunganmu berarti banget dan jadi salah satu alasan skripsi ini bisa selesai sampai tuntas.

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, 2025



Tomri Rajagukguk

NPM. 218130029

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fuel Cell.....	4
2.2 Komponen Fuel Cell	6
2.3 Plat Dwikutup/Bipolar Plate	8
2.4 Komposit.....	9
2.4.1 Definisi Komposit.....	10
2.4.2 Klasifikasi Material Komposit	11
2.5 Polimer.....	12
2.6 Proses Pengaruh Tekanan Terhadap Konduktivitas Listrik.....	13
2.7 Tekanan.....	13
2.7.1 Klasifikasi Tekanan.....	14
2.7.2 Besaran-besaran Fisika Yang Berhubungan Dengan Tekanan	15
2.7.3 Persamaan, Rumus Dan Satuan Tekanan	16
2.8 Konduktivitas Listrik.....	16
2.9 Uji Bending	18
2.9.1 Modulus Elastisitas.....	18

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

ix

Document Accepted 22/1/26

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 (repository.uma.ac.id)22/1/26

2.9.2 Tegangan Bending	18
2.10 Pengujian Konduktivitas Listrik.....	20
2.11 Densitas	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	24
3.1.1 Tempat.....	24
3.1.2 Waktu	24
3.2 Bahan Dan Alat	25
3.2.1 Bahan.....	25
3.2.2 Alat	28
3.3 Metode Penelitian	37
3.4 Populasi Dan Sampel	37
3.5 Prosedur Penelitian	38
3.6 Diagram Alir Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Hasil Dan Pembahasan	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	59

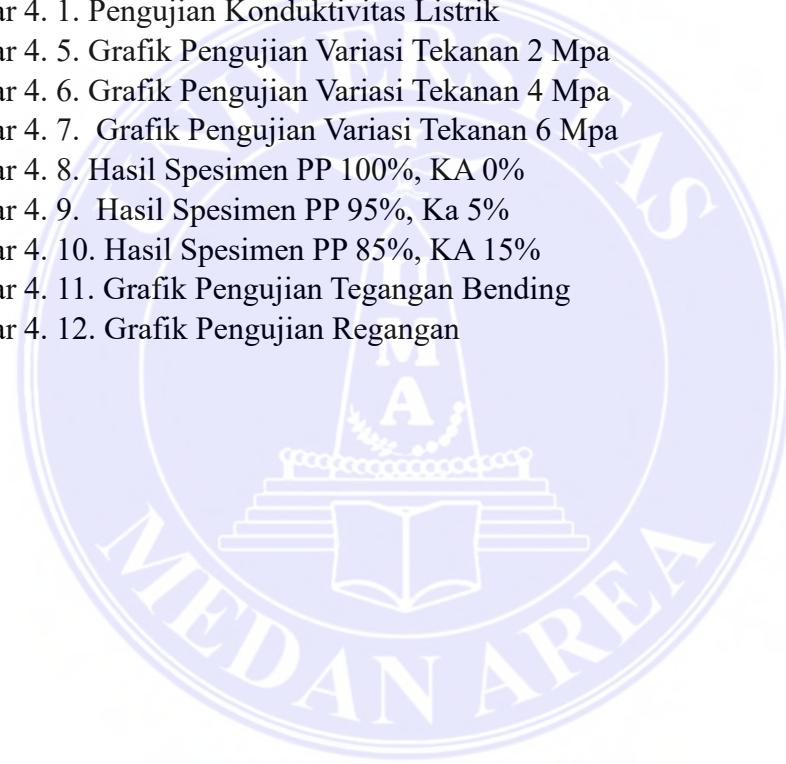
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Faktor Pembetulan (F) Bagi Sampel Dengan Ketebalan (T)	21
Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir	24
Tabel 3. 2. Data Komposisi Sampel	37
Tabel 4. 1. Tegangan vs Regangan	50



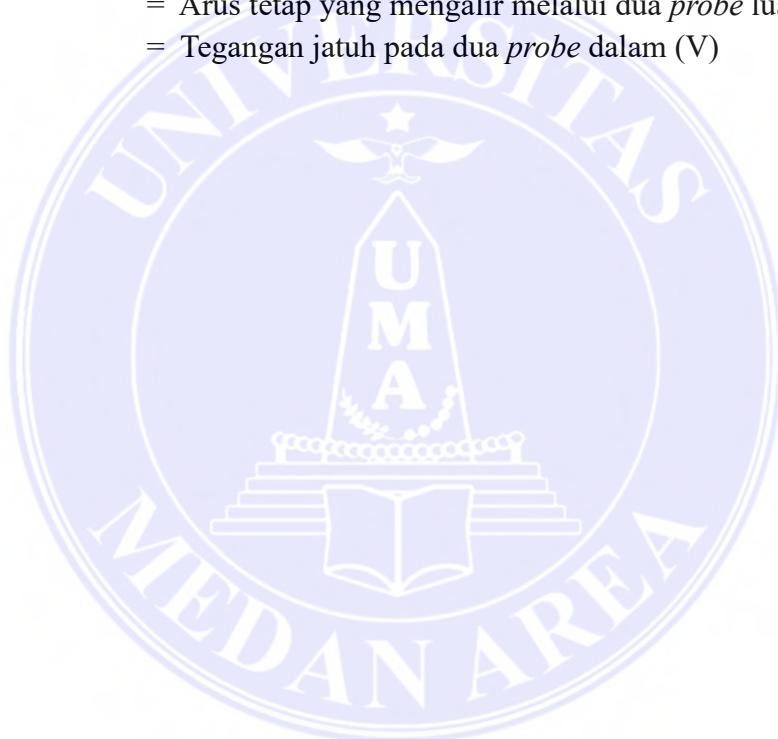
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Fuel Cell	6
Gambar 2. 2. Plat Dwikutuf/Bipolar Plate	9
Gambar 2. 3. Data Modulus Elastisitas	18
Gambar 2. 4. Grafik Tegangan Bending	19
Gambar 3. 1. Biji Polipropilen	26
Gambar 3. 2. Karbon Aktif	28
Gambar 3. 3. Mesin Hot Press Skala Laboratorium	29
Gambar 3. 4. Laptop	32
Gambar 3. 5. Timbangan Digital	33
Gambar 3. 6. Alat Uji Kekonduksian Elektrik Arah Satah Kuar Empat Titik	35
Gambar 3. 7. Titik Sampel Pengujian	36
Gambar 3. 8. Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4. 1. Pengujian Konduktivitas Listrik	44
Gambar 4. 5. Grafik Pengujian Variasi Tekanan 2 Mpa	46
Gambar 4. 6. Grafik Pengujian Variasi Tekanan 4 Mpa	47
Gambar 4. 7. Grafik Pengujian Variasi Tekanan 6 Mpa	48
Gambar 4. 8. Hasil Spesimen PP 100%, KA 0%	49
Gambar 4. 9. Hasil Spesimen PP 95%, Ka 5%	50
Gambar 4. 10. Hasil Spesimen PP 85%, KA 15%	50
Gambar 4. 11. Grafik Pengujian Tegangan Bending	52
Gambar 4. 12. Grafik Pengujian Regangan	53



DAFTAR NOTASI

P	= Tekanan (Pa)
F	= Gaya (N)
A	= Luas alas/penampang (M^2)
σ_{max}	= Konduktivitas Listrik (S/cm)
σ	= Tegangan lentur maksimum (MPa/N/mm ²)
R	= Resistivitas listrik ($\Omega.cm$)
L	= Jarak antara dua tumpuan (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
d	= Tebal spesimen (mm)
s	= Jarak antar <i>probe</i> (mm)
I	= Arus tetap yang mengalir melalui dua <i>probe</i> luar (A)
V	= Tegangan jatuh pada dua <i>probe</i> dalam (V)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Material komposit memiliki kepentingan yang besar karena memiliki karakteristik yang khusus (Novriyanti Talango, 2021). Beberapa di antaranya adalah kekakuan, kekuatan, ringan, tahan korosi, dan umur kelelahan yang lebih baik daripada bahan konvensional lainnya. 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). Polipropilen 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. 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. 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. Salah satu komponen kunci dalam teknologi *fuel cell* adalah pembuatan komponen plat dwikutub. Oleh karena itu, suhu mesin *hot press* memiliki dampak yang signifikan terhadap bahan yang akan ditekan(Iswandi, 2022).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan :

1. Apakah variasi tekanan *hot press* 2 MPa, 4 MPa, dan 6 MPa pada komposit polipropilen/karbon aktif dapat menghasilkan konduktivitas listrik?
2. Berapa tekanan hot press yang diperlukan untuk meminimalkan porositas dan meningkatkan peluang terbentuknya jalur konduktif pada komposit polipropilen/karbon aktif?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan variasi tekanan *hot press* dalam menghasilkan konduktivitas listrik pada komposit polipropilen/karbon aktif.
2. Menentukan kisaran tekanan *hot press* yang berpotensi meminimalkan porositas dan meningkatkan peluang terbentuknya jalur konduktif pada komposit polipropilen/karbon aktif.

1.4 Hipotesis Penelitian

1. Komposit polipropilen/karbon aktif yang diproses menggunakan tekanan *hot press* memiliki kemungkinan tidak menunjukkan konduktivitas listrik apabila jalur konduktif antar partikel karbon aktif belum terbentuk secara efektif.
2. Variasi tekanan *hot press* berpengaruh terhadap peningkatan densitas material, dan peningkatan densitas tersebut diduga berkontribusi dalam pembentukan jalur konduktif pada komposit polipropilen/karbon aktif.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menambah pengetahuan mengenai pengaruh tekanan *hot press* terhadap struktur mikro dan sifat konduktif dari komposit polipropilen/karbon aktif, khususnya dalam konteks pengembangan material konduktif berbasis polimer.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar evaluasi dan pengembangan parameter pemrosesan (seperti tekanan, suhu, dan waktu) dalam upaya membentuk jalur konduktif yang efektif dalam material komposit berbasis polimer dan karbon.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuel Cell

Fuel cell adalah sebuah perangkat elektro-kimia 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. 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 (Himawati, 2018).

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 (Erwin et al., 2022). 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.

Pada dasarnya, sel bahan bakar memiliki dua bagian utama, yaitu elektroda (anoda dan katoda) serta elektrolit. Konfigurasi sel bahan bakar ini menyerupai bentuk sandwich, di mana elektrolit berada di antara dua elektroda. Dalam proses kerjanya, bahan bakar dialirkan melewati permukaan anoda, sementara oksigen disuplai ke permukaan katoda (Dadang, 2018). Umumnya, gas hidrogen (H_2) digunakan sebagai bahan bakar utama pada sel bahan bakar. Namun, terdapat pula

beberapa tipe sel bahan bakar yang dapat memanfaatkan metanol (CH_3OH), karbon monoksida (CO), atau hidrokarbon seperti metana (CH_4) sebagai bahan bakarnya. Jika dilihat dari suhu operasionalnya, sel bahan bakar terbagi ke dalam dua jenis yaitu sel bahan.



Gambar 2. 1. *Fuel Cell*

2.2 Komponen *Fuel Cell*

Fuel cell atau sel bahan bakar merupakan sebuah perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi kimia. Adapun komponen dari *fuel cell* adalah sebagai berikut :

1. Anoda

Anoda pada *fuel cell* memiliki peran yang sangat penting dalam proses oksidasi bahan bakar. Pada proses 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 (Dadang, 2018). Proses ini menunjukkan kemampuan *fuel cell* dalam memanfaatkan bahan bakar dengan efisiensi tinggi, 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 penggerak utama dalam konversi energi.

2. Katoda

Katoda memiliki peran yang penting 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 (Dadang, 2018). 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* menawarkan potensi besar sebagai sumber energi masa depan yang efisien dan ramah lingkungan.

3. Elektrolit

Elektrolit dalam *fuel cell* merupakan komponen yang sangat penting dalam memastikan kelancaran transportasi ion antara elektroda (Dadang, 2018). Dalam pengoperasian *fuel cell*, 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 krusial untuk menjaga reaksi kimia berlangsung tanpa hambatan, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. Dengan kata lain, elektrolit bukan hanya sebagai medium pasif, tetapi juga sebagai penentu kinerja dari *fuel cell* itu sendiri, mencerminkan keunggulan teknologi ini dalam aplikasi energi bersih.

2.3 Plat Dwikutup/*Bipolar Plate*

Plat dwikutub pada *jandel four point probe* merupakan elemen kunci dari alat pengukuran tersebut yang digunakan untuk mengukur resistivitas listrik dan ketebalan sampel semi konduktor dan konduktor (Raharja, 2015). Plat ini biasanya terbuat dari logam yang konduktif seperti tembaga atau platina. Dwikutub mengacu pada fakta bahwa terdapat dua pasang kontak pada plat tersebut. Pasangan kontak pertama digunakan untuk menyuntikkan arus listrik ke dalam sampel, sedangkan pasangan kontak kedua digunakan untuk mengukur tegangan yang terjadi pada sampel. Konfigurasi dua pasang kontak ini memungkinkan pengukuran resistivitas yang akurat dengan mengurangi efek resistansi kontak.

Bipolar plate merupakan bagian penting dalam sel bahan bakar, berperan sebagai penghantar arus listrik dan sebagai pemisah antara sel-sel individu dalam stack sel bahan bakar. Biasanya terbuat dari material komposit yang menggabungkan sifat konduktivitas listrik yang baik dengan ketahanan kimia dan mekanis (Iswandi et al., 2019). Menurut Iswandi & Sulong, 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. Komposisi material ini sangat berperan dalam menentukan kinerja akhir dari *bipolar plate*.

Selain sebagai penghantar arus listrik, *bipolar plate* juga berfungsi dalam mendistribusikan gas reaktan secara merata ke seluruh elektrode. Distribusi yang merata ini penting untuk memastikan reaksi elektrokimia berjalan optimal di seluruh elektrode, sehingga meningkatkan efisiensi sel bahan bakar. Selain itu, *bipolar plate* juga berperan sebagai media pelepas panas yang dihasilkan dari reaksi

di dalam sel bahan bakar. Oleh karena itu, sifat termal dari material yang digunakan dalam *bipolar plate* harus diperhatikan dengan baik.

Komposisi material dan desain fisik dari *bipolar plate* sangat mempengaruhi 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 bobot total dari stack sel bahan bakar, yang merupakan faktor penting dalam aplikasi transportasi. Oleh karena itu, terus dilakukan inovasi dalam material dan teknologi manufaktur *bipolar plate* untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi ekonomisnya.



Gambar 2. 2. Plat Dwikutuf/*Bipolar Plate*

2.4 Komposit

Material komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang tetap terpisah dan berbeda secara makroskopik namun membentuk satu komponen tunggal, menghasilkan material dengan sifat mekanik dan karakteristik yang unik (Andri Setiawan, 2017). Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik, dengan setiap bahan penyusun memiliki sifat yang berbeda. Ketika digabungkan dalam komposisi tertentu, terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Komposit dalam industri umumnya terdiri dari campuran polimer dan bahan alam

seperti karet dan serat. Komposit merupakan kombinasi bahan matrik atau pengikat yang diperkuat oleh bahan penguat, yang dapat berupa serat, partikel, serpihan, atau bentuk lainnya.

2.4.1 Definisi Komposit

1. Tingkat dasar

Dalam satu molekul tunggal dan susunan kristal, jika bahan terdiri dari dua atom atau lebih, maka disebut sebagai komposit (seperti senyawa, paduan, polimer, dan keramik).

2. Mikrostruktur

Pada kristal, *phase*, dan senyawa, ketika material terdiri dari dua *phase* atau senyawa atau lebih disebut sebagai komposit (contoh, paduan antara besi dan karbon). Karbon aktif merupakan bahan karbon amorf yang memiliki permukaan spesifik sangat luas dan struktur yang berpori. Karakteristik utama dari karbon aktif adalah kemampuannya dalam proses adsorpsi. Namun, dalam situasi tertentu, karbon aktif juga dapat berfungsi sebagai penghantar listrik. Sifat konduktif ini disebabkan oleh adanya ikatan sp^2 dalam struktur karbon, yang memungkinkan elektron bergerak secara bebas (Suryadi et al., 2015).

3. Makrostruktur

Material komposit adalah bahan yang terdiri dari gabungan dua atau lebih komponen makro yang berbeda baik dalam bentuk maupun komposisi, dan tidak dapat larut satu sama lain. Ini merupakan definisi umum yang sering digunakan untuk material komposit.

2.4.2 Klasifikasi Material Komposit

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

1. Komposit Serat (*Fiber composite*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat atau komposit yang terdiri dari *fiber* dan matriks sebagai pengikat. Biasanya, komposit terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber* seperti serat gelas, serat karbon, serat aramid, dan lain sebagainya. Serat ini dapat disusun secara acak atau dengan orientasi tertentu, bahkan dalam bentuk anyaman yang lebih kompleks (Novriyanti 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. komposit partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang tersebar secara acak atau teratur dalam bentuk partikel (Zulfikar, 2023). Partikel ini merupakan komponen 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.

2.5 Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari banyak unit kecil yang disebut monomer, yang saling terikat melalui reaksi kimia untuk membentuk struktur panjang dan berulang (Andri Setiawan, 2017). Konsep polimer sering dikaitkan dengan berbagai aplikasi industri karena kemampuannya yang dapat disesuaikan dan beragam. Kekuatan dan kelenturan polimer membuatnya menjadi bahan pilihan di berbagai bidang teknologi dan ilmu material. Dengan kemampuannya untuk dimodifikasi sesuai kebutuhan, polimer dapat digunakan dalam pembuatan berbagai produk mulai dari plastik sederhana hingga komposit canggih. Pemahaman yang mendalam tentang struktur dan sifat dasar polimer memungkinkan pengembangan material dengan karakteristik spesifik yang diinginkan.

Sebagai bahan dengan struktur yang kompleks, polimer memiliki beberapa karakteristik unik yang menarik. Salah satunya adalah kemampuannya untuk diubah menjadi berbagai bentuk dan struktur yang berbeda melalui proses polimerisasi. Proses ini memungkinkan monomer bergabung membentuk rantai panjang atau jaringan yang kompleks, memberikan polimer sifat fisik dan mekanik yang khas. Setiap rantai polimer dapat terdiri dari ribuan hingga jutaan unit monomer, yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.

Karakteristik ini memberikan fleksibilitas yang luar biasa dalam penggunaan praktis polimer di berbagai industri. Selain itu, sifat ini memungkinkan polimer digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan yang berbeda.

2.6 Proses Pengaruh Tekanan Terhadap Konduktivitas Listrik

Dalam proses pembentukan komposit, tekanan memiliki pengaruh signifikan terhadap konduktivitas listrik melalui berbagai mekanisme fisik dan mekanik yang kompleks. Tekanan yang diterapkan dalam proses ini dapat memengaruhi struktur mikro material, yang pada akhirnya akan memengaruhi kemampuan material dalam menghantarkan listrik. Tekanan yang digunakan dalam pembuatan pelat *bipolar* dari *grafit* dan polipropilen dapat memengaruhi jarak antar partikel, yang berdampak pada jalur konduksi listrik. Peningkatan tekanan cenderung meningkatkan kontak partikel yang lebih rapat, sehingga mengurangi resistansi listrik (Iswandi et al., 2019).

Seiring dengan meningkatnya tekanan, struktur mikro material juga mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan peningkatan tekanan. Tekanan yang lebih tinggi dalam proses *hot press* dapat meningkatkan ikatan antara matriks polipropilen dan agen pengisi seperti karbon aktif, yang pada akhirnya meningkatkan jalan penghantaran listrik. Modifikasi struktur mikro ini terjadi karena tekanan yang lebih tinggi membantu mengurangi void di antara partikel, meningkatkan homogenitas campuran komposit.

2.7 Tekanan

Tekanan merupakan konsep dalam bidang fisika yang digunakan untuk mengukur besarnya gaya yang bekerja pada setiap satuan luas. Penting untuk dicatat bahwa gaya yang dimaksud adalah gaya yang tegak lurus terhadap

permukaan suatu benda. Konsep tekanan umumnya digunakan untuk menilai kekuatan suatu zat dalam bentuk cairan atau gas. Sedangkan untuk zat padat, jarang sekali digunakan istilah tekanan karena bentuk dan volume zat tersebut cenderung tetap. Tekanan juga sering dikaitkan dengan volume dan suhu. Jika tekanan di suatu tempat meningkat pada volume yang sama, maka suhu di tempat tersebut juga akan meningkat. Satuan standar internasional untuk tekanan adalah Pascal (Pa), di mana satu pascal setara dengan satu newton per meter persegi (N/m²) (Anggono & Ayub, 2022).

2.7.1 Klasifikasi Tekanan

Secara umum terdapat dua macam tekanan, yakni tekanan yang terkait dengan cairan disebut sebagai Tekanan Hidrostatis, sementara tekanan yang terkait dengan gas disebut sebagai tekanan udara.

1. Tekanan Hidrostatis

Seperti namanya, istilah hidrostatis berasal dari dua kata, yakni "*hidro*" yang berarti air dan "*statis*" yang berarti tetap. Dengan demikian, tekanan hidrostatis adalah tekanan yang diberikan pada cairan ketika dalam keadaan diam. Tekanan hidrostatis ini terjadi ketika cairan berada dalam keadaan diam karena dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Tekanan hidrostatis tidak bergantung pada volume cairan tersebut. Terdapat tiga faktor utama yang memengaruhi tekanan hidrostatis di suatu lokasi, yaitu kedalaman, massa jenis cairan, dan gaya gravitasi di tempat tersebut.

2. Tekanan Udara

Tekanan udara adalah tekanan yang menggerakkan massa udara dalam suatu area tertentu. Alat pengukur yang dipakai untuk mengukur tekanan udara disebut

barometer. Satuan tekanan udara adalah milibar (mb). Besarnya tekanan udara akan berkurang seiring dengan ketinggian suatu lokasi, semakin tinggi lokasi tersebut, maka tekanan udara akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya (Anggono & Ayub, 2022).

2.7.2 Besaran-besaran Fisika Yang Berhubungan Dengan Tekanan

a. Besaran Gaya

Gaya merupakan interaksi yang dapat mengubah gerak benda bermassa. Dilihat dari nilai dan arahnya, gaya dianggap sebagai vektor fisika karena memiliki nilai dan arah yang spesifik. Sementara itu, dari segi jenisnya, gaya termasuk besaran turunan karena nilainya diturunkan dari besaran pokok yang mempengaruhi. Satuan yang digunakan untuk mengukur gaya adalah Newton (N) dalam Sistem Internasional (SI). Simbol yang digunakan untuk merepresentasikan gaya adalah F . Alat yang sering digunakan untuk mengukur gaya adalah dinamometer atau neraca pegas. Gaya dapat mempengaruhi posisi, gerak, dan bentuk benda. Semakin besar gaya yang diberikan, semakin besar usaha yang diperlukan(Saraan et al., 2021).

b. Besaran Luas

Luas merupakan suatu konsep dalam bidang fisika yang mengukur ukuran dua dimensi dari suatu permukaan. Besaran ini diperoleh dengan mengalikan dua satuan panjang dari objek tersebut. Dalam Sistem Internasional (SI), satuan untuk luas adalah meter persegi (m^2) dan simbol yang digunakan untuk melambangkan luas adalah A . Bentuk dari objek akan memengaruhi nilai luasnya, misalnya jika objek berbentuk bujur sangkar, luasnya diperoleh dari perkalian kedua sisinya. Sedangkan jika objek berbentuk persegi panjang, luasnya diperoleh dari perkalian

panjang dan lebarnya. Untuk objek berbentuk lingkaran, luasnya diperoleh dari perkalian phi dengan jari-jari pangkat dua, dan untuk objek berbentuk segitiga, luasnya diperoleh dari perkalian alas dengan tingginya.

2.7.3 Persamaan, Rumus Dan Satuan Tekanan

Persamaan dari tekanan dapat dilihat dari persamaan 2.1 dibawah ini:

Keterangan :

P : Tekanan (Pa)

$F : Gaya(N)$

A : Luas alas/penampang (m^2)

2.8 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Proses ini terjadi karena adanya perpindahan elektron atau ion dalam bahan, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis bahan, suhu, dan kondisi fisik komponen penyusunnya. Menurut Iswandi & Sahari (2019) konduktivitas listrik memiliki peran penting dalam mengukur efisiensi material sebagai penghantar listrik dalam bidang material dan rekayasa. Penggunaan bahan konduktor sangat luas dalam perangkat elektronik dan sistem energi saat ini, sehingga pemahaman tentang konduktivitas listrik sangat diperlukan dalam pemilihan bahan untuk aplikasi teknologi tertentu.

Selain sebagai pengantar arus listrik, konduktivitas listrik juga memiliki peran penting dalam aplikasi teknologi lainnya. Bahan dengan konduktivitas tinggi digunakan dalam sirkuit elektronik untuk meningkatkan efisiensi transfer sinyal.

Konduktivitas listrik juga menjadi indikator utama dalam menilai kualitas bahan, terutama dalam industri elektronik yang membutuhkan ketepatan dan ketahanan

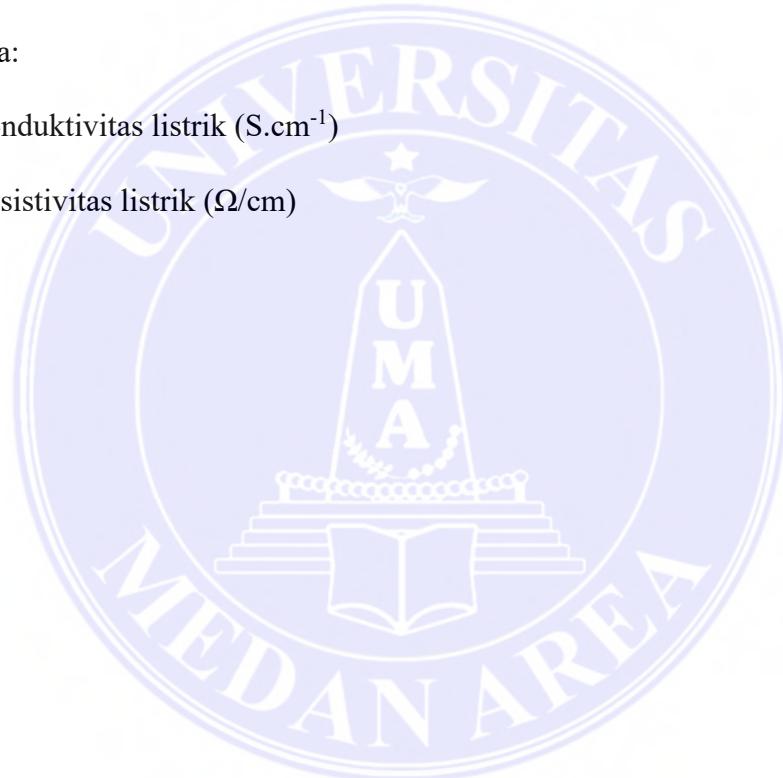
sinyal. Kemampuan bahan untuk menjaga stabilitas energi listrik sangat berpengaruh pada keandalan dan durabilitas perangkat yang menggunakannya, sehingga pemahaman yang mendalam tentang konduktivitas listrik sangat penting dalam rekayasa material Radzuan et al. (2021). Konduktivitas listrik adalah sifat material yang berbanding terbalik dengan resistivitas listrik. Konduktivitas listrik dapat dinyatakan dalam persamaan 2.2 dibawah ini:

$$\sigma = \frac{1}{R}(2.2)$$

Dimana:

σ = Konduktivitas listrik ($S.cm^{-1}$)

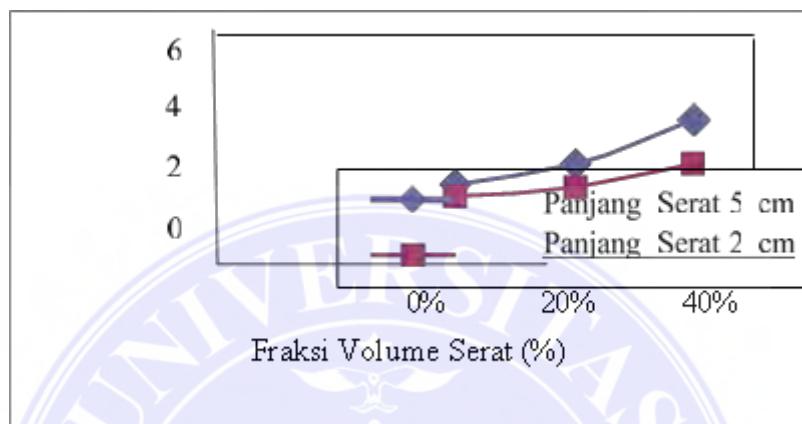
R = Resistivitas listrik (Ω/cm)



2.9 Uji Bending

2.9.1 Modulus Elastisitas

Contoh dari data nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:

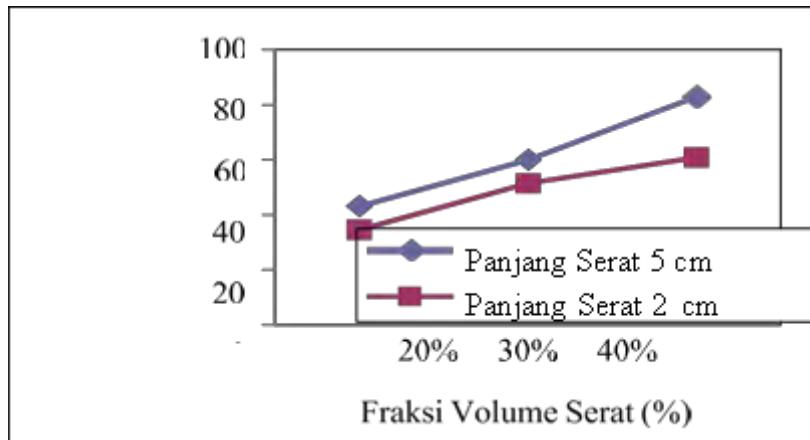


Gambar 2. 3. Data Modulus Elastisitas

Dari data yang terlihat pada grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa komposit dengan panjang serat 5 cm memiliki nilai modulus elastisitas bending tertinggi yaitu 4,358 MPa pada fraksi volume serat 40%, sedangkan nilai terendahnya terdapat pada fraksi volume serat 20% dengan nilai 2,347 MPa. Sementara itu, komposit dengan panjang serat 2 cm memiliki 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 gambar di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, maka modulus elastisitas bendingnya juga semakin tinggi (Bate Erich U, 2015).

2.9.2 Tegangan Bending

Contoh Dari data nilai tegangan bending dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2. 4. Grafik Tegangan Bending

Dari gambar yang di atas, terlihat bahwa komposit yang menggunakan serat berpanjang 5 cm memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi daripada komposit yang menggunakan serat berpanjang 2 cm pada semua fraksi volume serat (Bate Erich U, 2015). Penyebabnya adalah karena serat berpanjang 5 cm memberikan penguatan yang lebih efektif pada matriks dibandingkan dengan serat yang lebih pendek, sehingga saat terjadi beban, serat mampu menahan matriks agar tidak mudah patah. Kekuatan bending akan meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume serat. Hal ini terjadi karena semakin besar fraksi volume, maka 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 ilustrasi tersebut, kekuatan bending tertinggi tercatat sebesar 83,076 MPa pada fraksi volume 40% dengan serat berpanjang 5 cm, sedangkan kekuatan bending terendah terdapat pada fraksi volume serat 20% dengan serat berpanjang 2 cm sebesar 34,527 MPa. Uji bending dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3 dibawah ini:

$$\sigma = \frac{3FL}{2hd^2} \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

Dimana:

σ : tegangan lentur maksimum (MPa atau N/mm²)

F = gaya maksimum saat spesimen patah (N)

L = jarak antara dua tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

2.10 Pengujian Konduktivitas Listrik

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 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.

Konduktivitas listrik (σ) sampel komposit polimer pengalir dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) berikut (Dweiri & Sahari 2007):

$$\sigma = 2\pi s \frac{V}{I} F \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

Berdasarkan Persamaan (2.4), s = 1mm 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 2.1

Tabel 2. 1. 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

2.11 Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter fisik dasar yang berperan penting dalam bidang ilmu material, karena dapat menggambarkan banyaknya massa dalam setiap satuan volume suatu material. Dalam konteks material komposit, densitas tidak hanya merepresentasikan sifat fisik dasar, tetapi juga mencerminkan struktur internal dan kualitas manufaktur dari komposit tersebut. Umumnya, densitas dinyatakan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3) atau gram per sentimeter kubik (g/cm^3), tergantung konteks pengukuran yang digunakan. Nilai ini diperoleh melalui pembagian antara massa total suatu benda dengan volumenya(Callister,2020).

Dalam pengujian material komposit, densitas sering digunakan sebagai indikator awal untuk menilai keberhasilan proses fabrikasi dan distribusi komponen penyusun. Setiap jenis bahan memiliki densitas intrinsik yang berbeda, misalnya polipropilen (PP) memiliki densitas sekitar $0,90\text{--}0,91 \text{ g/cm}^3$, sedangkan karbon aktif berkisar antara $1,8\text{--}2,1 \text{ g/cm}^3$ tergantung struktur pori dan jenis karbonisasi. Ketika dua atau lebih bahan digabungkan dalam bentuk komposit, densitas akhir sangat dipengaruhi oleh fraksi volume dan massa masing-masing bahan penyusun serta efisiensi proses pengolahan(Basyarahil,2017). Oleh sebab itu, karakterisasi densitas dapat memberikan gambaran awal mengenai homogenitas, kerapatan partikel, dan adanya cacat struktural seperti pori-pori atau void dalam material. Secara umum, densitas komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu:

- a. Densitas teoritis, yang dihitung berdasarkan hukum campuran ideal antara densitas masing-masing komponen (tanpa memperhitungkan pori atau ketidakhomogenan).
- b. Densitas aktual (bulk density), yang diperoleh secara eksperimental melalui pengukuran massa dan volume spesimen nyata.
- c. Densitas relatif, yaitu perbandingan antara densitas aktual dengan densitas teoritis, yang sering digunakan untuk mengestimasi persentase porositas dalam komposit.

Adanya perbedaan antara densitas teoritis dan aktual biasanya disebabkan oleh adanya rongga atau ketidak sempurnaan dalam struktur internal komposit. Porositas yang tinggi menunjukkan ketidak efisienan dalam proses pemanasan atau penggabungan antar partikel. Hal ini dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik

maupun fungsional dari komposit, termasuk kekuatan tarik, ketahanan terhadap beban, serta konduktivitas listrik. Oleh karena itu, densitas sering kali dijadikan indikator tidak langsung untuk menilai kualitas manufaktur, terutama pada proses yang melibatkan tekanan dan suhu tinggi seperti hot press atau sintering. Uji densitas dapat dihitung menggunakan metode archimedes dalam persamaan 2.4 dibawah ini:

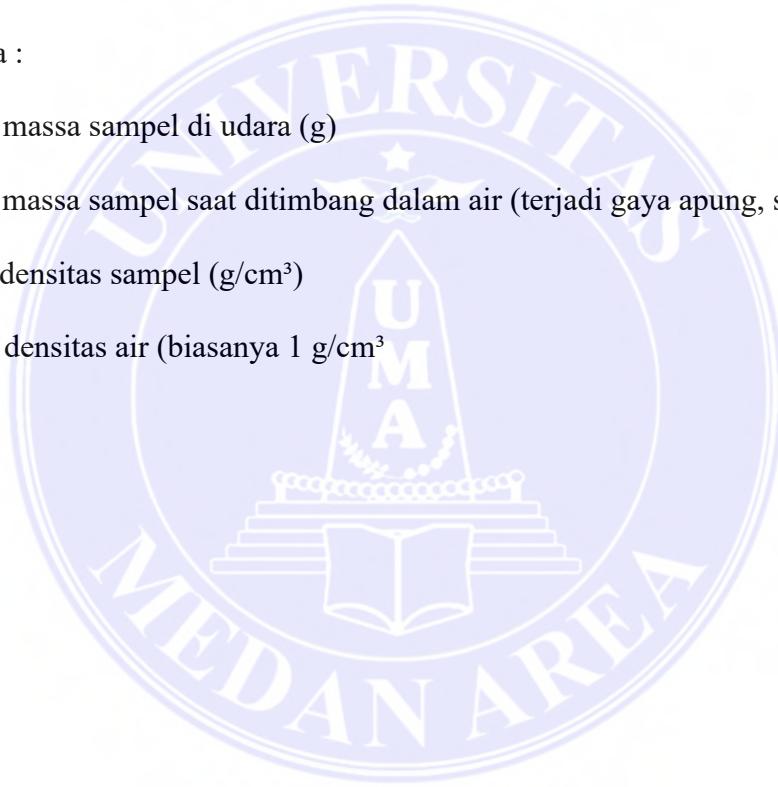
Dimana :

m_{udara} : massa sampel di udara (g)

m_{air} : massa sampel saat ditimbang dalam air (terjadi gaya apung, satuan g)

ρ_{sampel} : densitas sampel (g/cm^3)

ρ_{air} : densitas air (biasanya 1 g/cm³)



UNIVERSITAS MEDAN AREA

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Labortorium Teknik Mesin Universitas Medan Area yang beralamat di Jalan Kolam No.1 Medan Estate.

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 Januari 2025, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Jadwal Tugas Akhir

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

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan

1. Polipropilen

Polipropilen merupakan salah satu jenis plastik yang memiliki warna bening atau transparan. Plastik ini terbuat dari monomer polipropilen yang diproduksi secara luas di berbagai belahan dunia dan sering digunakan untuk membungkus makanan. Keunggulan dari plastik ini adalah bahan yang tidak beracun sehingga aman digunakan untuk membungkus produk konsumsi. Selain itu, plastik PP (polipropilen) juga memiliki fleksibilitas yang memudahkan dalam pembentukan sesuai kebutuhan. Karakteristik plastik PP dapat dikenali dari permukaannya yang licin. Meskipun lebih tahan lama daripada plastik PE, harga plastik PP lebih terjangkau. Dari segi materi, plastik PP (polipropilen) memiliki daya tahan yang lebih baik daripada plastik PE. Plastik PP juga lebih mampu bertahan pada suhu tinggi dibandingkan plastik PE, sehingga umumnya memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Karena alasan tersebut, plastik PP menjadi pilihan yang efisien bagi pengusaha dalam bisnis mereka. Jika Anda memiliki bisnis makanan beku (non-vakum), plastik PP (polipropilen) dapat menjadi alternatif yang tepat. Daya tembus air pada plastik PP lebih rendah dibandingkan dengan jenis plastik lainnya. Oleh karena itu, plastik PP (polipropilen) memiliki risiko yang lebih rendah untuk terkena uap air yang dapat merusak makanan.

Berbagai keunggulan ini menjadikan plastik PP sebagai solusi ideal untuk mengemas produk bisnis Anda. Tidak hanya untuk kemasan makanan, plastik PP juga dapat digunakan dalam berbagai industri seperti kelistrikan, tekstil, otomotif,

dan peralatan medis. Dalam penelitian ini, kami menggunakan biji plastik PP murni alami tanpa proses daur ulang. Contoh biji plastik PP (polipropilen) ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3. 1. Biji Polipropilen

Dengan spesifikasi:

Properti	Satuan	Nilai	Metode Uji (ASTM)
<i>Melt Flow Rate (230 °C)</i>	g/10 min	1.7	D1238
<i>Density</i>	g/cm ³	0.90	D1505
<i>Tensile Strength at Yield</i>	kg/cm ²	360	D638
<i>Elongation at Yield</i>	%	12	D638
<i>Flexural Modulus</i>	kg/cm ²	17,500	D790B
<i>Notched Izod Impact Strength (23 °C)</i>	kg·cm/cm	5.5	D256A
<i>Heat Deflection Temperature (4.6 kg/cm²)</i>	°C	95	D648
<i>Rockwell Hardness (R scale)</i>	-	95	D785A
<i>Water Absorption (24 jam)</i>	%	0.02	D570
Shrinkage	%	1.3 – 1.4	-

2. Karbon aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengadung 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 mengadung 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 akktif tempurung kelapa dengan merek Borneo digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 2, mempunyai luas area permukaan 300 sampai 2000 m/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.

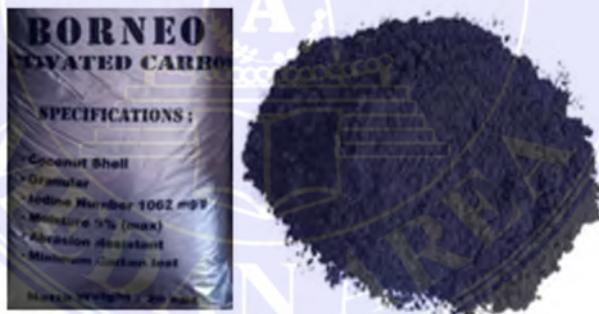
Hal ini disebabkan oleh pori-pori kompleks dengan ukuran mikro di bawah 20 A, ukuran meso antara 20-50 A, dan ukuran makro yang melebihi 500 A. Oleh karena itu, luas permukaan yang besar ini sangat cocok untuk aplikasi dalam bidang adsorpsi, reaksi, dan katalisis.

Salah satu contoh karbon aktif yang terkenal adalah norit, yang digunakan untuk mengatasi gangguan pencernaan dengan menjerat bahan berbahaya di dalam perut dan menyimpannya di dalam pori-porinya untuk dikeluarkan bersama tinja. Karbon aktif umumnya dibuat dari 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/cm³
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 3.2 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 merupakan perangkat yang diciptakan untuk melakukan penekanan dengan pemanasan yang dapat digunakan dalam proses pembuatan berbagai produk seperti logam, polimer, serta pemanfaatan partikel dan serat untuk menghasilkan papan komposit dan produk lainnya.

Dalam operasinya, mesin *hot press* ini menggunakan sistem hidrolik yang dilengkapi dengan *pressure gauge* untuk mengontrol tekanan. Untuk memanaskan mesin *hot press* hidrolik ini, digunakan pemanas listrik dengan daya 350 watt dan tegangan 220 volt. Pemanas ini memiliki sistem terpisah agar memudahkan penggantian jika terjadi kerusakan. Selain itu, elemen pemanas ini terhubung dengan *thermocontrol* untuk mengatur suhu secara otomatis.

Dalam cetakan mesin *hot press* sebelumnya, terdapat 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 memantau tekanan dengan baik.

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



Gambar 3. 3. Mesin *Hot Press* 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 × 12 × 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

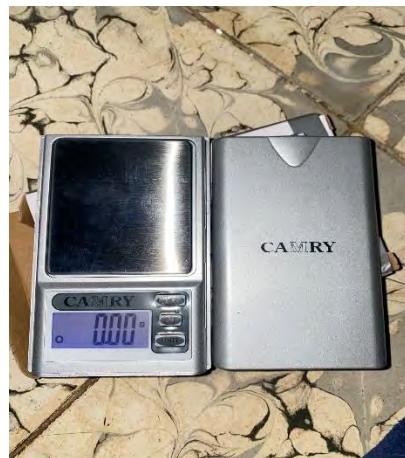
Dengan spesifikasi:

- 1 Processor
- 2 Memory
- 3 SSD

Intel(R) Celeron(R) N4500 @ 1.10GHz
8GB RAM
256GB

3. Timbangan digital

Timbangan digital memainkan peranan penting saat melakukan penelitian ini, agar dapat menimbang bahan yang dicetak sesuai dengan komposisi yang sudah diatur. Untuk timbangan yang digunakan bermerk Digital *Electronic Camry Scale pocket*. 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

Timbangan digital ini memiliki batasan berat yang dapat diukur yaitu 100 gr.

Satuan terkecil pada timbangan digital ini 0,1 g. Timbangan ini memiliki keakuratan pengukuran ketelitian hingga 0,1 g. Sangat baik untuk penimbangan bahan pada penelitian kali ini.

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.

4. Pengujian Konduktivitas Listrik

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

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.

Langkah-langkah Pengujian Konduktivitas Listrik Sebagai Berikut:

1. Persiapan Sampel

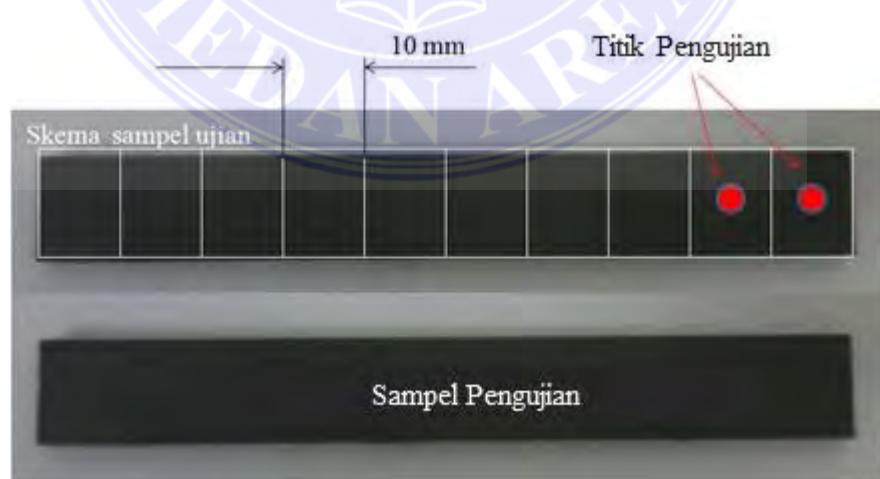
- Spesimen komposit polipropilen/karbon aktif yang telah selesai dibuat dengan ukuran $\pm 100 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ disiapkan untuk diuji.
- Permukaan sampel dibersihkan dari debu, minyak, atau kotoran agar tidak mengganggu kontak antara probe dan permukaan sampel.

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



Gambar 3. 7. Titik Sampel Pengujian

3.3 Metode Penelitian

Untuk memperoleh data penelitian, maka dilakukan dengan metode eksperimen. Karena eksperimen sesuai digunakan untuk pengambilan data yang dilakukan secara deskriktif. 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 percetakan 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 pengujian

Tabel 3. 2. Data Komposisi Sampel

No	Polipropilen (PP)	Massa	Karbon aktif (KA)	Massa	Tekanan
1	100%	50 gr	0%	0 gr	2 MPa
2	100%	50 gr	0%	0 gr	4 MPa
3	100%	50 gr	0%	0 gr	6 MPa
4	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	2 MPa
5	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	4 MPa
6	95%	47,5 gr	5%	2,5 gr	6 MPa
7	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	2 MPa
8	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	4 MPa
9	85%	42,5 gr	15%	7,5 gr	6 MPa

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Langkah-langkah pembuatan sampel

Adapun tahap atau Langkah-langkah pembuatan sampel 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 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° Celsius

4. Pencacahan bahan

Bahan yang telah dicampur, khususnya campuran polipropilen dan karbon aktif, terlebih dahulu dicacah menggunakan mesin pencacah.

Parameter :

- Waktu pencacahan : 10 menit
- Kecepatan : 80 rpm

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 :

- Tekanan : 2 Mpa, 4 Mpa, 6 MPa
- Waktu tahan : 15 menit
- Suhu : 180° Celsius
- Ukuran cetakan : 140 mm x 60 mm x 50 mm

6. Pendinginan dan finishing

Sampel didinginkan perlahan pada 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 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.

2. Uji densitas

Pengujian dilakukan menggunakan hukum Archimedes, di mana berat benda di udara dan berat dalam air digunakan untuk menghitung densitas.

Parameter :

- Ukuran sampel : 100 x 12 x 3 mm

3. Uji bending

Pengujian dilakukan menggunakan *universal testing tachine* (UTM) Tensilon RTF-1350, dengan standar ASTM D730-I kapasitas beban maksimal 5000 N. Alat ini memiliki sensor gaya presisi tinggi dan sistem kontrol kecepatan lintasan, memungkinkan pengukuran tegangan-lentur secara akurat.

Parameter :

- Ukuran sampel : 100 x 12 x 3 mm
- Jarak antar tumpuan 50 mm

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 ketidakteraturan 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.

1. 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%).

2. Perhitungan Nilai Tegangan dan Regangan Lentur

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

$$\sigma_{\max} = \frac{3FL}{2bd^2} \dots \quad (3.1)$$

sedangkan regangan lentur (ε) dapat dihitung dengan:

dengan keterangan:

F = gaya maksimum saat spesimen patah (N)

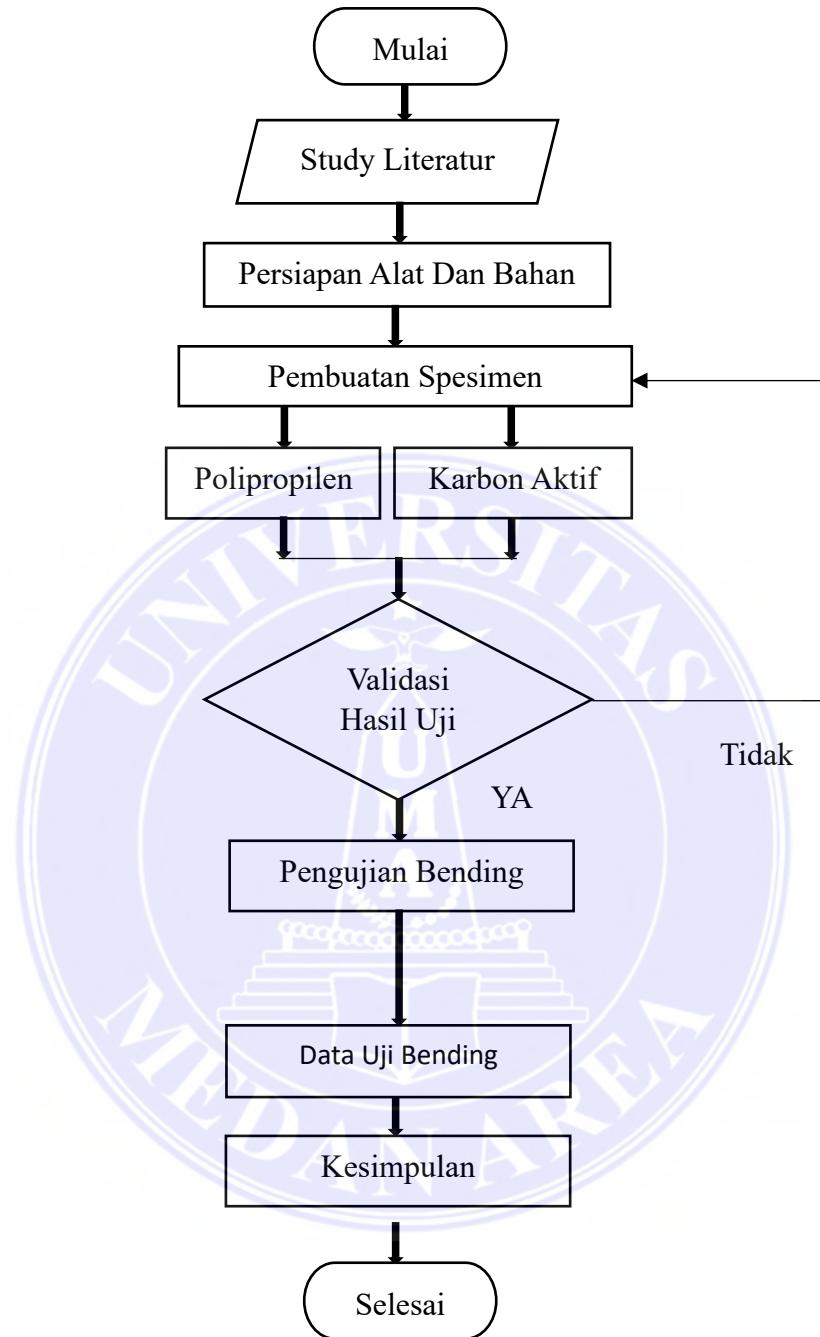
L = jarak antar tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 8. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1 Pada semua variasi tekanan (2 MPa, 4 MPa, dan 6 MPa), sampel dengan komposisi PP 100%, Ka 0%, PP 95%, Ka 5%, maupun PP 100%, Ka 15% tidak menunjukkan konduktivitas listrik yang terukur, dengan nilai hambatan (R) dan konduktivitas listrik yang tak terhingga (∞). Hal ini mengindikasikan bahwa partikel karbon aktif belum terhubung secara kontinu di dalam matriks PP akibat adanya pori atau celah yang masih cukup besar, sehingga tidak membentuk jalur aliran listrik yang efektif.
- 2 Meskipun tekanan yang lebih tinggi (hingga 6 MPa) mampu meningkatkan densitas, terutama pada sampel dengan kandungan karbon aktif yang lebih tinggi (15%), peningkatan ini belum cukup untuk menciptakan jaringan konduktif antar partikel karbon aktif.

5.2 Saran

- 1 tidak terbentuknya jalur konduktif secara efektif diduga juga dipengaruhi oleh desain dan presisi cetakan yang digunakan pada proses *hot press*. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan cetakan dengan toleransi tinggi dan permukaan yang lebih presisi agar tekanan terdistribusi secara merata ke seluruh permukaan material. Cetakan yang tidak rata atau longgar dapat menyebabkan distribusi tekanan yang tidak konsisten, sehingga membentuk rongga atau pori di dalam material yang menghambat pembentukan jalur konduktif antar partikel karbon aktif.

2 Mengoptimasi proses *hot press*, meskipun peningkatan tekanan *hot press* dapat meningkatkan densitas, namun belum cukup untuk membentuk jalur konduktif yang kontinu. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi parameter proses seperti suhu, waktu penekanan, dan pendinginan, agar karbon aktif dapat terdistribusi merata dan terkompaksi secara efektif di dalam matriks PP.



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.
- Anggono, J., & Ayub, C. (2022). Pengaruh Variasi Tekanan Hot Press pada Kekuatan Biokomposit Biji Salak - Polipropilena. *Jurnal Teknik Mesin*, 19(2), 36–39.
- Agus Pramono, D. (2012). Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 1(1), 46.
- Anugrah, V. G., & Susanti, D. (2014). *Pengaruh komposisi Sn dan variasi tekanan kompaksi terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn untuk aplikasi proyektil peluru frangible dengan metode metallurgi serbuk* (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology).
- Bate Erich U. K.; Pell, Yeremias M., Y. M. (2015). Pengaruh Panjang Serat dan Fraksi Volume terhadap Sifat Bending pada Komposit Widuri Polyester. *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana (LJTMU)*, 02
- Basyarahil, Z. I. (2017). Karakterisasi dan Proses Manufaktur Komposit Polypropylene Berpenguat Serat Dendrocalamus asper untuk Aplikasi Ruang Mesin Otomotif. *Tugas Akhir: Program Studi S1 Teknik Material, Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Surabaya.
- Caselle, C., Bonetto, S., & Comina, C. (2019). Comparison of laboratory and field electrical resistivity measurements of a gypsum rock for mining prospection applications. *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Clareyna, E. D., & Mawarani, L. J. (2013). Pembuatan dan karakteristik komposit polimer berpenguat bagasse. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), F208-F213.
- Clareyna, E. D., & Mawarani, L. J. (2013). Pembuatan dan karakteristik komposit polimer berpenguat bagasse. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), F208-F213.

- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: an introduction*. John wiley & sons.
- Dadang, R. (2018). Kajian Terhadap Besaran Daya Dan Efisiensi Alat Perangkat Generator Hho Sederhana Tipe Dry Cell Sebagai Bahan Paduan Pembakaran Dalam Pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, 1(1), 35.
- 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.
- Himawati, A. W. (2018). Contents Welcoming speech Organizing committee List of article in prosiding i ii iii iv v. *Journal Seminar Kimia*, 3.
- Hasanah, U., & Muslimin, M. (2020). Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 71-80.
- 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.
- Iswandi, I., Idris, M., Hermawan, I., Aldori, Y. R., & Irwanto, M. (2022). Analisis Komposisi Komposit Polipropilen/Karbon Aktif Terhadap Kekuatan Bending Untuk Aplikasi Plat Dwikutup Fuel Cell. *Jurnal Teknovasi: Jurnal Teknik dan Inovasi Mesin Otomotif, Komputer, Industri dan Elektronika*, 9(1), 83-90.
- Novriyanti Talango. (2021). Jurnal Simetrik Vol 11, No. 1, Juni 2021. *Jurnal Simterik*, 11(1), 432–439.
- Raharja, A. E. (2015). View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk. *Pengukuran Resistivitas Pada Pelat Konduktor Tipis Menggunakan Metode Four Point Probe*.
- Radzuan, N.A.M., Sulong, A.B. and Iswandi, 2021. Effect of multi-sized graphite filler on the mechanical properties and electrical conductivity. *Sains Malaysiana*, 50(7), pp.2025-2034.
- Saraan, R. B., Saefullah, L., Darmanto, A., Darat, P. A., Raya, J., Sekar, A., Junrejo, P., Timur, J., Poltekad, P. T. M., Pengelasan, P., & Track, P. (2021).

Rancang Bangun Konstruksi *Portable Track* Pada. 1–6.

Sudargo, P. H., Suhardoko, S., & Baroto, B. T. (2015). Pengaruh Fraksi Volume dan Panjang Serat Terhadap Sifat Bending Komposit Poliester Yang Diperkuat Serat Limbah Gedebog Pisang. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi, I(1)*.

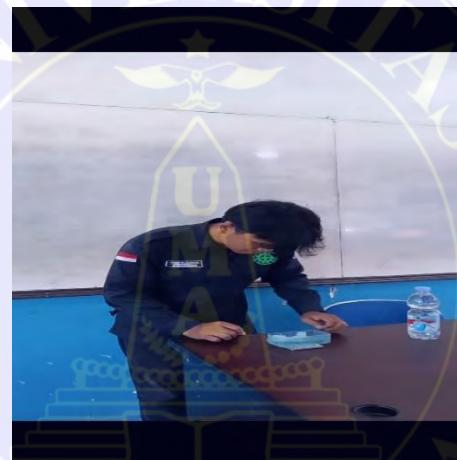
Zulfikar, A. J. (2023). Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang.



LAMPIRAN



Gambar 1. Pengujian Konduktivitas Listrik



Gambar 2. Pengujian Densitas



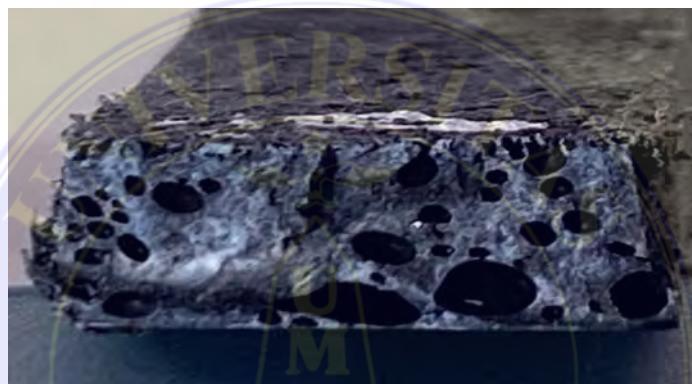
Gambar 3. Pengujian Bending



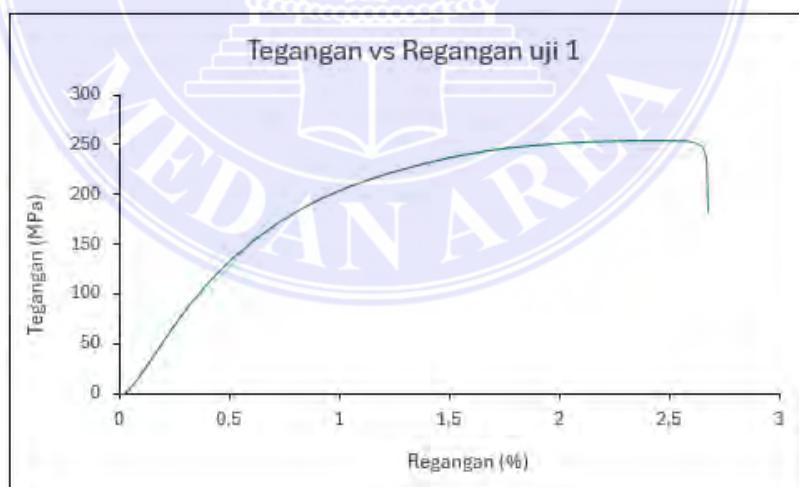
Gambar 4. Spesimen Polipropilen



Gambar 5. Spesimen Polipropilen Campuran Karbon Aktif



Gambar 6. Spesimen Setelah Pengujian Terdapat Rongga/Pori Pori



Gambar 7. Grafik Pengujian *Bending*