

**PENGARUH WAKTU PROSES PENCAMPURAN KOMPOSIT
POLIPROPILEN/ KARBON AKTIF PADA MESIN *INTERNAL*
MIXER TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK**

SKRIPSI

OLEH:

YOHAN ANDREAS SIANTURI

218130069



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 6/4/26

Access From (repositori.uma.ac.id)6/4/26

HALAMAN JUDUL

PENGARUH WAKTU PROSES PENCAMPURAN KOMPOSIT POLIPROPILEN/ KARBON AKTIF PADA MESIN INTERNAL MIXER TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

YOHAN ANDREAS SIANTURI

218130069

**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 6/4/26

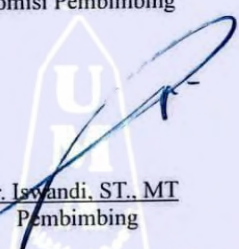
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : pengaruh waktu proses pencampuran komposit
*polipropilen/ karbon aktif pada mesin internal
mixer terhadap konduktivitas listrik*

Nama Mahasiswa : Yohan Andreas Sianturi
NIM : 218130069
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Dr. Isyandi, ST., MT
Pembimbing


Dr. Emi Subriatno, ST., MT
Dekan
FAKULTAS TEKNIK


Dr. Isyandi, ST., MT
Ka. Prodi
PRODI. TEKNIK

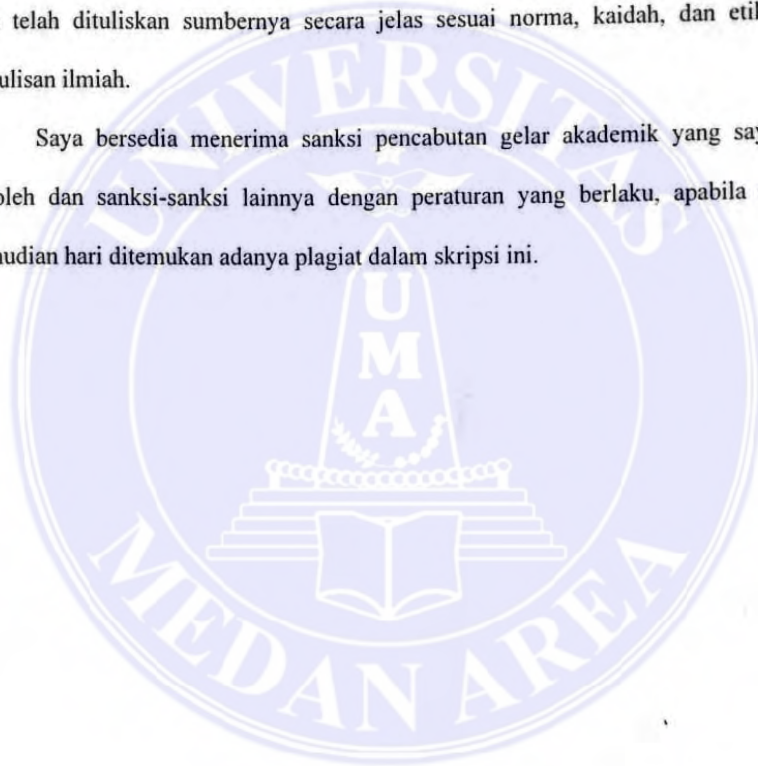
Tanggal Lulus: 22 September 2025

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 norma, 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.



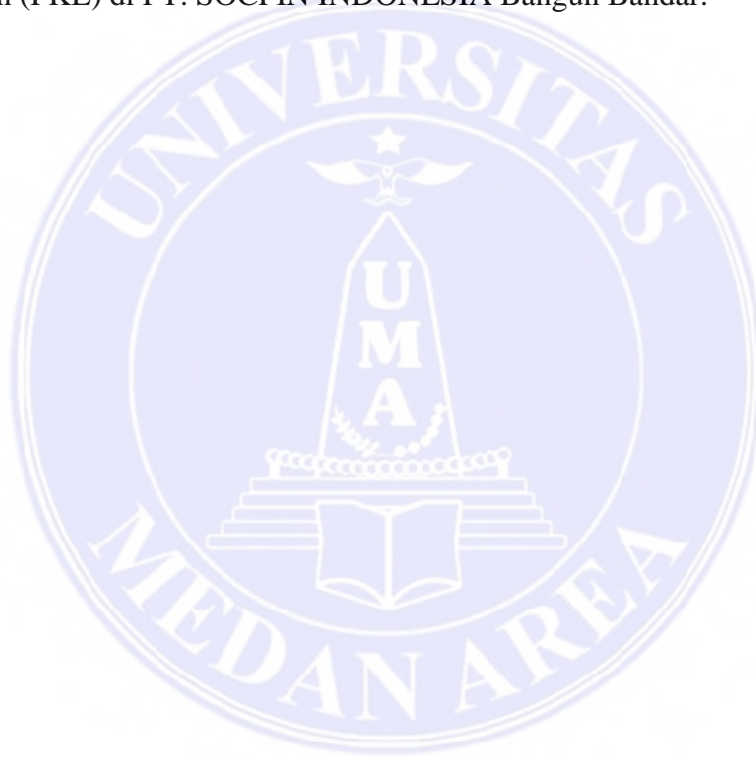
Medan, 22 September 2025



Yohan Andreas Sianturi
NPM 208130069

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Simalungun pada tanggal 27 November 2002 dari Ayah Pear Sianturi dan Ibunda Kosnika Sijabat. Penulis merupakan anak ke dua dari lima bersaudara. Pada tahun 2021 penulis lulus dari SMK dan tahun 2021 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area. Sejalan perkuliahan, tepatnya pada tahun 2024 penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. SOCFIN INDONESIA Bangun Bandar.



HALAMAN PERSETUJUAN PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI

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

Nama : Yohan Andreas Sianturi

NPM : 218130069

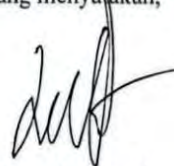
Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas skripsi saya yang berjudul: pengaruh waktu proses pencampuran komposit *polipropilen/ karbon aktif* pada mesin *internal mixer* terhadap konduktivitas listrik. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Medan Area
Pada Tanggal : 22 September 2025
Yang menyatakan,



(Yohan Andreas Sianturi)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pencampuran terhadap konduktivitas listrik komposit berbahan dasar polipropilen (PP) dan karbon aktif (KA) menggunakan mesin internal mixer. Polipropilen memiliki sifat isolator, sedangkan karbon aktif memiliki kemampuan konduktif tinggi. Proses pencampuran yang optimal diharapkan mampu menghasilkan distribusi karbon aktif yang merata, sehingga membentuk jalur konduktif dalam matriks polimer. Variasi waktu pencampuran yang diuji adalah 15, 20, dan 25 menit dengan komposisi KA sebesar 0%, 5%, dan 15%. Hasil menunjukkan bahwa seluruh sampel belum mencapai konduktivitas listrik yang terukur, ditandai dengan nilai hambatan listrik tak hingga. Analisis densitas menunjukkan bahwa waktu pencampuran 15 menit dengan komposisi KA 5% memberikan struktur paling rapat dan berpotensi konduktif. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengaturan parameter proses untuk mendapatkan material komposit konduktif yang optimal dalam aplikasi teknologi ramah lingkungan seperti *fuel cell*.

Kata Kunci: Polipropilen, Karbon Aktif, Waktu Pencampuran, Konduktivitas Listrik, Komposit, Internal Mixer, Fuel Cell

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of varying mixing time on the electrical conductivity of polypropylene (PP) and activated carbon (KA)-based composites using an internal mixer. Polypropylene has insulating properties, while activated carbon has high conductive capabilities. The optimal mixing process is expected to produce an even distribution of activated carbon, thus forming a conductive path in the polymer matrix. The mixing time variations tested were 15, 20, and 25 minutes with KA compositions of 0%, 5%, and 15%. The results showed that all samples had not reached measurable electrical conductivity, indicated by an infinite electrical resistance value. Density analysis showed that a mixing time of 15 minutes with a 5% KA composition provided the densest and potentially conductive structure. These findings demonstrate the importance of setting process parameters to obtain optimal conductive composite materials in environmentally friendly technology applications such as fuel cells.

Keywords: *Polypropylene, Activated Carbon, Mixing Time, Electrical Conductivity, Composite; Internal Mixer, Fuel Cell*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan dan kasih karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu Proses Pencampuran Komposit Polipropilen/Karbon Aktif pada Mesin Mixer terhadap Konduktivitas Listrik.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini merupakan hasil dari proses yang panjang dan tidak terlepas dari dukungan serta bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

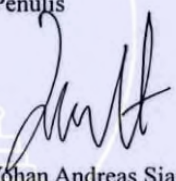
1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Iswandi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Dr. Iswandi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kedua orang tua penulis yang tercinta, yang selalu memberikan dukungan doa, kasih sayang, semangat, serta bantuan moril dan materil. Juga kepada

saudara-saudara penulis dan seluruh keluarga yang senantiasa mendukung dalam menyelesaikan pendidikan ini.

6. Rekan-rekan seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2021 Universitas Medan Area, atas semangat, masukan, dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya ini di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik mesin.

Penulis


Yohan Andreas Sianturi

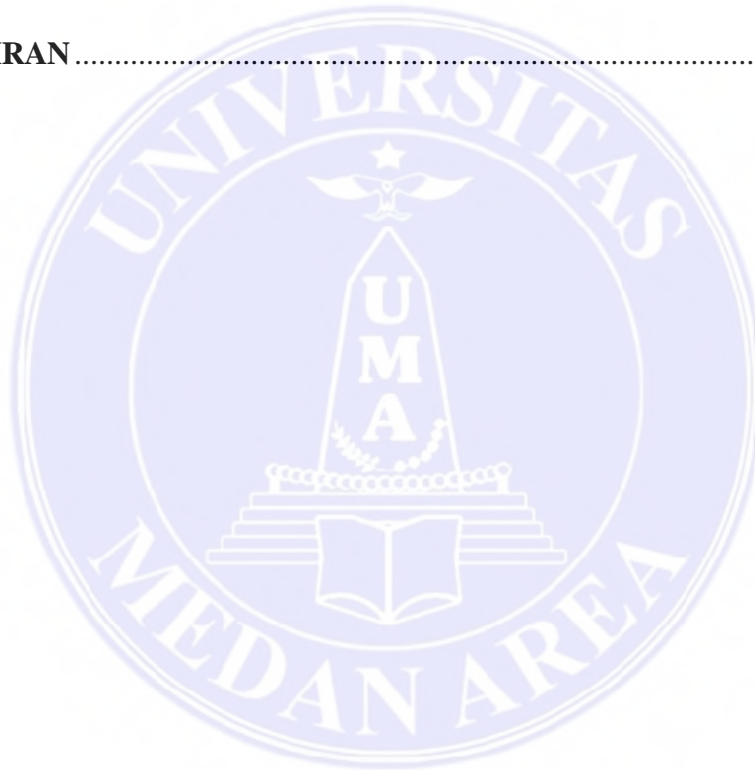
NPM.218130069

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Full Cell</i>	6
2.3.1 Metode Pencampuran Komposit	8
2.3 Pengujian Konduktivitas listrik	10
2.3.1 Konduktivitas listrik.....	12
2.4 <i>polypropylene</i>	13
2.5 Karbon Aktif	14
2.6 Proses Pencampuran	15
2.6.1 parameter.....	15

2.8 Dampak Waktu Pencampuran terhadap Hasil Uji Archimedes pada Komposit Polipropilen/Karbon Aktif.....	16
2.9 Uji Bending.....	17
2.8.1 Modulus Elastisitas	17
2.8.2 Tenggangan Bending.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.1.1 Tempat	20
3.1.2 Waktu	20
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.1.1 Mesin <i>Internal Mixer</i>	21
3.2.1.2 Pengukur Konduktivitas Listrik	23
3.2.1.2 <i>Stopwatch</i>	25
3.2.1.3 Timbangan.....	26
3.2.1.4 Mesin <i>hot press</i> skala laboratorium.....	26
3.2.1.5 Leptop.....	28
3.2.2 Bahan.....	28
3.2.2.1 Polipropilen (PP).....	28
3.3 Metode Penelitian	30
3.4 Populasi dan Sampel.....	30
3.5 Prosedur Penelitian	31
3.5.1 Pembuatan Sampel.....	31
3.5.2 Pengujian.....	32
3.3 Gambar Diagram Alir	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Dan Pembahasan	35
UNIVERSITAS MEDAN AREA Pengaruh waktu proses pencampuran Komposit	35

4.2.2	Pengaruh Densitas Terhadap Konduktivitas Listrik.....	37
4.1.3	Pengujian Bending	42
4.2	Pembahasan	46
4.2.1	Dentitas Vs Waktu Pencampuran	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....		54
LAMPIRAN		56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposit	9
Gambar 2. 2 Gambar Sampel Pengujian	12
Gambar 2. 3 Data modulus elastisitas	17
Gambar 2. 4 Elastis	18
Gambar 3. 1 Mesin Internal Mixer	21
Gambar 3. 2 Pengukur Konduktivitas listrik.....	24
Gambar 3. 3 Stopwatch	25
Gambar 3. 4 Timbangan	26
Gambar 3. 5 Mesin tekanan panas skala laboratorium.....	27
Gambar 3. 6 Laptop.....	28
Gambar 3. 7 Polipropilen (PP)	29
Gambar 3. 8 Karbon	30
Gambar 4. 1 Pengujian Konduktivitas Listrik.....	35
Gambar 4. 2 Dimensi Sampel Uji	36
Gambar 4. 3 polipropilen 100 %	37
Gambar 4. 4 Campuran karbon aktif.....	38
Gambar 4. 5 Grafik pengujian variasi waktu 15 menit	39
Gambar 4. 6 grafik pengujian variasi waktu 20 menit	40
Gambar 4. 7 grafik pengujian variasi 25 menit.....	41
Gambar 4. 8 hasil specimen PP 100% KA%.....	42
Gambar 4. 9 hasil specimen PP 85 % KA 15 %	42
Gambar 4. 10 Hasil specimen PP 95 % KA 5%	42
Gambar 4. 11 Grafik pengujian Tegangan Bending	44
Gambar 4. 12 grafik Pengujian Regangan (%).....	45

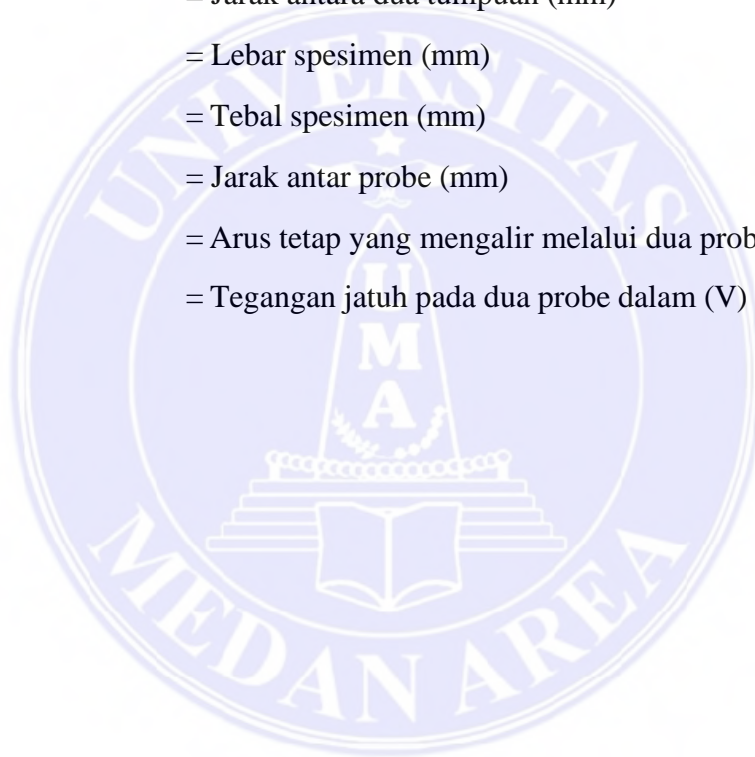
DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	20
Tabel 3. 2 Populasi Spesimen.....	31
Tabel 4. 1 Tegangan vs Regangan	42



DAFTAR NOTASI

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



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi sel bahan bakar merupakan sumber energi bersih dan ramah lingkungan di masa depan. Teknologi sel bahan bakar sudah diakui sebagai solusi yang alternatif dalam menghasilkan listrik dengan efisiensi tinggi dan tanpa emisi berbahaya. Dalam pembuatan komponen plat dwi kutub sebagai salah satu komponen penting dari teknologi *fuel cell* ini. Maka dari itu suhu mesin hot prees ini sangat berpengaruh pada bahan yang akan tekan. Komposit polimer konduktif (KPP) berbasis karbon, yang dibuat melalui pencampuran berbagai jenis karbon dalam komposisi yang berbeda, membantu mencapai target DOE dengan meningkatkan konduktivitas listrik pada pelat bipolar. Dilaporkan bahwa grafit adalah bahan pengisi berbasis karbon terbaik dari berbagai bahan, seperti CNT, CB, dan CF. Grafit juga ringan, memiliki konduktivitas listrik tertinggi, dan tahan korosi (Iswandi, Sahari, dan Sulong 2019).

Dibutuhkan material baru untuk pelat dwi kutub yang dapat mengurangi bobot sel bahan bakar. Karena komposit polime karbon lebih ringan dan lebih murah daripada bahan seperti logam dan nonlogam, komposit bermatriks polimer saat ini menjadi subjek banyak penelitian untuk digunakan sebagai bahan untuk pelat dwi kutub. Kemampuan proses produksi juga penting untuk produksi massal pelat dwi kutub. Akibatnya, komposit polimer-karbon, selain grafit, yang murah, menjadi opsi yang menarik untuk pelat dwikutub (Minke *et al.* 2016).

Metode pembuatan pelat dwikutub juga meningkatkan konduktivitas listrik. Industri pemrosesan polimer menggunakan injection molding dan compression molding (Antunes et al. 2011). Kedua metode ini juga diterapkan dalam pembuatan pelat dwikutub, namun masing-masing memiliki tantangan tersendiri. *Compression moulding* merupakan proses yang relatif lambat karena cetakan perlu didinginkan sebelum produk dikeluarkan. Meskipun demikian, metode *compression moulding* sering digunakan untuk pembuatan pelat dwikutub karena dianggap lebih sederhana (Iswandi, Husaini, Teuku, dan Jaafar, Sahari 2016)

Saat ini, pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif bahan bakar fosil menjadi objek penelitian yang menarik perhatian para ilmuwan. Salah satu tipe energi barukan yang sedang dikembangkan adalah sel bahan bakar. Sel bahan bakar ini banyak diteliti memiliki sejumlah kelebihan seperti efisiensi yang tinggi, potensi dalam penghematan energi, keamanan, dan bersahabat dengan lingkungan. Sel bahan bakar ini muncul sebagai kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan mesin pembakaran dalam pada penggunaan dalam transportasi. Teknologi sel bahan bakar ini unggul dibandingkan mesin pembakaran internal, karena lebih ramah lingkungan terutama dalam hal emisi gas buang. Bipolar plate merupakan komponen krusial dari *fuel cell*, karena berfungsi utama sebagai struktur dan lokasi di mana energi listrik dihasilkan. Selain fungsi penting nya, biaya pembuatan bipolar plate menyentuh 50% dari total biaya produksi *fuel cell*, sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mencapai kinerja optimal dari bipolar plate ini. Papan bipolar dinilai memiliki kinerja yang baik apabila efisiensi yang dihasilkan tinggi, resistivitas listrik yang memadai, konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan terhadap korosi yang baik, dan memiliki densitas rendah

Konduktivitas Listrik menjadi lebih cocok diaplikasi pada Komposit polipropilen (PP) yang dipadukan dengan karbon aktif (KA) merupakan material yang menarik untuk berbagai aplikasi industri, khususnya dalam bidang elektronika, sensor, dan material yang membutuhkan konduktivitas listrik tertentu. Polipropilen adalah polimer termoplastik yang banyak digunakan karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki kestabilan dimensi yang baik. Namun, polipropilen memiliki sifat isolator yang menghambat kemampuannya untuk menghantarkan listrik. Di sisi lain, karbon aktif memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi karena struktur mikroporinya yang memungkinkan pergerakan elektron.

Dengan mengkombinasikan kedua bahan ini, diharapkan dapat diperoleh komposit dengan sifat mekanik yang baik dan konduktivitas listrik yang sesuai untuk aplikasi tertentu. Penggunaan karbon aktif dalam komposit polipropilen bertujuan untuk meningkatkan sensor, pemanas, dan perangkat yang memerlukan pengaturan aliran listrik.

Proses pencampuran bahan-bahan tersebut sangat penting untuk mencapai sifat material yang optimal. Mesin internal mixer sering digunakan dalam proses pencampuran komposit, karena kemampuannya dalam menghasilkan campuran yang homogen antara bahan-bahan tersebut. Namun, durasi atau waktu pencampuran yang digunakan dalam mesin internal mixer dapat memengaruhi distribusi karbon aktif dalam matriks polipropilen, yang pada gilirannya memengaruhi konduktivitas listrik komposit yang dihasilkan.

Waktu pencampuran yang tidak tepat dapat menyebabkan distribusi karbon aktif yang tidak merata, yang bisa menghasilkan sifat konduktivitas yang buruk.

Sebaliknya, waktu pencampuran yang lebih lama mungkin dapat meningkatkan keseragaman campuran, yang memungkinkan karbon aktif tersebar lebih merata, sehingga meningkatkan konduktivitas listrik.

Oleh karena itu, penting untuk mempelajari pengaruh variasi waktu pencampuran dalam proses pembuatan komposit polipropilen/karbon aktif menggunakan mesin internal mixer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan waktu pencampuran dapat mempengaruhi konduktivitas listrik dari komposit yang dihasilkan, dan menentukan waktu pencampuran yang optimal untuk memperoleh komposit dengan konduktivitas listrik yang diinginkan.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan material komposit berbasis polipropilen yang memiliki konduktivitas listrik yang baik, serta memberikan panduan bagi industri dalam memilih parameter proses yang tepat untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh waktu pencampuran terhadap densitas dan konduktivitas listrik komposit polipropilen/karbon aktif?
2. Apakah terdapat komposisi dan waktu pencampuran optimal untuk menghasilkan material komposit yang padat, kuat, dan memiliki potensi konduktif?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi waktu pencampuran terhadap densitas Komposit Polipropilen/karbon aktif
2. Menentukan Waktu Pencampuran yang optimal untuk Memperoleh Konduktivitas listrik terbaik pada komposit polipropilen/karbon aktif.

3. Menganalisis pengaruh waktu Pencampuran terhadap nilai tegangan dan regangan pada masing-masing variasi komposit PP/KA.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Peningkatan Pemahaman Proses Pencampuran Komposit
2. Aplikasi dalam Pengembangan Material Konduktif
3. Optimalisasi Proses Industri
4. Kontribusi pada Pengembangan Bahan Ramah Lingkungan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Full Cell*

Fuel cell merupakan suatu perangkat elektrokimia yang secara kontinu mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik (*Fuel Cell Handbook*, 2004). *Fuel cell* memiliki fungsi yang menyerupai baterai, tetapi ada perbedaan yang membedakan keduanya. Perbedaan utama antara *fuel cell* dan baterai ialah cara kerja suplai energi, dan *fuel cell* tidak mengandung energi. Namun, untuk terus memperoleh energi melalui reaksi kimia yang berkelanjutan, *fuel cell* harus terus diisi dengan reagen. Sementara itu, baterai sekadar menyimpan energi, dan energi maksimal yang didapatkan bergantung pada jumlah reagen yang disimpan dalam baterai. Gas oksigen dan gas hidrogen ialah bahan bakar yang diperlukan oleh *fuel cell* untuk menghasilkan energi. Prinsip kerja ini serupa dengan sebuah mesin internal combustion engine yang memerlukan reaksi antara bahan bakar minyak dan oksigen untuk mengubah energi kimia menjadi energy

Fuel cell merupakan perlengkapan konversi tenaga yang menggunakan prinsip elektrokimia yang mereaksi hidrogen dan oksigen menjadi air. Reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen menciptakan air, panas, dan tenaga listrik pada prosesnya (Harahap, 2018). Listrik dapat diproduksi *fuel cell* secara berkepanjangan seiring dengan ketersediaan pasokan bahan bakar eksternal, dan bertentangan dengan baterai yang menggunakan prinsip penyimpanan energi (Edric, 2019).

Plat dwi kutub atau *bipolar plate* adalah komponen penting yang memiliki peran krusial dalam memastikan operasi sel bahan bakar yang efisien. Kini, pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif bahan bakar fosil menjadi subjek penelitian yang menarik bagi para peneliti. Salah satu tipe energi terbarukan yang sedang dikembangkan adalah sel bahan bakar. Sel-sel bahan bakar ini banyak diteliti memiliki sejumlah kelebihan seperti efisiensi yang tinggi, potensi dalam penghematan energi, keamanan, dan memberi dampak positif terhadap lingkungan.

Sel bahan bakar ini menjadi alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan mesin pembakaran dalam pada penggunaan sarana transportasi. Teknologi sel bahan bakar ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan mesin pembakaran internal, terutama lebih ramah lingkungan dalam hal emisi gas buang. *Bipolar plate* merupakan komponen krusial dalam *fuel cell*, karena berfungsi sebagai struktur dan lokasi di mana energi listrik dihasilkan. Selain fungsinya yang sangat krusial, biaya pembuatan *bipolar plate* mencapai 50% dari total biaya produksi *fuel cell*, sehingga banyak studi yang dilakukan untuk memperoleh performa optimal dari *bipolar plate* tersebut. Papan *bipolar* dianggap berkinerja baik jika efisiensi yang dihasilkan tinggi, memiliki resistivitas listrik yang baik, konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan terhadap korosi yang tinggi, serta memiliki densitas rendah

2.2 Metode Pembuatan Plat dwi Kutub

Metode pembuatan pelat dwikutub meningkatkan konduktivitas listrik. Industri pemrosesan polimer menggunakan injection molding dan compression molding (Antunes et al. 2011). Kedua metode ini juga diterapkan dalam pembuatan pelat dwikutub, namun masing-masing memiliki tantangan tersendiri. *Compression*

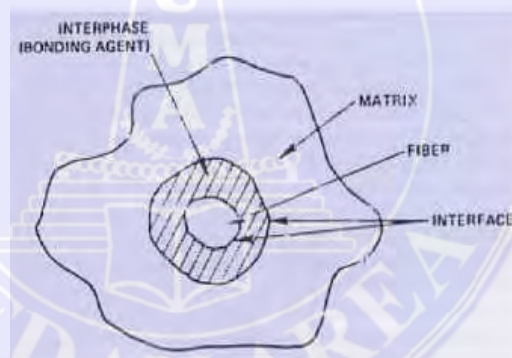
moulding merupakan proses yang relatif lambat karena cetakan perlu didinginkan sebelum produk dikeluarkan. Meskipun demikian, metode *compression moulding* sering digunakan untuk pembuatan pelat dwikutub karena dianggap lebih sederhana (Iswandi, Husaini, Teuku, dan Jaafar, Sahari 2016).

2.3.1 Metode Pencampuran Komposit

Metode Pencampuran serbuk secara merata atau homogen antara serbuk karbon aktif dari tempurung kelapa dan bahan pengikat PP (polipropilen) dilakukan melalui metode pencampuran dalam (internal mixer), menggunakan mesin pencampur jenis *Roller blade* dengan pengaturan manual. Pencampuran dilakukan dengan PP yang dilebur dalam barel atau bejana berkapasitas 100 gram, dengan komposisi pengisi karbon aktif 5% berat dan polipropilen 95% berat. Parameter pencampuran pada suhu 200 ~ putaran (n) 50 rpm, dan waktu pencampuran selama 30 menit (Iswandi, Sulong, dan Jaafar Sahari 2019). Proses pencetakan sampel berikutnya dilakukan dengan metode pengacuan mampatan (*hot press/ compression moulding*) pada tekanan 1500 MPa, suhu proses 220 °C, dan waktu tahan 20 menit. Pencetakan sampel *compression moulding* dengan ukuran cetakan 140 mm panjang, 65 mm lebar, 2.5 mm tebal, kemudian dipotong sesuai dimensi pengujian bending sesuai standar ASTM D 0790-03 berukuran 100 mm x 12.7 mm x 2.5 mm. Komposit atau bahan komposit adalah material yang terdiri dari lebih dari dua elemen penyusunnya. Komposit memiliki sifat heterogen pada skala makroskopik (Nugraha, M. D. A. 2020). Bahan-bahan penyusun komposit tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda, dan ketika dicampurkan dalam proporsi tertentu, akan muncul sifat-sifat baru yang sesuai dengan kebutuhan. Secara umum, dalam proses produksinya dilakukan pencampuran yang merata, sehingga kita dapat

merencanakan kekuatan material komposit yang diinginkan dengan cara mengatur komposisi dari material penyusunnya. Komposit adalah kombinasi antara bahan pengikat atau matriks dengan penguat. Penguat merupakan elemen yang ditanamkan ke dalam matriks yang berperan sebagai penerima atau penyangga beban utama yang dialami oleh matriks

1. Komposit serat yang terdiri dari serat dengan atau tanpa matrik
2. Komposit *flake* yang terdiri dari *flake* dengan atau tanpa matrik
4. Komposit rangka (komposit terisi) yang terdiri dari matrik rangka yang terisi dengan bahan kedua
5. Komposit laminate yang terdiri dari lapisan atau laminat. Komposit pada umumnya terdiri dari dua buah penyusun utama, yaitu matriks dan *fiber*



Gambar 2. 1 Komposit

1. Matriks Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a) Mentransfer tegangan ke serat.
- b) Membentuk ikatan kohesi antara permukaan matriks dan serat.
- c) Melindungi serat.
- d) Memisahkan serat.
- e) Menstabilkan serat ketika proses manufaktur.

2. *Fiber* adalah satu bagian yang paling penting yaitu sebagai penguat dan penopang beban utama pada komposit.

3. *Interfasa* berfungsi sebagai pelekat antara dua penyusun, *interfasa* atau *interface* (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain). Selain itu *interfasa* juga yang menentukan kesetabilan komposit, Walaupun hanya dengan ketebalan skala mikro maka daerah *interfasa* akan selalu ada..

2.3 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, 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 2.1 berikut (Dweiri & Sahari 2007):

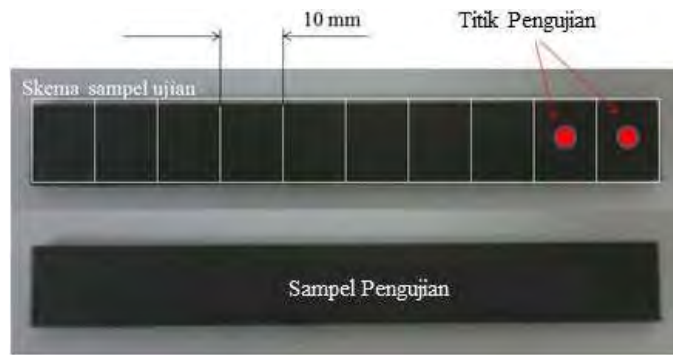
$$\sigma = 2\pi s \frac{V}{I} F \dots\dots\dots (2.1)$$

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 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

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



Gambar 2. 2. Gambar Sampel Pengujian

2.3.1 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 penghantar 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:

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- σ = Konduktivitas listrik (S/cm)
- R = Hambatan listrik (Ω)
- L = Panjang sampel uji (cm)
- A = Luas penampang sampel (cm²)

2.4 *polypropylene*

Polipropilen (PP) merupakan polimer yang dibentuk dari unit dasar (monomer) propilena, dan termasuk dalam kategori polimer termoplastik atau disebut juga plastik. Plastik ialah material yang dapat dengan mudah diubah wujudnya melalui perlakuan panas. Karakteristik plastik meliputi massa jenis atau densitas rendah, tembus cahaya, tidak korosif, dapat didaur ulang, harganya cukup terjangkau, kurang baik dalam menghantarkan listrik, dan konduktivitas panasnya juga rendah.

Monomer propilena dihasilkan melalui proses fraksinasi minyak mentah (crude oil) yang merupakan salah satu produk dari kegiatan pertambangan nasional, sehingga harganya cukup terjangkau. Polipropilen memiliki karakteristik mekanik yang kuat, kokoh, tahan terhadap bahan kimia, dapat diwarnai, dan harganya bersaing, sehingga polipropilena menjadi alternatif bahan dasar untuk pembuatan komposit berbasis polimer.

Secara umum plastik digolongkan dalam dua kategori yaitu termoseting dan termoplastik. Termoseting adalah polimer yang berbentuk permanen (*irreversible*) setelah diproses, meskipun di bawah pengaruh panas dan tekanan. Setelah polimerisasi bahan-bahan termoset tetap stabil dan tidak dapat kembali ke bentuk awal, karena sudah membentuk ikatan tiga dimensi yang kokoh dan kuat. Contoh termoseting adalah melamin, urea, alkid, dan epoksi. Termoplastik adalah bahan plastik yang sensitif terhadap panas, berwujud padat pada temperatur ruang seperti kebanyakan logam. Pemberian panas pada termoplastik akan menyebabkan plastik melunak dan akhirnya meleleh menjadi cair. Contoh termoplastik adalah *polyethylene*, *polypropylene*, dan *polystyrene*. *Polypropylene* (PP) merupakan jenis polimer termoplastik yang sangat luas penggunaannya karena sangat mudah diproses dengan berbagai macam cara, antara lain proses cetakan, ekstrusi, film, dan serat. Beberapa sifat keunggulan *polypropylene* antara lain memiliki densitas yang rendah, tahan terhadap temperatur tinggi dibanding *polyethylene*, dan memiliki sifat mekanik yang baik.

2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan ruang (*porosity*) yang diselubungi oleh senyawa karbon (*Marsh dan Rodriguez-Renioso, 2006*). Karbon aktif juga dapat didefinisikan sebagai senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi, antara 500-2.000m²/g Karbon aktif dapat disintesis dari batu bara antrasit atau pun bituminous, akan tetapi biomassa yang tersusun atas lignosellulosa menjadi salah satu bahan baku yang banyak diteliti belakangan ini. Beberapa biomassa yang dimanfaatkan seperti tempurung kelapa (*Azevedo dkk., 2007*).

Penggunaan masing-masing agen aktivasi dalam sintesis karbon aktif memiliki mekanisme aktivasi yang berbeda, dengan karakteristik karbon aktif yang

dihasilkan berbeda pula. Pada kajian teori ini, akan dibahas mengenai mekanisme aktivasi kimia dengan menggunakan bahan aktivasi $ZnCl_2$, penelitian terbaru, dan tantangannya ke depan.

2.6 Proses Pencampuran

2.6.1 parameter

Pada tahap pembuatan komposit, proses pencampuran memainkan peranan yang sangat penting dalam menentukan sifat akhir dari material yang dihasilkan. Beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan dalam proses pencampuran antara lain suhu, waktu pencampuran, dan kecepatan rotor. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi *viskositas* dan aliran polipropilen, sehingga mempengaruhi distribusi filler dan kualitas komposit secara keseluruhan. Waktu pencampuran yang optimal akan memastikan bahwa filler terdistribusi merata tanpa terjadi degradasi polimer. Selain itu, kecepatan rotor yang tepat juga berperan penting dalam memastikan homogenitas material, yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan termal komposit yang dihasilkan (Lee, S. H., et al., 2020).

2.7 Pengaruh proses waktu pencampuran terhadap konduktivitas listrik

Durasi pencampuran dalam proses pembuatan komposit berbasis polimer memainkan peran penting dalam menentukan sebaran partikel pengisi konduktif, seperti karbon aktif, di dalam matriks. Penyebaran yang merata diperlukan untuk menciptakan jalur-jalur konduktif yang efektif, sehingga material mampu menghantarkan listrik dengan baik (Wang et al., 2017).

Apabila waktu pencampuran terlalu singkat, partikel pengisi tidak memiliki cukup waktu untuk terdispersi secara homogen. Hal ini menyebabkan penggumpalan (aglomerasi) yang menghambat terbentuknya jaringan konduktif. Sebaliknya,

pencampuran yang berlangsung terlalu lama dapat memicu kerusakan partikel akibat gesekan mekanis dan kenaikan suhu, sehingga kualitas konduktivitas juga menurun (*Shen et al., 2020*).

Terdapat jangka waktu pencampuran yang ideal, di mana distribusi filler mencapai kondisi optimal tanpa merusak struktur partikel atau matriks. Pada fase ini, viskositas campuran berada dalam kisaran yang memungkinkan partikel menyebar merata tanpa risiko overheating atau kerusakan termal (*Chen et al., 2018*).

Durasi pencampuran juga memengaruhi pembentukan kontak antar partikel konduktif. Proses ini sangat bergantung pada interaksi fisik antar partikel yang hanya dapat tercapai jika waktu pencampuran mencukupi. Oleh karena itu, penentuan waktu yang tepat menjadi aspek kunci dalam perancangan material komposit konduktif, terutama untuk aplikasi seperti pelindung *elektromagnetik*, sensor, atau perangkat elektronik lainnya (*Tjong, 2006*).

2.8 Dampak Waktu Pencampuran terhadap Hasil Uji Archimedes pada Komposit Polipropilen/Karbon Aktif

Uji *Archimedes* digunakan untuk menentukan nilai densitas aktual dari komposit polipropilen/karbon aktif berdasarkan prinsip gaya angkat dalam fluida. Densitas merupakan parameter penting dalam analisis material, karena berkaitan langsung dengan kepadatan struktur internal, distribusi partikel pengisi, serta kemungkinan terbentuknya jalur konduktif.

Prinsip *Archimedes* menyatakan bahwa suatu benda yang dicelupka ke dalam cairan akan mengalami gaya ke atas sebesar berat cairan yang dipindahkan oleh benda tersebut. Dalam praktiknya, densitas komposit dihitung berdasarkan perbedaan massa di udara dan dalam air:

$$\rho_{benda} = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{air}$$

Keterangan:

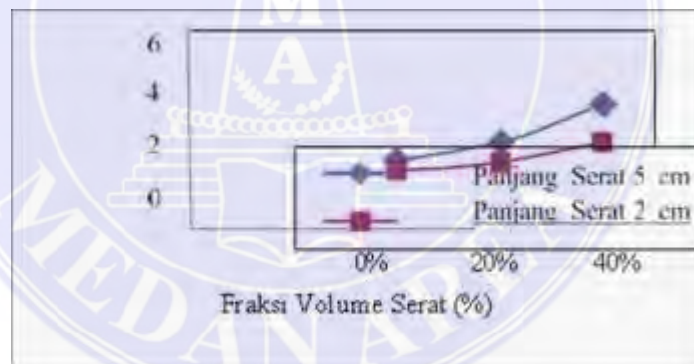
- benda = Densitas (massa jenis) benda (g/cm³)
- Mudara= Massa benda di udara (g)
- Mair = Massa benda saat dicelup ke dalam air (g)
- Pair = Densitas air (biasanya 1 g/cm³ untuk air murni pada suhu ruang)

2.9 Uji Bending

2.8.1 Modulus Elastisitas

Contoh dari data modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 2.1

dibawah ini



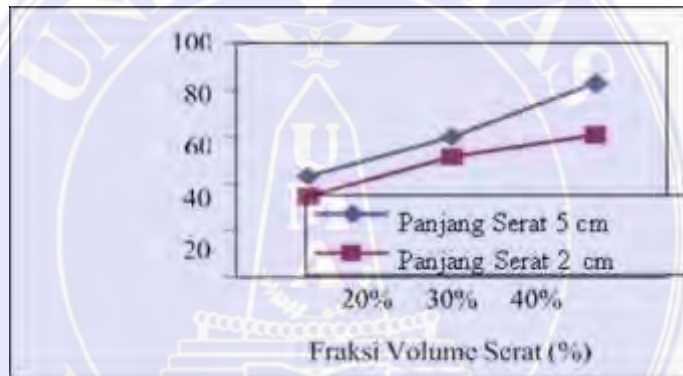
Gambar 2. 3. Data modulus elastisitas

Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara fraksi volume dan panjang serat terhadap kekuatan mekanik suatu komposit, kemungkinan berbahan dasar polipropilen dan karbon aktif. Dapat disimpulkan bahwa komposit dengan Panjang serat 5 cm memiliki nilai modulus elastisita bending tertinggi yaitu 4,358 MPa pada fraksi volume serat 40 % sedangkan nilai terendah terdapat fkiksi volume serat 20 dengan nilai 2,347MP. sementara itu komposit dengan Panjang serat 2 cm

memiliki modulus elastisitas bending tertinggi sebesar 2,994 MPa pada fraksi volume serat 40% dan nilai dan nilai terendahnya terdapat pada fraksi volume serat 20% dengan nilai 1,988 MPa dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat maka modulus elastisitas bending juga semakin tinggi komposit, seperti kekuatan tarik atau impak. Pada kondisi tanpa penambahan serat (0%), baik serat sepanjang 2 cm maupun 5 cm

2.8.2 Tenggangan Bending

Contoh dari data tegangan bending dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini



Gambar 2. 4. Elastis

Dari gambar yang di atas, terlihat bahwa komposit yang menggunakan serat sepanjang 5 cm memiliki kekuatan bending yang lebih tinggi daripada komposit yang menggunakan serat sepanjang 2 cm pada semua fraksi volume serat. Penyebabnya adalah karena serat sepanjang 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:

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

Dimana:

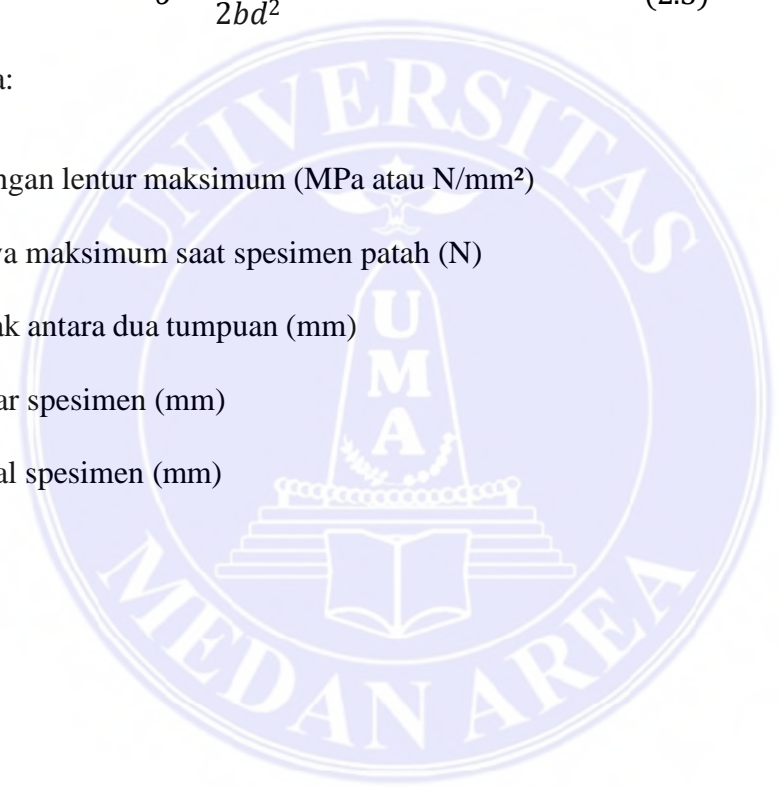
σ : tegangan lentur maksimum (MPa atau N/mm²)

F = gaya maksimum saat spesimen patah (N)

L = jarak antara dua tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium 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 Juni 2025, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Waktu Penelitian

Aktifitas	2025												2025															
	Feb			Mr			April			Mei			Jun			Jul.			Agut			Sep			Nov			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan	■																											
Judul		■																										
Penyelesaian			■																									
Proposal				■																								
Seminar					■																							
Proposal						■																						
Pengumpulan							■																					
Data								■																				
Analisis data									■																			
Penyelesaian										■																		
Laporan											■																	
Seminar Hasil												■																
Sidang Sarjana													■															

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan penelitian yang digunakan pada pengaruh waktu proses pencampuran komposit polipropilen karbon aktif pada mesin *internal mixer* terhadap konduktivitas Listrik

3.2.1.1 Mesin *Internal Mixer*

Mesin *Internal Mixer* merupakan alat penting dalam proses pencampuran material untuk menghasilkan campuran homogen. Dalam industri polimer, mesin ini digunakan untuk mencampurkan bahan dasar seperti polipropilen dengan bahan pengisi seperti karbon aktif guna membentuk material komposit dengan sifat fungsional tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peran dan efisiensi Mesin *Internal mixer* dalam menghasilkan pencampuran yang merata pada material komposit. Melalui studi literatur dan pengamatan proses pencampuran, diperoleh bahwa homogenitas campuran sangat bergantung pada jenis mixer, kecepatan putar, waktu pencampuran, serta suhu proses. Hasil menunjukkan bahwa pencampuran optimal dicapai pada kecepatan dan durasi tertentu, sehingga menghasilkan komposit dengan konduktivitas dan kekuatan mekanik yang meningkat. Temuan ini menunjukkan penting.dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Mesin *Internal Mixer*

Gambar 3.1 Mesin *Internal Mixer* pada penelitian ini digunakan untuk mencampurkan material Polipropilen (PP) sebagai matriks dengan Karbon Aktif (KA) sebagai bahan pengisi (filler) konduktif Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh campuran yang homogen, sehingga partikel karbon aktif dapat terdistribusi merata di dalam matriks PP, dan dapat membentuk jalur konduktif yang mendukung aliran listrik.

Langkah -Langkah Kerja Mesin *Internal Mixer*

- Persiapan dan Penimbangan Bahan

Bahan Polipropilen (PP) dan Karbon Aktif (KA) ditimbang sesuai komposisi yang ditetapkan — misalnya PP:100%, PP:95% KA:5%, dan PP:85% KA:15%. Tujuannya agar setiap variasi memiliki perbandingan yang tepat untuk melihat pengaruh terhadap konduktivitas listrik.

- Pemanasan Ruang Pencampur

Sebelum proses dimulai, ruang pencampur (mixing chamber) dipanaskan hingga mencapai suhu operasi (umumnya 170–190°C untuk PP). Suhu ini cukup untuk melunakkan PP tanpa menyebabkan degradasi material.

- Pemasukan Bahan ke Dalam Chamber

Campuran PP dan KA dimasukkan ke dalam ruang pencampur melalui *hopper*. Setelah bahan masuk, ram (penekan atas) turun untuk menekan bahan ke arah rotor, sehingga kontak antara bahan dan pisau pengaduk menjadi maksimal.

- Proses Pencampuran oleh Rotor

Di dalam ruang tertutup, dua rotor berputar berlawanan arah dengan kecepatan tertentu. Rotor menghasilkan gaya geser (shear force) yang tinggi sehingga PP mulai meleleh dan partikel KA mulai menyebar ke seluruh matriks. Selama proses berlangsung, gesekan antar partikel menghasilkan panas tambahan (heat by friction) yang mempercepat homogenisasi campuran.

- Pengaturan Waktu Pencampuran

Dalam penelitian ini digunakan variasi waktu 15, 20, dan 25 menit untuk melihat pengaruh lama proses terhadap hasil akhir. Waktu pencampuran terlalu singkat dapat menyebabkan distribusi karbon aktif belum merata. Waktu terlalu lama dapat menimbulkan degradasi termal dan terbentuknya rongga (*void*) yang menghambat jalur konduktif.

- Pelepasan Campuran (*Discharge*)

Setelah waktu pencampuran selesai, pintu bawah mixer dibuka dan campuran komposit dikeluarkan. Campuran kemudian didinginkan dan dicetak menjadi spesimen uji untuk pengujian konduktivitas listrik dan densitas.

3.2.1.2 Pengukur Konduktivitas Listrik

Pengukur konduktivitas listrik (meter konduktivitas) adalah alat yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu bahan atau larutan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik adalah sifat fisik yang menunjukkan seberapa mudah listrik dapat mengalir melalui suatu bahan. Satuan dari konduktivitas listrik adalah Siemens per meter (S/m), dan alat pengukur ini

sangat penting dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengujian bahan atau larutan yang terlibat dalam proses industri, penelitian, dan kualitas air. Pengukuran konduktivitas listrik dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2. Pengukur Konduktivitas listrik
Prosedur Pengukuran Uji Konduktivitas Listrik

Persiapan Spesimen

- Potong sampel komposit PP/KA menjadi bentuk standar uji (persegi atau batang).
- Bersihkan permukaan dari debu dan minyak agar hasil pengukuran akurat.
- Ukur ukuran sampel (panjang, lebar, tebal) untuk perhitungan konduktivitas.

Pemasangan Elektroda

- Tempelkan dua elektroda logam (tembaga atau aluminium foil) di kedua ujung sampel.
- Gunakan *carbon* tape atau *silver paste* agar elektroda menempel kuat dan menghantarkan arus dengan baik.

Penyambungan ke Alat Ukur

- Hubungkan elektroda ke multimeter digital atau ohmmeter.
- Atur alat pada mode resistansi (R) untuk mengukur hambatan listrik.

Pengukuran Hambatan (R)

- Ukur beberapa kali untuk memastikan hasil stabil.
- Catat nilai hambatan yang terbaca.

- Jika hasil menunjukkan tak terhingga (∞), berarti material masih isolator dan tidak menghantarkan listrik.

Perhitungan Konduktivitas (σ)

- Hitung resistivitas (ρ) dengan rumus:

$$\rho = R \times \frac{A}{L} \dots\dots\dots (3.1)$$

- Hitung konduktivitas (σ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (3.2)$$

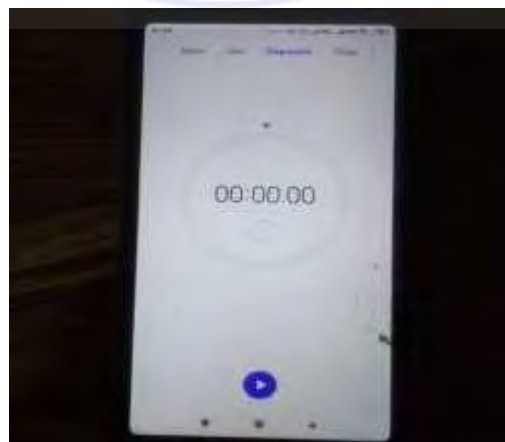
- Satuan konduktivitas adalah S/cm (Siemens per sentimeter).

Analisis Hasil

- Bandingkan hasil antar variasi waktu pencampuran (15, 20, dan 25 menit).
- Nilai konduktivitas yang lebih tinggi menunjukkan jalur konduktif lebih baik di dalam material.
- Jika seluruh hasil menunjukkan hambatan ∞ , berarti belum terbentuk jalur konduktif pada komposit.

3.2.1.2 Stopwatch

Stopwatch adalah alat penghitung waktu yang dipakai untuk mengetahui lama nya waktu yang diperlukan. Dalam penelitian kali ini *stopwatch* digunakan untuk mengetahui berapa lama biji plastik meleleh, dan sebagainya. Stopwatch dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3. 3. *Stopwatch*

3.2.1. Timbangan

Timbangan digital memiliki peran yang krusial dalam proses penelitian ini, khususnya dalam menakar bahan-bahan yang akan dicetak agar sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan sebelumnya. Jenis timbangan yang digunakan adalah *Digital Electronic Camry Scale Pocket*, yang dipilih karena mampu memberikan hasil pengukuran dalam satuan gram secara akurat. Tidak semua timbangan memiliki fitur tersebut, sementara penelitian ini hanya membutuhkan bobot dalam skala gram yang relatif kecil. Oleh karena itu, penggunaan timbangan ini dianggap paling tepat dan mendukung ketelitian selama proses pencampuran bahan. Ilustrasi alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4. Timbangan

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.

3.2.1.4 Mesin *hot press* skala laboratorium

Mesin *hot press* hidrolik merupakan alat yang dirancang untuk memberikan tekanan bersamaan dengan pemanasan, yang umumnya dimanfaatkan

dalam proses produksi berbagai jenis material, seperti logam, polimer, serta pemadatan serat dan partikel guna membentuk papan komposit dan produk sejenis lainnya. Alat ini bekerja dengan sistem hidrolik yang dilengkapi dengan pressure gauge sebagai alat pemantau dan pengontrol tekanan selama proses berlangsung. Sumber panas pada mesin ini berasal dari pemanas listrik berdaya 350 watt dengan tegangan 220 volt. Sistem pemanas tersebut dirancang secara terpisah agar mempermudah proses perawatan dan penggantian jika terjadi kerusakan. Selain itu, elemen pemanas ini juga terhubung dengan unit thermocontrol yang berfungsi untuk menjaga kestabilan suhu secara otomatis selama proses pengepresan. Versi terdahulu dari mesin hot press ini memiliki keterbatasan karena tidak dilengkapi dengan sistem pemantauan tekanan yang memadai. Untuk itu, dilakukan pengembangan dengan menambahkan fitur pemantauan tekanan guna menunjang kebutuhan pengujian laboratorium, khususnya dalam proses manufaktur papan komposit. Gambar 3.5 berikut menampilkan visualisasi dari mesin *hot press* hidrolik yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 5. Mesin tekanan panas skala laboratorium

3.2.1.5 Leptop

Digunakan untuk menyimpan dan mengolah data. Laptop yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3. 6. Laptop

Dengan spesifikasi:

1 Processor Intel(R) Celeron(R) N4500 @ 1.10GHz

2 Memory 8GB RAM

2 SSD 256GB

3.2.2 Bahan

3.2.2.1 Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP) adalah salah satu jenis plastik termoplastik yang sangat umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan sehari-hari. PP adalah polimer yang dihasilkan dari monomer polipropilen, yang merupakan senyawa hidrokarbon yang dihasilkan dari minyak bumi. Secara kimia, polipropilen adalah homopolimer dari propilena (C_3H_6), yang mengandung unit-unit repetitif yang terbentuk melalui proses polimerisasi.

Polipropilen pertama kali ditemukan pada tahun 1950 oleh Giulio Natta dan telah berkembang pesat menjadi salah satu bahan plastik yang paling banyak digunakan di dunia. PP memiliki berbagai sifat yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi, seperti daya tahan terhadap suhu, kekuatan mekanik yang baik, dan ketahanan terhadap bahan kimia. Polipropilen dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7. Polipropilen (PP)

3.2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu zat padat berpori yang mengandung 85-95% senyawa karbon bebas, diperoleh dari bahan-bahan yang kaya karbon melalui pemanasan pada temperatur tinggi. Pemanfaatan karbon aktif sebagai material padat berpori yang dihasilkan dari proses pembakaran, di mana bahan ini mengandung karbon melalui cara pirolisis. Beberapa pori-porinya masih terhalang oleh hidrokarbon, tar, dan berbagai senyawa organik lainnya. Komponennya terdiri dari karbon tetap (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen, dan sulfur. Karbon aktif dari tempurung kelapa merek Borneo digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 2, memiliki luas area permukaan antara 300 hingga 2000 m²/gram, ukuran karbon aktif bubuk 325 mesh dengan kadar air sekitar 5-15%, kadar abu 2-3% dan sisanya adalah karbon yang berbentuk amorf, terdiri dari plat-plat datar yang tersusun secara bertumpuk, dengan satu atom c di setiap sudutnya karbon dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3. 8. Karbon

3.3 Metode Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan metode eksperimen, karena metode ini dianggap paling sesuai untuk memperoleh data yang bersifat deskriptif. Penggunaan eksperimen memungkinkan pembatasan jumlah parameter yang diteliti, sehingga pelaksanaan penelitian menjadi lebih efisien dalam hal waktu dan biaya. Proses eksperimen ini memanfaatkan alat uji yang dirancang secara khusus agar dapat digunakan dalam berbagai penelitian, terutama yang berkaitan dengan pengukuran densitas dan uji kekuatan lentur (*bending*) pada material komposit. Untuk menentukan nilai densitas material, diperlukan data massa spesimen yang diukur menggunakan timbangan digital. Nilai massa ini diperoleh setelah spesimen selesai dicetak sepenuhnya menggunakan cetakan berukuran panjang 140 mm, lebar 60 mm, dan ketebalan 3 mm. Spesifikasi ukuran ini dipilih agar hasil pengujian dapat dilakukan secara konsisten dan terstandar.

3.4 Populasi dan Sampel

Pada penelitian pengaruh waktu proses pencampuran komposit polipropilen/karbon aktif pada mesin *internal mixer* terhadap konduktivitas listrik menggunakan bahan biji plastik PP dan serbuk arang tempurung kelapa. Terdapat jenis populasi yang digunakan sejumlah 9 populasi. Variasi suhu pada penelitian ini adalah 200°C, 250°C, dan 300°C. putaran mesin yang digunakan

25 rpm, 50 rpm dan 75 rpm. Lalu penggunaan variasi waktu adalah 15 menit, 20 menit dan 25 menit.

Tabel 3. 2 Populasi Spesimen

No	Polipropilane (% gr)	Karbon Aktif (% gr)
1	100	0
2	95	5
3	85	15

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pembuatan Sampel

Tahapan dalam proses pembuatan sampel pelat dwikutub (*bipolar plate*) dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

1. Penentuan Komposisi Bahan

Komposisi bahan ditentukan berdasarkan perbandingan berat antara polipropilen (PP) dan karbon aktif (KA). Terdapat tiga variasi komposisi yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Sampel A : 100% PP – 0% KA
2. Sampel B : 95% PP – 5% KA
3. Sampel C : 85% PP – 15% KA

2. Penimbangan Bahan

Bahan-bahan ditimbang menggunakan timbangan digital sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan secara teliti untuk menjaga akurasi dan keseragaman campuran.

3. Pencampuran Bahan

Setelah penimbangan, seluruh bahan dicampurkan menggunakan mesin

internal mixer untuk menghasilkan campuran yang homogen.

Parameter pencampuran sesuai dengan variasi:

1. Waktu pencampuran: 15 menit, 20 Menit, 25 Menit
2. Suhu Pencampuran : 200°C
3. Kecepatan: 50 rpm
4. Pencacahan Bahan

Campuran yang telah homogen, terutama campuran PP dan KA, dicacah menggunakan mesin pencacah untuk mempermudah proses pencetakan

5. Pencetakan

Bahan hasil pencacahan dimasukkan ke dalam cetakan tembaga sesuai ukuran mesin *hot press*, kemudian dilakukan pemadatan menggunakan dongkrak hidrolik yang dilengkapi dengan *pressure gauge*.

6. Pendinginan dan Finishing

Setelah proses pencetakan, sampel didinginkan secara alami pada suhu ruang. Tahap akhir meliputi:

1. Pengamplasan bagian tepi
2. Pengukuran dimensi akhir
3. Pembersihan permukaan sampel

3.5.2 Pengujian

Berikut adalah tahapan dalam proses pengujian sampel komposit:

1. Uji Konduktivitas Listrik

Pengujian dilakukan dengan metode empat titik probe atau uji resistansi permukaan (*surface resistivity*). Alat yang digunakan meliputi multimeter digital dan jangka sorong untuk pengukuran

dimensi sampel. Permukaan sampel dibersihkan terlebih dahulu guna memastikan akurasi kontak elektroda.

2. Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan menggunakan prinsip Hukum Archimedes, yaitu dengan menimbang sampel di udara dan dalam air untuk menghitung nilai densitas.

Parameter pengujian:

- Ukuran sampel: 100 mm × 12 mm × 3 mm

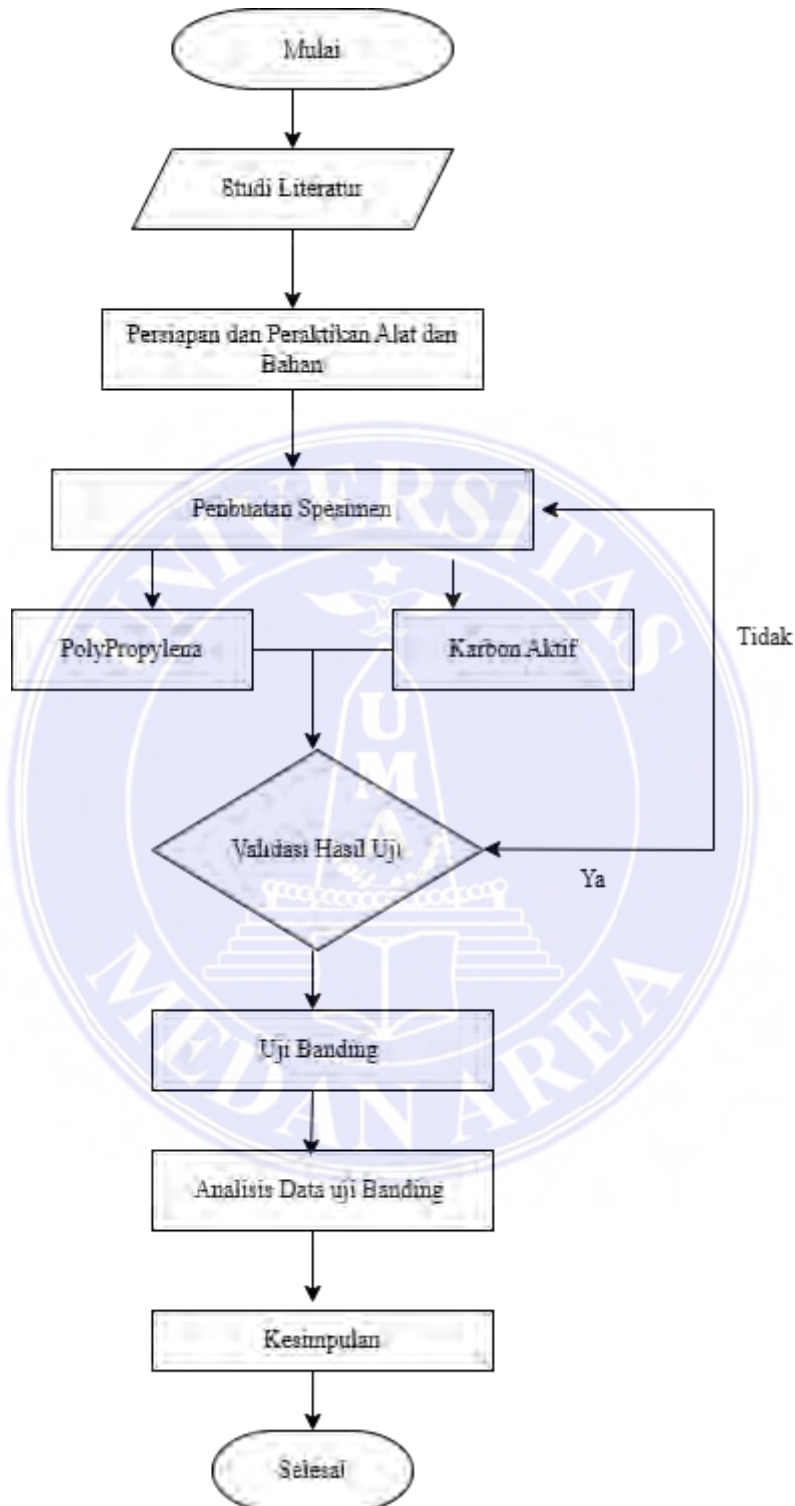
3. Uji Bending (Lentur)

Uji kekuatan lentur dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) Tensilon RTF-1350, dengan kapasitas maksimum 5000 N. Mesin ini memiliki sensor gaya yang presisi dan sistem kendali kecepatan lintasan, memungkinkan pengukuran tegangan lentur secara akurat.

Parameter pengujian:

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

3.3 Gambar Diagram Alir



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian, variasi waktu pencampuran selama 15, 20, dan 25 menit belum mampu menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang terukur pada seluruh sampel komposit PP/KA. Hal ini ditunjukkan dengan nilai hambatan listrik (R) yang tetap berada pada angka tak terhingga (∞), yang berarti arus listrik tidak dapat mengalir melalui material. Penyebab utama dari kondisi ini adalah tidak terbentuknya jalur konduktif yang kontinu di dalam struktur komposit. Adanya rongga atau pori-pori dalam material yang dihasilkan dari proses pencampuran dan pemanasan berlebih menjadi penghambat utama aliran listrik. Hasil uji densitas mendukung temuan ini,

2. Berdasarkan data yang diperoleh, tidak ada satu pun waktu pencampuran (baik 15, 20, maupun 25 menit) yang menghasilkan konduktivitas listrik optimal, karena seluruhnya menunjukkan nilai hambatan listrik ∞ . Namun, jika ditinjau dari nilai densitas sebagai indikator kepadatan material, waktu pencampuran 15 menit pada komposisi PP:95%, KA:5% dan PP:85%, KA:15% menghasilkan densitas tertinggi, yang menunjukkan struktur paling rapat dan paling potensial dalam membentuk jalur konduktif.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan konduktivitas listrik pada komposit polipropilen/karbon aktif, disarankan agar dilakukan modifikasi pada metode pencampuran, seperti peningkatan tekanan saat proses pada *internal mixer* atau penambahan agen

pengikat konduktif guna memperbaiki kontinuitas jalur karbon aktif di dalam matriks PP.

2. Karena waktu pencampuran selama 15 hingga 25 menit belum cukup menghasilkan jalur konduktif, maka disarankan untuk menambah variasi waktu dan suhu proses, termasuk kemungkinan penggunaan suhu lebih tinggi atau waktu yang lebih singkat namun dengan intensitas pengadukan lebih tinggi, guna menghindari pembentukan rongga berlebih yang menghambat aliran arus listrik.



DAFTAR PUSTAKA

- Antunes, R. A., Oliveira, M. C. L., Ett, G., & Ett, V. (2011). Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(5), 3966–3981
- Antunes, R. A., Oliveira, M. C. L., Ett, G., & Ett, V. (2011). Corrosion of metal bipolar plates for PEM fuel cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(20), 14842–14857
- Arahap, D. (2018). *Prinsip Dasar Fuel Cell dan Aplikasinya*. Bandung: Teknik Energi Terbarukan Pres
- Chen, X., Li, Y., & Zhou, W. (2018). Effect of mixing time on the dispersion and conductivity of carbon-based polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 110, 162–170.
- Edric, T. (2019). *Teknologi Konversi Energi Listrik dari Fuel Cell*. Jakarta: Energi Press
- Fuel Cell Handbook. (2004). *Fuel Cell Technologies Office*. U.S. Department of Energy
- Iswandi and Abu Bakar Sulong, “Effects Of Graphite/Polypropylene On The Electrical Conductivity Of Manufactured Bipolar Plate” *Malays. J. Anal. Sci.*, vol. 23, no. 2, Apr. 2019, doi: 10.17576/mjas-2019-2302-19.
- Iswandi, Husaini Teuku Abu Bakar, and Jaafar, Sahari, “Critical Powder Loading And Rheological Properties Of Polypropylene/Graphite Composite Feedstock For Bipolar Plate Application,” *Malays. J. Anal. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 687–696, Jun. 2016, doi: 10.17576/mjas-2016-2003-30.
- Iswandi, J. Sahari, and A. B. Sulong, “Effects of Different Particles Sizes of Graphite on the Engineering Properties of Graphites/Polypropylene

Composites on Injection Molding Application,” *Key Eng. Mater.*, vol. 471–472, pp. 109–114, Feb. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109.

Karbon aktif merupakan ruang (porosity) yang diselubungi oleh senyawa karbon (Marsh dan Rodriguez-Renioso, 2006).

Lee, S. H., et al. (2020). *Influence of Mixing Parameters on the Properties of Polypropylene Composites. Journal of Materials Processing Technology*, 283, 116706.

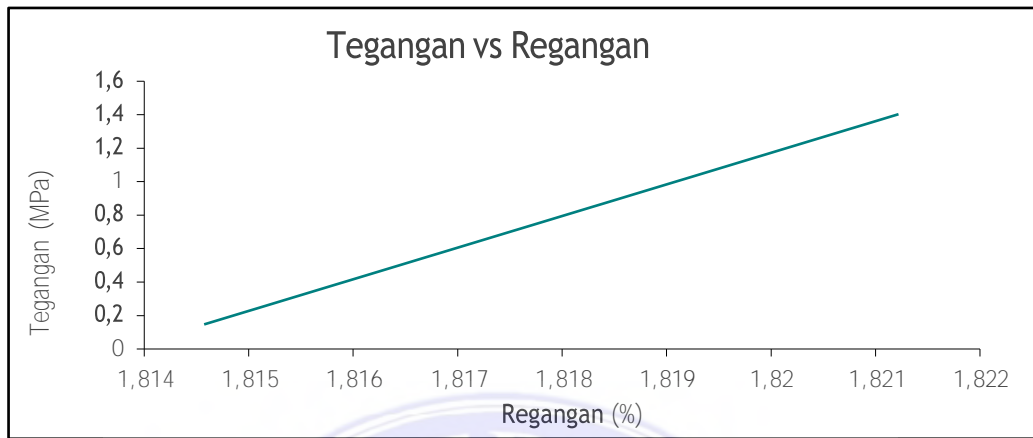
Minke, C., & Turek, T. (2016). Bipolar plates for PEM fuel cells: A review. *Journal of Power Sources*, 361, 245–262

N. A. Mohd Radzuan, A. B. Sulong, and I. Iswandi, “Effect of Multi-Sized Graphite Filler on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity,” *JSM*, vol. 50, no. 7, pp. 2025–2034, Jul. 2021, doi: 10.17576/jsm-2021-5007-17.

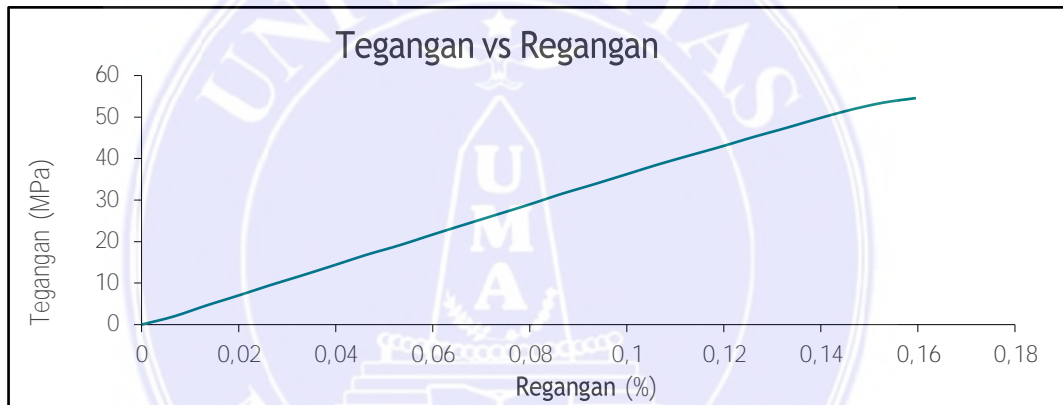
Shen, L., Zhang, H., & Li, Q. (2020). Influence of mechanical mixing time on electrical properties of conductive polymer composites.

Swandi, H., Husaini, T., & Jaafar, A. B. S. (2016). Pembuatan Plat Dwikutub Komposit Konduktif untuk Sel Bahan Bakar Menggunakan Compression Molding.

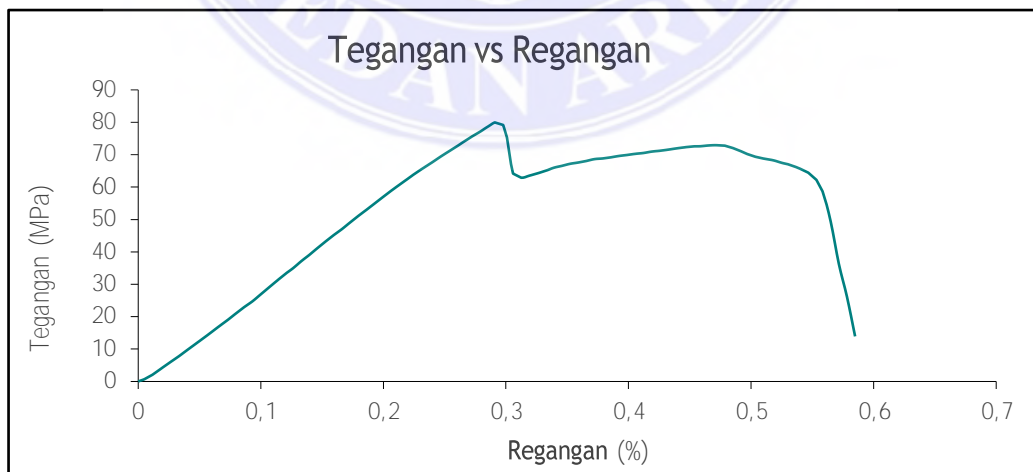
LAMPIRAN



Lampiran 1 uji bending propilane (PP) 100% Karbon Aktif(KA) 0%



Lampiran 2 uji bending propilane (PP) 95% Karbon Aktif(KA) 5%



Lampiran 3 uji bending propilane (PP) 85% Karbon Aktif(KA) 15%



Lampiran 4. Pengujian Uji Bending



Lampiran 5. Pengujian Archimedes



Lampiran 6. Pengujian Konduktivitas Listrik

